



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RFID SİSTEMLERİNİN KABLOSUZ İLETİŞİM
TEKNOLOJİLERİNE ENTEGRASYONU**

**Bilgisayar Mühendisi Mehmet Erkan YÜKSEL
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Doç. Dr. A. Halim ZAİM**

Ocak, 2010

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RFID SİSTEMLERİNİN KABLOSUZ İLETİŞİM
TEKNOLOJİLERİNE ENTEGRASYONU**

**Bilgisayar Mühendisi Mehmet Erkan YÜKSEL
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Doç. Dr. A. Halim ZAİM**

Ocak, 2010

İSTANBUL

Bu çalışma 05/02/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bilgisayar Mühendisliğı Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliğı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. A. Halim ZAIM (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Sabri ARIK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Selim AKYOKUŞ
Doğuş Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ahmet SERTBAŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Yard. Doç. Dr. Oğuzhan ÖZTAŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin
XXXXXXXXXX numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapılan "RFID Sistemlerinin Kablosuz İletişim Teknolojilerine Entegrasyonu" adlı yüksek lisans tez çalışmasını içermektedir.

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca bana yol gösteren, her türlü destek ve yardımı sunan çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. A. Halim ZAIM'e, bu çalışmanın yürütülmesinde bilgisini ve manevi desteğini hiç esirgemeyen çok sevdiğim kardeşim A. Sinan YÜKSEL'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca; tüm eğitim hayatım boyunca bana yol gösteren, destek olan, en önemlisi bana eğitimin ne kadar önemli olduğu bilincini ve çalışma disiplinini kazandıran, her zaman yanımda olan anne ve babama da en içten duygularıyla teşekkür eder, sevgilerimi sunarım.

Ocak, 2010

Mehmet Erkan YÜKSEL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1. RFID TEKNOLOJİSİ VE RFID SİSTEMİ.....	4
2.2. RFID SİSTEMİNDE KULLANILAN BİLEŞENLER.....	6
2.2.1. RFID Etiketler.....	8
2.2.2. RFID Anten.....	10
2.2.3. RFID Okuyucu (Sorgulayıcı).....	12
2.2.4. RFID Denetleyici.....	13
2.2.5. RFID Yazıcı/Programlayıcı.....	14
2.2.6. RFID Ara Katman Yazılımı.....	15
2.2.7. RFID Verisi.....	18
2.3. RFID SİSTEMLERİNDE KULLANILAN FREKANSLAR.....	19
2.4. RFID SİSTEMLERİNDE KULLANILAN STANDARTLAR.....	21
2.5. RFID AĞI VE AĞ SERVİSLERİ.....	22
2.5.1. Elektronik Nesne Kodu (EPC).....	25
2.5.2. RFID Ağı Ara katman Yazılımı.....	25
2.5.3. EPC Bilgi Hizmetleri (EPCIS).....	26
2.5.4. Keşif Hizmetleri (DS) ve Nesne Adlandırma Servisi (ONS).....	27
2.5.5. Entegre Bir RFID Sisteminde Ağ Servislerinin Çalışması.....	28
2.6. KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ.....	29
2.6.1. IEEE 802.11 STANDARDI (Wi-Fi).....	30

2.6.1.1. Mimari.....	31
2.6.1.2. Mikrohücreler ve Bağlantı Aktarımı.....	33
2.6.1.3. Fiziksel Katmanlar.....	34
2.6.1.4. MAC Katmanı.....	35
2.6.1.5. Fiziksel Elemanlar.....	35
2.6.1.6. Standartlar.....	36
2.6.1.7. İletimin Fiziksel Özellikleri.....	38
2.6.1.8. Koruma Mekanizmaları.....	38
2.6.2. IEEE 802.16 STANDARDI (WIMAX).....	39
2.6.2.1. WIMAX Teknolojisinin Özellikleri.....	39
2.6.2.2. WIMAX Standartları.....	42
2.6.2.3. WIMAX Mimarisi.....	44
2.6.2.4. WIMAX Sistem Profilleri.....	47
2.6.3. IEEE 802.15.5 STANDARDI (ZIGBEE).....	47
2.7. RADYO ERİŞİM AĞLARI.....	48
2.7.1. GPRS.....	48
2.7.2. EDGE.....	48
2.7.3. CDMA.....	49
2.7.4. UMTS.....	49
2.8. HETEROJEN KABLOSUZ AĞLAR.....	49
2.8.1. Heterojen Ağ Modelleri.....	51
2.8.1.1. Tünelenmiş Ağ.....	51
2.8.1.2. Hibrit Ağ.....	52
2.8.1.3. Heterojen Ağ.....	52
2.8.1.4. Heterojen Ağlarda Servis İhtiyaçları.....	52
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	55
3.1. RFID SİSTEMLERİ İÇİN GEREKLİ SEÇİM KRİTERLERİ.....	55
3.2. RFID SİSTEMLERİ İÇİN UYGUN FREKANSLARIN SEÇİMİ.....	58
3.3. RFID SİSTEMLERİNDE VERİ İŞLETİM PRENSİPLERİ.....	62
3.3.1. 1 Bit RFID Etiket).....	62
3.3.2. N Bit RFID Etiket.....	62
3.3.3. Sıralı Prosedürler.....	64
3.3.4. Tam/Yarı Dupleks Ve Sıralı Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	65

3.4. RFID SİSTEMLERİNDE KODLAMA VE MODÜLASYON	66
3.4.1. Ana Bantta Kodlama	67
3.4.2. Modülasyon Ve Demodülasyon	69
3.5. RFID SİSTEMLERİNDE VERİ BÜTÜNLÜĞÜ	69
3.5.1. Eşlik Denetimi	70
3.5.2. LRC Prosedürü	70
3.5.3. CRC Prosedürü	70
3.6. RFID SİSTEMLERİNDE ÇOKLU ERİŞİM PROTOKOLLERİ	71
3.6.1. Uzun Bölmeli Çoklu Erişim (SDMA)	74
3.6.2. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA)	75
3.6.3. Zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA)	76
3.7. RFID SİSTEMLERİNDE ÇARPIŞMA ÖNLEME PROTOKOLLERİ ... 78	
3.7.1. Olasılıksal Yaklaşımlı Çarpışma Engelleme Protokolleri	80
3.7.1.1. <i>ALOHA Protokolü</i>	80
3.7.1.2. <i>Slotted ALOHA Protokolü (S-ALOHA)</i>	81
3.7.1.3. <i>Dinamik Slotted-ALOHA Protokolü</i>	81
3.7.2. Deterministik Yaklaşımlı (Ağaç Tabanlı) Çarpışma Önleme Protokolleri	81
3.7.2.1. <i>İkili Ağaç Protokolü (Binary Tree-BT)</i>	83
3.7.2.2. <i>Sorgu Ağacı Protokolü (Query Tree-QT)</i>	84
3.7.3. Uyarlanabilir Ağaç Tabanlı Çarpışma Önleme Protokolleri	86
3.7.3.1. <i>Adaptif Sorgu Bölme Ağacı Protokolü</i>	87
3.7.3.2. <i>Adaptif İkili Bölme Ağacı Protokolü</i>	87
3.8. RFID SİSTEMLERİNİN KABLOSUZ AĞLARA ENTEGRASYONU	88
3.8.1. RFID Sistemlerinde Kullanılan Ağ Tasarım Programları	90
3.8.2. RFID Sisteminin ZigBee Ağlara Entegrasyonu	90
3.8.3. RFID Sisteminin Wi-Fi Ağlara Entegrasyonu	91
3.8.4. RFID Sisteminin WiMAX Ağlara Entegrasyonu	93
3.8.5. RFID Sisteminin Radyo Erişim (3GPP/3GPP2) Ağlarına Entegrasyonu	94
3.8.6. RFID Sisteminin Heterojen Kablosuz Ağlara Entegrasyonu	94
3.8.7. Kablosuz İletişim Altyapısına Entegre Edilmiş Bir RFID Sistem Tasarımı	95

3.9. SİMÜLASYON.....	97
3.10. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	98
3.10.1. Amaç.....	98
3.10.2. Metodoloji.....	98
3.10.3. Kullanılan Araçlar.....	99
3.10.3.1. SimTag Çarpışma Önleme Protokolü Simülatörü.....	99
4. BULGULAR.....	105
4.1. ALOHA PROTOKOLÜ.....	105
4.2. S-ALOHA PROTOKOLÜ.....	108
4.3. DİNAMİK S-ALOHA PROTOKOLÜ.....	110
4.4. DİNAMİK ÇERÇEVELİ S-ALOHA PROTOKOLÜ.....	111
4.5. DİNAMİK ÇERÇEVELİ LENGTH ALOHA PROTOKOLÜ.....	111
4.6. AĞAÇ TABANLI PROTOKOLLER.....	112
4.6.1. NRZ Kodu.....	112
4.6.2. Manchester Kodu.....	113
4.6.3. İkili Arama Algoritması.....	113
4.6.4. Dinamik İkili Arama Algoritması.....	118
4.7. AĞAÇ TABANLI PROTOKOLLERDE SORUNLAR.....	120
4.8. PERFORMANS DEĞERLENDİRME.....	122
4.8.1. Etiket Sayısının Etkisi.....	123
4.8.2. Etiket ID Benzerliğinin Etkisi.....	125
4.8.3. Etiket Hareketinin Etkisi.....	126
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	129
KAYNAKLAR.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	142

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Auto-ID Teknolojileri.....	4
Şekil 2.2	: Basit Bir RFID Sisteminde İletişim.....	5
Şekil 2.3	: RFID Sistem Bileşenleri.....	6
Şekil 2.4	: RFID Sistemi, Sistem Bileşenleri Ve İletişim (Bağlantı) Türleri.....	7
Şekil 2.5	: RFID Etiket Bileşenleri.....	8
Şekil 2.6	: RFID Anten Çeşitleri.....	11
Şekil 2.7	: RFID Okuyucular İçin Anten Konumları.....	11
Şekil 2.8	: Okuyucu Bölümleri.....	12
Şekil 2.9	: RFID Sisteminde Kullanılan Denetleyici Ve Sorgulayıcı.....	13
Şekil 2.10	: RFID Yazıcı Bölümleri.....	14
Şekil 2.11	: Bir RFID Ara Katman Yazılımı İçin Kavramsal Mimari.....	16
Şekil 2.12	: RFID Ara Katman Yazılımı Bileşenleri.....	17
Şekil 2.13	: Radyo Frekans Spektrumu.....	19
Şekil 2.14	: Bir RFID Ağ Mimarisi, Ağ Servisleri Ve Hizmetleri.....	23
Şekil 2.15	: RFID Sisteminde Ağ İlkeleri.....	24
Şekil 2.16	: 96 Bitlik Bir EPC Ve Temel Bileşenleri.....	25
Şekil 2.17	: EPCIS Anahtar Elemanları.....	26
Şekil 2.18	: RFID Sisteminde Ağ Servislerin Çalışması.....	29
Şekil 2.19	: IEEE 802.11 Protokol Yapısı.....	31
Şekil 2.20	: Altyapı Model WLAN Mimarisi.....	32
Şekil 2.21	: WIMAX Kapsama Alanı.....	40
Şekil 2.22	: WIMAX Teknolojisiyle İletişim.....	41
Şekil 2.23	: WIMAX Veri Bağı Ve Fiziksel Katmanı.....	44
Şekil 2.24	: IEEE 802.16 Standardı Protokol Katmanları.....	45
Şekil 2.25	: OSI Katmanları Ve IEEE 802.x Standardı Yapısı	45
Şekil 2.26	: Heterojen Ağ Mimarisi.....	50
Şekil 2.27	: Heterojen Ağ Mimari Modelleri.....	51
Şekil 3.1	: RFID Sistemi Entegrasyonunda Seçim Kriterleri	56
Şekil 3.2	: RFID Sistemi Entegrasyonunda Kullanılabilecek Uygun Frekanslar	59
Şekil 3.3	: RFID Sistemlerinde Veri İşletim Prosedürleri.....	62
Şekil 3.4	: Tam Dupleks, Yarı Dupleks Ve Sıralı Prosedürlerin Zaman Üzerinde Gösterimi	63
Şekil 3.5	: Tam/Yarı Dupleks Ve Sıralı Sistemlerde Etiket Voltajlarının Karşılaştırılması	65
Şekil 3.6	: Dijital İletişim Sistemlerinde Veri Akışı Ve Sinyal İşleme.....	66
Şekil 3.7	: RFID Sistemlerinde Sinyal Kodlama Yöntemleri.....	68
Şekil 3.8	: RFID sisteminde Broadcast İletişim.....	72
Şekil 3.9	: RFID sisteminde Çoklu Erişim.....	72
Şekil 3.10	: Adaptif SDMA: Doğrusal Yayınların Sırayla Farklı Etiketlere Doğrultulması	75
Şekil 3.11	: RFID Sisteminde FDMA.....	76

Şekil 3.12	: TDMA Çarpışma Önleme Prosedürlerinin Sınıflandırılması.....	77
Şekil 3.13	: RFID Sisteminde Çarpışma Önleme Protokolleri	79
Şekil 3.14	: Okuyucu Tarafında Etiket Okuma İşlemi.....	80
Şekil 3.15	: Ağaç Tabanlı Protokollerde Etiket Tanıma İşlemi.....	82
Şekil 3.16	: Etiket Tanıma İşleminde İkili Ağaç Protokolünün İşleyişi.....	84
Şekil 3.17	: Etiket Tanıma İşleminde Sorgu Ağacı Protokolünün İşleyişi.....	86
Şekil 3.18	: RFID - ZigBee Birlikteliği	91
Şekil 3.19	: RFID - WiFi Birlikteliği.....	92
Şekil 3.20	: RFID-WiMAX Birlikteliği	93
Şekil 3.21	: RFID-3GPP/3GPP2 (GSM/GPRS/UMTS) Birlikteliği.....	94
Şekil 3.22	: Kablosuz Ağlara Entegre Edilmiş Bir RFID Sistemi.....	96
Şekil 3.23	: SimTag Ana Menü	99
Şekil 3.24	: Okuyucu Konfigürasyon Bölümü (Temel Mod).....	100
Şekil 3.25	: Etiket Konfigürasyon Bölümü (Temel Mod).....	100
Şekil 3.26	: Genel Konfigürasyon Bölümü (Genişletilmiş Mod).....	101
Şekil 3.27	: Okuyucu Konfigürasyon Bölümü (Genişletilmiş Mod).....	101
Şekil 3.28	: Etiket Konfigürasyon Bölümü (Genişletilmiş Mod).....	102
Şekil 3.29	: Sistemin Çalıştırılması – 1 (Etiket Çarpışma Durumları).....	102
Şekil 3.30	: Sistemin Performans Analizi-1	103
Şekil 3.31	: Sistemin Performans Analizi-2.....	103
Şekil 3.32	: Sistemin Performans Analizi-3.....	104
Şekil 4.1	: ALOHA Prosedüründe Üretilen İş (S) Ve Sunulan Yük (G).....	106
Şekil 4.2	: ALOHA Ve S-ALOHA Prosedürlerinin Karşılaştırılması.....	106
Şekil 4.3	: Etiket Tanıma İşleminde S-ALOHA Protokolünün Çalışması.....	109
Şekil 4.4	: Etiket Tanıma İşleminde Dinamik S-ALOHA Protokolünün Çalışması.....	110
Şekil 4.5	: Manchester Kod ve NRZ Kod Kullanarak Bit Kodlama.....	112
Şekil 4.6	: NRZ Ve Manchester Kodlamada Çarpışma Davranışı.....	113
Şekil 4.7	: REQUEST Komutuna Karşı Etiketlerden Okuyuculara Dönen Seri Numaraları.....	115
Şekil 4.8	: İkili Arama Ağacı.....	117
Şekil 4.9	: Ortalama İterasyon Sayısı İle Etiket Sayısı Arasındaki İlişki.....	118
Şekil 4.10	: 4 Bit Seri No Tanındığında Okuyucu Komutu ve Etiket Cevabı.....	118
Şekil 4.11	: Dinamik İkili Arama Protokolünde Etiket Tanıma İşlemi.....	119
Şekil 4.12	: İkili Ağaç Protokolünde Çarpışma Durumu.....	121
Şekil 4.13	: Sorgu Ağacı Protokolünde Çarpışma Durumu.....	121
Şekil 4.14	: Etiket Çarpışma Sayısı.....	124
Şekil 4.15	: Boş Çevrim Sayısı.....	124
Şekil 4.16	: Okunabilir Çevrim Sayısı.....	124
Şekil 4.17	: İletilen Bit Sayısı.....	124
Şekil 4.18	: Etiket Çarpışma Sayısı.....	125
Şekil 4.19	: Boş Çevrim Sayısı.....	126
Şekil 4.20	: Okunabilir Çevrim Sayısı.....	126
Şekil 4.21	: İletilen Bit Sayısı.....	126
Şekil 4.22	: Etiket Çarpışma Sayısı.....	127
Şekil 4.23	: Boş Çevrim Sayısı.....	127
Şekil 4.24	: Okunabilir Çevrimi Sayısı.....	128
Şekil 4.25	: İletilen Bit Sayısı.....	128

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 : IEEE 802.11 Standartlarının Fiziksel Katman Özelliklerinin Karşılaştırması.....	37
Tablo 2.2 : IEEE Tarafından Belirlenmiş WIMAX Standartları.....	44
Tablo 3.1 : Temel Auto-Id Teknolojilerini Karşılaştırılması.....	58
Tablo 4.1 : Okuyucu Sorgu Alanında Bulunan Bütün Etiketlerin Okunabilmesi İçin Harcanan Ortalama Zaman.....	107
Tablo 4.2 : S-ALOHA Protokolü İçin Komut Setleri.....	109
Tablo 4.3 : İkili Arama Algoritması İçin Etiket Komutları.....	114
Tablo 4.4 : Kullanılan Etiketlerin Seri Numaraları.....	114
Tablo 4.5 : Okuyucuya Gelen Verinin Değerlendirilmesi.....	115
Tablo 4.6 : İkili Arama Ağacında Adres Parametresini Oluşturmak İçin Genel Kural.....	116
Tablo 4.7 : Tarama Menzilineki Olası Seri Numaraları.....	116
Tablo 4.8 : Simülasyon Ortamı.....	123

KISALTMALAR

Ad-Hoc	: For this purpose
AES	: Advanced Encryption Standard
ALE	: Application Level Event
AP	: Access Point
API	: Application Programming Interface
ASC	: Allocated-Slot Counter
Auto-ID	: Automatic Identification
BAC	: Basic Access Component
BAN	: Basic Access Network
BSI	: Base Station Interface
BS	: Base Station
BSS	: Basic Service Set
CB RADIO	: Citizens' Band Radio
CCK	: Complementary Code Keying
CCN	: Common Core Network
CDMA	: Code Division Multiple Access
CN	: Communication Node
CRM	: Customer Relationship Management
CTS	: Clear-to-Send
DBP	: Differential Bi-Phase
DCF	: Distributed Coordination Function
DS	: Discovery Service
DSSS	: Direct-Sequence Spread Spectrum
EAS	: Electronic Article Surveillance
EDGE	: Enhanced Data rates for Global Evolution
ETSI	: European Telecommunications Standard Institute
EPC	: Electronic Product Code
EPCIS	: EPC Information Service
ERP	: Enterprise Resource Planning
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
FDX	: Full Duplex
FHSS	: Frequency-Hopping Spread Spectrum
FPGA	: Field Programmable Gate Array
GPRS	: General Packet Radio Service
HDX	: Half Duplex
HF	: High Frequency
IBSS	: Independent Basic Service Set-IBSS
ISM	: Industrial, Scientific and Medical
LF	: Low Frequency
LLC	: Logical Link Control
LOS	: Line Of Sight

LOC	: Locator
LRM	: Local Resource Manager
MAC	: Media Access Control
MIMO	: Multiple-Input and Multiple-Output
MM	: Mobility Manager
MUT	: Multi-Service User Terminal
NI	: Network Interface
NLOS	: Non Line Of Sight
NRZ	: Non-Return-to-Zero
NS	: Network Selector
ONS	: Object Naming Service
OFDM	: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PBCC	: Packet Binary Convolutional Coding
PC	:
PCF	: Point Coordination Function
PDU	: Protocol Data Unit
PHY	: Physical
PPC	: Pulse-Pause Coding
PSC	: Progressed-Slot Counter
QoS	: Quality of Service
R	: Read only
RAN	: Radio Access Network
RF	: Radio Frequency
RFID	: Radio Frequency Identification
RTS	: Request-to-Send
RW	: Read Write
SCM	: Supply Chain Management
SDMA	: Spatial Division Multiple Access
SEQ	: Sequential
SOFDM	: Single user OFDM
STA	: Station
TDMA	: Time Division Multiple Access
UHF	: Ultra High frequency
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
U-NII	: Unlicensed National Information Infrastructure
WMS	: Warehouse Management Systems
WCDMA	: Wideband Code Division Multiple Access

ÖZET

RFID SİSTEMLERİNİN KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİNE ENTEGRASYONU

Veri haberleşmesinde ve bilişim teknolojilerinde yaşanan sürekli yenilikler, sistemlerin ve sistemleri yönetmekte kullanılan tekniklerin sürekli biçimde gelişmesine yol açmaktadır. Günümüzün hızla değişen rekabet ortamında, firmaların, kurumların zaman ve kaynaklardan daha fazla yararlanabilmeleri için ürünlerini, hizmetlerini, iletişim tekniklerini, iş yapma yöntemlerini sürekli olarak değiştirmeleri, farklılaştırmaları ve yenilemeleri gerekmektedir. Bu nedenle, otomatik nesne tanımlama, veri toplama ve yönetim teknolojileri işletmelerin ya da kurumların uygulamalarını geliştirmelerinde, iş süreçlerini planlamalarında ve yönetmelerinde her zaman bir ihtiyaç olmuştur. Yeniliklere ve ihtiyaçlara temel oluşturan teknolojilerden biri de kablosuz ağlara entegre çalışan RFID sistemleridir.

RFID sistem tasarımlarında insan etkisi olmaksızın, dinamik bir bilginin oluşturulması, toplanması ve yönetilmesi amacı güdülmektedir. Bu nedenle, herhangi bir sınırlama getirmeksizin, daha geniş coğrafi alanlarda dinamik nesne bilgisine anında erişilebilmek, farklı nesnelere ulaşabilmek, bunları takip edebilmek ve nesnelere ait verileri ilgili birimlere yönlendirebilmek için çok daha hızlı, etkin, güvenli, geniş kapasiteli, daha az maliyetli yeni haberleşme ve iletişim teknolojileri kullanmak, çağımızın bir gereksinimi olmuştur. Dolayısıyla, nesnelere ait verilerin otomatik olarak tanımlanmasında ve takibinde, veri yönetim ve analiz sistemlerinde RFID'nin kablosuz iletişim teknolojilerine entegrasyonu GSM'de yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına da vesile olabilir.

Bu çalışmada, çok geniş coğrafi alanlarda firmaların ya da kurumların iş süreçlerinde kullanabilecekleri ve yönetebilecekleri kablosuz ağlarla entegre çalışan RFID tabanlı sistemler sunulmuştur. Çalışmanın birinci kısmında RFID teknolojisi, temel RFID sistem bileşenleri, RFID sistemlerinde kullanılan standartlar ve frekanslar, RFID ağı ve ağ servisleri, ağ içerisinde nesnelere ait verilerin yönetilmesinde farklı yazılım ve donanım gereksinimleri genel olarak incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise kablosuz genişband iletişim teknolojilerine RFID sistemlerinin entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. RFID sistemlerinin farklı yapıda kablosuz iletişim teknolojileri ile birlikte nasıl kullanılacağı üzerine alternatif ağlar ve sistemler tasarlanarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra, RFID sistem entegrasyonu için gerekli seçim kriterleri, temel işletim prensipleri, çoklu erişim prosedürleri, kodlama ve modülasyon teknikleri incelenmiştir. Tasarlanan alternatif ağlar üzerinde RFID entegrasyonunun işlevselliğini ve performansını önemli ölçüde etkileyen çarpışma önleme protokollerinin ağ üzerindeki etkileri değerlendirilmiş analizleri uygulamalı olarak yapılmıştır.

SUMMARY

INTEGRATION OF RFID SYSTEMS OVER WIRELESS COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Continuous innovations in data communication and information technologies have continuously triggered development of systems and techniques which are used to manage systems. In today's competition environment which is rapidly changing, companies and organizations need to renew their services, products and communication technics, change and replace their working methods with new ones continuously to benefit more from time and sources. Therefore, automatic object identification, data gathering and data management technologies are always needed by companies or organizations to develop applications, plan and manage working processes. One of the technologies which underlies innovations and requirements is RFID systems over wireless networks.

In RFID system designs, it is aimed to build, collect and manage dynamic information without any human contribution. So, it becomes a necessity to use faster, more efficient, more secure, wide capacited new communication technologies in order to access the dynamic object information in larger geographical areas without any limitations, access different objects, track these objects and route the information about objects to related units. Consequently, while identifying objects and gathering information about objects automatically in data management and analysis systems, usage of RFID with wireless communication technologies or the integration between them can be an opportunity for building new technologies in GSM.

In this study, the RFID systems over wireless networks which can be used and managed by companies and organizations in large geographical areas are presented. In the first section, RFID technologies, basic RFID system components, standarts and frequencies used in RFID systems, RFID network and network services, different software and hardware requirements to manage objects in RFID network and network services are explained.

In the second section, the integration of RFID into high bandwidth wireless communication technologies is practiced. Experimental studies are done to find out how RFID systems can work together with different wireless communication technologies by designing alternative networks and systems. Subsequently, selection criterions, operating principles, multi access procedures, coding and modulation techniques required for RFID system integration are given. The functionality of RFID integration in designed alternative networks and the effect of collision avoidance protocols in this network are evaluated and practiced.

1. GİRİŞ

Son yıllarda otomatik tanıma prosedürleri (Auto-ID) birçok hizmet endüstrisinde, satın alma ve dağıtım lojistiklerinde, endüstri, üretim şirketleri ve malzeme akışı sistemlerinde çok rağbet görmektedir. Otomatik tanıma prosedürlerinin var oluş amacı hareket halindeki nesnelere hakkında dinamik, hızlı ve güvenli bilgi sunmaktır. Uzun bir zaman önce tanıma sistemlerinde bir devrimi tetikleyen ve her yerde kullanılan bar kod sistemlerinin, sayısı gittikçe artan durumlar için artık yetersiz kaldığı görülmektedir. Bar kodlar son derece ucuz olabilir fakat engel teşkil eden yönü, düşük bellek kapasitesine sahip olması ve tekrar programlanabilir nitelikte olmamasıdır.

Teknik açıdan en uygun çözüm, verilerin silikon çipte saklanması olacaktır. Elektronik veri taşıma aygıtlarının günlük hayatta en yaygın kullanılan şekli, bir temas alanını temel alan akıllı kartlardır (akıllı telefon kartları, banka kartları). Fakat akıllı kartlarda kullanılan mekanik temas genellikle kullanışsızdır. Veri taşıma aygıtı ile okuyucusu arasındaki temassız veri transferi çok daha esnek bir kullanım sunar. İdeal durumda, elektronik veri taşıma aygıtını çalıştırmak için ihtiyaç duyulan güç, okuyucudan temassız teknoloji yoluyla da aktarılır. Güç ve veri transferi için kullanılan prosedürler nedeniyle, temassız ID sistemlerine RFID sistemleri adı verilmektedir. RFID kısaltması, radyo frekansla tanıma, yani radyo dalgaları aracılığıyla taşınan bilgi anlamına gelmektedir ve radyo frekanslarını kullanarak üzerindeki bir objenin kimlik bilgisini nümerik bir seri numarası olarak ileten sistemlerin genel adıdır.

RFID, okuyucular ve etiketlerden oluşan otomatik bir tanıma sistemidir. Bir RFID okuyucusu bir nesneyi kendisine iliştilmiş RFID etiketinin kimlik numarasını (ID) okuyarak tanır. Etiket ID'lerini okumak için okuyucu bir sinyal göndererek etiketlere talimatlar verir. Etiket kendi ID'sini okuyucuya iletir ve daha sonra okuyucu bu ID ile nesneyi tanımak için bir harici veri tabanına sorgulama yapar. Okuyucu genellikle, bir radyo frekans modülü (verici ve alıcı), bir kontrol ünitesi ve anten elemanını içerir. Ayrıca birçok okuyucu, alınan veriyi başka bir sisteme (PC, robot kontrol sistemi, vs.)

aktarabilmesi için fazladan bir ara yüzle (RS 232, RS 485, vs.) donatılmıştır. Bir RFID sisteminin veri taşıma aygıtını temsil eden etiket, normalde bir anten elemanı ve elektronik bir mikroçipten oluşur. Genelde kendi voltaj beslemesine (batarya) sahip olmayan etiket, bir okuyucunun sorgulama alanı içinde olmadığı zaman tamamen pasif haldedir. Zaman ayar vurumu ve verinin yanı sıra, etiketi aktif hale getirmek için ihtiyaç duyulan güç de cihaza, anten elemanı (temassız) aracılığıyla sağlanır.

Teknoloji temelli yenilikler firmaların ve kurumların sundukları ürünlerde, hizmetlerde ve süreçlerde önemli değişimlere yol açmaktadır. Yeniliklere temel oluşturan teknolojilerden biri de RFID'dir. RFID, hızla bar kod tabanlı otomatik tanıma mekanizmalarının yerini almaktadır çünkü bir okuyucu ile etiket arasındaki iletişim görüş alanına bağlı okuma zorunluluğuyla sınırlanmaz ve her etiketin (nesnenin) benzersiz bir ID'si olmasına izin verilir. Ayrıca, son yıllarda temassız tanıma, artık geleneksel hiçbir kategoriye oturmayan, bağımsız disiplinler arası bir alan haline gelmiştir. Çok çeşitli alanlardan öğeleri bir araya getirir: Düşük/Yüksek/Ultra Yüksek frekans teknolojileri, elektro manyetik uyumluluk, yarı iletken teknolojisi, veri koruması ve kriptografi, telekomünikasyon, üretim teknolojisi ve ilgili birçok alan.

Bu tez çalışmasında RFID sistemlerinin kablosuz iletişim teknolojilerine entegrasyonu incelenmiştir. Entegre RFID sistemleri için gerekli temel RFID sistem bileşenleri, standartlar ve frekanslar, ağ servisleri, genişband kablosuz iletişim teknolojileri ele alınmıştır. Farklı alternatif kablosuz ağlar tasarlanarak RFID sistem entegrasyonunun performansını ve işlevselliğini etkileyen çeşitli kriterler üzerinde durulmuştur. RFID sistemlerinin günümüz otomatik tanımla teknolojileri, veri yönetim ve analiz sistemlerine göre üstünlükleri açıklanmıştır.

Bölüm 2'de öncelikle RFID teknolojisinin tanımı yapılmış, temel RFID sistem bileşenleri, RFID sistemleri için kullanılan standartlar ve frekanslar, RFID ağı ve ağ servislerinin çalışma prensipleri incelenmiştir.

Bölüm 3'te RFID sistemlerinin farklı yapıda kablosuz iletişim teknolojileri ile birlikte nasıl kullanılabileceği üzerine alternatif ağ ve sistem tasarımları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Kablosuz ağlara RFID sistem entegrasyonu için gerekli seçim kriterleri,

temel işletim prensipleri, çoklu erişim prosedürleri, kodlama ve modülasyon teknikleri incelenmiştir. Laboratuar ortamında tasarlanan gerçek bir ağ üzerinde RFID entegrasyona ait deneysel çalışmanın ayrıntılarına yer verilmiştir.

Bölüm 4'te kablosuz genişband iletişim teknolojilerine entegre RFID sistemlerinde önemli bir kriter olan çarpışma önleme protokolleri simülasyon yardımı ile incelenmiştir. Sistem performansının değerlendirilebilmesi için etiket ID benzerliği, etiket sayısı, etiket hareketliliği, ilave etiket iletişimi, etiket tanıma gecikmesi, okuyucu sayısı, okuyucu sorgulama alanı, her çerçeve için maksimum mesafe, çarpışma sayısı, boş çevrim sayısı gibi veriler göz önüne alınmıştır.

Bölüm 5'te öncelikle RFID sistemlerinin kablosuz iletişim teknolojilerine entegrasyonu sırasında çarpışma önleme protokollerinin sistem performansı ve işlevselliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Daha sonra entegre RFID teknolojisinin günümüz otomatik tanımlama ve veri toplama, yönetim teknolojilerine göre üstünlükleri, faydaları hakkında bilgiler verilmiştir. Başarılı RFID sistem tasarımları geliştirmek ve bu entegre RFID tasarım modellerini uygulamak için yapılması gerekenler açıklanmıştır.

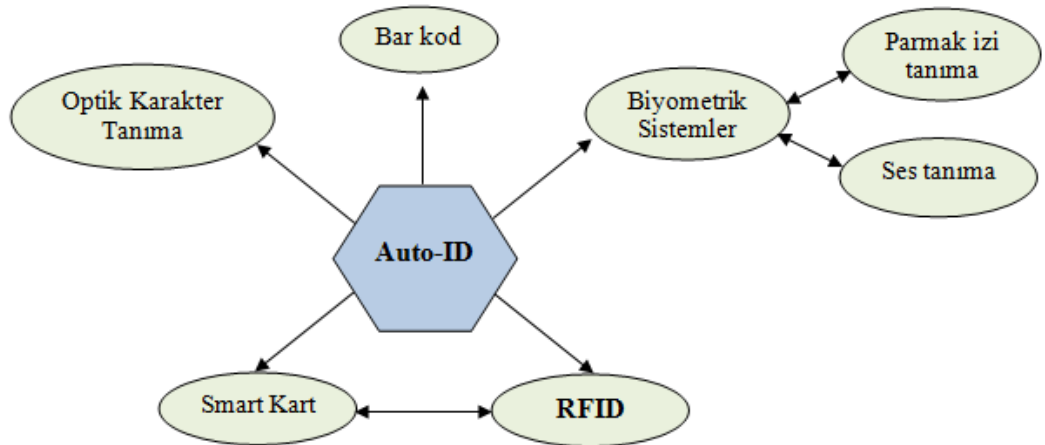
2. GENEL KISIMLAR

RFID sistemlerinin farklı kablosuz iletişim teknolojilerine entegre edilmesiyle birlikte herhangi bir nesnenin otomatik olarak tanımlanması ve izlenmesi, nesneye ait dinamik verilerin oluşturulması, toplanması ve yönetilmesi sağlanabilir. Bu entegre sistemler sayesinde gerçek zamanlı bilgiler oluşturulabilir. Servislerin/hizmetlerin kalitesi (QoS-Quality of Services), dağıtımı, yönetimi, hızı (veri akışı) ve güvenlik artırılabilir.

Bu bölümde RFID sistemleri, RFID sistem bileşenleri ve kablosuz iletişim teknolojileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

2.1. RFID TEKNOLOJİSİ VE RFID SİSTEMİ

RFID (Radio Frequency Identification), nesnelerin gerçek zamanlı tanınmasını ve izlenmesini sağlayan, veri haberleşmesinde kablosuz iletişim (Radyo Frekansı-RF) kullanan bir otomatik nesne tanımlama teknolojisidir. Genel kategori olarak Auto-ID (Automatic Identification) teknolojileri altında gruplandırılır (Şekil 2.1). RFID teknolojisi sayesinde veri girişlerindeki hatalar önlenir. Daha kesin, daha detaylı, daha hızlı ve güvenli bir şekilde veri akışı sağlanır [1].

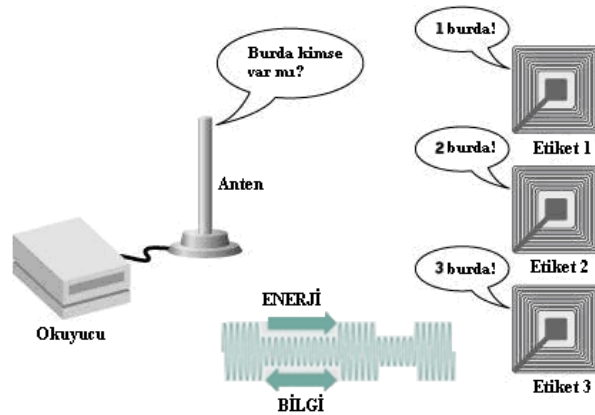


Şekil 2.1 : Auto-ID Teknolojileri

RFID, mimari yapı olarak en fazla mikroçipli kartlar (akıllı kart, smart card) ile benzerlik gösterir. Nesneye ait bilgi (veri), akıllı kart sistemlerinde olduğu gibi, içerisinde mikroişlemci ve anten bulunduran bir elektronik veri taşıma aygıtında (etiket) saklanır. Etiket besleyen güç kaynağı, etiket içerisinde bulunan pille ya da okuyucudan gelen sinyallerle sağlanır. Etiket ile okuyucu ve etiket ile diğer etiketler arasındaki veri alış-verişi, galvanik temas noktaları kullanılmadan, manyetik/elektromanyetik alanlar vasıtasıyla ya da kablosuz iletişim (radyo frekansları) kullanılarak gerçekleşir [1, 2].

RFID sistemi; etiketlerden (aktif/pasif), okuyuculardan (mobil/sabit), denetleyicilerden (pc/sunucu), ağ cihazlarından (kablolu/kablosuz) ve ara katman yazılımlarından oluşan bir yapıdır. Sistemin temel mimarisi, tasarımı, bileşenleri ve çalışma şekli elektrik-elektronik (mikroişlemci mimarisi, lojik tasarım, FPGA), elektronik-haberleşme (radyo, radar, mikrodalga ve anten teknolojisi) ve bilgisayar mühendisliği (nesne takibi, veri yönetimi ve analiz, sistem yönetimi, ara yüz yazılımları) alanlarından alınmıştır.

Basit bir RFID sisteminde veri iletişimi ve enerji transferi okuyucu ile etiket arasında gerçekleşmektedir (Şekil 2.2). Okuyucunun etrafa yaydığı elektromanyetik dalgalar etiket anteni ile buluşur ve etiket içerisindeki mikroçipi aktif hale getirir. Mikroçip de aldığı sinyalleri modüle ederek etiket anteni üzerinden okuyucuya geri gönderir [3].



Şekil 2.2 : Basit Bir RFID Sisteminde İletişim

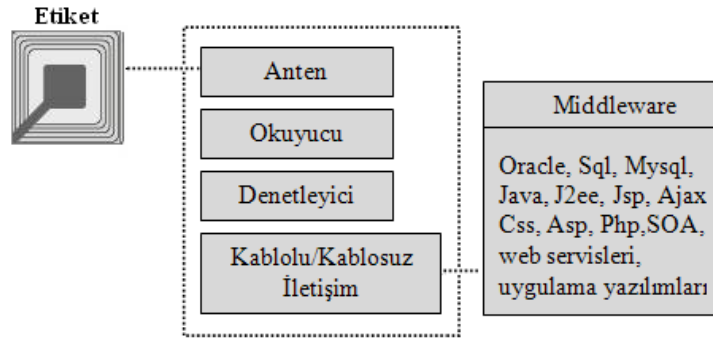
Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, etiketler, okuyucunun sorgulama alanına girdiğinde okuyucu tarafından algılanır. İletişime geçecek etiket kendi kimlik kodunu ve kayıtlı diğer verileri RF (Radio Frequency) sinyaller ile okuyucuya gönderir. Okuyucu da gelen sinyalleri dijital veri haline dönüştürür. Okuyucu tarafında oluşturulan veri, ara

katman yazılımları, denetleyiciler, sorgulayıcılar, sunucular ve ağ cihazları üzerinden sistem içerisindeki ilgili servislere (hizmetlere) aktarılır.

RFID sistemleri mobil ve sabit uygulamalar olarak iki bölümde incelenebilir. Sabit RFID sistemler; RFID okuyucular, RFID antenler (genelde her okuyucu için iki ya da dört antene ihtiyaç duyulmaktadır), ana bilgisayar (sunucu), yazılım, ışık ve sensör gibi yan birimlerden oluşur. Bu sabit sistemlere RFID kapıları da denilmektedir. RFID kapılar, bir kapıyı andıran RF alanı içerisinde geçen etiketli nesnelerin kimlik bilgilerini alır ve ilgili hizmet birimlerine (bilgisayar, ağ sistemi) aktarırlar. Mobil RFID sistemler okuma/yazma mesafesi ve güç bakımından sabit sistemlere oranla daha sınırlı olmasına rağmen, farklı noktalarda veri toplama/işleme özelliğine sahip olmalarından dolayı uygulama ve maliyet avantajı sağlamaktadırlar [3, 4].

2.2. RFID SİSTEMİNDE KULLANILAN BİLEŞENLER

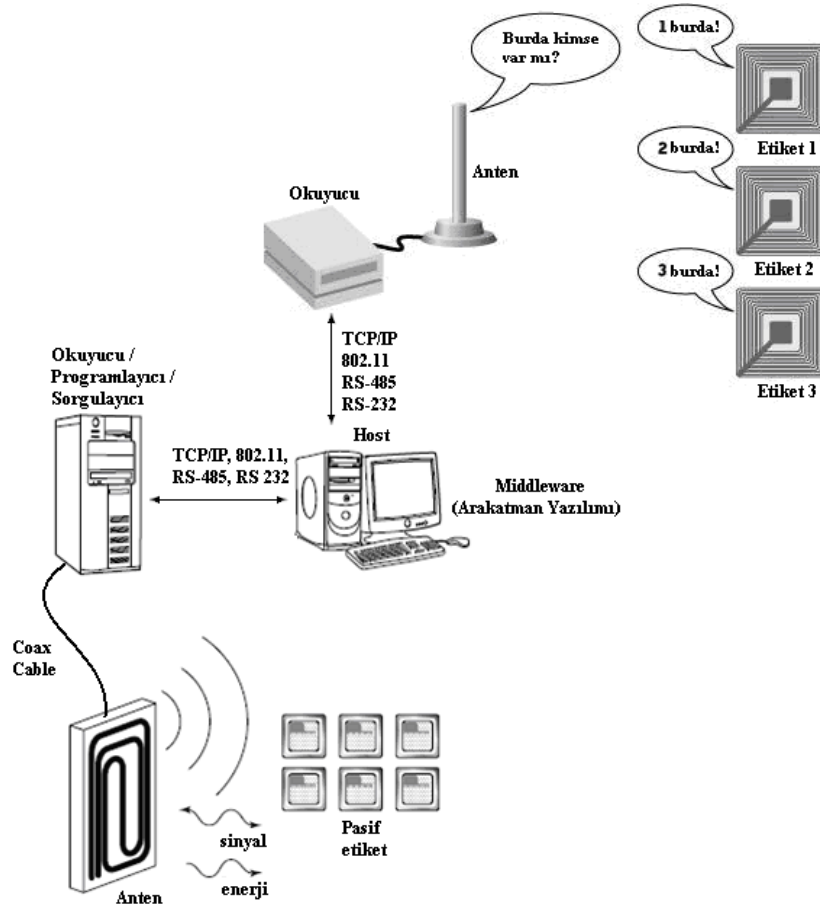
RFID sistemlerinin kurulup yönetilebilmesi için farklı yazılım ve donanım gereksinimlerine ihtiyaç duyulur (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4). Bu ihtiyaçlar; etiketler, okuyucular, denetleyiciler, sorgulayıcılar, RFID sistemi için kullanılacak frekanslar ve standartlar, kablolu/kablosuz iletişim teknolojileri ve RFID sistemini yönetecek olan ara katman yazılımlarıdır.



Şekil 2.3 : RFID Sistem Bileşenleri

RFID sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biri etiketlerdir. En basit anlamıyla etiket, içerisinde anten ve mikroçip olan bir cihazdır. Etiketler kullandıkları güç kaynağına bağlı olarak aktif ve pasif etiketler şeklinde adlandırılırlar. Bunun yanında, günümüzde iki etiket türünün bazı özelliklerini içeren yarı-pasif etiketler de kullanılmaktadır. Bir diğer önemli sistem bileşeni okuyucu ise etiketleri dış dünyaya bağlamaktadır. Okuyucu

ile okunabilir/yazılabilir etiketler arasında çift yönlü veri iletişimi söz konusudur. Tüm okuyucularda okumayı gerçekleştiren bir bölüm ve anten bulunmaktadır. Anten sinyali alır/gönderirken okuyucu sinyali oluşturur ve etiketler tarafından gönderilen sinyali çözer. Okuyucular sabit ve mobil (taşınabilir) olmak üzere iki türde olmasına rağmen iki okuyucu türü de aynı temel bileşenleri içermektedir [4, 5].



Şekil 2.4 : RFID Sistemi, Sistem Bileşenleri Ve İletişim (Bağlantı) Türleri

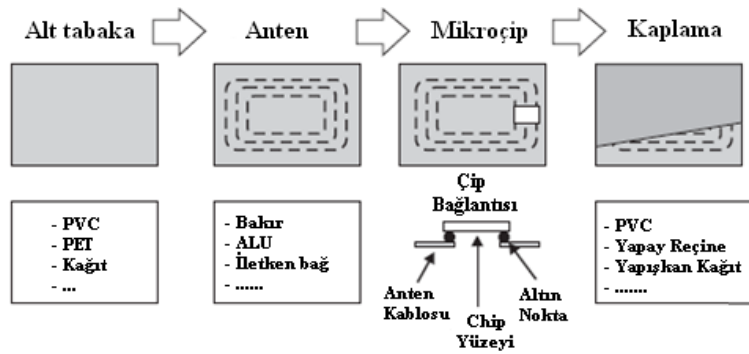
RFID sistemlerinin çalışabilmesi ve yönetilebilmesi için farklı ara katman yazılımlarına ihtiyaç duyulur. Ara katman yazılımları, firmaların/kurumların değişen ihtiyaçlarına uygun olarak entegratör firmalar tarafından çoğu kez o firmalara ya da kurumlara özel olarak geliştirilir. Ancak, bu yazılımlar ile firmaların kullandığı yazılım sistemlerinin birlikte ve gerçek zamanlı çalışması gerekir. Dolayısıyla, firma personeli alışkın olduğu şekilde veri alabilecek, raporlara ulaşabilecek ve her işlem için farklı bir yazılım çalıştırmak zorunda kalmayacaktır. Bu nedenle, RFID sistemlerinin entegrasyonunda verilerin güvenli ve hızlı bir şekilde, gerçek zamanlı olarak doğru yerlere iletilmesini sağlayacak güçlü ara katman yazılımları geliştirilmelidir [2-4].

2.2.1. RFID Etiketler

RFID etiketler, ürün hakkında bilginin depolanmış olduğu bir mikroçip, bir anten ve bunların üzerini kaplayan koruyucu film tabakasından oluşan cihazlardır (Şekil 2.5). Birçok şekil ve boyuta sahip olabilirler. Elektronik veri taşıyıcıları olarak kullanılırlar. Buldukları değişik noktalarda farklı bilgilerin yazılıp okunmasını sağlarlar. Bir nesnenin seri numarasından nesne geçmişine kadar çok çeşitli bilgileri taşıyabilirler. RF etiketler, kullandıkları hafıza yapılarına, mikroişlemci mimarilerine, okuma aralıklarına ve okuma/yazma kapasitelerine göre farklılıklar göstermektedir.

RF etiketler, enerji kaynağına göre aktif (pilli), pasif ve yarı pasif olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Aktif etiketler, haberleşmek ve işlem yapabilmek için kendilerine fiziksel olarak entegre edilmiş bir enerji kaynağından yararlanır. Pasif etiketler, çip için gerekli olan enerjiyi haberleşme alanına girdikleri okuyucudan sağlamaktadır ve bu nedenle okuyucular ile aralarında belirli bir mesafe (4-5 m gibi) bulunmak zorundadır. Yarı pasif etiketlerde ise, çipi çalıştıracak batarya üzerlerinde mevcut olup daha düşük sinyal seviyelerinde (100m'ye kadar) çalışabilmektedir [1, 5].

RFID etiketlerine bilgi yazılması ve bu bilgilerin gerektiğinde okunması radyo dalgaları ile yapılır. En yaygın olarak kullanılan pasif etiketler RFID okuyucu tarafından yayılan enerji ile aktive olurlar ve üzerlerindeki bilgiyi okuyucuya gönderirler. RFID okuyucular etiketlerden topladıkları bilgileri direkt olarak ya da network üzerinden, bu bilgiyi işleyecek olan bilgisayar/yazılım sistemine iletirler. Gelen bu bilgi, aynı barkod sistemlerinde olduğu gibi kullanıcının istediği işlemlere uygun olarak işlenerek kullanılır ve depolanır.



Şekil 2.5 : RFID Etiket Bileşenleri

RFID içerisindeki mikroçip 64 bit'ten 2 KB'a kadar veri depolama özelliğine sahip olabilir; bu da üzerinde bulunduğu ürünün üretim-sevk tarihi, sipariş numarası, müşteri bilgileri, seri numarası gibi önemli bilgileri kolayca taşıyabileceği anlamına gelir. Bazı RFID etiketler gözle okunabilen bilgiler barındırır ve çoğu zaman bar kod baskısı da içeren kâğıt etiketlerdir. Bu tür RFID etiketler akıllı etiket olarak da adlandırılır.

RFID etiketler, okuyucu tarafından görünmeden ve okuyucuya uzak mesafelerden okunabilir. Etiket üzerindeki bilgi istenildiği zaman RFID okuyucu ile sınırsız kez değiştirilebilir. Aynı anda birçok etiket okunabilir (300 ad/sn). Etiketler ortam koşullarından etkilenmeden çalışır ve uzun ömürlüdür.

RFID uygulamalarında en önemli detaylardan biri doğru etiketin seçimidir. Çalışma ortam koşulları, etiketlenecek ürünlerin yerleşimi, malzemenin hammaddesi, hedeflenen okuma mesafesi gibi faktörler etiket seçimini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca üzerine baskı yapılabilecek etiketler, geniş hafıza kapasitesi, zorlu şartlara ve sıcaklıklara dayanıklılık gibi ilave özelliklerin de aranması durumunda RFID sisteminde özel etiket seçimi yapılması gerekebilir. RFID etiket üreticileri, birçok farklı tasarım ve özelliğe sahip etiketleri bu sebeplerle tasarlamaktadırlar [5].

Herhangi bir RFID etiketinin özelliklerini belirleyen üç temel kriter bulunur. Bunlar: etiketin enerji kaynağı, bilgiyi depolama şekli ve çalıştığı frekans aralığıdır. Bu temel kriterler aşağıda kısaca açıklanmıştır:

- Etiketler enerji kaynaklarına göre aktif etiket ve pasif etiket olarak adlandırılır. Aktif etiketler enerjisini içerisindeki pilden alırken pasif etiketler bu enerjiyi okuyucu tarafından gönderilen radyo dalgalarından elde eder.
- Bilgi depolama şekillerine göre etiketler; “read-only tag (R)” ve “read-write tag (RW)” olarak sınıflandırılır. “R” etiketlerin üzerine bilgi, etiketin üretim aşamasında yazılır ve daha sonra kullanıcı tarafından değiştirilemez. “RW” etiketlerin üzerine kullanıcı tarafından bilgi yazılabilir ve değiştirilebilir [1, 5].
- Çalışma frekanslarına göre etiketler; düşük frekanslı etiketler (Low Frequency-LF), yüksek frekanslı etiketler (High Frequency-HF) ve çok yüksek frekanslı etiketler (Ultra High Frequency-UHF) olarak sınıflandırılır. Düşük frekanslı

etiketler 125 KHz frekansında, yüksek frekanslı etiketler 13.56 MHz frekansında, çok yüksek frekanslı etiketler ise kullanıldığı ülkeye göre 860-930 MHz frekans aralığında çalışır [1, 5].

2.2.2. RFID Anten

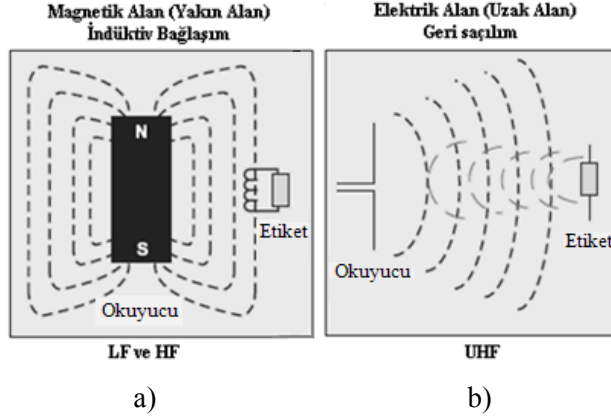
RFID antenler, elektromanyetik dalgaları bir sistemden alıp çevreye veren ya da çevresindeki elektromanyetik dalgalardan aldığı işaretlerle bir sistemi besleyen, kablosuz haberleşme performansını artırmak için kullanılan cihazlardır. Anten çift yönlü bir dönüştürücüdür ve uygulamalarda hem alıcı hem de verici olarak çalışabilir.

Anten, okuyucunun etiket ile haberleşmesini sağlayan donanımdır. Okuyucunun ürettiği enerjiyi dairesel yayınımla daha uzun mesafelere daha eşit bir şekilde dağıtır. Birçok durumda etiket okuma menzilleri çok düşük olduğu için anten kullanımı çok önemlidir. Antenlerin konsept olarak basit olması, düşük güçlerde en iyi sinyal alımlarını gerçekleştirmesi ve özel koşullara uyum sağlaması gerekir. Antenler, uygulamaların çalışacağı ortamın özelliklerine, uygulamanın gerektirdiği mesafelere, farklı frekans aralıklarında çalışmalarına, RFID okuyucularla kullanımda en iyi performansı sağlamalarına ve RFID sistem altyapısına bağlı olarak farklı boylarda, şekillerde ve standartlarda tasarlanırlar [6, 8, 9].

Antenler düzlem yayın yapan veya dairesel yayın yapan RFID anten olmak üzere iki çeşittir. Düzlem yayın yapan anten, olası en uzun okuma mesafesinde, maksimum kazanç için tek bir ekseninde yoğunlaşır. Dairesel yayın yapan anten ise okuyucunun ürettiği UHF enerjiyi daha uzun mesafelere eşit bir şekilde dağıtır. Böylece dairesel yönlü yayınımla o çevrede bulunan bütün etiketlerin okunması sağlanır. RFID sistemlerinde kullanılan antenler genellikle ETSI (European Telecommunications Standard Institute) EN 302 208 standardında olan ve okuyucu ile iyi bir performans sağlayan 865-868 MHz frekans aralığı için optimize edilen UHF dairesel yayınımla yapan antenlerdir [7-9].

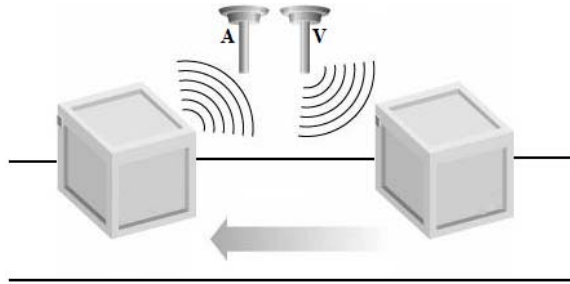
Bazı okuyucular sadece kendi içlerinde tümleşik olarak paketlenmiş halde 1 ya da 2 anten içerir (Şekil 2.6.a); bazıları kendilerine harici olarak bağlı anten(ler) bulundurur. Bazıları ise uzak konumlarda bulunan pek çok anteni yönetebilecek şekilde

tasarlanmıştır (Şekil 2.6.b). Bir okuyucunun kontrol edebileceği anten sayısındaki temel sınırlamalar, okuyucudaki alıcı verici kablo bağlantıları ve sinyal kayıplarıdır. Bu nedenle, okuyucuların yönetebileceği antenlerin yerleştirileceği mesafeler okuyucuların, RFID sisteminin ve sistemde kullanılan diğer cihazların özelliklerine bağlıdır [10].



Şekil 2.6 : RFID Anten Çeşitleri

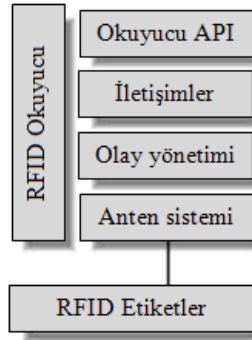
Bazı okuyucular eş zamanlı, çift yönlü veri transferi yapabilmek için 2 anten bulundurur. Bu konfigürasyon türünde, okuyucu alanları içerisindeki etiketin hareket yönü çok önemlidir. Eğer yayın yapan anten alıcı antenden ileride ise, alıcı anten etiketten sinyal almak için daha uzun zamana gerek duyacaktır. Eğer antenler ters çevrilirse (yerleri değiştirilirse), etiket enerji sağlamak için daha az zaman harcayacak ve alıcı antenin yayın sınırları içinde olacaktır. Şekil 2.7, ilk önce verici antenden (V), daha sonra alıcı antenden (A) geçen etiketlenmiş kutuları ve bir bantlı taşıyıcı sistemini göstermektedir. Ok, bantın hareket yönünü belirtir. Her bir kutudaki etiket V antenini geçtikçe enerji kazanmış olur ve cevap için radyo yayını başlatır. A anteni banttan daha ileride olduğundan, eğer 2 antenin yerleri değişmişse, A anteninin cevabı almak için normalden daha uzun bir süresi olacaktır. Bu, etiketin okunabileceği daha iyi bir imkân olduğu anlamına gelir [4, 10].



Şekil 2.7 : RFID Okuyucular İçin Anten Konumları

2.2.3. RFID Okuyucu (Sorgulayıcı)

RFID okuyucular, “sorgulayıcı” olarak da adlandırılır. Nesnelere üzerine yerleştirilmiş RFID etiketlerini tanımak ve izlemek için kullanılır. RFID Okuyucu, bir ya da daha fazla anten aracılığı ile ortamda bulunan etiketlere RF sinyali (enerji) gönderir. Etiketlere ait antenler bu sinyalleri toplar ve indüksiyon yoluyla elektrik enerjisine çevirir. Elektrik enerjisi etiket antenine bağlı, etiket bilgilerini saklayan mikroçipi beslemek için yeterlidir. Aldığı enerji ile aktif hale geçen mikroçip, morsa koduna benzer bir şekilde anten direncini yükselterek veya düşürerek hafızasındaki bilgileri etiket anteni üzerinden okuyucuya geri gönderir. Bu çalışma şekli, okuyucu ve etiketlerin birbirlerini etkilediği tipik bir yöntemdir. Farklı okuyucular ve etiketler daha farklı yöntemlerde çalışabilir. Şekil 2.8, bir okuyucunun etiketler ile dış dünya arasında nasıl konumlandığını gösterir ve okuyucunun bileşenlerini tanımlar [1-4].



Şekil 2.8 : Okuyucu Bölümleri

Okuyucular RFID sistem yapısına, sistemde kullanılan cihazlara, bilgi toplanacak nesne türlerine ve çevresel koşullara göre farklı özelliklerde olabilir. Genellikle sabit ve mobil olmak üzere iki çeşittir. Sabit okuyucular belirli bölgelere kurulur ve bir sorgulama (kapsama) alanı oluştururlar. Etiketler bu sorgulama alanından geçtiğinde okuyucular ile iletişime geçer. Sabit okuyucular, çevresel etkenlere göre değişkenlik göstermekle birlikte 10 metrelik bir alan içerisinde okuma ve yazma işlemlerini yapabilmektedir. Bu mesafe, geniş bir fabrika kapısından geçen forkliftteki etiketli ürünlerin tamamını aynı anda okumaya yeterli bir mesafedir. Mobil okuyucular, içerisinde RFID modülü bulunduran, faklı kablosuz iletişim standartlarını destekleyen ve uzak mesafelerdeki RFID etiketlerle iletişim kurabilen mobil bilgisayarlardır. Okuma mesafesi 5 m ve üstüdür. Bu mesafe bir çalışanın rafların önünden yürüyerek geçerken cihazı çalıştırıp fabrikada sayım yapmasına yetecek bir mesafedir [5, 9, 10].

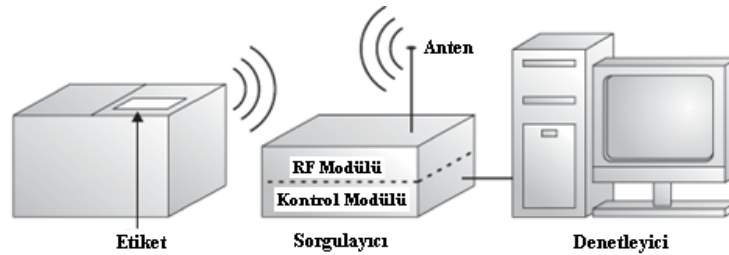
Her RFID okuyucu aynı zamanda bir RFID programlayıcı olarak da çalışır. Ancak yüksek hacimde etiket programlama için yaygın olarak RFID yazıcılar kullanılmaktadır. Bu yazıcılar ortalama olarak saniyede iki etiket programlama kapasitesine sahip oldukları gibi etiket üzerine görsel olarak barkod basabilir, termal veya ribbon yöntemleri ile yazı yazdırabilir.

2.2.4. RFID Denetleyici

Bir denetleyici, üzerinde veritabanı ve uygulama yazılımı çalışan bir bilgisayar, sunucu, workstation, ya da bu tür makinelerin bağlı olduğu bir ağ sistemidir (Şekil 2.9). RFID sisteminin beynidir. Sistem uygulamalarını, servisleri/hizmetleri, veritabanı ve ara katman yazılımlarını kontrol eder. Çoklu sorgulayıcıları, bilgisayarları ve sunucuları ağ içerisinde birbirleriyle haberleştirmek, merkezi olarak bilgileri işlemek, sorgulayıcılar tarafından toplanan bir alandaki verileri yönetmek için kullanılır.

Denetleyici özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Ürün stoğunu tutma ve yeni ürün stoğuna ihtiyaç duyulduğunda tedarikçileri uyarma.
- Sistem boyunca nesnelerin hareketlerini izleme, imkânlar dahilinde bunları düzenli olarak yeniden yönlendirme (bantlı taşıyıcı sistemleri).
- Kimlik denetimi, doğrulama, yetkilendirme (anahtarsız giriş sistemleri) ve hesap oluşturma (POS uygulamaları) işlemlerini gerçekleştirme.



Şekil 2.9 : RFID Sisteminde Kullanılan Denetleyici Ve Sorgulayıcı

Bazı denetleyiciler sorgulayıcı olarak da çalışabilir. Bu tür cihazlar harici bir anten, RFID etiketi ile iletişimden sorumlu bir RFID okuyucu modülü ve denetleyici ile iletişimden sorumlu bir kontrol ünitesi içeren küçük bir bilgisayar olarak düşünülebilir. RFID etiketler ile denetleyiciler arasında köprü görevi görür (Şekil 2.9).

Sorgulayıcı özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- RFID etiketine ait verileri okuma ve gerektiğinde etikete veri yazma,
- Veri bütünlüğünü korumak için veri şifreleme,
- Denetleyiciler arasında veri anahtarlama ve düzenleme,
- RFID etikete güç sağlama (eğer etiket pasif etiket özelliğinde ise),
- Denetleyici-etiket-okuyucu arasındaki iletişimlerde verileri emniyete almak için anti-collision (çakışma) önlemlerini yerine getirme,
- Çok sayıda etiket ile eş zamanlı radyo dalga iletişimini sağlama ve radyo dalga çakışmalarını önleme,
- Sisteme yetkisiz erişimleri ya da sahtekârlıkları önlemek için etiketleri yetkilendirme ve etiket kimlik denetimi yapma.

2.2.5. RFID Yazıcı/Programlayıcı

RFID yazıcı, etiket içerisindeki verilerin okunmasında ve nesneye ait yeni bilgilerin etikete yazılmasında kullanılır. Etiketleri okuma, kodlama ve programlama özelliklerine sahiptir. Etikete yeni veriler yazılırken, yazıcı API (Application Programming Interface) birimi sadece değişen etiket bölümleri hakkında mesajları alır, bunları uygun şekilde kodlar ve etiketin statik verileri (logo ya da şirket adı gibi) ile beraber bu mesajları etiket içerisindeki mikroçipin uygun bölümlerine yazar. Şekil 2.10 bir RFID yazıcıyı oluşturan birimleri göstermektedir.



Şekil 2.10 : RFID Yazıcı Bölümleri

RFID yazıcılar okuyucular gibi sabit veya mobil olabilir. Masaüstü ve mobil bilgisayarlara, sunuculara, denetleyicilere kablolu ya da kablosuz olarak bağlanabilir. Sabit RFID yazıcılar etiketi kodlama (programlama) ve etikete baskı işlemlerinde pratik

kullanımlar sağlar. Mobil RFID yazıcılar ulaşılması zor ve tehlikeli yerlerde bulunan etiketlerin okunmasını kolaylaştırır. Sabit ve mobil yazıcıların dışında, normal barkod yazıcılara yüklenen özel bir program sayesinde kâğıt üzerinde görülen bilgileri RFID etiket içerisindeki mikroçipe yazan ve etiket basan yazıcılar da bulunmaktadır. Bu cihazlar, termal baskı/termal transfer tekniği kullanarak barkod yazabilir ve içerisinde bulunan okuyucu bir başlık sayesinde RFID etiketleri programlayabilir [2, 3].

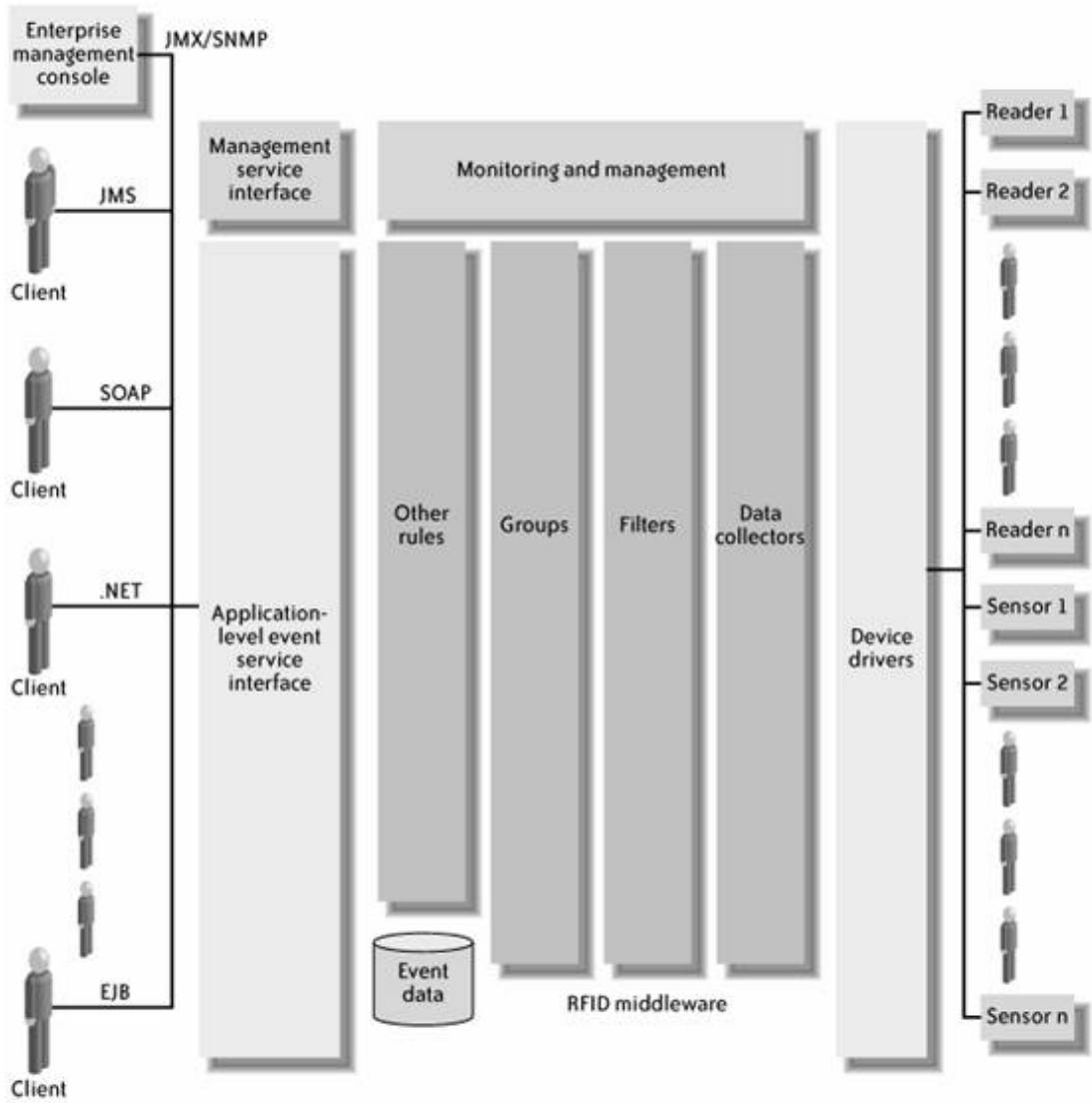
2.2.6. RFID Ara Katman Yazılımı

Ara katman yazılımı RFID sistemi içerisinde bulunan etiketlerden, okuyuculardan, denetleyicilerden, servislerden ve diğer RFID sistemlerinden gelen verileri yönetir. Veri tabanı yönetim sistemleri arasında bilgi akışını kontrol eder. Temel süzme/filtreleme, okuyucu entegrasyonu ve kontrolü, şifreleme, yetkilendirme, veri yönetimi, cihazları konfigüre etme gibi fonksiyonları yerine getirir (Şekil 2.11).

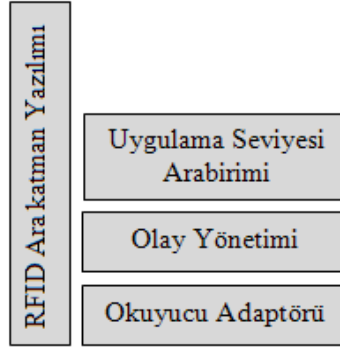
RFID sistemi geliştikçe, sistem içerisinde kullanılan çeşitli cihazlar, servisler ve hizmetler için gelişmiş/geliştirilmiş veri yönetim özellikleri ara katman yazılımına eklenebilir. Veri tabanı yönetim sistemi SQL, MySQL, Oracle, PostgreSQL, Ingres, Informix, DB2 ya da bunlara benzer veritabanları olabilir. Veritabanı yönetim sistemleri ve ara katman yazılımları, uygulamaların özelliklerine bağlı olarak, bir ofisteki tek bir bilgisayar üzerinde çalışabilir; ağ içerisinde farklı bölgelerde bulunan sunucular üzerinde ya da global iletişim sistemleri ile birbirine bağlanmış çoklu sunuculara bağlı anabilgisayarlar üzerinde dağıtık olarak çalışabilir [3, 4, 6].

Ara katman yazılımları RFID sisteminin özelliklerine ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre geliştirilmeli, kısa bir süre içinde kullanıma hazır hale getirilebilecek özellikte olmalıdır. Her firmaya ve her ihtiyaca uygun bir RFID yazılımı geliştirilmesi pratikte ne yazık ki mümkün olmamaktadır. Bunun başlıca sebepleri; her üretici firmanın cihazlarına ait yazılımların ayrı kütüphaneleri desteklemesi ve her kullanıcının ihtiyacının birbirinden farklı olmasıdır [4, 6]. Bu nedenle, RFID sistem gereksinimlerini karşılayabilecek, farklı ticari veya kurumsal yazılım sistemleri ile entegre çalışabilecek, kullanıcı dostu ara katman yazılımları geliştirilmelidir.

Uygun etiketleri ve okuyucuları seçme RFID sistemini oluşturmada bir başlangıçtır. Çünkü, nesnelere tanımlama onları yönetmede ilk adımdır. Tedarik zincirinde geçen işlemler süresince, milyonlarca etiketi okuma ve etiket kodlarını anlamlı bilgilere dönüştürme işlemleri, RFID sistemi içerisinde büyük veri miktarlarını üretir. Ara katman yazılımı, etiketlerin ürettiği bilgilerin akışları ile ilgili olan yolları yönetebilmeli ve gerektiğinde standartlaştırabilmelidir. Fiziksel altyapının (okuyucular, denetleyiciler, ağ cihazları, sensörler ve bunların konfigürasyonları) detaylarının bilinmesini önlemek ve uygulamaları kısaltmak için standart tabanlı, uygulama-seviyeli ara yüzler ara katman yazılımına eklenebilir olmalıdır (Şekil 2.11) [3-5].



Şekil 2.11: Bir RFID Ara Katman Yazılımı İçin Kavramsal Mimari [4].



Şekil 2.12 : RFID Ara Katman Yazılımı Bileşenleri

Şekil 2.11 ve Şekil 2.12, RFID ara katman yazılımlarına ait farklı temel bileşenleri göstermektedir. Ara katman yazılımları nesneye ait verileri toplama, izleme, yönetme, dönüştürme, birleştirme, kümeleme, çözümlenme, filtreleme işlemlerini gerçekleştirir. Okuyucu keşfi, uzaktan ön tedarik hazırlığı, RFID sistemi içerisindeki işlemleri gruplama ve yönetme sağlayabilir. Java, JMX, .NET, SOA, SOAP, ve diğer web servileri gibi standartları kullanarak service-oriented arabirimleri destekleyebilir.

Ara katman yazılımına ait bazı özellikler aşağıda kısaca açıklanmıştır:

- *Okuyucu ve cihaz yönetimi:* Kullanıcılara cihazları konfigüre etme, izleme, konuşlandırma imkânlarının sunulması ve genel arabirimler yoluyla okuyuculara doğrudan komutlar yayımlanmasıdır.
- *Veri yönetimi:* RFID sisteminde kullanılan cihazlardan ya da ağ içerisindeki farklı servislerden (örn: keşif servisleri) gelen verilerin yakalanması, işlenmesi, akıllıca filtrelenmesi ve uygun hedeflere yönlendirilmesidir.
- *Uygulama entegrasyonu:* Veri çözümlenme, mesajlaşma, yönlendirme, tedarik zinciri yönetimi (Supply Chain Management-SCM), şirket kaynak planlama (Enterprise Resource Planning-ERP), ambar (depo) yönetimi (Warehouse Management Systems-WMS), tüketici ilişkileri yönetimi (Customer Relationship Management-CRM) gibi servis ve hizmetlere RFID verisini katmak için gerekli bağlantı özelliklerinin sağlanmasıdır.
- *İş ortağı entegrasyonu:* Ticari ya da kurumsal iş ortakları arasında B2B, C2B, C2C entegrasyonu gibi işbirliği ile oluşturulan çözümlerin sunulmasıdır.
- *Yazılım ara yüzleri:* Ara yüzler etiketlerin doğru okunup okunmadığını belirler. Hata kontrol/denetim yapıları vardır. RFID okuyucularından elde edilen verileri

filtreledikten sonra onları işler. Verileri RFID sistemi içindeki servislere ve ara katman yazılımlarına aktarır. Ara yüz yazılımları işletme içinde daha etkin kararlar alınmasına yardımcı olur.

2.2.7. RFID Verisi

RFID verisi iki kategori altında sınıflandırılabilir:

- *Olay verisi:* RFID etiketli nesnelere hakkında gerçek zamanlı bilgilerin tutulması ve izlenmesi ile ilgilidir. Zamanda belirli bir an ile ilişkilidir. Tedarik zinciri boyunca yer değiştiren RFID etiketli nesnenin nerede olduğu bilgisini tutar. Herhangi bir zamanda herhangi bir yerde herhangi bir nesnenin varlığının incelenmesi ile ilgili bilgiyi oluşturur. RFID etiketli nesneye ait kimlik, yer ve zaman bilgilerini dinamik olarak tutar. Olay verisinin bir örneği: "4:15 p.m. 28 Haziran 2009, EPC X L konumunda gözlemlendi." Şeklinde [4]. RFID'nin yaygın kullanılmasıyla uygulamalar kimlik, yer ve zaman bilgilerine ek olarak, gün geçtikçe sensör gözlemleri daha çok gerektiren bilgiler de içerebilecektir.
- *Ana veri:* Olay verisi olarak toplanmış çekirdek özelliklere ek olarak, iş ortamlarında anlamlı bir şekilde izlenmiş parçalar hakkında koşulsal/ortamsal bilgilere ya da diğer kaynakların sunucularına/servislerine ait bilgilere de sahip olunabilir. Ana veri, olay verisi hakkında kaynak ya da ortamsal bilgiler tutmayı ve doğrulamayı sağlar. EPC (Electronic Product Code) referanslı ürün tanımı, ürün imalatçısı hakkında bilgi, ya da olayın yakalandığı fiziksel konum hakkındaki detaylar gibi farklı bilgi çeşitlerini içerir. RFID ana verisi olay verisi kadar aynı hızda büyüme göstermeyebilir [4].

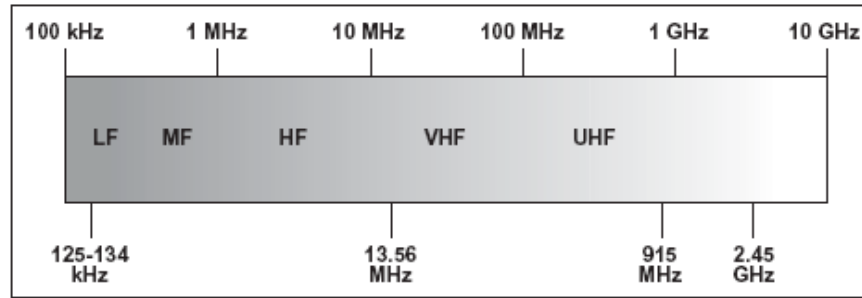
Bir etiket, global bir RFID ağı içerisinde farklı noktalarda, aynı ya da farklı okuyucular tarafından birçok defa okunabilir. Bu şekilde her bir okuma okuyucu tarafında ve dolayısıyla RFID ağında etiket verisi üretir. Sonuç olarak, etiketlerin okunması neticesinde global ağda çok büyük veri miktarları oluşur. Bu verilerin büyük bir kısmı sıkıştırılmış/sıkıştırılmamış veriler, birden fazla ya da tekrarlı okumalardan oluşan veriler, diğer okumalar ile birleştirilmış okumalardan oluşan veriler, firma/kurum mantığı açısından önemli olmayan okumalar sonucu oluşan veriler vb. olabilir. Eğer bu veriler olduğu gibi yakalanmış, taşınmış ve depolanmışsa çoğu depolama/yedekleme

sistemi ve ağ çökme durumuyla karşılaşabilir. Verileri verimli bir şekilde tutmak, veri hacmini/miktarını düzenli planlamak, bilgileri gerçek zamanlı ve dinamik olarak yönetebilmek için veriler sıralanmalı, filtrelenmeli ve işlenmelidir [5-7].

RFID sisteminin ve network altyapısının büyüklüğüne, nesnelere izleme ihtiyacındaki öge boyuna bağlı olarak RFID veri hacmi, farklı birimlerdeki depolama alanlarını ve ağ potansiyel olarak bunaltabilir. Otomatik nesne tanımlama ve izleme sistemlerinde RFID verisinin etkisi, RFID altyapısı kullanarak ne tür veri toplanılacağına, ne kadar sıklıkta veri toplanılacağına, ne kadar veri toplanılacağına ve bu veriler ile neler yapılmasının planlandığına bağlıdır.

2.3. RFID SİSTEMLERİNDE KULLANILAN FREKANSLAR

RFID sistemi için oldukça önemli olan bir nokta da sistemde kullanılan frekanstır. Frekans seçimi RFID sisteminin çeşitli özelliklerini etkiler. RFID uygulamaları temel olarak dört ana frekans bandında çalışmaktadır. Bunlar: düşük frekans (<135 KHz), yüksek frekans (13.56 MHz), ultra yüksek frekans (868 MHz-915MHz) ve mikrodalgadır (2.45 GHz, 5.8 GHz). Şekil 2.13, RFID sistemlerinde veri iletişimi için kullanılan radyo frekans spektrumunu göstermektedir.



Şekil 2.13 : Radyo Frekans Spektrumu

Genel bir kabul olarak, frekansın artmasıyla birlikte etiket algılama ve okuma mesafesinin de arttığı söylenebilir. Bu durumu açıklayan örnekler verecek olursak: 125 KHz bandında çalışan proximity okuyucular yaklaşık 3 cm - 5 cm, 13.56 MHz bandında çalışan okuyucular 5 cm - 1 m, 868 MHz'de çalışan okuyucular 2 m - 10 m okuma mesafelerine sahiptir. Bu okuma mesafeleri, pasif (üzerinde enerji kaynağı bulunmayan) etiketler için verilmiş olup ortalama değerleri yansıtır [1, 5].

RFID uygulamalarında, kullanılacak frekanslara ve mesafelere özgü etiketler seçilmesi daha yararlı olabilir. Örneğin; alçak frekans etiketler daha az güç gereksinimlerine sahip olduğundan metalik olmayan maddelerde kullanılması etkili olabilir. İçerdiği sıvı oranı yüksek olan maddelerde (meyveler gibi) ideal kullanma alanı bulmakla beraber algılama mesafeleri oldukça düşüktür (0,33 m). Yüksek frekans etiketler ise metalden oluşan nesnelere ve daha yüksek sıvı içeren maddeler için kullanılabilir. UHF frekans etiketler ise her iki frekanstan daha uzun ve daha iyi veri transferi yapabilmektedir. Fakat, veri iletişimi için UHF, daha fazla güç ve arada metal engel olmama durumu gerektirir. Bu nedenle, okuyucu ile etiket arasında temiz bir alan olması gerekmektedir [6]. Aşağıda farklı frekanslarda çalışan pasif etiket türlerinin bazı özellikleri verilmiştir.

Düşük Frekans (LF) (<135 KHz) kullanan pasif etiket özellikleri:

- “Sadece okunabilir” veya “okunup yazılabilir” özelliktedir. Büyük boyutludur.
- Okuma mesafesi kısadır. Daha uzun ve pahalı bakır antene sahiptir.
- Metal ve sıvılara bağlı performans kaybı daha düşüktür.
- En önemli dezavantajı düşük veri okuma hızıdır. Bu nedenle, aynı anda birçok nesneye ait etiketin okunması zordur.
- Düşük frekanslarda kullanılan uygulamalara hayvanların izlenmesi örnek verilebilir.

Yüksek Frekans (HF) (13.56 MHz) kullanan pasif etiket özellikleri:

- “Sadece okunabilir”, “okunup yazılabilir” veya “bir kez yazılıp sürekli okunabilir” özelliklere sahip olabilir.
- Düşük frekansta çalışan etiketlere göre daha ucuzdur.
- Düşük frekansa göre daha uzun okuma mesafesi vardır.
- Metal ve sıvılara bağlı performans kaybı daha düşüktür.
- Büyük boyutludur. Yüksek haberleşme hızı sağlar.
- Yüksek frekansta birden fazla etiket okunabilir.
- Yüksek frekansın en önemli avantajı global olarak geçerli olmasıdır.
- En yaygın uygulamalar ulaşırmada kullanılan akıllı kartlardır.

UHF (868 MHz - 915 MHz) kullanan pasif ve aktif etiket özellikleri:

- “Sadece okunabilir”, “okunup yazılabilir” veya “bir kez yazılıp sürekli okunabilir” özelliklere sahip olabilir.
- Temassız akıllı kartlarda kullanım imkânı vardır.
- Metal ve sıvılara bağlı performans kaybı düşüktür.
- Yüksek frekansa göre daha uzun okuma mesafesi vardır.
- Çok yüksek frekansta çalışabilen etiketler dalgaların karışmasına karşı hassastır.
- Büyük boyutludur.
- Bu frekansta çalışan etiketler, ürünlerin üretim aşamasından stoklara devrine kadar hemen hemen her yerde verimli kullanılabilir.

Mikrodalga (2.45GHz, 5.8GHz) kullanan pasif ve aktif etiketler:

- “Sadece okunabilir”, “okunup yazılabilir” veya “bir kez yazılıp sürekli okunabilir” özelliklere sahip olabilir.
- Ultra yüksek frekansa göre daha pahalıdır.
- Metale bağlı performans kaybı daha düşüktür.
- Sıvılara bağlı performans kaybı daha yüksektir.
- UHF etiketlere göre daha uzun okuma mesafesi vardır.
- Yüksek haberleşme hızı imkânı sunar.

2.4. RFID SİSTEMLERİNDE KULLANILAN STANDARTLAR

RFID teknolojileri, her büyüklükteki kuruluş için yenilikçiliği destekleyen ve verimliliği arttıran en güçlü araçlar olma yolunda hızla gelişmektedir. EPC (Electronic Product Code) tanımlanmasında ve nesne takibinde kullanılan RFID teknolojisinin standartlarını küresel boyutta düzenlemek amacıyla, RFID etiketlerinde ve okuyucularında kullanılmak üzere farklı kuruluşlara ait standartlar geliştirilmiştir. Söz konusu standartların dünya genelinde uygulanabilmesi için çeşitli frekans aralıkları belirlenmiştir. Yüksek frekans çözümleri için standardizasyon tamamlanmış olmakla birlikte, ultra yüksek frekans konusunda çalışmalar halen devam etmektedir.

Aşağıda bazı RFID standartları ve organizasyonlar liste halinde sunulmuştur [1-4]:

- ANSI (American National Standards Institute)
 - ANS INCITS 256-2001,
 - ANS INCITS 371(Part 1. 2.4 GHz, Part 2. 433 MHz, Part 3. API)
 - ANS MH10.8.4
- EPCglobal
 - Class 0/Class 1, Class 1 Gen 2, Class 2, Class 3, Class 4, Class 5
- ISO (International Organization for Standardization)
 - ISO JTC1 SC31, ISO JTC1 SC17, ISO TC 104/SC 4
 - ISO 14443 (HF), ISO 15693 (HF), ISO 18000 (UHF)
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
 - ETSI TR 101 445 V1.1.1,
 - ETSI I-ETS 300 440/C1 ed.1, ETSI ETS 300 683 ed.1
 - ETSI EN 301 489, ETSI EN 300 330 V1.2.2

Her ülke kendi frekans planını düzenlemekte olup Türkiye'de de bu görev Telekomünikasyon Kurumu tarafından yürütülmektedir. Türkiye'de, 16 Mart 2007 tarihli ve 26464 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Kısa Mesafe Erişimli Telsiz Cihazlarını (KET) Kurma ve Kullanma Esasları Hakkındaki Yönetmelik" uyarınca, RFID sistemleri AB'ye uyumlu hale getirilmiş ve RFID kullanımının önü açılmıştır.

2.5. RFID AĞI VE AĞ SERVİSLERİ

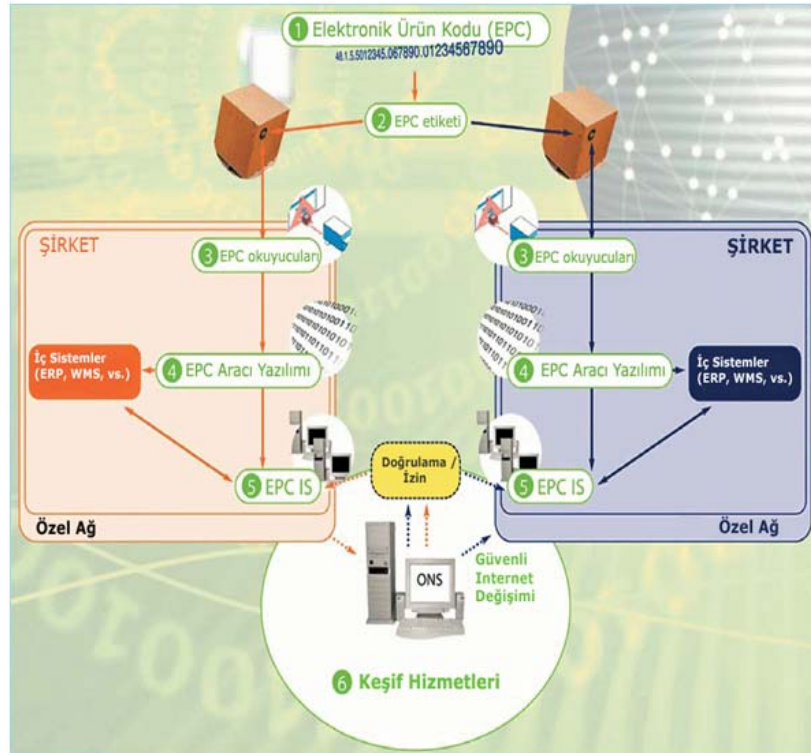
Firmalar ya da kurumlar ticari işlemlerini, ürün hareketlerini, servis ve hizmetlerini kolaylaştırmak için tedarik zincirindeki nesnelere hakkında detaylı bilgilere ve bu bilgileri ticari ortaklarıyla paylaşmaya ihtiyaç duyarlar. İş yapma yöntemleri ve bilgi teknolojileri gelişmeye devam ettikçe, veri iletişim standartları ve yöntemleri de gelişmektedir. Bu nedenle; RFID sistemleri, kablolu/kablosuz ağlar, İnternet ve yazılım teknolojileri birlikte kullanılarak, kullanıcılara nesne hareketiyle ilgili bilgileri gerçek zamanlı olarak sağlamak amacıyla alternatif entegre sistemler tasarlanabilir.

RFID ağı, bir nesnenin tedarik zinciri boyunca otomatik tanımlama ve takibini dinamik olarak sağlamak için RFID teknolojisini, kablolu/kablosuz iletişim ağı altyapısını ve nesne verisini (EPC) birleştiren bir yapıdır. Nesne hareketlerinin gelişmiş etkinlik ve görünürlüğünü sağlayan küresel bir ağ sistemidir. RFID ağının verdiği bazı hizmetler: nesnelere benzersiz kimlikler atama (kimliklendirme), nesnelere ait olayları toplama, nesneleri izleme ve bulma; verileri çözümüleme, filtreleme, depolama ve kuyruklama; EPC bilgisini konumlandırma, ağ için bir referans mimari sağlama olarak sıralanabilir.

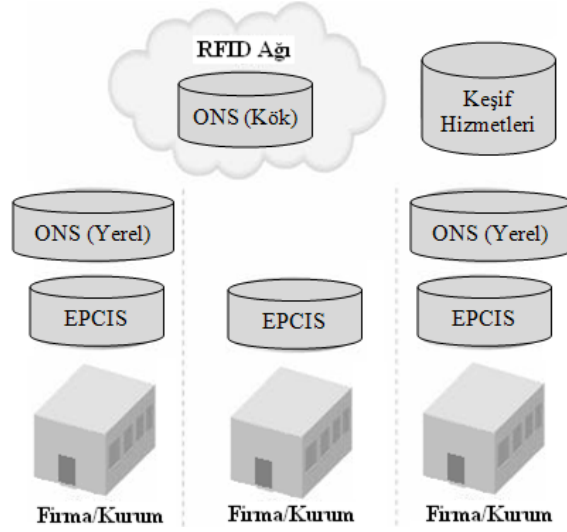
Bir RFID ağı 5 temel bileşenden oluşur. Bunlar:

1. Nesne Verisi: Elektronik Ürün Kodu (EPC)
2. Veri toplama donanımı. Bunlar topluca temel RFID sistemi olarak bilinir.
3. RFID ağı ara katman yazılımı
4. Keşif Servisleri (Discovery Services-DS): ONS (Object Naming Service)
5. EPC Bilgi Servisleri (EPC InformationServices-EPCIS)

✓ RFID Ağı = RFID Sistemi + EPC + Ara katman yazılımı + DS (ONS) + EPCIS



Şekil 2.14: RFID Ağ Mimarisi, Ağ Servisleri Ve Hizmetleri



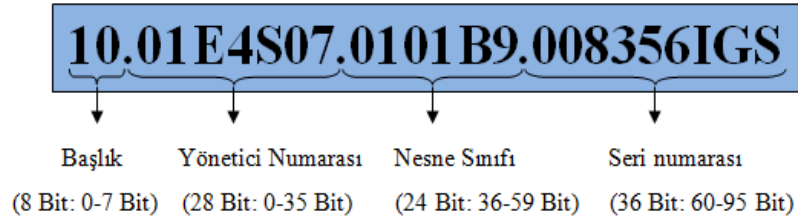
Şekil 2.15 : RFID Sisteminde Ağ İlkeleri

Şekil 2.14 ve Şekil 2.15, farklı RFID ağlarını ifade etmektedir. Şekillerde gösterildiği gibi, RFID okuyucular tedarik zinciri boyunca hareket ettikçe RFID etiketli öğeler üzerindeki gözlemleri yakalar. Bazı temel filtrelemelerden sonra okuyucular bu gözlemleri RFID ara katman yazılımına geçirir. Ara katman yazılımı (olay yöneticisi) okuyuculardan veriyi alır, filtreler ve sonraki uygulamalar için ihtiyaç olduğunda bunları gruplar. Olay yöneticisi filtrelenmiş gözlemlere yer bilgisi de ekler. Şekillerdeki ağlara göre, olay yöneticilerinden filtrelenmiş gözlemler (ya da olaylar), sonrasında yerel EPCIS sunucusuna geçer. EPCIS sonraki kullanımlar için EPC gözlemlerini kayıt eder. Gözlemlenmiş bu veriler işletme uygulamaları tarafından erişebilir ya da ticari ortaklar ile paylaşılabilir. ONS (Object Naming Servers-Nesne Adlandırma Hizmetleri), EPC'ları ve EPC gözlemleri üzerindeki bilgiyi tutan EPCIS sunucular arasında bir harita (adresleme, eşleme) oluşturur. DNS'in IP adresleri üzerinde yaptığı işlemler gibi, ONS genel arama servisi sağlamak için hiyerarşik bir şekilde çalışır [1-5].

Benzer olarak, tedarik zincirindeki diğer ticari ortaklar kendi yerel EPCIS sunucularında EPC gözlemlerini depolayabilirler. EPC sadece varlıkları kimliklendirir. Ürün tipi (bir elektronik öğe için kullanıcı kılavuzu), üretici (şirket profili) vs. hakkında ilave bilgiler EPC'nin bölümleri değildir. Bir uygulama, belirli bir EPC'nin bulunduğu yeri bilmeye ya da bir EPC hakkında ilave bilgiye ihtiyaç duyduğunda, yerel ONS sunucusu sorgulayacaktır. Eğer yerel EPCIS sunucu gerekli bilgiyi sağlayabilirse, ONS kendi yer bilgisiyle (IP adresi ve portu) geri dönecektir. Aksi takdirde ONS, ona bilgi sağlayabilen bir EPCIS sunucusu belirlemek için ONS sunucuların global hiyerarşisini kullanacaktır.

2.5.1. Elektronik Nesne Kodu (EPC)

EPC, bir nesne tanımlama standardıdır ve her bir nesneyi tek tek tanımlayabilmek için geliştirilmiştir. Dünyada nesneye özgü tek bir numaradır. 64-bit, 96-bit, 128-bit, 256-bit, 1K, 2K gibi farklı boyutlarda olan bir standart koddur. Bellek kapasitesi nesne üreticileri, nesne kategorisi ve nesneye ait bilgiler olmak üzere 3'e ayrılmıştır. EPC, bir ön ek-(8 bit), EPC Yönetici Numarası-(28 bit), Nesne Sınıfı-(24 bit) ve Seri Numarası-(36 bit) olmak üzere 4 farklı veri yapısından oluşur. Ön ek, EPC'nin sürüm numarasını ya da kullanılan EPC versiyonunu tanımlar. İkinci kısım, EPC yöneticisini (Firma/Kurum adı ya da domain) yani EPC'nin üzerine iliştiirildiği nesnenin üreticisini belirtir. Nesne sınıfı adı verilen üçüncü kısım ise nesnenin cinsini ya da etiketlenmiş nesnenin sınıf tipini ifade eder. Örneğin; 'Diyet Gazoz 330 ml kutu, Türk sürümü'. Son bölüm ise, nesneye özgü olan ve hangi 330 ml'lik Diyet Gazoz kutusundan bahsedildiğini belirten seri numarasıdır. Bu sayede, örneğin, son kullanma tarihleri yaklaşmakta olan ürünlerin kolaylıkla bulunması sağlanabilir [3,4]. Şekil 2.16, günümüz uygulamalarında en çok kullanılan elektronik ürün kodu 96-bit EPC'yi göstermektedir.



Şekil 2.16 : 96 Bitlik Bir EPC Ve Temel Bileşenleri

2.5.2. RFID Ağı Ara Katman Yazılımı

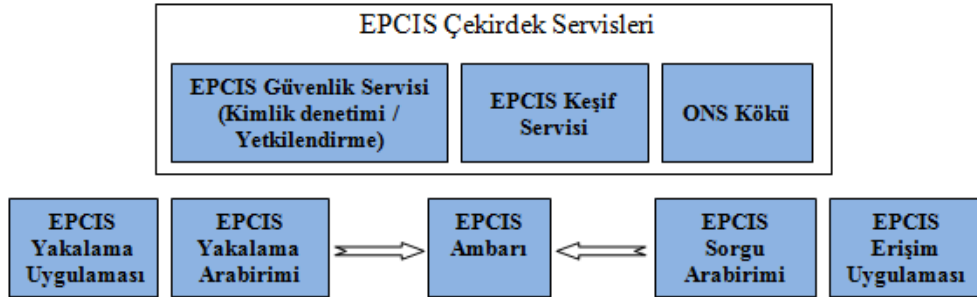
Ağ ara katman yazılımı, ağ içerisinde bulunan bilgi hizmetleri/servisleri (EPCIS), keşif servisleri ve veritabanı yönetim sistemleri arasında iletişim kuran, nesneye ait bilginin hareketinden sorumlu olan ve sisteme özgü uyarılar sağlayan bir yazılımdır. RFID sistemi içinde temel okuma bilgisini yönetir.

Bir etiket tedarik zinciri içerisinde farklı noktalarda aynı ya da farklı okuyucular tarafından birçok defa okunabilir. Bu şekilde her bir okuma okuyucu tarafında ve dolayısıyla RFID ağında etiket verisi üretir. Etiketlerin okunması neticesinde ağda çok büyük miktarda veri oluşur. Bu verilerin büyük bir kısmı sıkıştırılmış olabilir. Çünkü

bunlar tekrarlı okumalardan oluşabilir, diğer okumalar ile birleştirilmiş okumalar olabilir, işletme mantığı açısından önemli olmayan okumalar vs. olabilir. Eğer veriler olduğu gibi depolanmış ya da taşınmışsa, çoğu depolama sistemi ve ağ çökme durumuyla karşılaşır. Bu verilerin gerçek zamanlı olarak yönetilebilmesi için veriler ara katman yazılımları ile sıralanmalı, filtrelenmeli ve işlenmelidir. Sonuç olarak, ara katman yazılımları sayesinde gerçek zamanlı olarak dinamik, etkili ve faydalı veri kullanımı sağlanır, veri hacmi küçültülür ve veri ağ içerisinde seçilerek iletilir.

2.5.3. EPC Bilgi Hizmetleri (EPCIS)

Bilgi hizmetleri, kullanıcıların ticari ortaklarla RFID ağı üzerinden nesnelere ilgili veri (EPC) değişimleri yapmalarını sağlar. Nesneye ait verilerinin paylaşılması ve yakalanması için bir standart ara birim tanımlar. EPCIS, ürünler tedarik zinciri boyunca hareket ettikçe kaydedilmiş verileri alan, nesnelere hakkında yer bilgileri tutan, EPC verisinin semantiğine odaklanan servis arabirimine sahiptir. EPCIS, rekabet edebilmek ve uygulamalar üzerine farklı işlevsellikler eklemek için firmalara/kurumlara esneklik sağlar. Şekil 2.17, EPCIS'in anahtar elemanlarını göstermektedir [3, 4].



Şekil 2.17 : EPCIS Anahtar Elemanları

EPCIS yakalama uygulaması, EPC bilgisini yakalama yerinden aldığı verinin ticari bağlamını anlayan herhangi bir programdır. Bu uygulama, yakalanmış RFID verisine yüksek seviye ticari bağlam sağlayabilir. Şekil 2.17'de gösterildiği gibi, EPCIS yakalama uygulaması, ALE (Application Level Event) teknik özelliklerini gerçekleştirerek RFID ağı ara katman yazılım sisteminden bilgi alır. EPCIS arabirimi, EPC verisinin EPCIS yakalama uygulamaları, EPCIS erişim uygulamaları ve EPCIS olanaklı depolar arasında nasıl değiş tokuş yapıldığına karşı bir teknik özellik sağlar. Bu arabirimdeki olaylar şu şekilde bir örneğe benzer: “1 ambarında, T zamanında, aşağıdaki XXX... durumları YYY... paletine birleşmiş olarak (karışarak) doğrulandı.”

EPCIS erişim uygulaması, EPCIS sunucusuna erişen herhangi bir uygulamadır. Bu uygulama işletme sınırları içerisinde olamayabilir. Genel olarak stok toplama, sıra yönetimi ya da satış sistemi noktası gibi bir takım ticari işlemleri yapmaktan sorumlu bir uygulamadır.

EPCIS olanaklı depo/ambar, bir ya da daha çok EPCIS yakalama uygulaması tarafından üretilen olayları kaydeder, EPCIS erişim uygulamaları kullanarak sonraki sorgular için bu olayları tutar ve kullanılabilir hale getirir. EPCIS, güvenlik ve keşif gibi çekirdek servisler dizisini de tanımlar. Güvenlik servisi EPC bilgisi depolama ve erişimi için kimlik denetimi, şifreleme ve yetkilendirme mekanizmaları sağlar. Keşif servisi ise EPCIS'ların varlığını keşfetme, onları EPC çeşitlerine ve sınıflarına göre haritalama/adresleme için araçlar sağlar.

2.5.4. Keşif Hizmetleri (DS) ve Nesne Adlandırma Servisi (ONS)

Keşif hizmetleri, kullanıcıların belirli bir nesne ile ilgili veriyi bulmalarını ve bu veriye erişim izni istemelerini sağlar. Çok hızlı ve güvenli global veritabanı araması için kullanılan bir hizmet türüdür.

Keşif hizmetlerinin bir parçası olan ONS ise nesne hakkındaki verinin sağlandığı ilgili EPCIS sunucularını bulmak için kullanılan genel bir hizmettir. EPC ile bu EPC hakkında bilgi içeren EPCIS örnekler dizisi arasında haritalama (adresleme/eşleme) mekanizması sağlar. ONS, çok büyük sayılı istekleri (örneğin bir günde milyonlarca istek) güvenilir ve hızlı bir şekilde tutabilmek zorundadır. Nesnelere ait verileri işlemek için uygulamaları gerçek zamanda gerçekleştirmelidir [3, 5].

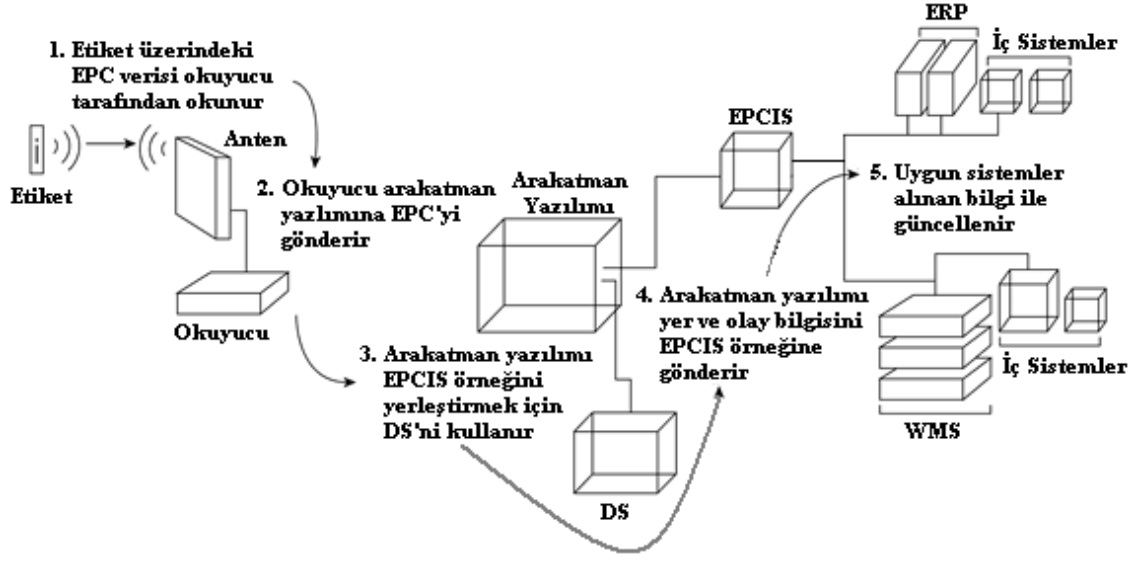
ONS, belirli bir Internet adresi için ortak sunucuları aramada kullanılan DNS servisi ile çok benzerdir. URL'leri EPCIS ile ilişkilendirir. Bir EPC'yi bir ya da daha fazla URL'ye dönüştürmek için global arama hizmeti sağlar. ONS, EPC'leri web siteleri veya bir nesneye ait diğer Internet kaynakları ile ilişkilendirmek için de kullanılabilir. ONS, hem statik hem de dinamik hizmetler sunar. Statik ONS genellikle bir nesnenin üreticisi tarafından korunan bilgi için URL'ler sağlar. Dinamik ONS ise bir nesne tedarik zinciri boyunca hareket ettikçe o nesneden sorumlu olan servislerin/hizmetlerin sırasını kaydeder.

2.5.5. Entegre Bir RFID Sisteminde Ağ Servislerinin Çalışması

EPC, belirli bir nesneyi tanımlayan özel bir numaradır. Bu numara bir paleti, kasayı, insanı, hayvanı, aracı veya herhangi bir nesneyi tanımlamak için kullanılabilir. RFID etiketi, içerisinde mikroçip ve anten bulunduran, radyo frekansı ile çalışan ve nesneye ait EPC verisi taşıyan bir cihazdır. RFID ağı, nesne servis ve hizmetlerini birbirine bağlar. RFID sistemini, var olan kablolu/kablosuz iletişim ağı altyapısını ve EPC'yi birleştiren global bir ağıdır. Ara katman yazılımı ise, EPC etiketlerini, okuyucuları, yerel ağ altyapısını kontrol eden ve yöneten bir yazılımdır. Bu tanımlanan bileşenler ile nesnelere hakkında çeşitli bilgilerin elde edilmesi ve paylaşılması olanağı sağlanır.

Etiket, okuyucular tarafından üretilen sinyallerle ya da radyo frekans alanı içerisinde geçtiğinde aktif edilir, aldığı enerji ile bir sinyal üretir ve içerisindeki programlanmış yanıtı (veriyi) okuyuculara gönderir. Okuyucuya bağlı ve RF alanında sinyal üretmiş anten etiket yanıtını algılar. Okuyucu, antenden aldığı veriyi RFID ağı üzerinden ara katman yazılımına iletir. Ara katman yazılımı, etiketler içerisinde bulunan bilgiyi RFID sistemi içerisinde bu bilgiye ihtiyaç duyan herhangi bir sisteme kablolu/kablosuz ağ üzerinden aktarır.

Şekil 2.18, bir entegre RFID sisteminde ağ servislerinin çalışmasını göstermektedir. Veri elde etmek için, özgün bir EPC tanımlayıcısı taşıyan EPC etiketleri konteyner, araç, palet, kasa, insan, hayvan ve/veya tekil birimlere iliştilir. Nesne hareketi boyunca, geçiş alanlarına stratejik olarak yerleştirilmiş sabit veya mobil RFID okuyucular her bir etiketi geçiş yaparken okur. Okunan veriler (EPC numarası, yer bilgisi, zaman, tarih vb. bilgiler içeren veri) uygun yönetim için kablolu ya da kablosuz ağ üzerinden ara katman yazılımına aktarılır. Keşif servisleri ara katman yazılımına EPCIS örneğinin yer bilgisini sağlar. Ara katman yazılımı işlenmiş veriye yer ve olay bilgisi ekleyerek bunu depolama ve eylem için uygun EPCIS örneklerine nakleder. Bilgi elde edildikten sonra, tedarik zincirindeki izin sahibi ticari ortaklar arasında bilgi paylaşımı için yine Internet ve ağ teknolojileri kullanılarak bir başka RFID ağı oluşturulur. Ağ ara katman yazılımı EPC'yi, EPC etiketlerini, okuyucuları ve yerel altyapıyı kontrol eder, farklı ağlar üzerinden sistemlerin birbirine bağlanmasını ve etkileşimli çalışmasını sağlar.



Şekil 2.18 : RFID Sisteminde Ağ Servislerinin Çalışması

2.6. KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ

Kablosuz ağlar, iki ya da çok yönlü geniş bant veri iletişimi sağlayan, iletim ortamı olarak kablo yerine radyo frekansı (LF/HF/UHF), mikrodalga veya kızılötesi ışınları kullanan, bina veya kampüs gibi sınırlı bir alanda ya da çok geniş coğrafi alanlarda çalışabilen iletişim ve erişim teknolojileridir. Kurulum kolaylığı ve hareket serbestliği gibi önemli avantajlar sağlayan kablosuz iletişim sistemleri kablolu ağların yerini alabilmekte, hatta bu ağlara göre daha fazla fonksiyonlar içerebilmektedir. Kablosuz iletişim teknolojileri iş adamları, yöneticiler, çalışanlar, küçük/büyük işletmeler, orta ölçekli işletmeler, kurumlar ve bireysel kullanıcılar gibi büyük bir kesime internet ve üyesi oldukları kurumsal ağa (Intranet) mobil olarak bağlanma imkanı sağlamaktadır. Ayrıca, bu tür sistemler kullanıcılara mekandan bağımsız olarak kolay bir kablosuz ağ kurulumu ve geniş bant veri iletimi imkanı sunmaktadır. Kablolu ağların tüm özelliklerine sahip olan kablosuz sistemler bu ağların devamı ya da alternatifi olarak kullanılmaktadır [11, 12].

Kablosuz İletişim Teknolojilerinin Avantajları

- *Esneklik:* Kablosuz iletişim radyo dalgaları aracılığı ile sağlandığı için kablosuz ağ araçları kullanan kişilerin sabit bir yere bağlı kalma zorunluluğu yoktur. Bu, insanlara büyük ölçüde özgürlük sağlamakta ve verimliliği arttırmaktadır.

- *Kolay Kurulum:* Kolay kurulumun da kendi içinde iki faydası vardır:
 - *Zaman:* Radyo dalgaları ile iletişim yapılmasından dolayı, kablolu bir ağ tasarlanmasından önce gerekli olan kablolama planı ve kablolama işlemi için harcanan zamandan kazanılır.
 - *Maliyet:* Yukarıda belirtildiği gibi kablolama yapılmadığı için kablo maliyeti ağ kurulumunda yer almamaktadır.
- *Sağlamlık:* Kablolu ağlarda kablolara gelebilecek zararlardan dolayı ağ yapısı ciddi şekilde etkilenebilir. Örneğin bir felakette kablolar kopabilir ya da dış etmenlerden dolayı kullanılmaz hale gelebilir. Fakat telsiz yapılarda bu tip problemlerle karşılaşılmaz.

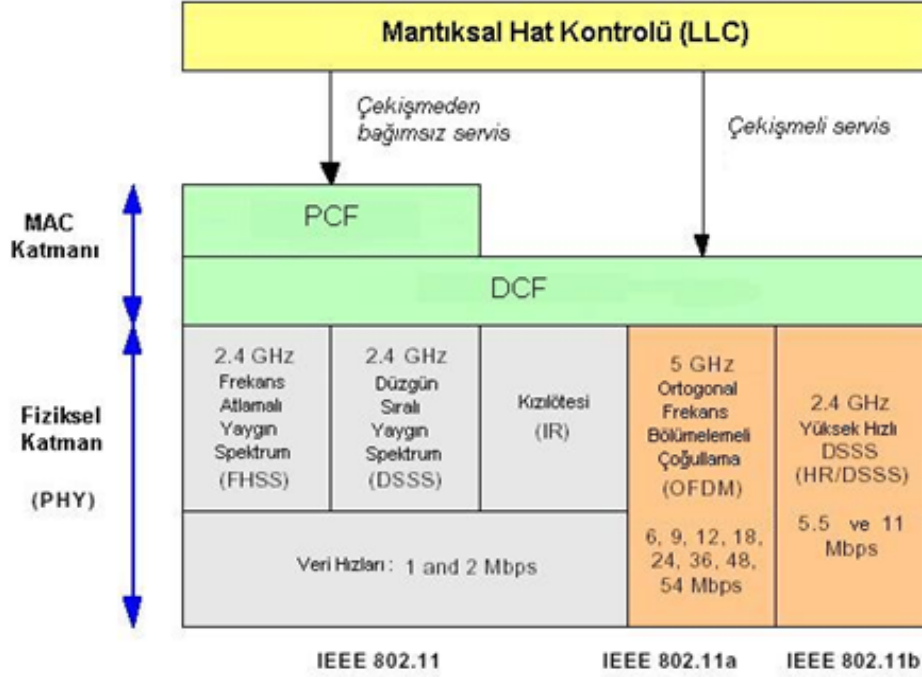
Kablosuz Ağların Dezavantajları

- *Güvenlik:* İletişim dalgalar halinde yayıldığı için kablosuz ortama katılan kişilerin ağı dinlemesi ve verilerin ele geçirilmesi kablolu yapıya göre daha kolaydır.
- *İletişim Hızı:* Erişim noktasının yönünün değişmesi, araya engellerin girmesi, erişim noktasından uzaklaştıkça sinyalin zayıflaması gibi faktörlerden dolayı iletişim hızı kablolu yapı kadar iyi değildir.
- *Standartlara Uyuma Zorunluluğu:* Üretilen cihazların tüm dünya standartlarında olması gerekir. Uluslararası enstitüler bazı konularda sınırlamalar getirerek standartların daha yavaş gelişmesine neden olmaktadır. Örneğin kullanılacak frekanslar sınırlıdır ve istenilen frekansta haberleşme yapılamaz.

2.6.1. IEEE 802.11 Standardı (Wi-Fi)

IEEE, 802.11 standardını Ekim 1997 tarihinde onaylamış (IEEE 802.11b Standardı, 1999) ve Mart 1999 tarihinde revize etmiştir. Bu standart yerel alan ağlarında kablosuz iletişimi sağlamak amacıyla üç farklı fiziksel (PHY) katman ve bir ortam erişim kontrolü (MAC) katmanı sağlar. MAC protokolü iki tip servise destek vermektedir. Bunlar dağıtık koordinasyon fonksiyonunu (DCF) kullanan asenkron ve noktasal koordinasyon fonksiyonu (PCF) kullanan senkron servislerdir. Mantıksal Hat Kontrolü (Logical Link Control-LLC) 802 ailesine ait tüm standartlar için benzerdir. 802.11 standartları, temel olarak 1 ila 2 Mbps arasında frekans atlamalı yaygın spektrum (FHSS) veya düzgün sıralı yaygın spektrum (DSSS) kullanarak veri iletimi sağlar. Daha

sonra yapılan revizyonlar sonucunda 5 GHz frekans bandında 54 Mbps hızında işlem yapan 802.11a standardı, ardından 2.4 GHz frekans bandında 11 Mbps ve 54 Mbps hızlarında işlem yapan 802.11b ve 802.11g standartları geliştirilmiştir. Şekil 2.19, 802.11 standartlar ailesinin protokol yapısını göstermektedir [12-14].



Şekil 2.19 : IEEE 802.11 Protokol Yapısı

802.11 standardı, son kullanıcı lisanslarına gerek duymaksızın birden çok kullanıcının radyo frekanslarının paylaşımına izin veren radyo spektrum teknolojilerinin avantajlarına da sahiptir. Ek olarak, 802.11 ve 802.11b ağlar 2.4 GHz ISM bandının, 802.11a temelli ağlar da U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) bandının kullanımını sağlamaktadır. ITU ise her ikisini de tanımlar.

2.6.1.1. Mimari

802.11 ağların mimarisi temel olarak birbirini kısmen kaplayabilen hücrelerden oluşur. Temel Servis Kümesi (Basic Service Set-BSS) tek bir hücrenin kapsama alanını temsil eder. Bir BSS'in dışında kalan bir istasyon (Station-STA) bu BSS içinde kalan diğer istasyonlar ile haberleşemez. 802.11 standardı iki moda çalışmaktadır. Bunlardan ilki BSS olarak da bilinen altyapı modu, diğeri ise bağımsız BSS (Independent Basic Service Set-IBSS) olarak bilinen Ad hoc moddur [14, 15].

- *Uçtan Uca Model (Ad Hoc)*: En basit kablosuz iletişim ağ yapısı, bağımsız (Ad hoc veya peer-to-peer) özellikte olan ve WLAN NIC ile donatılmış bir grup bilgisayarın ya da ağ cihazının kurduğu kablosuz yerel alan ağıdır (WLAN). Bu tip konfigürasyona sahip bir ağda erişim noktasına ihtiyaç duyulmaz. Noktadan noktaya haberleşmeyi sağlamak amacıyla yerel ağ aynı radyo frekans kanalında çalışır. Birbirinden farklı ağlar ancak kablosuz adaptörler birbiriyle haberleşebilecekleri mesafedeysen oluşturulabilir. Bu yapı, birbirleri ile iletişim mesafesinde olan kullanıcılar için tasarlanmıştır. Her kullanıcı, ağdaki bir diğer kullanıcı ile direkt iletişim kurar. Eğer kullanıcı bu tanımlanmış mesafeden dışarıya çıkarak iletişim kurmak isterse, aradaki bir kullanıcı, ağ geçidi ve yönlendirici olarak görev yapmak zorundadır [13-16].
- *Altyapı Modeli*: Bu model, kablosuz istasyonlar (bilgisayarlar, iş istasyonları) ve erişim noktalarından (Access Point-AP) oluşur. Erişim noktaları bir dağıtım sistemine (Ethernet gibi) sahipse birden çok radyo hücreleri birbirleriyle roaming yaparak haberleşebilir. Erişim noktaları sadece kendi kablosuz ağı ile kablolu ağları haberleştirmekle kalmaz aynı zamanda komşusu olan diğer kablosuz ağlar ile de haberleşmeyi sağlar.



Şekil 2.20 : Altyapı Model WLAN Mimarisi

Şekil 2.20’de tek AP içeren ve altyapı modunda çalışan bir ağın genel yapısı görülmektedir. Aynı alan içerisinde farklı iletişim kanallarını kullanan (Örneğin, frekans bölümlenmeli çoğullama yöntemi) ağlar mevcut olabilir. Bir AP tarafından koordine edilen alana BSS ismi verilmektedir. Bunun anlamı ‘bir tek koordine merkezi tarafından

idare edilen bir grup istasyondur'. Geniş ağlarda AP'ler birbirine kablolu ağlar yardımı ile bağlanmaktadır. Kablolu ağlarda bir ağı tanımlamak için ağ adresi kullanılırken kablosuz ağlarda ağı tanımlamak için SSID kullanılmaktadır. SSID kullanımı şu şekildedir: Bilgisayarda yüklü bir yazılım yardımı ile bağlanılabilecek SSID numaraları belirlenir ve bunlardan biri seçilerek ilgili ağa bağlantı yapılır. Bilgisayarların SSID numaralarına erişebilmeleri için AP'lerin bu numaraları çeşitli aralıklarla yaymaları (broadcast) gerekmektedir [12, 14, 16].

Altyapı modunda, her istasyon bağlantı isteklerini erişim noktası (AP) olarak bilinen merkez istasyona yollar. AP'ler kablolu ağ anahtarları gibi çalışır ve iletişimi kablolu ya da kablosuz ağa yönlendirir. AP'ler ve istasyonlar arasında veri iletişimi ancak iletişim sağlandıktan sonra başlar. Bir ortamda kablosuz iletişim başlamadan önce hizmet almak isteyen istemci ile AP arasında bir ilişki olmalıdır. Bu ilişki ile ilgili olarak üç yöntem bulunmaktadır:

- *Doğrulanmamış ve ilişkilendirilmemiş yöntem:* Kullanıcının ağ ile doğrulama ve ilişkilendirme işlemlerini gerçekleştirmediği durumdur.
- *Doğrulanmış ve ilişkilendirilmemiş yöntem:* Kullanıcının ağ ile doğrulama işlemi gerçekleştirdiği fakat henüz ilişkilendirme işlemi gerçekleştirmediği durumdur.
- *Doğrulanmış ve ilişkilendirilmiş yöntem:* Kullanıcının ağ ile doğrulama ve ilişkilendirme işlemlerini tamamladığı durumdur.

Genel olarak, kullanılan yöntem 'doğrulanmamış ve ilişkilendirilmemiş' yöntemdir. Yani AP ile iletişime geçmek isteyen bir bilgisayarın, iletişime geçmeden önce herhangi bir ön protokol ile ilişki kurmaya ve bilgiyi kontrol edip, doğrulamaya gereksinimi yoktur.

2.6.1.2. Mikrohücreler ve Bağlantı Aktarımı

Bir erişim noktasının kapsama alanına "microhücre" denir. Çoklu erişim noktalarının gerektiği bölgelerde, kullanıcıların herhangi bir yerde hatdışı kalmalarını ve erişim noktaları arasında yeniden giriş yapıp uygulamalarını yeniden başlatmalarını engellemek çok önemlidir. Bu nedenle, erişim noktaları birbirleri arasında hand off (takas) sistemiyle kullanıcı bağlantılarını aktarabilmelidir. Overlap durumlarında

kablosuz araçlar ve erişim noktaları iletimin kalitesini ve gücünü sık sık ölçmelidir. WLAN sistemi, o an için en güçlü ve en iyi kalitedeki sinyali veren erişim noktasından hizmet vermeye yönelik olmalıdır ve kullanıcı bağlantı aktarım işlemini bir an için bile hissetmemelidir [14, 16, 17].

2.6.1.3. Fiziksel Katmanlar

Fiziksel katmanlar verinin radyo sinyalleri ve hava ortamı arasındaki işleme süreçlerini gerçekleştirir. 802.11 standartları beş farklı fiziksel katman tanımlamaktadır. Bunlar ;

- *Frekans Atlamalı Yaygın Spektrum (FHSS):* 2.4 GHz bandında çalışır. Geniş bir frekans aralığında, veri sinyallerini bir frekanstan diğerine atlayan taşıyıcı bir sinyal ile modüle eder. Ölçü olarak zaman kullanılır. Çarpışmaları önlemek amacıyla taşıyıcı frekansı 2.4 ve 2.438 GHz arasında periyodik olarak değişir. Bir çarpışma, ancak ve ancak bir dar bant sistemin ve yaygın spektrum sinyallerinin aynı frekansta ardı ardına iletim yapması durumunda meydana gelir. Hangi frekansa atlanacağını kararını ve veri iletiminin sırasını belirlemek amacıyla bir atlama kodu (hopping code) kullanılır. FHSS maksimum 2 Mbps hızında bir iletim sağlar [12-14].
- *Düzensiz Sıralı Yaygın Spektrum (DSSS)/Yüksek Hızlı Düzensiz Sıralı Yaygın Spektrum (HR/DSSS):* 2.4 GHz bandında çalışır. Gönderim yapan istasyondaki veri sinyalini, chipping koduyla veya işlem kazancı olarak bilinen daha yüksek veri hızına sahip bir bit dizisiyle birleştirir. Bu kod, yayılma oranlarına bağlı olarak kullanıcı verisini böler, engelleri ve karışmaları azaltır, 11 Mbps hızında veri transferini mümkün hale getirir. Verideki her bir bit için, yollanmak üzere özel bir bit katarı belirlenir ve chipping koda, karışmalara karşı dayanıklılığı arttırmak amacıyla fazladan bir bit örneği de eklenir [12-14].
- *Ortogonal Frekans Bölümlemeli Çokullama (OFDM):* 5 GHz bandında çalışır. Yüksek hızlı veri iletimi (54 Mbps) sağlar. 802.11a standardında daha az karışma sağlamak amacıyla yaygın spektrum teknolojileri yerine kullanılmaktadır. OFDM, radyo sinyallerini farklı frekanslarda (çoklu taşıma) aynı anda yollanmak üzere daha kısa sinyallere böler ve böylece iletim boyunca oluşabilecek çapraz karışmaları (crosstalk) önlemeyi hedefler [12-14].
- *Kızılötesi (IR):* 300 - 428 Hz bandında, düşük hızla ve görüş alanında bulunma koşuluna bağlı olarak kurulan bir bağlantı ile çalışır.

2.6.1.4. MAC Katmanı

802.11 standartları asenkron (Distributed Coordination Function-DCF) ve çekişmeden-bağımsız (Point Coordination Function-PCF) servisler sağlamaktadır. Çekişmeden bağımsız servis isteğe bağlıyken asenkron servis her zaman erişilebilir durumdadır. DCF ortam paylaşımı için 802.11 MAC protokolünün temel erişim metodu olan çarpışma sakınmalı taşıyıcı dinleyen çoklu erişim (CSMA/CA) tekniğini kullanır. PCF ise sorgulamalı (polling) erişim metodu ile çekişmeden bağımsız bir servis sağlar. Genellikle AP, nokta koordinatörü (point coordinator-PC) olarak görev yapar, periyodik olarak tüm istasyonları sorgular ve onlara iletim yapma imkanını tanır. Bu yüzden PCF tarafından sağlanan erişim önceliğinden, çekişmeden bağımsız bir erişim mekanizması yaratmak için yararlanır. PC, istasyonların çerçeve iletimlerini sınırlı bir zaman periyodunda çekişmeleri elemek için kontrol eder. DCF'nin tersine PCF'nin uygulanması zorunlu değildir [14,17]. Ayrıca PCF'nin kendisi DCF tarafından sağlanan asenkron servise dayanmaktadır. 802.11 standartlarında tüm fiziksel katmanlar ortak bir MAC katmanını destekler.

2.6.1.5. Fiziksel Elemanlar

802.11 ağlar beş ana fiziksel elemandan oluşur. Bunlar; Dağıtım sistemi, Erişim noktası, Kablosuz ortam, İstasyonlar ve Ağ arayüz kartlarıdır.

- *Dağıtım Sistemi:* Birden fazla temel servis kümesini (BSS) ve yerel alan ağlarını birleştirerek Genişletilmiş Servis Kümesi (ESS) oluşturan sisteme verilen addır.
- *Erişim Noktası (AP):* Kablosuz ortama bağlanmış olan istasyonların dağıtım sistemine erişimini sağlayan ve aynı zamanda bir istasyon özelliğine de sahip olan ağ elemanıdır. AP, kablolu ağlardaki LAN hub cihazı ile aynı işlemleri yapar. Yaptığı iş kablolu altyapıya sahip ağlara standart bir Ethernet kartıyla bağlanmak ve tıpkı bir anten gibi kablosuz araçların birbiriyle haberleşmesini sağlamaktır. AP, belirli bir frekans bandında çalışır ve 802.11 de belirtilen modülasyon tekniklerini kullanır.
- *Kablosuz Ortam:* Kablosuz yerel alan ağlarında fiziksel katman bileşenleri arasında protokol veri birimlerinin (Protocol Data Unit-PDU) transferi için kullanılan ortamdır.
- *İstasyonlar:* Kablosuz ortama erişebilmek için gerekli olan fiziksel katman arayüzüne ve uygun 802.11 ortam erişim kontrolüne (MAC) sahip olan cihazdır.

- *Ağ Arayüz Kartı (İstemci Adaptörü)*: Kablosuz istemci adaptörleri, pc veya iş istasyonlarını kablosuz bir ağa bağımsız modda ya da altyapı modunda olmak üzere, erişim noktaları yardımıyla bağlar. PCI ya da PCMCIA kartı ile masaüstü ve mobil hesaplama cihazları bütün ağ kaynaklarına kablosuz olarak erişebilir. NIC, bağlantı için uygun olan frekans spektrumunu tarar ve bir erişim noktası veya başka bir kablosuz istemci ile iletişime geçer. NIC, pc/workstation işletim sistemlerine sürücü yazılım güncellemesi olarak eklenebilir.

2.6.1.6. Standartlar

- *IEEE 802.11*: 2.4 GHz bandında çalışır ve farklı işlem özelliklerini destekler. Veri transferi için Barker kodlama tekniği kullanarak 2 Mbps hıza kadar veri iletimi sağlar. Gelişen teknolojiye paralel olarak, bu standarda ilişkin veri oranları ve etkili modülasyon teknikleri geliştirilmektedir.
- *IEEE 802.11a*: 1999 yılında kablosuz asenkron transfer modu (ATM) için geliştirilmiştir ve 5 GHz frekans bandında işlem yapan OFDM tekniği kullanır. 54 Mbps hıza kadar yüksek veri iletim oranı sağlamaktadır. Buna rağmen, bu standart 5 GHz U-NII bandını kullanır. Veri oranları sinyallerin sönmleme (fading) ve çoklu yol (multipath) yansımalar nedeniyle çok kısa mesafeyle sınırlandırılmaktadır [17].
- *IEEE 802.11b*: Yüksek Hızlı 802.11 veya Wi-Fi olarak da bilinir. 2 GHz ISM (Industrial Scientific Medical) frekans bandında işlem yapan Tümlayıcı Kod Anahtarlama (Complementary Code Keying-CCK) modülasyonu ve HR/DSSS tekniği kullanmaktadır. 11 Mbps hıza kadar yüksek veri iletim hızı desteklemektedir. Çoklu yol yayılma çarpışmalarına karşı daha dayanıklıdır. Bu standart, 11 Mbps'dan 33 Mbps'a kadar ulaşan veri iletim oranlarını destekleyebilen PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) seçeneğini de içermektedir. 802.11 standardı ile geriye yönelik olarak uyumludur. Mikrodalga fırınlar, kablosuz telefonlar ve Bluetooth gibi diğer kablosuz teknolojilerle olan çarpışma olasılığı ise getirdiği kısıtlamalardan biridir [17].
- *IEEE 802.11g*: Uzun mesafelerde yüksek veri iletim hızını gerçekleştirebilmek için 802.11a ve 802.11b standartlarının iyi özellikleri alınarak bir hibrid standart geliştirilmiştir. Bu standart IEEE tarafından 802.11g olarak isimlendirilmiştir.

- *IEEE 802.11n*: Maksimum veri transfer hızını 540 mbit/sn'ye taşımaya, bunun yanında eş zamanlı olarak çoklu veri iletişimi yapılmasına imkan tanıyan yeni bir standarttır. MIMO teknolojisinin özelliklerinden faydalanmaktadır. Hızlara bakıldığında şuanda güncel olarak kullanılan 802.11g'den 10 kat daha hızlı ve çok daha verimlidir.

802.11b 1, 2, 5.5 ve 11 Mbps veri hızlarını destekler ve veri iletimi için CCK kullanır. 802.11g, 2.4 GHz frekans bandında işlem yapan 802.11b ile birlikte uyumluluk sağlar. 802.11a ise karmaşık bir yapıya sahiptir. 802.11a'nın tasarımı bittikten sonra bile pazardaki yerini alırken birkaç zorlukla karşılaşmıştır. Bunlar; 802.11b'nin birçok kullanıcı tarafında kullanılması, iki standardın birbiri ile uyumlu olmaması ve 802.11a'nın sadece kısa mesafelerde erişebilirlik sağlamasıdır. 802.11g standardı, 802.11a standardından gelen teknolojiye de uyumludur. 802.11g tarafından kullanılan OFDM teknolojisi 802.11a standardına uyumludur. OFDM 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 ve 54 Mbps veri hızlarını sağlar. 802.11a ise sadece kısa mesafelerde 5 GHz frekans bandında çalışarak aynı teknolojiyi kullanır [17-19].

Tablo 2.1'de 802.11 standartlarının fiziksel katman özellikleri karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.

Tablo 2.1 : IEEE 802.11 Standartlarının Fiziksel Katman Özelliklerinin Karşılaştırılması

Fiziksel Katman	Frekans	Modülasyon	Veri Hızları (Mbps)	Özellikler
Wi-Fi (802.11b)	2.4 GHz 2.5 GHz	Barker Kodlama / CCK	1, 2, 5.5, 11	- Yaygın WLAN Teknolojisi - Olgunlaşmış Teknoloji - Düşük Maliyet
802.11g	2.4 GHz 2.5 GHz	Barker Kodlama / CCK	1, 2, 5.5, 11	- 54 Mbps'ye varan Hız - Yüksek Aralık - Wi-Fi ile geriye yönelik uyumlu
		OFDM	6, 12, 24, 36, 48, 54	
802.11a	5 GHz	OFDM	6, 12, 24, 36, 48, 54	- 54 Mbps'ye varan Hız - Yüksek seviye ölçeklenebilirlik
802.11n	2.4 GHz 5 GHz	MIMO	200, 248, 450, 540, 600	- Eş zamanlı çoklu veri iletişimi - Yüksek seviye ölçeklenebilirlik - Daha hızlı ve çok daha verimli

2.6.1.7. İletimin Fiziksel Özellikleri

İletişim için kullanılacak modülasyon tekniği ne olursa olsun, tüm standartlar IEEE'nin WLAN'lar için oluşturduğu standartlardır. Aynı aileden gelen bu standartlar benzer paketleme yapılarına sahiptirler. 802.11 ailesinin paketlerinin hepsi bir başlama eki (preamble), başlık (header) ve bir yükten (payload) oluşmaktadır. Giriş kısmı ne kadar kısa olursa ağda dolaşım da o kadar fazla olacaktır. 802.11b, 120 µsec gibi uzun bir başlama eki kullanmasına rağmen 802.11g 96 µsec gibi kısa bir başlama eki kullanır. 802.11g cihazları 3 tane üst üste binmemiş kanal kullanır ve ERP (Extended Rate Physical) katmanı olarak isimlendirilen yeni fiziksel katmana sahiptirler. 802.11g standardı tarafından veri iletimi sırasında çarpışma sakınma tekniği kullanılmaktadır. 802.11g'nin kullandığı CSMA/CA protokolü, veri göndericiye veri iletim kanalını kullanma hakkı gibi farklı özellikler sunar. İşlem gören bir veri iletimi sırasında mevcut iletim sonlandırılmadan başka hiçbir cihaz tarafından iletim yapılamaz. 802.11g standardı 802.11b standardı ile uyumlu olmasına rağmen, tek 802.11g ortamlarında veri oranlarını desteklemesiyle karşılaştırıldığında karışık ortamlarda yüksek veri oranlarını desteklemez [14, 18, 19].

2.6.1.8. Koruma Mekanizmaları

802.11g erişim noktalarındaki farklı konfigürasyonlar, bir arada bulunan 802.11g ve 802.11b cihazları ağ yönetiminde birçok soruna sebep olabilir. Bundan sadece iletim hızları değil, aynı zamanda tüm ağın etkinliği ve tüm ağ üzerindeki cihazların işlem mekanizmaları da etkilenebilir. Karışık bir ortamda, 802.11g standardını kullanan cihazlar veri iletimi için uzun başlama eki kullanmak zorundadır ve bu da ileri seviyeyi gerektirir. Eğer uzun başlama ekleri kullanılmazsa, isteklerin, sırasına bakılmaksızın paketlerden her zaman kısa olan başlama ekleri düşünülerek alınma riski vardır [15-17].

802.11g ve 802.11b'nin bir arada olduğu karma ortamlarda cihazlar arasında tam uyumluluk sağlayabilmek için ekstra özelliklere ihtiyaç duyulur. Aksi takdirde OFDM sinyalleri hiçbir 802.11b cihazı tarafından alınamaz. Örneğin, 802.11g cihazı 802.11b cihazı tarafından algılanmayan bir CSMA/CA paketi gönderdiğinde, 802.11b cihazı, başka bir cihazın veri iletimi bitene kadar beklemesi gerekip gerekmediğini bilemediği için veriyi yollar ve sonuç olarak bir çakışma oluşur. Bu çelişkileri önlemek için, 802.11g standardı RTS (Request-to-Send) ve CTS (Clear-to-Send) gibi koruma mekanizmalarına sahip olmak zorundadır. Bu mekanizmalar, iletimde oluşacak her türlü

çakışmayı önlemeye yardımcı olur. Bir cihaz, 802.11g veya 802.11b verisini iletceği zaman öncelikle gideceği yere bir RTS mesajı yollar. Gönderici alıcıdan cevap bekler ve alıcıdan CTS mesajı alınınca iletimin başlaması gerektiğini anlar. Alıcı göndericiye CTS yollarken, mesajı yayar ve böylelikle ağdaki diğer cihazlar aynı zamanda başka mesaj göndermemeleri gerektiğini anlar. Farklı bir koruma mekanizması olan CTS-to-Self, bir kısım veri gönderilmek istendiği zaman erişim noktası tarafından kullanılır. Bu mesaj RTS mesajı olmadan yollar [16-19].

2.6.2. IEEE 802.16 Standardı (WIMAX)

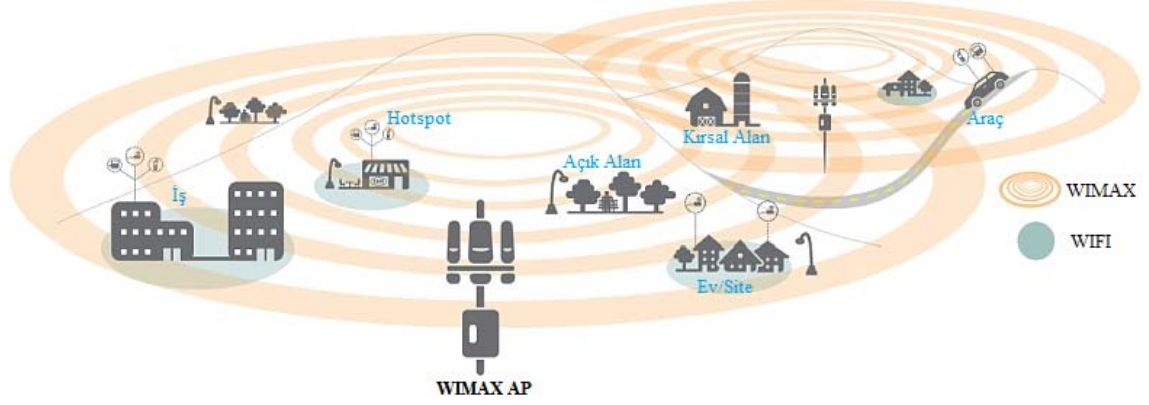
WIMAX, IEEE'nin 802.16 MAN gurubu tarafından ilk olarak Nisan 2002'de 10-66 GHz frekans bandı için yayınlanmış olup metropol alanlarda kullanılması öngörülen bir genişband kablosuz erişim teknolojisidir. WMAN gibi geniş kapsamlı ağlar için geliştirilen teknolojilerin uygunluğunu belirleyen standartlar topluluğudur. Büyük çaptaki bilgiyi uzun mesafelere yüksek hızda iletir. Uzun menzilli ve yüksek bant genişliğine sahip kablosuz Internet erişimi sunar [20].

WIMAX, verici antenden yaklaşık 50 km mesafeye kadar bir etki alanı ve 75 Mbps indirme hızı olması planlanan bir çeşit kablosuz bağlantı sistemidir. WIMAX, ileri hata düzeltme yeteneği, mesafeyi ve kapasiteyi artırmak için kullanılan gelişmiş anten teknikleri desteği, geleneksel TDM ses trafiği veya VoIP (Voice over IP) ile videoda ideal taşıma, veri trafiğinin önceliği gibi gecikmeye duyarlı hizmetler için düşük gecikme süresi sağlamaktadır. Ayrıca kişisel güvenlik (kimlik denetimi) ve şifreleme özellikleri sayesinde güvenli iletimi desteklemektedir. WIMAX, IP tabanlı bir teknoloji olduğundan fiber optik bağlantılara, kablolu modemler kullanan koaksiyel sistemlere, DSL bağlantılar gibi kablolu şebekelere, 3G ve 4G teknolojilerine entegre olabilir. Bu da her zaman her yerde uygun erişimle kullanıcıların bilgi, eğlence ve multimedya iletişim taleplerinin karşılanması anlamına gelmektedir [20, 21].

2.6.2.1. WIMAX Teknolojisinin Özellikleri

Genişband kablosuz erişimin kullanılması, bu erişim teknolojisi üzerinden Internet, telefon, IPTV, VoIP ve isteğe bağlı multimedya servisleri gibi servislerin sunulabilmesi için WIMAX önemli bir fırsattır. Kurulum maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle genişband haberleşme sistemlerinin kullanılmadığı kırsal bölgelerde ve haberleşme konusunda yeterli hizmeti alamayan alanlarda, WIMAX teknolojisi alternatif olmaktadır

(Şekil 2.21). Uzun menzilli ve yüksek bant genişliğine sahip kablosuz internet erişimi sağlayan WIMAX, kullanıcılara ve operatörlere hız/maliyet yönünden değerlendirilmesi gereken bir imkan sunmaktadır.



Şekil 2.21 : WIMAX Kapsama Alanı

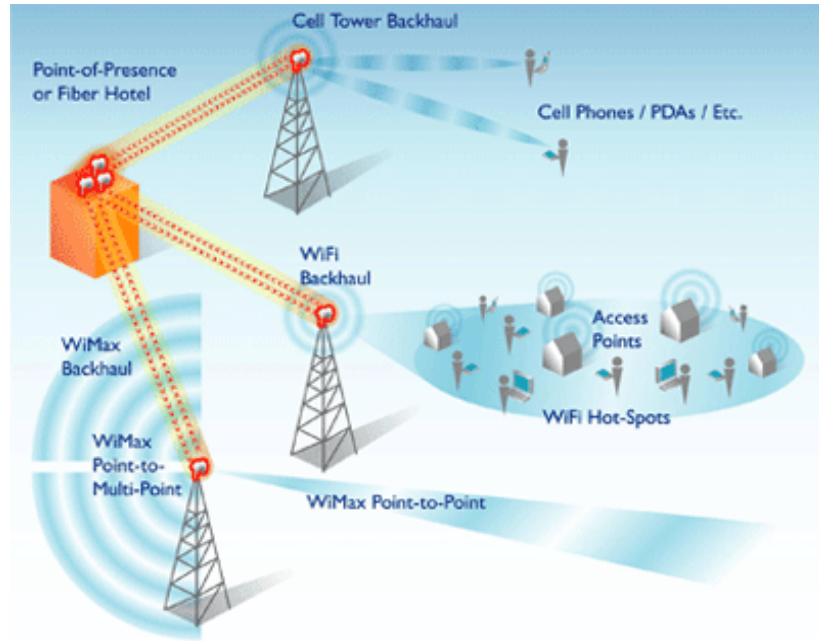
WIMAX teknolojisi çoklu yol etkileşimi, gecikme dağılımı ve sağlamlık gibi önemli özellikleri sayesinde problemsiz bir şekilde kablosuz genişband erişim sağlamaktadır. Çoklu yol etkileşimi ve gecikme dağılımı özelliği, kullanıcı baz istasyonunun görüş açısı dışındayken de iyi bir performans gerçekleşmesini sağlamaktadır. Oluşturulan 802.16-2004 MAC uzun zamanlı sinyal gecikmelerine uyumlu şekilde tasarlanmıştır. 802.11'de olduğu gibi 802.16'nın fiziksel katmanı da gecikme dağılımına toleranslı şekilde oluşturulmuştur. 802.11 standardı 100 metrelik bir alanda işlediği için sadece 900 nano saniyelik gecikmeleri yok sayarken, WIMAX bunun yaklaşık 1000 katı olan 10 mikro saniyelik gecikmelere karşın bağlantı hızını koruyabilmektedir [22, 23].

WIMAX teknolojisinde 802.11'in bağlantı tabanlı erişim protokolü yerine erişim talepli erişim protokolü kullanılmaktadır. Böylece daha az veri çarpışması yaşanmakta ve mevcut ağ genişliği en verimli şekilde kullanılabilir. Çarpışma olmaması veri transferi sırasında bant genişliği kaybının olmaması anlamına gelmektedir. Tüm iletişim baz istasyonu tarafından kontrol edilmektedir [20].

IEEE 802.16 standardı, sahip olduğu elverişli kanal genişliğine ve adaptif modülasyon değerine göre daha çok kullanıcının bir arada Internet'ten faydalanmasına imkân tanımaktadır (Şekil 2.22). WIMAX, 802.11'in kullandığı 20 MHz'lik kanal genişliğinden çok daha dar bir kanalda hizmet vererek bant genişliğini boşa

harcamamaktadır. Kullanılan kanalın yoğun olması durumunda ise adaptif modülasyon sayesinde kullanıcılar bağlantı halinde tutulabilmektedir [23, 24].

WIMAX, 3G mobil iletişimin de önünde 4G mobil iletişim olanağını kullanıcılara sunabilecek bir teknoloji olup kablosuz Internet servis sağlayıcılarının müşterilerine yüksek kalitede hizmet sunmalarını sağlar (Şekil 2.22). İşletmelere yüksek bant genişliğini garanti ederken bireysel kullanıcılara düşük maliyetli ve yüksek hızda Internet olanağı sunar. Bu teknolojiyle, kablosuz internet erişim alanlarına (Hotspot) bağlı kalmadan istenilen yerden istenilen anda yüksek megabitlerle kablosuz veri iletişimi sağlanabilir [25].



Şekil 2.22 : WIMAX Teknolojisiyle İletişim

WIMAX, temel olarak, uzak mesafe uygulamaları destekleyecek bir fiziksel katman ve MAC tarafında da QoS sağlayacak bir yapı kullanmaktadır. Dolayısıyla QoS hizmeti sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. QoS, bir genişband bağlantının sunduğu hizmet kalitesi olarak düşünülebilir (Örneğin; eş zamanlılık ve yüksek bant genişliği hizmetlerindeki kalite). WIMAX, bu hizmetlerde QoS'i sağladığından dolayı delay-sensitive uygulamaları ve servisleri destekleyebilmektedir. Bağlantı temelli olduğundan her bağlantı için QoS'ı gerçekleştirebilmektedir. WIMAX bu özelliğiyle, QoS hizmetlerinden biri olan best-effort durumunu da sağlamaktadır [20-22].

WIMAX'in başlıca özellikleri aşağıda kısaca sunulmuştur:

- Veri gönderiminde bant genişliği ve QoS garantisi sağlamaktadır.
- IPv4, IPv6, ATM, Ethernet, vb teknolojileri taşır.
- Her talebe eşit bant genişliği (frame by frame) sağlar.
- Spektrumun etkili kullanılabilmesi için MAC üzerine tasarlanmıştır.
- Kapsamlı, en yeni algoritmaları kullanan, geliştirilebilir bir güvenliğe sahiptir.
- 2-66 GHz arasında farklı frekansları destekler ve mobilite hizmeti vermektedir.
- NLOS (kapsama alanı dışı) uygulamaları için OFDM ve OFDMA kullanır.
- Zaman ve frekans bölme işlemleri temel olarak TDD ve FDD kullanılır.
- Abone istasyonlarından baz istasyonlarına uplink ve downlink mevcuttur.
- Mesh ağ ile point-to-multipoint topoloji için gerekli eklentileri sağlar.

2.6.2.2. WIMAX Standartları

Yeni üretilen teknolojiler için standartlar, teknolojinin pratik kullanımı, mevcut sistemlerle birlikte çalışılabilirlik ve uyum düşünülerek geliştirilmektedir. 2001 yılından bu yana geliştirilen ve halen geliştirilmeye devam edilen WIMAX teknolojisine ait IEEE tarafından yapılan eklemelerle bazı standartlar belirlenmiştir (Tablo 2.2). Bu standartlar IEEE 802.16 standardı adı altında sabit geniş bantlı telsiz erişim sistemleri üzerine geliştirilmiş hava arayüzü olarak tanımlanır. IEEE 802.16 standardı, ilk olarak Kasım 2001'de tanımlanmış olup Telsiz Metropol Ağlar (WMAN) için hava arayüzü ve MAC protokolleri için geliştirilmiştir. Bu standartla ticari ve ev uygulamaları için büyük bant genişliğinde telsiz ses ve veri iletimi amaçlanmıştır [21, 22, 25].

WIMAX için bahsedilen standartlar, Haziran 2004'de onaylanan IEEE 802.16d ve WIMAX'e mobilite özelliğini kazandırmak amacıyla Aralık 2005'de onaylanarak yayınlanan IEEE 802.16e olarak 2 farklı türe sahiptir. Ancak bu frekans aralığı için görüş hattı gerektiğinden, görüş hattında olmayan ihtiyaçlara cevap veren IEEE 802.16a versiyonu Nisan 2003'te yayınlanmış ve bu versiyondaki frekans aralığı 2-11 GHz'e düşürülerek lisanslı ve lisanssız olarak kullanılabilir hale gelmiştir. ETSI ise 2-11 GHz frekans bandı için Avrupa'daki kablosuz şebeke iletişimini tanımlayan ve 802.16 ile aynı olan standardını Kasım 2003'te onaylayarak yayınlamıştır. Sabit, göçebe, taşınabilir ve mobil erişimleri destekleyen WIMAX, 1.25 MHz'den 20 MHz'e kadar

bant genişliklerini desteklemektedir. 802.16d versiyonu ile 20 MHz bant genişliğinde 75 Mbps hıza ulaşırken, mobilite özelliğinin eklendiği 802.16e versiyonu ile de 10 MHz bant genişliğinde 30 Mbps hıza ulaşabilmektedir [23-25].

WIMAX, sabit ve mobil olmak üzere iki ayrı ağ yapısına sahip olup hem zaman bölmeli çiftleme (TDD) hem de frekans bölmeli çiftleme (FDD) tekniklerini kullanabilir. 802.16d versiyonunda dikey frekans bölmeli çoklama (OFDM), 802.16e versiyonunda ise ölçeklenebilir dikey frekans bölmeli çoklama (SOFDM) tekniği kullanılmaktadır.

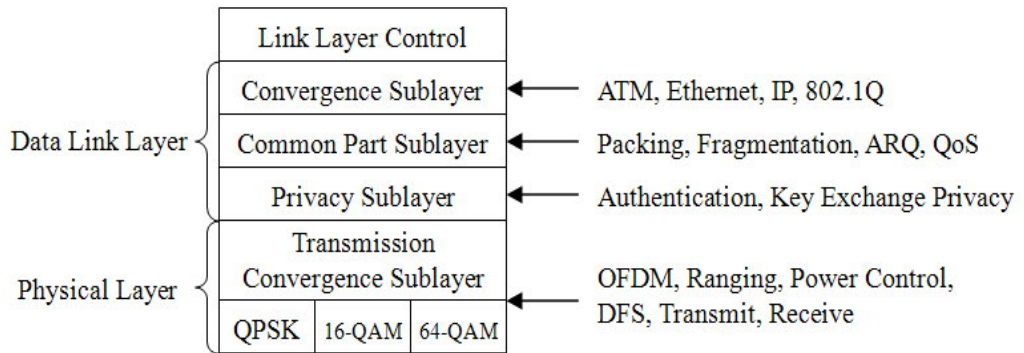
- *802.16-a*: 2-11 GHz frekans aralığını kullanan, sabit bilgisayarlar arasında kablosuz internet erişimini sağlayan standart olarak geliştirilmiştir. KabloNET ve DSL'in ulaşamadığı noktalar için uygulanma alanı bulmuştur. Haberleşme için alıcı-verici sistemler arasında doğrudan görüş (Line of Sight-LOS) koşullarına gerek duymaz. Söz konusu standart 2.5GHz, 3.5GHz ve 5.8GHz frekanslarının kullanılması ile 50km uzaklıklarda 70Mb/s bant genişliğinde internet erişimine olanak tanımaktadır [20, 21].
- *802.16-b*: Kullanılan spektrum artırılarak 5-6 GHz frekans bandına çıkarılmıştır. QoS desteği sağlanmıştır. Böylece WIMAX'in gerçek zamanlı ses ve video uygulamalarında yüksek performansla çalışması mümkün olmaktadır [22].
- *802.16-c*: 10-66 GHz frekans aralığında çalışan WIMAX standardıdır. Farklı üreticilere ait sistemlerin bir arada çalışmasına olanak tanır.
- *802.16-d*: 2003 yılında hazırlanan bu standart 802.16-a standardının eksik (802.16-2004) özelliklerini tamamlamak üzere geliştirilmiştir. Bu standartla alıcı-verici haberleşmesi için doğrudan görüş hattının gerektiği ve gerekmediği koşullarda haberleşme mümkün olmaktadır. Standart OFDM çoğullama tekniğini kullanmaktadır. Kapsama alanındaki genişleme ve hızdaki artış, bu teknolojide yeni modülasyon teknikleri kullanılmasını gerektirmiştir. 802.16d standardında 64-QAM modülasyon tekniği kullanılır [20, 21].
- *802.16-e*: Sabit ve hareketli sistemler arasında haberleşme mümkün olmaktadır. Örneğin otobüs, tren vb. araçlarda laptop, PDA gibi cihazlar ile internet erişimi 802.16-e standardı üzerinden sağlanabilir. Hareketli sistemler arasında haberleşmenin sürekliliğinin sağlanabilmesi için hızlı aktarma teknikleri bu standartla sağlanır. Belirlenen çalışma aralığı 2.3 GHz ve 2.5 GHz'dir.

Tablo 2.2: IEEE Tarafından Belirlenmiş WIMAX Standartları

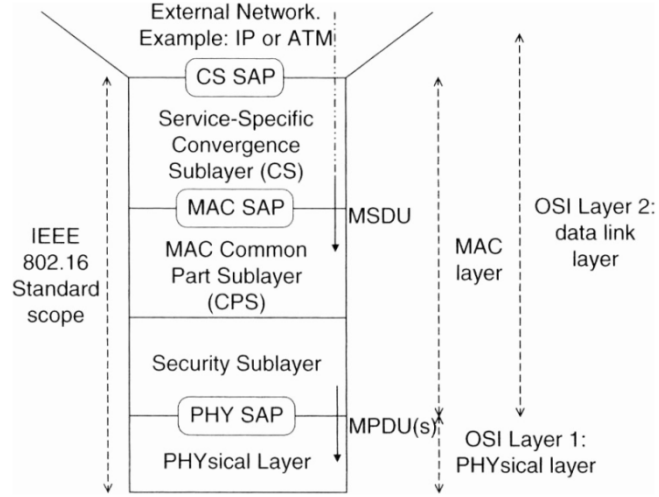
	IEEE 802.16	IEEE 802.16a	IEEE 802.16e
Spektrum	10 - 66 GHz	2 – 11 GHz	2 – 6 GHz
Kullanan Uygulamalar	Backhaul	Wireless DSL/Backhaul	Mobile Internet
Kanal Bağlantıları	Line of Sight	Non-Line of Sight	Non-Line of Sight
Bit Rate	28 MHz kanalda 32–134 Mbps	20 MHz kanalda 75 Mbps'ye kadar	5 MHz kanalda 15 Mbps'ye kadar
Modülasyon	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256, OFDMA 2048 QPSK, 16QAM, 64QAM	802.16d ile aynı, ölçeklenebilir OFDMA
Kanal Bantgenişliği	20, 25, 28 MHz	1.5 ve 20 MHz arasında seçilebilir kanal bantgenişliği	802.16d ile aynı

2.6.2.3. WIMAX Mimarisi

Şekil 2.23 ve Şekil 2.24'te gösterildiği gibi WIMAX, genel yapı olarak OSI referans modelinin veri bağı ve fiziksel katmanlarını kullanmaktadır. Veri bağı katmanının altında convergence, common part ve privacy alt katmanları, fiziksel katmanın altında ise yine convergence alt katmanı bulunmaktadır. Veri bağı katmanında ATM, Ethernet ve Ip protokolleri yer almaktadır. QoS'in garanti altına alınması, veri şifreleme, parçalama, paketleme ve kullanıcı yetkilendirme bu katmanda gerçekteşmektedir. Fiziksel katmanda ise kapsama alanı, veri gönderim/alım, güç kontrolü, transfer hızı ve frekans çoğullama gibi işlemler gerçekteşirilmektedir. Tam bir kablosuz güvenlik için WIMAX'ta veriler şifrelenmekte ve şifreleme tekniği olarak AES (Advanced Encryption Standard) kullanılmaktadır. Şifreleme işlemleri veri bağı katmanı ve fiziksel katman arasında gerçekteşirilmektedir [20, 21].



Şekil 2.23 : WIMAX Veri Bağı Ve Fiziksel Katmanı [20]



Şekil 2.24 : IEEE 802.16 Standardı Protokol Katmanları [21]

Fiziksel katmandan gelen veriler sinyal ya da veri bitleri şeklindedir. Bu verileri yorumlayan ve adresleyen katman fiziksel adreslemeyi yapar. Fiziksel adresleme için MAC ve LLC denilen iki yapı kullanılır. Bu yapılar IEEE 802.x standardında veri bağı katmanı içerisinde yer alır (Şekil 2.25). MAC herhangi bir an içinde belirli bir fiziksel adrese kimin erişmesi gerektiğine karar veren alt katmandır. Çoklu yol etkileşimi ve gecikme dağılımı özelliklerine sahiptir. Uzun zamanlı sinyal gecikmelerine uyumludur. MAC alt katmanının üzerinde LLC alt katmanı bulunur. LLC alt katmanının görevi farklı sinyalleri aynı hat üzerinden bir üst katmana yollamak ve üst katmandan gelen sinyalleri de ayrıştırarak bir alt katmana iletmektir [21-23]. LLC için belirlenen standartların kodu IEEE 802.2'dir. LLC aynı zamanda kablosuz ağlar için tasarlanan bir yapıdır ve Ethernet, WLAN, WIMAX teknolojilerinde aynı tiptedir (Şekil 2.25).

Veri Bağı Katmanı	LLC Alt Katmanı	Ethernet, WLAN, WIMAX	IEEE 802.2				
	MAC Alt Katmanı		IEEE 802.3 (Ethernet)	IEEE 802.3u (Fast Ethernet)	IEEE 802.3z (Gigabit Ethernet)	IEEE 802.3ab (Gigabit Ethernet over Copper)	Token Ring / IEEE 802.6
Fiziksel Katman	Fiziksel Katman						
OSI Katmanları	IEEE 802.x	Kablolu ve Kablosuz İletişim Teknolojileri					

Şekil 2.25 : OSI Katmanları ve IEEE 802.x Standardı Yapısı

IEEE 802.16 MAC katmanı farklı fiziksel katmanlarla uyum sağlayabilmektedir. Bunun anlamı WIMAX'in cep telefonları, PDA, vb. tüm mobil teknolojilerle uyumlu olması, bu mobil cihazlardan sinyal alabilmesi ve kullanıcılara geniş bant internet erişimi sağlamasıdır. Bu nedenle, değişik fiziksel katmanlarla çalışabilen bir MAC katmanı WIMAX'a birbirinden ilginç uygulama alanları getirebilir. MAC katmanı, kullanıcı baz istasyonunun görüş açısı dışındayken de iyi bir performans gerçekleştirmesini sağlar.

WIMAX, Wi-Fi'nin kullandığı MAC yapısından farklı bir yapıya sahiptir. Wi-Fi'de MAC yarışma erişimi kullanılır. Yani, veriyi bir wireless AP boyunca iletmek isteyen tüm SS'ler herhangi bir kaynak kesitinde AP'nin dikkatini çekebilmek için yarışlar. Bu durum AP'den uzakta olan SS'lerin yakında olanlar tarafından sürekli kesintiye uğramasına sebep olabilir. Bu durum SS'lerin performansını düşürür, QoS'in veri hızı ve bütünlüğü özelliklerine gereksinim duyan VoIP ya da IPTV gibi servislerin eş zamanlı çalışan az sayıda kullanıcı için bile hizmet vermelerini zorlaştırır. 802.16 standardının en temel özelliklerinden biri, ikinci katman MAC'in yarış tabanlı değil de planlı ve bağlantılı bir yapıda olmasıdır. Böyle bir yapı sayesinde BS iletişime başladığı tüm SS'lerle kesintisiz ve kaliteli bir veri alışverişi sağlar. Bu kalite artırımı, 802.16 standardının sadece saf veri gönderiminde değil, kaliteli ve gecikmeye hassas veri gönderiminde de çok elverişli olmasını sağlamıştır [20-24].

WIMAX, esas olarak OFDM ve MIMO teknolojilerine dayanmaktadır. Bu iki gelişmekte olan teknoloji sayesinde servis sağlayıcılar, tek bir baz istasyonundan daha fazla müşteriye hizmet sunma olanağına kavuşurken bunu daha az spektrum kullanarak gerçekleştirmektedirler. OFDM, IEEE 802.11 ve IEEE 802.16 standartları tarafından kullanılan bir radyo teknolojisidir. MIMO ise WIMAX'in etkinliğini dört katına kadar çıkartan gelişmiş bir anten teknolojisidir. OFDM, yüksek bant genişliğine sahip bir kanal ile birlikte çalıştığı için yüksek veri gönderim hızı sağlar. Frekansın eşit dağıtımında kullanıcılar denk hızlar elde ederler. OFDM temelli WIMAX WCDMA kullanan 3G teknolojisinde daha hızlı veri iletimi yapmaktadır. Mobilite hizmeti veren 802.16e standardı, 802.16d'de kullanılan OFDM'nin 256 alt taşıyıcılı versiyonuna (bunlardan 200 tanesi kullanılabilir) karşı ölçeklenebilir OFDM (SOOFDM) kullanmaktadır. 802.16e standardını da kapsayan daha gelişmiş versiyonlar aynı zamanda MIMO bağlantılarla çoklu anten desteğini de getirmiştir. Bu, kapsama alanı,

self yükleme, güç tüketimi, frekansın tekrar kullanımı ve bant genişliği etkinliği gibi potansiyel özellikleri de bir arada getirmiştir. 802.16e standardı aynı zamanda tam mobilite desteği yeteneğini de sunmaktadır [22-25].

2.6.2.4. WIMAX Sistem Profilleri

IEEE, iki tür WIMAX sistem profili tanımlamıştır. Bunlar sabit WIMAX (IEEE 802.16) ve mobil WIMAX (IEEE 802.16e) sistem profilleridir. IEEE 802.16 standardı, çok geniş bir alanda kurulu olan sabit sistemler ve hareketli olmayan bağlantı noktaları arasında bir ağ oluşturmak için geliştirilmiştir. IEEE 802.16e standardı ise, sabit bağlantı noktaları ile hareketli ve doğrudan görüş (Non Line Of Sight- NLOS) ihtiyacı bulunmayan mobil sistemleri birbirine bağlamak ve ağ oluşturmak için geliştirilmiştir.

2.6.3. IEEE 802.15.4 Standardı (ZigBee)

ZigBee, IEEE 802.15.4 altyapısında geliştirilmiş ve standart sarmal ağlar ile uygulama profilleri kullanılarak kurulan kısa mesafe kablosuz ağ standardıdır. Yıldız bağlantı ve noktadan noktaya bağlantı şekillerini içeren çoklu ağ topolojilerine sahiptir. Güvenirlik, düşük maliyet ve enerji tasarrufu gibi avantajları göz önüne alındığında, ZigBee pc girdi aygıtları, sensör ve ağ yönetim cihazlarının kablosuz bağlantılarında kullanılması uygun olan bir standarttır. ZigBee, kablosuz iletişim kanallarının otomatik olarak aranmasına ve çok sayıda kablosuz ağın bir arada var olmasına imkân tanır. Algılama (sensör) ağlarında, uzaktan görüntüleme uygulamalarında, otomasyon ve kontrol sistemlerinde, bina içi ortamlarda kablosuz iletişim için yaygın olarak kullanılmaktadır [26, 27].

ZigBee cihazlar, tüm dünya genelinde lisansız olarak kullanıma açık olan 2,4 GHz ISM frekans bandında çalışır. Bu cihazlar 2,4 GHz frekansında 10 kanal ile 250 kbps, 915 MHz frekansında 6 kanal ile 40 kbps ve 868 MHz frekansında 1 kanal ile 20 kbps hızlara erişilebilmektedir. ZigBee cihazların erişim mesafesi, iletim gücü ve çevresel etkenlere bağlı olarak 10 ile 75 metre arasında değişmektedir. Veri akışına bağlı olarak ZigBee aygıtları derin uykuya dalar ve enerji tasarrufu sağlar [26,27]. Uyku devrelerinin gelişmiş özellikleri, düşük güç harcamaları ve ideal bağlantı teknikleri sayesinde ZigBee cihazlarının batarya kullanım süresi (aylarca, hatta 1 yıla yakın) çok uzundur.

2.7. RADYO ERİŞİM AĞLARI

İnternet kullanımının giderek yaygınlaşmasına paralel olarak kullanıcıların daha yüksek kapasite isteyen uygulamalara (HDTV, Online Oyunlar, IPTV, VoIP, P2P dosya transferi) olan eğilimleri gün geçtikçe artmaktadır. Bilgilerin (verilerin) daha hızlı, daha güvenli ve kaliteli aktarımı için haberleşme teknolojilerinde kullanılan servislerin etkin ve düşük maliyetli olarak daha geniş alanlarda rahat kullanılması gerekir. Bu nedenle veri aktarım hızı, bant genişliği ve trafik ihtiyacındaki artış servis sağlayıcıları son kullanıcıya daha iyi hizmet vermeye zorlamaktadır. Radyo erişim ağları ise bu konumda, yüksek kapasitedeki veriyi daha uzun mesafelere daha hızlı bir şekilde taşıyabilmesinden dolayı öne çıkmaktadır. Bu bölümde radyo erişim ağları için geliştirilmiş standartlar ve farklı radyo erişim ağlarının özellikleri incelenmiştir.

2.7.1. GPRS

Verilerin mevcut GSM şebekeleri üzerinden saniyede 28.8-115 Kb'lik hızlarda iletebilmesine imkân veren, cep telefonu ve mobil cihaz kullanıcılarına kesintisiz İnternet bağlantısı sunan paket tabanlı bir mobil iletişim servisidir. GPRS, mobil iletişim teknolojisinde halen kullanılan devre anahtarlama teknik (kullanıcıya tahsis edilen bir tek hat üzerinden sürekli bağlantı) yerine paket anahtarlama (aynı hattı birden çok kullanıcının paylaştığı bir bağlantı) teknik kullanan teknolojidir. GPRS teknolojisi, kullanıcıya yüksek erişim hızının yanı sıra, bağlantı süresine göre değil de gerçekleştirilen veri alışverişi miktarı üzerinden tarifelenen ucuz iletişim olanağı sağlamaktadır. Böylelikle "sürekli bağlantıda, sürekli gerçek zamanda" anlayışını sunmaktadır. GPRS teknolojisini kullanabilmek için mobil şebeke ve servis sağlayıcı altyapısı, bu altyapıya entegre GPRS donanım ve yazılımlar, GPRS uyumlu mobil cihazlar gereklidir [28-31].

2.7.2. EDGE

GSM sisteminde GPRS altyapısını kullanarak veri iletim hızının yaklaşık olarak üç katına çıkartılabilmesine olanak sağlar. GPRS altyapısını kullanabilmek için gerekli olan operatör aboneliklerinden farklı bir abonelik gerektirmeden data hızını arttırması en önemli avantajıdır. Her an alınan/gönderilen verinin hızı baz istasyonlarındaki yoğunluğa, GSM/GPRS modemin terminal sınıfına göre değişiklik gösterebilir. EDGE, GSM şebekesi üzerinden veri "paketleri" gönderen GPRS servisine dayanır. Paket

anahtarlama, bir yapboz bulmaca gibi çalışır. Veri birçok parçaya bölünür; sonra şebekeler üzerinden gönderilerek diğer uçta tekrar birleştirilir [31-33].

2.7.3. CDMA

Spread-spectrum teknolojisini kullanan bir iletişim teknolojisidir. CDMA'de kullanıcıların adeta farklı diller konuşması sağlanır. Yani aynı dili konuşanlar anlaşılabilir mantığından hareketle farklı kullanıcılara farklı kullanıcı kodları verilerek farklı kanallar oluşturulması sağlanır. CDMA, normal sabit GSM abonelerinin cihazlarını sim kartsız klasik cep telefonları gibi yanlarında gezdirebilmelerini ve ülkenin her yerinden kullanabilmelerini sağlayan bir sistemdir. CDMA teknolojisi sayesinde çok yüksek hızda veri kablosuz olarak taşınabilmektedir. Özellikle çok yüksek hızlarda İnternet bağlantısı sağlamaktadır [34, 35].

2.7.4. UMTS

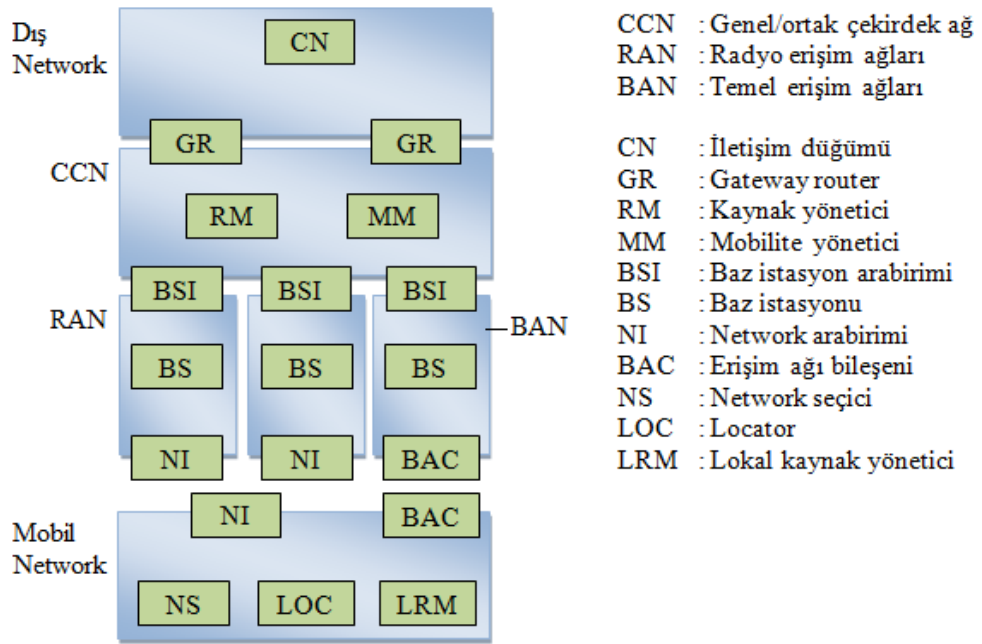
Klasik frekans veya zaman çoklu iletişim tekniklerinden prensip olarak çok farklı olan kod çoklu iletişim CDMA teknolojisini kullanır. Bir çeşit dağınk frekans (spread spectrum) tekniği olan bu teknolojiye kullanıcılar 5 MHz genişliğindeki aynı banttan haberleşirler. Her vericinin sinyali özgün bir yonga koduyla çarpılarak (bu kodun hızı 3.84 Mchips/s) 5 MHz genişliğindeki spektruma yayılır. Alıcı da bu spektruma yayılmış sinyali aynı yonga koduyla çarparak veriyi elde eder [36, 37].

2.8. HETEROJEN KABLOSUZ AĞLAR

Heterojen kablosuz ağlar hücrel ve kablosuz ad-hoc ağların özelliklerini birleştirir. Her bir düğümün ad-hoc ve hücrel arayüz ile donatıldığı kabul edilmiştir. Temel yapısı, mobil istasyonların diğerleriyle direkt olarak ya da hücrel ağa ulaşmak için diğer mobil istasyonlar üzerinden çoklu sıçramalar yoluyla iletişim kurması prensibine dayanır (Şekil 2.26). Hücrel ağların getirdiği faydaları korur ve ayrıca bunu ad-hoc ağların uyarlanabilirliğiyle birleştirir. Bu nedenle; heterojen ağlar,

- Hücrel ağlardaki düğümlerin komşu düğümlerle yüksek hızlarda iletişime geçebilmesini, ad-hoc ağların yönlendirmeleriyle ve altyapı olmaksızın gerçekleştirir.

- Ad-Hoc ağlardaki düğümlerin daha uzaktaki düğümlerle hücresele ağlar üzerinden yüksek hızlarla iletişime geçebilmesini sağlar.
- Mevcut hücresele ağ altyapısını ve ad-hoc ağın hızlı bir şekilde yeniden yapılanma özelliğini bir araya getirmiş olur. Dolayısıyla ihtiyaç duyulan araçların ve servislerin sayısı azaltılabilir, taşınan yük performansı artırılabilir.
- Aynı hücre içerisinde baz istasyonları ya da çoklu bağlantılar olmadan iletişime izin verir ve paketler yüksek hızlarda iletilir. Baz istasyonları kablosuz sıçrama sayısını azaltmaya yardım edebildiğinden yollar duyarlı ve daha karardır.



Şekil 2.26 : Heterojen Ağ Mimarisi

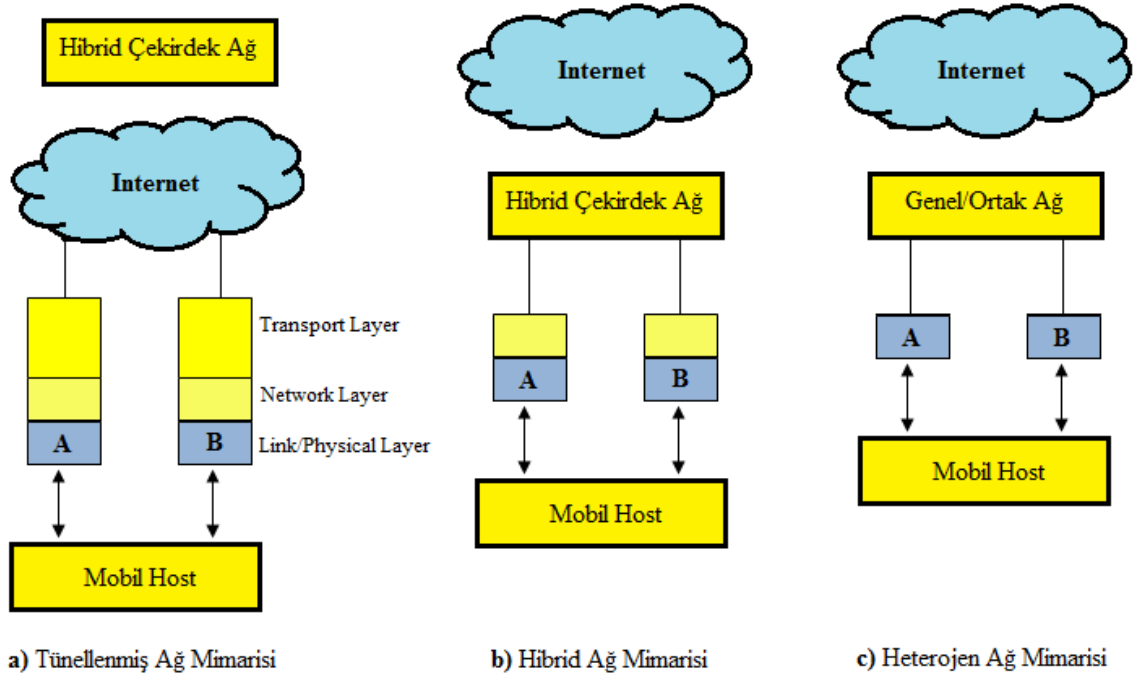
Heterojen kablosuz ağların karakteristik özellikleri şu şekilde sıralanabilir [38, 39]:

- *Farklı Erişim Gecikmeleri:* Heterojen kablosuz ağlar, içerisinde farklı teknolojileri barındırdığı için farklı erişim gecikmelerine sahiptir. WLAN'daki ihmal edilebilir ölçüdeki gecikme, 3G linklerindeki kapsamlı fiziksel katman işlemlerinden kaynaklanan yüzlerce ms'lik gecikme ve uydu linklerindeki 270 ms'lik gecikmeler bunun en büyük göstergesidir.
- *Link Hata Seviyelerinin Çeşitliliği:* WLAN, 3G piko-hücreler gibi çok düşük seviye yakın-kablosuz ortamlar, %1'den daha fazla link seviyesi hatalarının bulunduğu makro-hücresele ortamlar, uydu ağları, vb. ağlar için çeşitlilik görülür.

- *Mobilite Kalıbı*: Mobilitenin nasıl gerçekleşeceğini, linkin servis dışı kalma olasılığını ve kablosuz mimariye bağlı olarak değişen bileşke paket kaybı seviyelerini belirler.

2.8.1. Heterojen Ağ Modelleri

Farklı çoklu radyo erişim ağlarını kullanan birçok mimari vardır. Temel modeller Şekil 2.27’de gösterilmektedir. Şekilde 2.27’de, A ve B ağları iki radyo erişim ağıdır. Bu modeller arasındaki ana farklılık RAN’ın üzerinde iletişim kurduğu katmandır.



Şekil 2.27 : Heterojen Ağ Mimari Modelleri

2.8.1.1. Tünelenmiş Ağ

Bu modelde kullanıcı ile birçok RAN operatörü arasında bağımsız şekilde bir servis anlaşması vardır. Bazı kurallara dayanarak, istenilen servis için en uygun ağ seçilir. Ağlar arasındaki bağlantı internetin yüksek ağ katmanlarına (transport ya da oturum) dayanır. Bu sistemde mevcut ağlara giriş için bir modifikasyona gerek yoktur. Hepsi sinyalleşme, handover ve faturalandırma gibi kendi altyapılarına sahiptir. Bu özellik, mevcut ağ sistemlerinin birlikte ve verimli bir şekilde çalışmasını oldukça zorlaştırır.

2.8.1.2. Hibrit Ağ

Bu modelde RAN'lar ve Internet arasında ara yüz görevini gören bir hibrit merkez vardır. Bu modelin avantajı, daha az tekrarlanan fonksiyonların olmasıdır; böylece ağ ya da veri bağı katmanında ileri seviyede servis hizmeti verilebilir (RAN'lar arasında daha iyi handover sağlanabilir).

2.8.1.3. Heterojen Ağ

Bu modelde, tek bir ağ gibi çalışan ve tüm ağın işlevselliği ile bağlantıda olan ortak bir merkez ağ (CCN) vardır. Farklı RAN'lar, gelişmiş fonksiyonları, sadece özel olarak ve ayrı bir radyo erişim teknolojisiyle bağlanarak alırlar. CCN'e ait RAN'lar arasındaki iletişim daha düşük ağ katmanlarına (veri bağı ya da ağ katmanı) bağlıdır. Bunun sonucu olarak maliyet azalır ve performans artar. Bu modelin en büyük dezavantajı bir standardizasyona ihtiyaç duyan farklı RAN'ların dönüştürülmesi işlemidir.

2.8.2. Heterojen Ağlarda Servis İhtiyaçları

Heterojen ağlarda desteklenen servis tipleri yüksek seviyeli güvenilir veriden video aktarımı gibi gerçek zamanlı multimedya uygulamalarına kadar çeşitlilik gösterir. Mobil kullanıcı bağlantı boyunca hareket ederken, verileri dinamik olarak alma ihtiyacı hisseder. İhtiyaç duyulan servisler arasındaki çeşitlilik, hem güvenilir veri transferi işlevselliğini hem de zaman kısıtlamalı multimedya dağıtımını için kontrol protokolü seviyesini gerekli kılar.

Heterojen ağ servislerindeki temel amaç heterojen kablosuz ağları kullanıcılar için saydam bir hale getirmek ve sistem mimarisini kablosuz erişim teknolojilerinden bağımsız olarak tasarlamaktır. Bu özellikler göz önüne alındığında şu gereksinimlere dikkat edilmelidir [38, 39]:

- *Farklı RAN'lara erişim için çoklu-servis kullanıcı terminali (MUT):* Çoklu kablosuz air-interface modüllerine sahip bir MUT, bir ya da daha fazla uygun RAN'a erişim için birden fazla belirli air-interface'leri kullanabilir özelliktedir.
- *Kablosuz Sistem Keşfi:* Belirli bir coğrafi konumdaki bir MUT'un RAN'ı kullanabilmesi için gerekli olan koşul; kullanıcının fiziksel kapasitesini karşılayabilmesi kadar bölgede kaç tane RAN olduğunu bulabilmek için belirlenen yerleştirme kurallarıdır. Genel olarak üç tip keşif metodu vardır:

dağıtık (MUT'un kendi başına yaptığı), merkezi (ağ tarafından duyurulan) ve bu ikisinin kombinasyonundan oluşan hibrit metod.

- *Kablosuz Sistem Seçimi:* Heterojen ağlardaki önemli bir özellik de, bir MUT'un bir grup uygun RAN arasından en uygununu (uygunlarını) seçebilmesinin mümkün olmasıdır. Kablosuz sistem seçim kararı, hem kullanıcıların dağıtım kurallarına (değer, veri seviyesi, pil ömrü, servis derecesi gibi) hem de RAN'ların mevcut trafik durumuna (uygun bant genişliği, sıkışıklık durumu gibi) bağlıdır. Sonuç olarak, bu servisi sağlamanın en verimli yolu her servisin ağ üzerinden alınmasıdır.
- *Mobilite Yönetimi:* Aynı RAN içinde ve farklı RAN'lar arasında QoS garantili seamless handover ve mevcut mobil teknolojiler sağlanmalıdır.
- *Konum Güncelleme ve Sayfalama:* RAN'dan bağımsız, kullanıcı saydamlığı olan, güvenli, düşük sinyalleşme yükü olan, kontrol ve yönetim bütünleşmiş, roaming destekli konum güncelleme özellikleri içeren teknolojiler sağlanmalıdır. Bir MUT için heterojen sayfalama, konum güncelleme teknolojileri kullanılarak desteklenmelidir.
- *Basitlik, Verimlilik, Ölçeklenebilirlik ve Düşük Maliyet:* Her bir gereksinim birbiriyle çok yakın ilişkilidir. Bu ihtiyaçlar, saniyede yüzlerce mega bit iletecek olan erişim noktalı gelecek nesil piko-hücresele ağlar için oldukça önemlidir.
- *Enerji Verimliliği:* Kablosuz IP bağlantı sağlayıcılarının açık, servise hazır, İnternet tarafından erişilebilir olması beklenir. Servisler için gerekli olan konum bilgisi düzenleyici, kablosuz sistem keşfi gibi mekanizmalar enerji ve bant genişliği açısından verimli olmalıdır.
- *Güven:* Mobil sistemler birçok güvenlik problemiyle karşı karşıyadır. Mobil hostlar hareket boyunca konumlarını güncellemelidir. Konum mesajları yeterli güvenlik olmadığında taklit edilebilir. Seamless handover'ın birincil öneme sahip olduğu sistem ve uygulamalarda, mobil hostlar tarafından kullanılan oturum anahtarları, handoff süresince yeni baz istasyonunda da (aynı RAN içinde ya da farklı bir RAN'da) kullanılabilir olmalıdır.
- *QoS Desteği:* RAN'lar bazı servis ve hizmetler için özelleşmiş servisleri sağladıklarından heterojen ağlarda QoS önemlidir. Heterojen sistemlerde lokal QoS mekanizmasıyla beraber çalışan end-to-end QoS mekanizmaları bulunmalıdır. Aynı zamanda düşük seviye protokoller (veri bağı ve fiziksel

katmanda çalışan) trafiğin karakteristiğinden haberdar olmalıdır ve farklı QoS ihtiyaçlarını karşılayabilmelidir.

- *Kişisel Mobilite*: Heterojen ağlarda kişisel mobilite homojen ağlardakinden daha önemlidir. Kişisel bir ID'ye sahip olan bir kullanıcı farklı RAN'lara erişim için desteklenmelidir.

Yukarıda sözü edilen gereksinimler üç temel sisteme dayanmaktadır. Bunlar [38, 39]:

1. *Çoklu-Servis Kullanıcı Terminali (Multi-Service User Terminal - MUT)*: MUT, bir multi-radyo sistemi ile donatılmıştır. Her terminal, BAN ile bağlantı sağlayabilmek için Temel Erişim Bileşenine (Basic Access Component - BAC) sahiptir. Bu radyo sisteminden farklı olarak, MUT'un CCN'e erişebilmesi için bir ya da daha fazla radyo alt sistemi vardır. Bu alt sistemler zorunlu (ya da tercihe bağlı olarak) SDR'a dayanırlar. SDR, MUT'un radyo donanımına ve ihtiyaç duyulan kablosuz altyapıya uyarlanabilmesini sağlar.
2. *Ortak Merkez Ağ (Common Core Network - CCN)* : CCN, internet üzerinde bulunan, uygun düğümlerle iletişim kuran, MUT'lar aracılığıyla ortak bir platform sağlayan bir IPv4/v6 ağı olabilir. Prensipte olarak, RAN'ların tüm erişim noktaları bu ağa bağlanmıştır. Ağ, RAN'lar arasında QoS garantili routing ve seamless handover sağlar. Bu yolla, çeşitli heterojen kablosuz ağın doğal bir birleşimine ulaşılabilir. CCN'in fonksiyonel olarak ana elemanı trafik dağıtımını yöneten ve RAN'ı seçen "Kaynak Yöneticisi"dir. Doğrulama, konum, tercih edilen erişim sistemi, faturalama, kural, kullanıcıların terminal kapasiteleri gibi kullanıcı profillerini yönetebilmek için ortak bir veritabanına sahiptir.
3. *Temel Erişim Ağı (Basic Access Network - BAN)*: MUT'ların ortak platforma erişimleri için ortak bir kontrol/sinyalleşme kanalı sağlar. BAN, temel olarak diğer tüm kablosuz sistemler için konum güncelleme ve sayfalama sağlar, kablosuz sistem keşfi ile dikey handoff'a yardım eder. Baz istasyonları ve temel erişim bileşenleri (terminaller) içeren BAN, geniş bir kapsama alanına (RAN'ların desteklediğinden daha fazla) ve yüksek veri seviyelerine ihtiyaç duyulmadığında sinyalleşme anlamında güvenilir bir iletişime sahiptir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

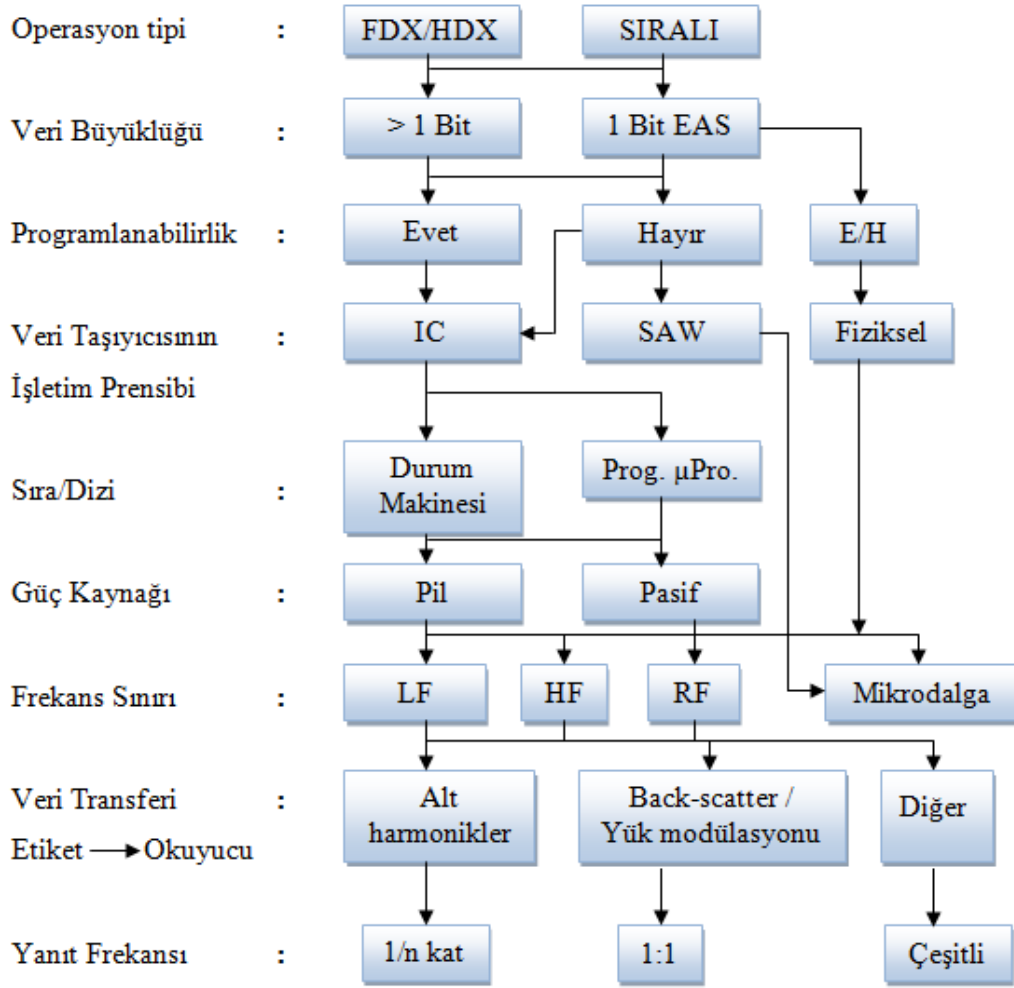
Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi (IEEE 802.11a/b), NFC, UMTS, GPRS, EDGE, CDMA, HSCSD, WiMAX (IEEE 802.16/x) gibi yeni nesil mobil ve kablosuz iletişim sistemleri hızlı internet bağlantısını ve veri haberleşmesini sağlamaktadır. Fakat amaçlar; veri iletişimi, nesne izleme, veri (nesne) analizi ve yönetimi ise servislerin etkin, güvenilir, hızlı ve daha az maliyetli olarak daha geniş alanlarda rahat kullanılması gerekir. Bu nedenle, RFID ile birlikte kullanılacak kablosuz iletişim sistemleri nesnelere arasında haberleşmeyi daha uygun hale getirebilecektir. Mevcut bu sistemler mobilite, güvenlik, nesne tanımlama ve takibi, nesne data seviyeleri, servis tipleri gibi farklı ihtiyaçları karşılamak için birbirlerinden bağımsız ya da heterojen yapılar şeklinde tasarlanabilir, uygulanabilir ve çalışabilir. Bu sistemlerden bir kısmı, belirli bir coğrafik konumda, servisleri eş zamanlı olarak sağlayabilir; böylece belli bir servis alanındaki nesnelere takip edebilmek için heterojen kablosuz bir ortam sağlanabilir.

Bu bölümde, RFID sistemlerinin kablosuz iletişim teknolojileri ile birlikte çalışabilmesi için gerekli yazılım ve donanım araçları, veri iletişim teknikleri, işletim prensipleri, uygun frekanslar, veri kodlama teknikleri, çoklu erişim protokolleri ve çarpışma önleme algoritmaları açıklanmıştır. Çeşitli ağ tasarım programları kullanılarak farklı yapıda kablosuz ağ topolojileri düzenlenmiş ve RFID sistemleri oluşturulmuştur. Daha sonra, bir entegre RFID sistemi tasarlanarak bu sistemin kablosuz iletişim teknolojileriyle birlikte nasıl kullanıldığı gösterilmiştir.

3.1. RFID SİSTEMLERİ İÇİN GEREKLİ SEÇİM KRİTERLERİ

RFID sistemlerinin kullandıkları veri iletişim tekniklerindeki, üretim ve uygulama amaçlarındaki farklılıklar bu sistemler için neden çok özel uygulamalar olduğunu gösterir. Kablosuz ağlar ile birlikte çalışan RFID sistemlerinin gelişmiş özellikleri, farklı uygulama seçenekleri iyi anlaşılır ve incelenirse, bu sistemlerin işletmelerde ya da kurumlarda nasıl verimli kullanılabileceğine ilişkin stratejiler geliştirilebilir.

RFID sistem tasarımlarındaki temel seçim kriterleri ve parametreler (Şekil 3.1); veri okuma kapasitesi, değişken okuma mesafesi, etiket dayanıklılığı, yaşam süresi, potansiyel engel, etiket çeşitliliği, bilgi depolama kapasitesi, veri/bilgi esnekliği, veri güvenliği, maliyet, standartlar, geniş eğitim ve servis ağı olarak sıralanabilir. Bu özelliklerden bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.



Şekil 3.1 : RFID Sistemi Entegrasyonunda Seçim Kriterleri

- **İşletim frekansı:** Entegre bir RFID sistemi için frekans seçerken mevcut olan birkaç frekans menziline dikkate alınmalıdır. Planlanmış sistemin işletim menziline uygun kullanılabilir frekansların ve frekans bandının mevcut olup olmamasının sistem parametrelerinin üzerinde belirli bir etkisi vardır.
- **Veri değişikliği (Modifikasyon):** Etiket üzerindeki veriyi değiştirme yeteneği ya da etikete veri yazma yöntemidir.
- **Potansiyel engel:** Etiket uygun bir şekilde okunmasına engel olan etkenlerdir.

- **Veri güvenliği:** Etiketdeki veriyi şifreleme yeteneğidir. Planlı bir RFID uygulamasında, şifreleme, kimlik tanıma, yetkilendirme vb. işlemler için kullanılacak güvenlik gereksinimleri uygulama aşamasında eksiksiz bir biçimde değerlendirilmelidir.
- **Etiket bellek kapasitesi ve veri miktarı:** Etiketın saklayabileceği kullanışlı veri miktarıdır. Veri taşıyıcısının çip büyüklüğü öncelikle bellek kapasitesi ile belirlenir. Bu nedenle kalıcı şifrelenmiş salt-okunur veri taşıyıcılar, düşük yerel bilgi gereksinimi olan fiyat odaklı kitle uygulamalarında kullanılır. Fakat böyle bir veri taşıyıcı kullanılarak yalnızca tek bir nesnenin kimliği tanımlanabilir. Ek veriler ana bilgisayarın merkezi veritabanında saklanır. Verinin etikete geri yazılması gerekirse, EEPROM veya RAM bellek teknolojisi etiket kullanılır. EEPROM bellekler en çok aktif RFID sistemlerde bulunur. 16 bayttan 8 kilobayta kadar bellek kapasiteleri mevcuttur. Batarya destekli SRAM bellek aygıtları ise ağırlıklı olarak mikrodalga sistemlerinde kullanılmaktadır.
- **Maliyet:** “Herbirinin maliyeti ne kadar?” sorusuna ek olarak bir teknolojiyle çalışmaya ihtiyaç duyulan sistemdeki yardımcı cihazların maliyetleridir.
- **Standartlar:** Birçok üreticinin ve kullanıcının kabul ettiği açık standartlar kümesini içerebilmesi; teknoloji temelli küresel verileri ve uygulama standartlarını karşılayabilmesidir.
- **Okuma aralığı (Menzil):** Okumak için etiketin görüş çizgisi gerektirip gerektirmediği ve ne kadar uzaktan sinyal topladığı ile ilgilidir. Kullanılan RFID sisteminin okuma/yazma mesafesi gerekli olan maksimum menzil için tasarlanmalıdır. Etiketler arasındaki uzaklık, okuyucunun sorgulama alanında tek bir anda yalnızca tek bir etiket olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bir uygulamanın gerektirdiği menzil birkaç etkene bağlıdır. Bu etkenler etiket konumunun doğru olması, pratik işletimde birçok etiket arasındaki minimum uzaklık ve okuyucunun sorgulama alanındaki etiketin hızıdır.
- **Bir zamanda okunabilen sayı:** Nesneye ait veri sadece bir zamanda bir defa okunmamalıdır. Belirli bir zamanda çoklu verilerin okunmasına olanak tanınmalıdır. Etiketlerin okuyuculara ilişkin hızları, maksimum okuma/yazma uzaklığını ve etiketin okuyucu sorgulama alanında geçirdiği zamanı belirler. Nesnelerin tanınması için gereken zaman ve mesafe, maksimum nesne geçiş

hızında sorgulama alanında geçirilen zaman ve RFID sistemi için gereken menzil ihtiyaç duyulan verinin iletilmesine yetecek şekilde tasarlanmalıdır.

- **Yaşam süresi:** Etiketın okunabilir kalma süresidir.

Tablo 3.1’de, Auto-Id teknolojilerinin işletme veya kurum ihtiyaçları için hangisine uygun olduğunu belirlemeye yardım edecek bazı önemli kriterler sunulmuştur.

Tablo 3.1 : Temel Auto-Id Teknolojilerinin Karşılaştırılması

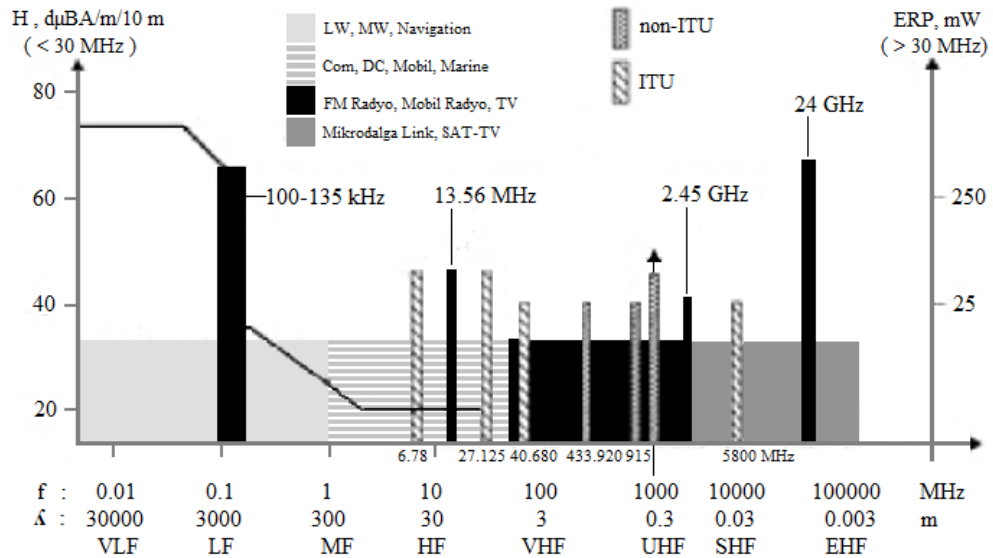
	Barkod	Contact Memory	Pasif RFID	Aktif RFID
Modifikasyon	Modifiye edilemez	Modifiye edilebilir	Modifiye edilebilir	Modifiye edilebilir
Veri Güvenliği	Düşük güvenlik	Çok yüksek güvenlik	Düşük güvenlikten çok yüksek güvenliğe kadar değişebilir	Çok yüksek güvenlik
Veri Miktarı	Çizgisel barkodlar 8-30 karakter tutar. 2D barkodlar 7200 sayıya kadar tutar.	8 MB’a kadar	64 KB’a kadar	8 MB’a kadar
Maliyet	Düşük (25 cent’ten az)	Yüksek (3\$’dan fazla)	Orta (1\$’dan az)	Çok yüksek (10\$-100\$ arası)
Standartlar	Sabit ve kabul edilmiş	Özel Standart yok	Kabul edilmiş bir standarda genişliyor	Özel ve açık standartlar geliştiriliyor
Yaşam Süresi	Kısa	Uzun	Belirsiz	3-5 yıl pil ömrü
Okuma Aralığı	Görüş çizgisi gerektirir (3-5 cm)	Temas gerektirir	Temas ya da görüş çizgisi gerektirmez (3-5 m)	Temas ya da görüş çizgisi gerektirmez (100 m ve üstü)
Potansiyel Engel	Optik engeller, kir, leke, etiket ile okuyucu arasına yerleşmiş engeller	Bağlantı tıkanıklığı, blokaj	Radyo frekansı iletişimini etkileyen evresel etkenler	Kısıtlı etkenler: etiketten gelen yayın sinyali güçlüdür

3.2. RFID SİSTEMLERİ İÇİN UYGUN FREKANSLARIN SEÇİMİ

RFID sistemleri elektromanyetik dalgalar ürettiği ve yaydığı için kanunen radyo sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Buna bağlı olarak, RFID sistemlerinin yakındaki radyo ve televizyon, mobil radyo hizmetleri (telefon, güvenlik hizmetleri, endüstri), deniz ve havacılık radyo hizmetleri ve mobil telefonlar ile karışmamasını sağlamak son derece önemlidir.

Diğer radyo hizmetlerine özen gösterme gereksinimi, bir RFID sistemi için mevcut olan uygun işletim frekanslarının menzili önemli ölçüde kısıtlar (Şekil 3.2). Bu nedenle, genellikle yalnızca endüstriyel, bilimsel veya tıbbi uygulamalar için özel olarak ayrılmış olan frekans menzillerini kullanmak mümkündür. Bunlar, dünya çapında ISM frekans menzilleri (Endüstriyel-Bilimsel-Tıbbi) olarak sınıflandırılmış frekanslardır ve RFID uygulamaları için de kullanılabilir. ISM frekanslarına ek olarak 135 kHz'nin altındaki tüm frekans menzilleri de uygundur, çünkü bu menzilde özellikle pasif RFID sistemlerini işletirken yüksek manyetik alan güçleriyle çalışmak mümkündür [1, 2, 6].

RFID sistemleri için kullanılan en önemli frekanslar: 0–135 kHz, 6.78 MHz civarı, 13.56 MHz, 27.125 MHz, 40.68 MHz, 433.92 MHz, 869.0 MHz, 915.0 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz ve 24.125 GHz ISM frekanslarıdır. Şekil 3.2, RFID etiketlerinin çalışma frekanslarındaki tahmini dağılımları göstermektedir.



Şekil 3.2 : RFID Sistemi Entegrasyonunda Kullanılabilecek Uygun Frekanslar [1]

- **9–135 kHz arası frekans:** 135 kHz altındaki frekans aralığı bir ISM frekans menzili olarak ayrılmadığı için diğer radyo hizmetleri tarafından yoğunlukla kullanılmaktadır. Bu uzun dalga frekans aralığındaki yayma koşulları, bu menzili kullanan radyo hizmetlerinin 1000 km'lik bir yarıçap dahilindeki alanlara ulaşmasına izin verir. 9-135 kHz frekans aralığındaki tipik radyo hizmetleri arasında aeronotik ve deniz seyrüsefer radyo hizmetleri (LORAN C, OMEGA, DECCA), saat ayarı hizmetleri, standart frekans sistemleri ve askeri

radio hizmetleri yer almaktadır. Dolayısıyla bu frekansta işleyen bir RFID sistemi, bir okuyucunun birkaç yüz metrelik yarıçapında bulunan tüm radyo hizmetlerinin ve saatlerinin bozulmasına neden olacaktır [1, 2, 6].

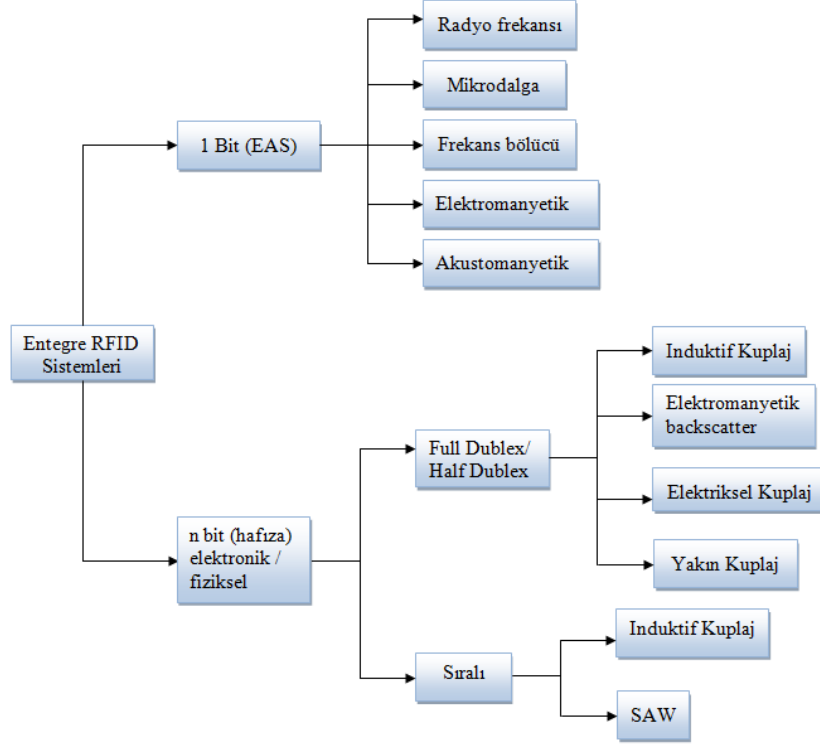
- **6.78 MHz (6.765–6.795 MHz arası) frekans:** Kısa dalga frekanslarına aittir. Düşük maliyetli ve orta hızdaki etiketler için kullanılabilir. Bu frekans aralığındaki yayma koşulları, gündüz saatlerinde yalnızca birkaç 100 km'lik kısa menzillere izin vermektedir. Gece saatlerinde kıta ötesi yayma mümkün hale gelmektedir. 6.78 MHz frekans geniş aralıktaki radyo hizmetleri tarafından (örneğin radyo-televizyon yayınları, hava ve aeronotik radyo hizmetleri ve basın ajansları) kullanılmaktadır. Bu aralığa uluslararası ITU tarafından bir ISM bandı atanmıştır ve RFID sistemleri tarafından gittikçe daha çok kullanılmaktadır.
- **13.56 MHz (13.553–13.567 MHz arası) frekans:** Kısa dalga boyu menzilin ortasında yer almaktadır. Bu frekans aralığındaki yayma koşulları gün boyunca kıta ötesi bağlantılara izin verir. Geniş frekans aralığındaki radyo hizmetleri tarafından (örneğin basın ajansları ve telekomünikasyon) kullanılmaktadır. RFID'ye ek olarak bu frekans aralığında çalışan diğer ISM uygulamaları arasında uzak kontrol sistemleri, çağrı cihazları, uzaktan denetimli modeller ve radyo ekipmanları yer almaktadır.
- **27.125 MHz (26.565–27.405 MHz arası) frekans:** Tüm Avrupa kıtasında ve ABD ile Kanada'da CB (Citizens' Band) radyoya tahsis edilmiştir. 26.957 ile 27.283 MHz arasındaki ISM menzili CB radyo menzilin ortasında yer almaktadır. 4 Watt'a kadar iletim gücü olan kayıtsız ve ücrete tabi tutulamayan radyo sistemleri özel katılımcılar arasında 30 km uzaklığa kadar radyo bağlantılarına izin vermektedir. RFID'ye ek olarak bu frekansta çalışan ISM uygulamaları arasında medikal uygulamalar, endüstriyel uygulamalar, uzaktan denetimli modeller ve çağrı cihazları yer almaktadır. 27 MHz RFID sistemlerini endüstriyel uygulamalar için kullanırken etrafta bulunabilecek olan bütün yüksek frekanslı kaynak ekipmana özel dikkat gösterilmesi gerekir. HF kaynak ekipmanı yüksek alan gücü üretir ve bu güç, civarda bulunan ve aynı frekansta çalışan RFID sistemlerinin çalışmasına engel olabilir [1, 2].
- **40.680 MHz (40.660–40.700 MHz arası) frekans:** VHF menzilin alt ucunda yer almaktadır. Dalgaların yayılması yer dalgasıyla sınırlıdır, bu nedenle sönüm, binalar ve diğer engellerden dolayı daha az belirgindir. Bu aralıkta çalışan temel

ISM uygulamaları mobil ticari radyo sistemleri (ormancılık, otoyol yönetimi), televizyon yayınları (VHF I menzili), tele ölçüm (ölçüm verilerinin iletimi) ve uzaktan kontrol sistemleridir. Bu frekans küçük pasif etiketlerin yapımı için uygun değildir. RFID ile erişilebilecek menziller çok daha düşüktür.

- **433.920 MHz (430.000–440.000 MHz arası) frekans:** Dünya çapındaki amatör radyo hizmetlerine tahsis edilmiştir. Ses/veri iletimi, aracı radyo istasyonları veya uzay uyduları aracılığıyla iletişim kurmak için kullanılır. Bu UHF frekans menzilineki dalgaların yayılması neredeyse optiktir. Bina ve diğer engellerle karşılaştığında güçlü bir sönüm meydana gelir ve gelen elektromanyetik dalgalar yansır. Radyo amatörlerinin kullandığı sistemler işletim metoduna ve iletim gücüne bağlı olarak 30 ila 300 km arasında bir uzaklığa erişebilir.
- **869.0 MHz (868–870 MHz arası) frekans:** Avrupa’da kısa menzilli cihazlar tarafından kullanılır. Bu frekans menzili CEPT’teki (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) 48 üye devlette RFID uygulamalarında da kullanılmaktadır [1].
- **915.0 MHz frekans menzili:** Bu frekans menzili Avrupa’daki ISM uygulamalarında mevcut değildir. Fakat, Avrupa dışında 888–889 MHz ve 902–928 MHz frekans menzilleri bulunmakta ve bu frekanslar RFID sistemleri tarafından kullanılabilir.
- **2.45 GHz frekans menzili:** Bu UHF frekans menzili ve daha yüksek frekanstaki SHF menzili için sinyal yayma koşulları yarı optiktir. Binalar ve diğer engeller iyi bir yansıtıcı görevi görür ve elektromanyetik bir dalgayı iletimde (geçit) çok kuvvetli bir şekilde sönümler. RFID sistemlerine ek olarak bu frekansı kullanan ISM uygulamaları, tele ölçüm sistemleri ve kablosuz ağ bağlantıları için kullanılan LAN cihazlarıdır.
- **5.8 GHz frekans menzili:** Bu frekans menzili kullanan ISM uygulamaları arasında mağaza ve alışveriş merkezlerinde kapı açıcı olarak kullanılan hareket sensörleri ve RFID sistemleri yer almaktadır.
- **24.125 GHz (24.00–24.25 GHz arası) frekans:** Bu frekans aralığı uydu aracılığıyla sağlanan yer kaynakları, amatör radyo ve radyo lokasyon hizmetleri tarafından kullanılan frekans menzilleri ile kısmen çakışmaktadır. Bu frekans aralığı en çok hareket sensörleri tarafından kullanılmaktadır. Fakat, veri iletimi için doğrultulu radyo sistemleri tarafından da kullanılabilir.

3.3. RFID SİSTEMLERİNDE VERİ İŞLETİM PRENSİPLERİ

Bu bölümde, bir RFID sisteminde etiket ile okuyucu arasındaki temel etkileşimin ve veri transferinin nasıl gerçekleştiği açıklanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : RFID Sistemlerinde Veri İşletim Prosedürleri

3.3.1. 1 Bit RFID Etiket

Bit, ifade edilebilecek en küçük bilgi birimidir ve iki mantıksal durumu vardır: 1 ve 0. Bu, 1 bitlik RFID etiketlere dayalı sistemlerde yalnızca iki durumun ifade edilebileceği anlamına gelmektedir: 'sorgulama alanında etiket var' ve 'sorgulama alanında etiket yok'. Bu sınırlılığa rağmen 1 bitlik etiketler çok yaygındır. Temel uygulama alanı hırsızlık önleyici elektronik sistemlerdir (EAS-Electronic Article Surveillance).

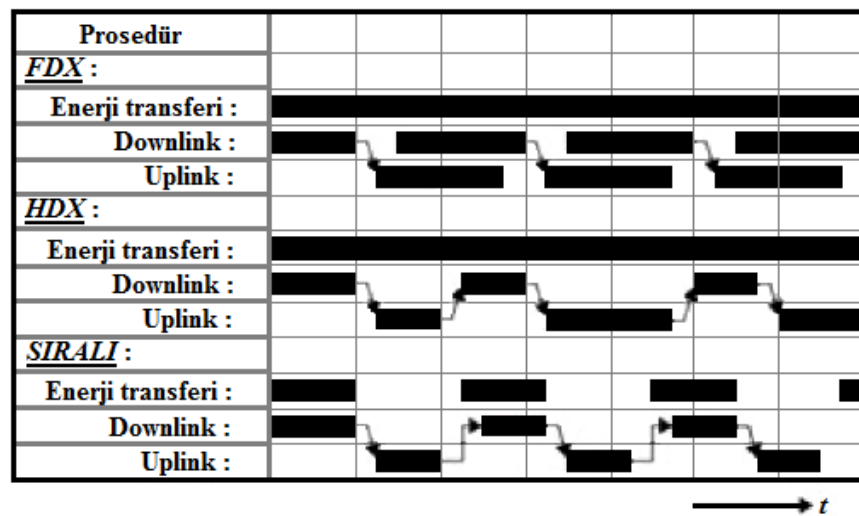
3.3.2. N Bit RFID Etiket

Bu tip etiketler veri taşıma aygıtı olarak bir elektronik mikroçip kullanır. Mikroçipin birkaç kilobayta kadar veri saklama kapasitesi (n bit hafıza) bulunur. Mikroçipten veri okuma veya mikroçipe veri yazma işlemi için etiket ile okuyucu arasında veri transferinin/iletişiminin yapılması gerekir. Bu veri transferi üç ana prosedürden birine göre gerçekleşir: tam dubleks, yarı dubleks ve ardışık (sıralı) prosedür (Şekil 3.3).

Yarı dubleks (HDX) prosedürde etiketten okuyucuya doğru gerçekleşen veri transferi ile okuyucudan etikete doğru gerçekleşen veri transferi birbirini izler (Şekil 3.4). 30 MHz'den düşük frekanslarda bu prosedür, çoğunlukla yük modülasyonu ile birlikte, basit devreler şeması içeren alt taşıyıcıyla ya da alt taşıyıcı olmadan kullanılır. Radar teknolojisinden bilinen modülasyonlu yansımali kesit prosedürü yarı dubleks prosedürle yakın ilişkilidir ve 100 MHz'nin üstündeki frekanslarda kullanılır. Yük modülasyonu ve modülasyonlu yansımali kesit prosedürleri okuyucunun ürettiği manyetik veya elektromanyetik alanı doğrudan etkiler ve harmonik prosedürler olarak bilinir.

Tam dubleks (FDX) prosedürde etiketten okuyucuya doğru gerçekleşen veri transferi ile okuyucudan etikete doğru gerçekleşen veri transferi aynı anda gerçekleşir (Şekil 3.4). Bu yöntem, verinin etiketten, okuyucunun frekansının bir parçasında (bir alt harmonik) veya tamamen bağımsız bir frekansta (harmoniksiz) iletildiği prosedürleri kapsar.

Tam dubleks ve yarı dubleks prosedürlerin ortak noktası okuyucudan etikete doğru gerçekleşen enerji transferinin sürekli olması, yani veri akışı yönünden bağımsız olmasıdır. Diğer taraftan ardışık (sıralı) sistemlerde etiketten okuyucuya doğru gerçekleşen enerji transferi yalnızca kısıtlı bir zaman diliminde gerçekleşir (darbeli çalışma→darbeli sistem). Ardışık sistemlerde etiketten okuyucuya doğru veri transferi, etikete gelen güç desteğinin arasındaki duraklamalarda gerçekleşir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Tam Dubleks, Yarı Dubleks Ve Sıralı Prosedürlerin Zaman Üzerinde Gösterimi
 Downlink : Okuyucudan etikete veri transferi
 Uplink : Etiketden okuyucuya veri transferi

Bilinen tüm dijital modülasyon prosedürleri, tam ve yarı dubleks sistemlerde, işletim frekansı veya kuplaj prosedürü hesaba katılmadan okuyucudan etikete doğru gerçekleşen tüm veri transferlerinde kullanılmaktadır. RFID sistemlerinde kullanılan üç temel dijital modülasyon prosedürü vardır. Bunlar; ASK (Amplitude Shift Keying-Sayısal Genlik Kiplenimi), FSK (Frequency Shift Keying-Sayısal Frekans Kiplenimi) ve PSK (Phase Shift Keying-Genlik Evre Kiplenimi)'dir. Demodülasyonun basit olması nedeniyle RFID sistemlerinin büyük çoğunluğu ASK modülasyonunu kullanmaktadır.

3.3.3. Sıralı Prosedürler

Okuyucudan etikete doğru gerçekleşen veri ve güç iletimi ile etiketten okuyucuya doğru gerçekleşen veri transferi birbirini izlerse, bu durumda sıralı bir prosedürden (SEQ- Sequential) bahsetmiş oluruz. Pasif etiket kullanan sıralı sistemler yalnızca 135 kHz'nin altındaki frekanslarda işletilir. Okuyucu bobini ile etiket bobini arasında transformatör tipi bir kuplaj oluşturulur. Etiket bobininde okuyucudan alternatif bir alan etkisiyle üretilen indüklenmiş voltaj doğrultulur ve bu voltaj güç kaynağı olarak kullanılır [1-3].

Daha verimli veri transferi elde etmek için, etiket frekansı ile okuyucu frekansının tam olarak birbirine denk gelmesi ve etiket bobininin kalitesinin özenle seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, rezonans frekansı üretim toleranslarını telafi etmek için etikette bir çiple tümleşik ayarlama kapasitörü bulunur. Fakat ardışık sistemlerde, tam ve yarı dubleks sistemlerden farklı olarak, okuyucunun vericisi sürekli olarak çalışmaz. Vericiye iletim işlemi sürecinde transfer edilen enerji, bir enerji deposu oluşturmak üzere bir şarj kapasitörünü şarj eder. Etiket çipi, şarj işlemi sırasında hazır bekleme veya güç tasarruf moduna geçirilir, böylece alınan enerjinin neredeyse hepsi şarj kapasitörünü şarj etmek için kullanılır. Belirli bir şarj süresi sonrasında okuyucunun vericisi yeniden kapatılır.

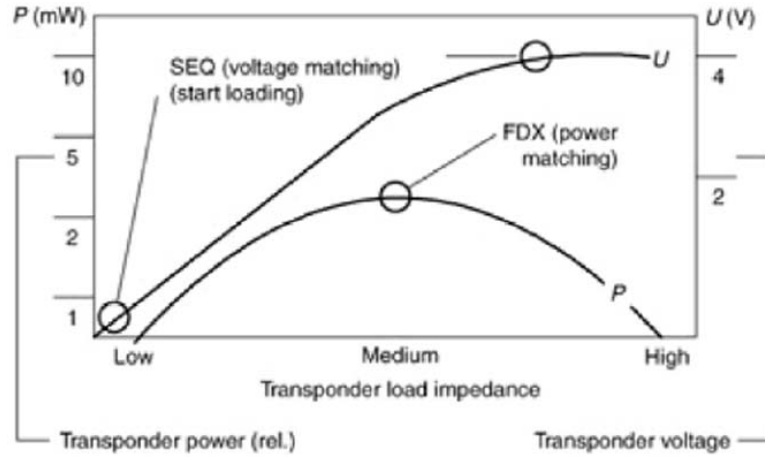
Etikette depolanan enerji okuyucuya yanıt göndermek için kullanılır. Şarj kapasitörünün minimum kapasitansı [1], gerekli olan işletim voltajı ve çipin güç tüketiminden hesaplanabilir (Denklemler 3.1):

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{I \cdot t}{[V_{\max} - V_{\min}]} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de V_{max} , V_{min} işletim voltajı için aşılamayacak sınır değerleri, I çipin işlem sırasındaki güç tüketimi ve t de etiketten okuyucuya doğru gerçekleşen veri iletimi için gereken zamandır.

3.3.4. Tam/Yarı Dupleks Ve Sıralı Sistemlerin Karşılaştırılması

Şekil 3.5 tam dupleks (FDX- Full Duplex)/Yarı dupleks (HDX-half dupleks) ve ardışık (SEQ-Sequential) sistemlerde ortaya çıkan farklı koşulları göstermektedir.



Şekil 3.5 : Tam/Yarı Dupleks Ve Sıralı Sistemlerde Etiket Voltajlarının Karşılaştırılması [1]

Tam dupleks sistemlerde okuyucudan etikete yapılan güç besleme, iki yönde yapılan veri transferiyle aynı zamanda gerçekleştiği için çip kalıcı olarak işletim modundadır. Etiket anteni (mevcut kaynak) ve çip (mevcut tüketici) arasındaki güç eşleme, iletilen enerjiyi en ideal şekilde kullanmak için tercih edilir. Fakat, tam güç eşleme kullanılırsa kaynak voltajın sadece yarısı (bobinin açık devre voltajı) kullanıma hazır olur. Mevcut işletim voltajını artırabilmenin tek yolu çipin empedansını (yük rezistansı) artırmaktır. Fakat bu, güç tüketimini azaltmakla aynı şeydir. Bu nedenle tam dupleks sistemlerin tasarımı, her zaman güç eşleme ($U_{çip}=1/2U_0$ 'da $P_{çip}$ max. güç tüketimi) ve voltaj eşleme ($U_{çip}=U_0$ max voltajda $P_{çip}$ min. güç tüketimi) arasında bir denge gerektirir [1-3].

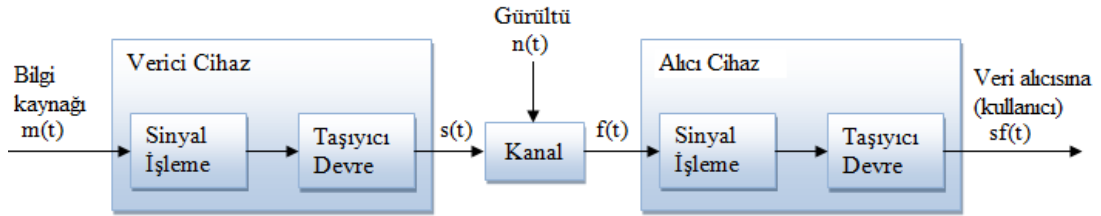
Güç eşleme ardışık sistemlerde tamamen farklıdır. Şarj işlemi süresince çip hazır bekleme veya güç tasarrufu modundadır ve çipten neredeyse hiç güç çekilmemektedir. Şarj kapasitörü, şarj sürecinin başında tamamen şarj edilir ve bu nedenle voltaj kaynağı için çok düşük ohm'luk yük sunar (Şekil 3.5: start loading). Bu durumda mevcut akımlar maksimum miktarda şarj kapasitörüne akarken voltaj sıfıra yaklaşır (mevcut

eşleme). Şarj kapasitörü şarj olurken, şarj akımı bir üstel fonksiyona göre azalmaya başlar ve kapasitör tamamen şarj olduğunda sıfıra ulaşır. Şarj edilmiş kapasitörün durumu etiket bobinindeki voltaj eşlemeye karşılık gelir. Böylece ardışık sistemlerde, tam/yarı dubleks sistemlere kıyasla, çip güç kaynağı için şu avantajlar elde edilir:

- Etiket bobininin tam kaynak voltajı çipin çalışması için hazırdır. Böylece mevcut işletim voltajı, benzer tam/yarı dubleks sistemlerin iki katı kadardır.
- Çipin kullanabileceği enerji, yalnızca şarj kapasitörünün kapasitansı ve şarj süresi tarafından belirlenir. Tam/yarı dubleks sistemlerde ise çipin maksimum güç tüketimi güç eşleme noktası ile sabitlenir.

3.4. RFID SİSTEMLERİNDE KODLAMA VE MODÜLASYON

Şekil 3.6'daki blok diyagram dijital bir iletişim sistemini göstermektedir. Benzer şekilde, bir RFID sisteminde okuyucu ile etiket arasındaki veri transferi üç ana işlevsel blok gerektirir. Okuyucudan etikete doğru (veri transferinin yönü) bu işlevsel bloklar şu şekilde sıralanabilir: sinyal kodlama, okuyucudaki (verici) modülatör (taşıyıcı devre), iletim aracı (kanal), demodülatör (taşıyıcı devre) ve etikette (alıcı) sinyal kod çözme.



Şekil 3.6 : Dijital İletişim Sistemlerinde Veri Akışı Ve Sinyal İşleme

Bir sinyal kodlama sistemi, iletilecek mesajı ve onun sinyal işaretini alır, iletim kanalının karakteristiğine en ideal şekilde bunları eşler. Kodlama süreci, mesaja müdahaleye, çarpışmaya ve belirli sinyal karakteristiklerinin kasti değiştirilmesine karşı bir dereceye kadar koruma sağlamayı kapsar. Sinyal kodlama, modülasyondan farklıdır ve bu terim genellikle ana bantta kodlama olarak ifade edilir. Modülasyon, yüksek frekanslı bir taşıyıcının sinyal parametrelerini, frekansı veya fazı modüle edilen sinyal olan ana bant sinyaline göre değiştirme sürecidir. Demodülasyon ise anabanttaki sinyali geri almaya yönelik ilave bir modülasyon prosedürüdür. İletim aracı (kanal), mesajı

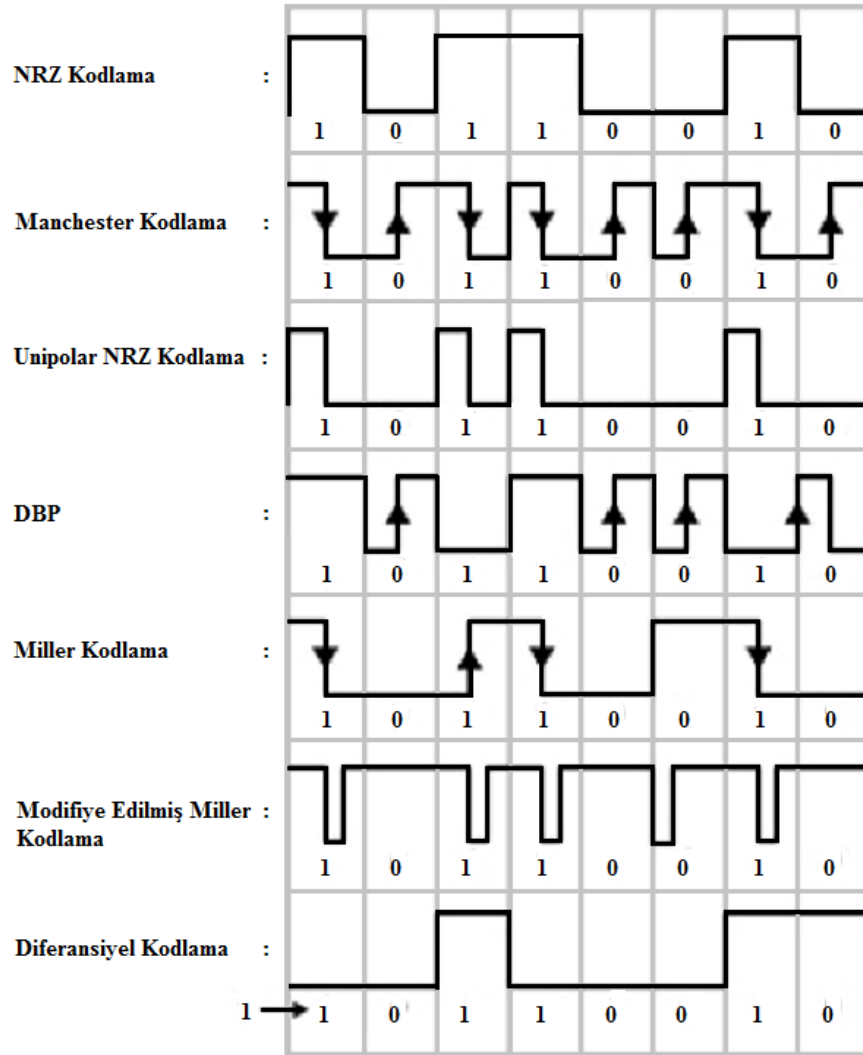
önceden belirlenen bir mesafeye iletir (Şekil 3.6). RFID sistemlerinde kullanılan iletim araçları, manyetik alanlar ve elektromanyetik dalgalardır (mikrodalgalar). Hem etikette hem de okuyucuda bir bilgi kaynağı (girdi) bulunduğundan ve bilgi iki yöne de iletildiğinden, bu bileşenler modülatör ve demodülatör içerir. Böyle bir konfigürasyona MoDem (**Modülatör-Demodülatör**) adı verilir [1]. Sinyal kod çözmenin amacı, ana bantta kodlanan alınan sinyalden orijinal mesajı yeniden kurmak ve her türlü iletim hatasını tanıyarak verileri uygun bir şekilde işaretlemektir.

3.4.1. Ana Bantta Kodlama

Entegre RFID sistemlerinde kullanılan sinyal kodlama prosedürleri: NRZ, Manchester, Tek kutuplu RZ, DBP, Miller, diferansiyel ve PPC kodlamadır (Şekil 3.7). Bu kodlama teknikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- *NRZ Kodu:* İkili bir 1 ‘yüksek’ bir sinyalle ve ikili bir 0 ise ‘düşük’ bir sinyalle gösterilir. NRZ kodu, FSK veya PSK modülasyonu ile birlikte kullanılmaktadır.
- *Manchester Kodu:* Ayrık fazlı kodlama olarak da bilinir. Yarım bitlik periyotta, ikili bir 1 negatif bir geçişle ve ikili bir 0 ise pozitif bir geçişle gösterilir. Manchester kodu, bir alt taşıyıcı kullanılarak yük modülasyonuna dayanan etiketten okuyucuya veri iletimi için kullanılır.
- *Tek Kutuplu RZ Kodu:* İkili bir 1, ilk yarım bitlik periyotta yüksek bir sinyalle ve ikili bir 0 ise bitin tüm süresi boyunca devam eden düşük bir sinyalle gösterilir.
- *DBP Kodu:* İkili bir 0 yarım bitlik periyotta aynı iki türden bir geçiş tarafından, ikili bir 1 ise geçişsiz olarak kodlanır. Ayrıca, her bit periyodunun başında düzey tersine çevrilir; böylece bit pulse’ı alıcıda kolaylıkla yeniden oluşturulabilir.
- *Miller Kodu:* İkili bir 1 yarım bitlik periyotta iki tür geçişten biriyle, ikili bir 0 ise sonraki bit periyodu boyunca 1 düzeyinin sürekliliğiyle gösterilir. Bir sıfırlar dizisi, bit periyodunun başında bir geçiş oluşturur. Böylece bit pulse’ı, eğer gerekirse, alıcıda daha kolaylıkla yeniden oluşturulabilir.
- *Modifiye Miller Kodu:* Miller kodunun bu çeşidinde, her geçişin yerine bir ‘negatif’ pulse konur. Modifiye Miller kodu, okuyucudan etikete veri transferi için pasif RFID sistemlerinde kullanıma son derece uygundur. Çok kısa pulse sürelerinden ($t_{pulse} \ll T_{bit}$) dolayı, veri transferi sırasında dahi okuyucunun HF alanından etikete sürekli bir güç beslemesi sağlamak mümkündür.

- *Diferansiyel Kodlama*: Diferansiyel kodlamada iletilecek her ikili 1, sinyal düzeyinde bir değişime (tetikleme) yol açarken, sinyal düzeyi ikili bir 0 için değişmeden kalır. Diferansiyel kodlama, bir XOR kapısı ve bir D tipi flip-flop kullanılarak bir NRZ sinyalinden çok basit bir şekilde üretilebilir.
- *Darbe Boşluk Kodlaması (PPC-Pulse Pause Coding)*: İkili bir 1, bir sonraki pulse'tan önce t süreli bir boşlukla, ikili bir 0 ise bir sonraki pulse'tan önce iki t süreli bir boşlukla gösterilir. Bu kodlama prosedürü, okuyucudan etikete veri transferi için pasif RFID sistemlerinde popülerdir. k kısa pulse sürelerinden ($t_{pulse} \ll T_{bit}$) dolayı, veri transferi sırasında dahi okuyucunun HF alanından etikete sürekli bir güç beslemesi sağlamak mümkündür.



Şekil 3.7 : RFID Sistemlerinde Sinyal Kodlama Yöntemleri

RFID sistemi için uygun bir sinyal kodlama prosedürü seçerken çeşitli sınır koşulları göz önüne alınmalıdır. Göz önüne alınması gereken en önemli noktalar, modülasyon sonrasındaki sinyal spektrumu ve aktarım hatalarına yatkınlıktır. Ayrıca, pasif etiketlere güç beslemesi (etiketin güç beslemesi okuyucunun HF alanından çekilir), uygunsuz bir sinyal kodlama ve modülasyon prosedürü kombinasyonu tarafından kesilmemelidir.

3.4.2. Modülasyon Ve Demodülasyon

Enerji, bir antenden çevre alana elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılır. Mesajlar, elektronik bir dalganın üç sinyal parametresinden birini (güç, frekans, faz pozisyonu) dikkatli bir şekilde etkilemesiyle kodlanabilir ve alan içindeki herhangi bir noktaya iletilebilir. Elektromanyetik bir dalgayı mesajlarla (veri) etkileme prosedürüne modülasyon ve modüle edilmemiş bir elektronik dalgaya da taşıyıcı denir. Alandaki herhangi bir noktada bulunan elektromanyetik bir dalganın özelliklerini analiz ederek, dalganın alıcı gücünü, frekansı veya faz konumundaki değişiklikleri ölçerek mesajı yeniden oluşturabiliriz. Bu prosedür demodülasyon adıyla bilinir.

Klasik radyo frekans teknolojisi büyük ölçüde analog modülasyon prosedürleriyle ilgilenir. Bu prosedürler amplitüd modülasyonu, frekans modülasyonu ve faz modülasyonu olup bir elektromanyetik dalganın üç temel değişkenidir. Diğer tüm modülasyon prosedürleri bu üç türün birinden çıkartılır. Her modülasyon prosedüründe simetrik modülasyon ürünleri (diğer adıyla yan bantlar) taşıyıcı etrafında üretilir. Yan bantların spektrumu ve amplitüdü, ana banttaki kod sinyalinin spektrumundan ve modülasyon prosedüründen etkilenir. RFID sistemlerinde kullanılan dijital modülasyon prosedürleri ise ASK, FSK ve PSK'dır [1-3].

3.5. RFID SİSTEMLERİNDE VERİ BÜTÜNLÜĞÜ

RFID teknolojisi kullanılarak veri iletilirken, hata ya da sorunlarla karşılaşılması ve bu sorunların iletilen veride istenmeyen değişikliklere yol açarak iletim hatalarına sebep olması çok olasıdır. İletim hatalarını tespit ederek düzeltici tedbirleri (örneğin hata veri bloklarının yeniden iletimi) başlatmak amacıyla bir sağlama yapılabilir. RFID sistemleri için kullanılan en yaygın sağlama prosedürleri eşlik denetimi, LRC ve CRC'dir.

3.5.1. Eşlik Denetimi Prosedürü

Eşlik denetimi çok basit ve bu nedenle çok rağbet gören bir sağlama prosedürüdür. Bu prosedürde her bayt içine bir eşlik biti eklenerek iletim yapılır ve sonuçta her bayt için 9 bit gönderilir. Veri transferi gerçekleşmeden önce, hem göndericinin hem de alıcının aynı yönteme göre denetleme yapmasını sağlamak amacıyla, tek eşliğin mi yoksa çift eşliğin mi denetleneceğine karar verilmesi gerekir. Eşlik bitinin değeri, tek eşlik kullanılıyorsa dokuz bitlik bir tek sayı 1 değerini alacak şekilde, çift eşlik kullanılıyorsa çift sayıdaki bitler 1 değerini alacak şekilde ayarlanır. Çift eşlik biti aynı zamanda veri bitinin yatay sağlaması (mod 2) olarak da yorumlanabilir. Bu yatay sağlama veri bitlerinin XOR mantık kapısının hesaplanmasına olanak sağlar. Buna karşılık, bu yöntemin basitliği kötü hata tanıma yeteneğiyle dengelenmektedir. Tek sayıda ters bitler (1, 3, 5, ...) her zaman tespit edilecektir, fakat eğer çift sayıda ters bit varsa (2, 4, 6, ...) hatalar birbirini iptal eder ve eşlik biti doğru gibi görünür.

3.5.2. LRC (Longitudinal Redundancy Check) Prosedürü

Boylamsal artıklık denetimi (LRC) adıyla bilinen XOR sağlaması çok basit ve hızlı bir şekilde hesaplanabilir. XOR sağlaması, bir veri bloğundaki tüm veri bitlerinin özyineli olarak XOR kapılanmasıyla üretilir. Bit 1, bit 2 ile XOR kapılanır, bu kapılamanın sonucu da bit 3 ile XOR kapılanır ve bu şekilde işlem devam eder. LRC değeri veri bloğuna eklenerek verinin kendisiyle birlikte iletilirse, “veri bloğu+LRC” bittten bir LRC üreterek alıcıda basit bir iletim hatası denetimi yapılabilir. Bu işlemin sonucu daima sıfır olmalıdır; diğer tüm sonuçlar iletim hatalarının olduğunu gösterir. LRC’ler çok güvenilir değildir, çünkü çoklu hataların birbirini iptal etmesi olasıdır ve denetim, bir veri bloğu içinde bitlerin ters çevrilip çevrilmediğini tespit edemez. LRC’ler çok küçük veri bloklarının (örneğin 32 bit) hızlı denetimi için kullanılmaktadır.

3.5.3. CRC (Cyclic Redundancy Check) Prosedürü

Döngüsel artıklık denetimi (CRC) prosedürü ilk olarak disk sürücülerde kullanılmıştır. Büyük miktarda veri için bile güvenilir olan bir sağlama üretebilir. Kablolu (telefon) veya kablolu (radyo, RFID) aracılığıyla veri transferinde hata tanımaya son derece uygundur. CRC prosedürü, seri veri iletimindeki hataları tespit etmek için oldukça güvenilir bir yöntemdir, fakat hataları düzeltemez.

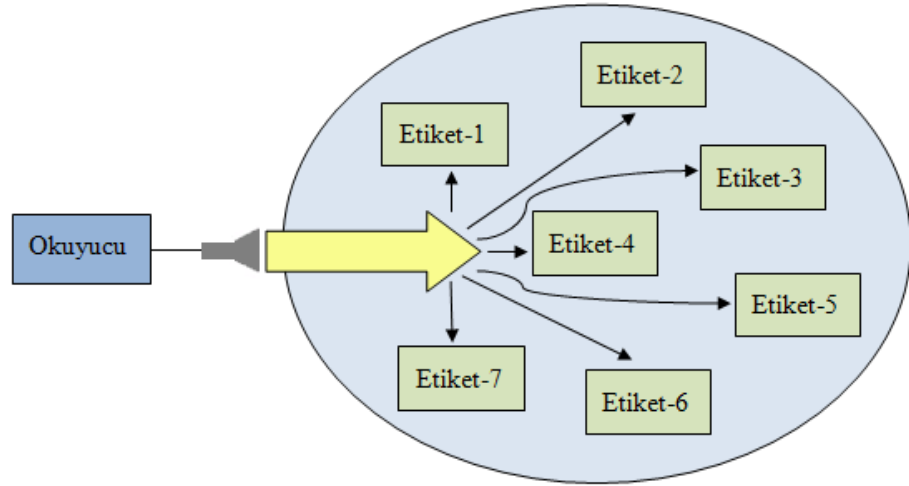
CRC değerinin hesaplanması döngüsel bir prosedürdür. Bir veri bloğundaki her bit denetlenerek tüm veri bloğu için CRC değeri elde edilir. Hesaplanacak veri bitinin CRC değeri daha önceki tüm veri bitleriyle birleştirilir. Matematiksel ifadeyle bir CRC sağlaması şu şekilde gerçekleştirilir; üreteç polinomu kullanılarak veri bloğu için bir polinom oluşturulur ve oluşturulan polinom üreteç polinoma bölünür. CRC değeri, bu bölümden elde edilen kalandır.

Bir veri bloğu iletildiğinde, verilerin CRC değeri verici içinde hesaplanır ve bu değer veri bloğunun sonuna eklenerek onunla birlikte iletir. Alınan verilerin CRC değeri, eklenen CRC baytı da dahil olmak üzere, alıcıda hesaplanır. Sonuç her zaman sıfırdır; ancak, alınan blokta iletim hataları varsa durum değişir. Sıfır denetimi, CRC sağlaması için çok kolay bir yöntemdir ve sağlamaların karşılaştırılmasına dayanan maliyetli süreci azaltır. Fakat, yine de alıcı ve verici için her iki CRC hesaplamasının da aynı ilk değerden başlamasını sağlamak gerekir.

CRC’lerin büyük bir avantajı, çoklu hatalar olduğunda dahi az sayıdaki işlemde elde edilen hata tanımının güvenilirliğidir. 16 bitlik bir CRC, uzunluğu 4 Kb’a kadar olan veri bloklarının veri bütünlüğünü denetlemeye uygundur. Bu boyutun üzerine çıkıldığında performans önemli ölçüde azalır. RFID sistemlerinde iletilen veri blokları 4 Kb’tan kısıdır; bu da 16 bitlik CRC’lere ek olarak 12 ve 8 bitlik CRC’lerin de kullanılabileceği anlamına gelmektedir [1, 3, 4].

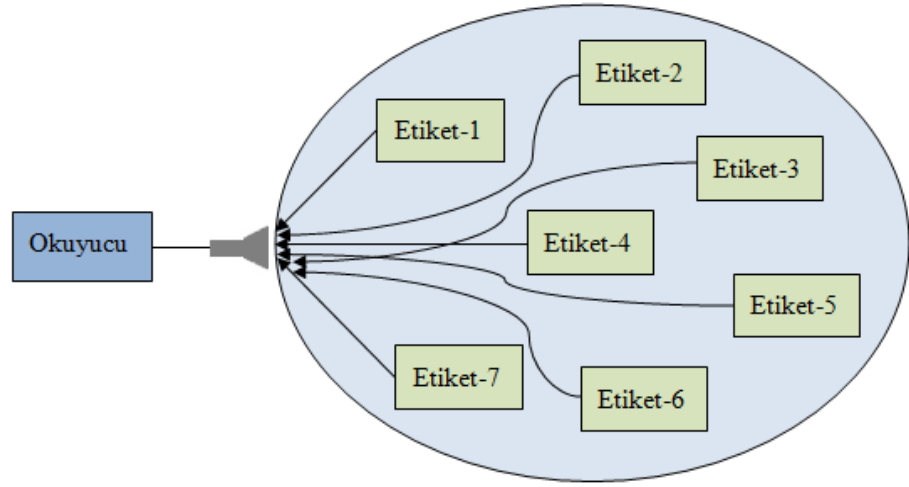
3.6. RFID SİSTEMLERİNDE ÇOKLU ERİŞİM PROTOKOLLERİ

RFID sistemlerinin işleyişi genellikle tek bir okuyucunun sorgulama bölgesinde aynı anda birden çok etiketin mevcut olduğu bir durumu içerir. Böyle bir sistemde (bir “denetim istasyonu/okuyucu” ve bir miktar “katılımcı/etiketler” içeren sistem) iki ana iletişim protokolü kullanılır. Bunlar; broadcast (yayın) ve çoklu erişim protokolüdür. Broadcast iletişim, okuyucudan etiketlere veri iletmek için kullanılır. Okuyucu tarafından gönderilen veri akışı/dizisi okuyucunun sorgu alanındaki bütün etiketler tarafından eşzamanlı olarak alınır (Şekil 3.8). Bu, bir radyo istasyonunun iletteği bir haber programının yüzlerce radyo alıcısı tarafından aynı anda alınmasına benzetilebilir.



Şekil 3.8 : RFID Sisteminde Broadcast İletişim

Çoklu erişim protokolü ise, okuyucunun sorgulama alanında bulunan pek çok etiketın okuyucuya veri iletmesini içerir (Şekil 3.9). Çoklu erişimde çok sayıda etiket eşzamanlı olarak okuyucuya veri transferi etmeye çalışır.



Şekil 3.9 : RFID Sisteminde Çoklu Erişim

Her iletişim kanalı belirli bir kanal kapasitesine sahiptir. Bu kapasite, iletişim kanalının maksimum veri oranı ile kullanılabilirlik süresi tarafından belirlenir. Mevcut kanal kapasitesi, verilerin etiketlerden okuyucuya karşılıklı çarpışma olmadan aktarılabilmesi için tek tek alıcılar arasında bölünmelidir. Örneğin, entegre bir pasif RFID sisteminde yalnızca okuyucudaki alıcı bölümü, okuyucuya veri transferi için ortak bir kanal olarak, sorgulama bölgesindeki tüm etiketler tarafından kullanılabilir. Maksimum veri oranı, etiket ve okuyucudaki antenlerin etkin bant genişliğinden bulunur.

Çoklu erişim problemi radyo teknolojisinde bir süredir mevcuttur. Örnek olarak haber uyduları ve cep telefonu şebekeleri verilebilir; burada çok sayıda katılımcı tek bir uydu veya baz istasyonuna erişmeye çalışmaktadır. Bu nedenle, bireysel katılımcı sinyallerini birbirinden ayırmak amacıyla pek çok protokol geliştirilmiştir. Temelde dört farklı çoklu erişim protokolü vardır. Bunlar:

- *SDMA (Space Division Multiple Access)*: Uzay bölmeli çoklu erişim
- *FDMA (Frequency Domain Multiple Access)*: Frekans alanı çoklu erişim
- *TDMA (Time Domain Multiple Access)*: Zaman alanı çoklu erişim
- *CDMA (Code Division Multiple Access)*: Kod bölmeli çoklu erişim

Bu protokoller, katılımcılardan (katılımcılara) kesintisiz bir veri akışı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bir kanal kapasitesi iletişim için bölündüğünde iletişim ilişkisi bitene kadar kanal bölünmüş halde kalır (örneğin; bir telefon görüşmesi boyunca iletim kanalının bölünmüş halde kalması).

RFID sistemlerinde kullanılan etiketlerin ayırıcı özelliği, aralarına eşit olmayan uzunlukta boşlukların girdiği kısa süreli aktivitelerdir. Etiketler neredeyse tüm RFID sistemleri için özel bir sorun teşkil eder, çünkü bir etiket okuyucunun sorgulama alanındaki diğer etiketlerin varlığını hemen tespit edemez (örneğin; etiket anteni tarafından bir okuyucuya gönderilen veri paketinin bu okuyucunun sorgulama alanında bulunan diğer tüm etiketler tarafından okunamaması). Bir okuyucunun sorgulama alanı içine giren etiketin birkaç milisaniye içinde doğrulanması, okunması ve yazılması gerekmektedir. Bu işlemin ardından uzun bir süre boyunca okuyucunun sorgulama alanına hiçbir etiket girmeyebilir. Ancak, bu durum bizi çoklu erişim protokolünün bu tür bir uygulama için gerekli olmadığı sonucuna götürmemelidir. Herhangi bir lokasyonda aynı tür iki, üç ya da daha fazla etiketin olduğu ve bunların okuyucu anteni tarafından algılandığı durum göz önüne alınmalıdır. Okuyucu ve etiket arasındaki iletim kanalı üzerindeki aktivite çok yüksek bir patlama faktörüne sahiptir ve bir paket erişim protokolünün kullanılması gerekir. Kanal kapasitesi yalnızca gerçekten gerekli olduğu müddetçe bölünmelidir (örneğin okuyucunun sorgulama alanındaki bir etiketin seçimi sırasında). Bu nedenle, güçlü bir çoklu erişim protokolü, doğru etiketi seçerek belirgin hiçbir gecikme olmaksızın etiketi tanıma sağlayabilir.

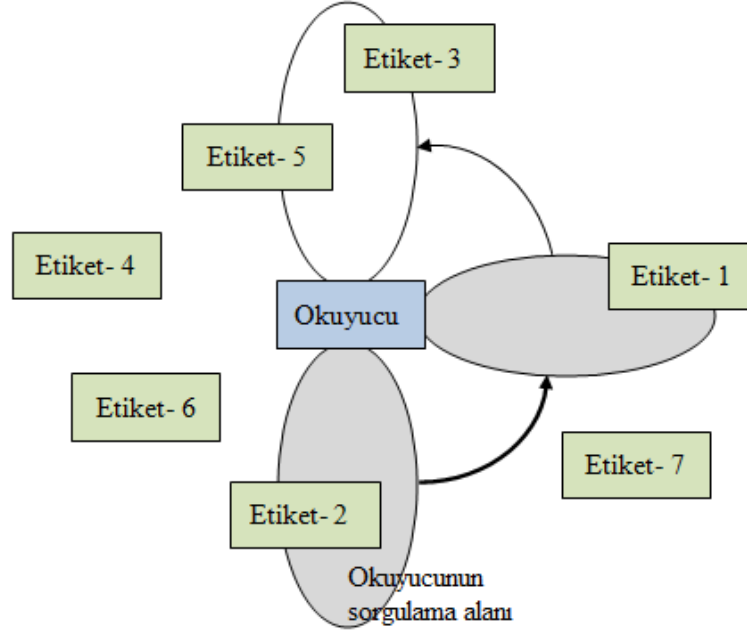
RFID sistemlerinde çoklu erişimli bir protokolün teknik olarak gerçekleştirilmesi, etiket ve okuyucu açısından bazı zorluklar teşkil eder. Çünkü böyle bir prosedür, etiketlere ait verilerinin (paketler) okuyucunun alıcısında birbiriyle çarpışmasına ve böylelikle okunamaz hale gelmesine güvenilir bir şekilde engel olmalıdır. Ayrıca bu işlemin de fark edilebilir bir gecikmeye neden olmaması gerekir. RFID sistemleri bağlamında, hiç çarpışma olmadan çoklu erişimi kolaylaştıran teknik bir prosedüre (erişim protokolü) çarpışma önleme protokolü adı verilir.

3.6.1. Uzay Bölmeli Çoklu Erişim (SDMA)

Uzay bölmeli çoklu erişim terimi, mekânsal olarak ayrı alanlarda belli bir kaynağı (kanal kapasitesi) kullanan tekniklerle ilişkilidir. Seçeneklerden biri, tek bir okuyucunun menziline önemli ölçüde küçültmek, fakat çok sayıda okuyucu ve anteni bir araya getirerek bir dizi oluşturmak ve böylece bir alanda kapsama sağlayarak erişimi telafi etmektir. Sonuç olarak, bir aradaki okuyucuların kanal kapasitesi tekrar tekrar sunulur. Bu tür prosedürler, geniş çaplı maraton müsabakalarında, üzerlerine etiketler takılan maraton koşucularının koşu sürelerini belirlemek için başarıyla kullanılmaktadır. Bu uygulamada bir yapay pist parçasının içine birkaç okuyucu anteni yerleştirilir. Parçanın üzerinden geçen bir koşucu, tüm düzeneğin bir parçasını oluşturan birkaç antenlik sorgu alanı üzerinden etiketini taşır. Böylece koşucuların tüm düzenek üzerindeki mekânsal dağılımlarının sonucu olarak çok sayıda etiket aynı anda okunabilir.

Başka bir seçenek (adaptif SDMA), okuyucu üzerinde elektronik denetimli doğrusal bir anten kullanmaktır. Okuyucu anteninin doğrultusal demeti doğrudan bir etikete yönlendirilir (Şekil 3.10). Böylece çeşitli etiketler, okuyucunun sorgulama alanındaki açısız konumlarıyla birbirinden ayrılır. İki etiket arasındaki açı, kullanılan doğrultulu antenlerin demet genişliğinden daha büyük ise bir iletim kanalı birkaç kez kullanılabilir. Faz dizilimli antenler, elektronik denetimli doğrusal antenler olarak kullanılır. Bunlar, birkaç çift kutuplu antenden oluşur ve adaptif SDMA antenlerin boyutundan dolayı yalnızca 850 MHz'in üstü (tipik 2.45 GHz) frekanslardaki RFID uygulamalarında kullanılabilir. Çift kutuplu bileşenlerin her biri belirli ve birbirinden bağımsız bir faz konumunda kullanılır. Antenin doğrultusal şeması, farklı yönlerdeki çift kutuplu bileşenlerin ayrı ayrı dalgalarının farklı üst üste konumlanmasından bulunur. Belirli yönlerde, çift kutuplu antenin tek tek alanları faz içinde üst üste biner; bu da alanın

amplifikasyonuna yol açar. Diğer yönlerde, dalgalar tümüyle veya kısmen birbirini bozar. Yönü ayarlamak için bileşenler, denetimli faz ayarlayıcılar tarafından tek tek ayarlanır ve değişken faza sahip bir HF voltajıyla desteklenir. Bir etikete ulaşabilmek için okuyucu etrafındaki alan, okuyucunun arama ışığı tarafından tespit edilene kadar doğrultulu anten kullanılarak taranmalıdır.



Şekil 3.10 : Adaptif SDMA: Doğrusal Yayınların Sırayla Farklı Etiketlere Doğrultulması

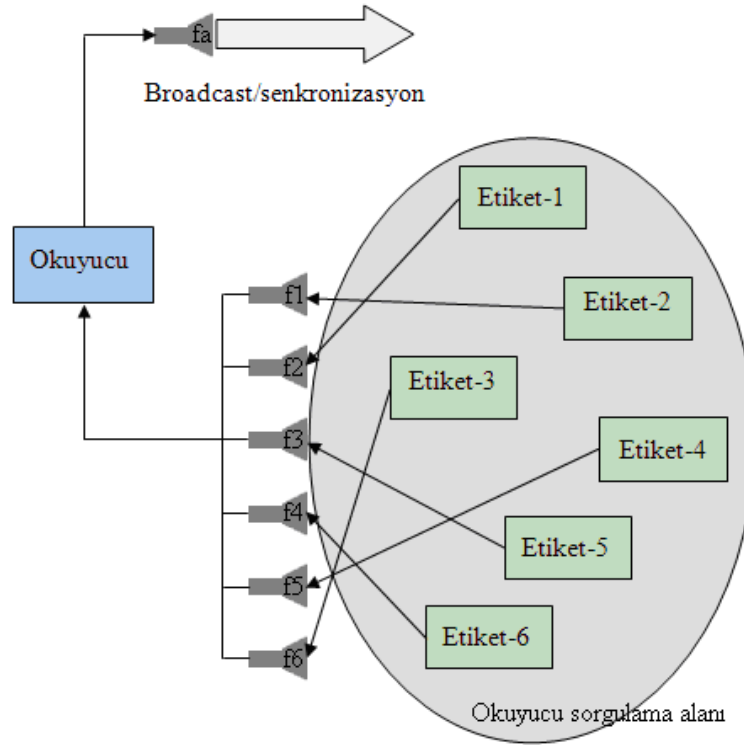
SDMA prosedürünün bir dezavantajı, karmaşık anten sisteminin oldukça yüksek olan uygulama maliyetidir. Bundan dolayı, SDMA tekniği kullanan RFID sistemlerinde çarpışma önleme protokolü kullanımı bazı özel uygulamalarla sınırlıdır.

3.6.2. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA)

FDMA prosedürü, çeşitli taşıyıcı frekanslarında birden fazla iletim kanalının iletişime katılanlara aynı anda sunulduğu tekniklerle ilgilidir. FDMA'da, farklı frekans kanalları etiketten okuyucuya veri transferi için kullanılır. RFID sistemlerinde bu işlem, serbest ayarlamalı, harmonik olmayan bir iletim frekansına sahip etiketler kullanılarak gerçekleştirilir. Etiket'in güç beslemesi ve denetim sinyallerinin iletimi (yayın), ideal uygunluktaki okuyucu frekansı f_a 'da gerçekleşir. Etiketler mevcut birkaç yanıt frekansı $f_1 - f_N$ 'den birinde yanıt verir (Şekil 3.11). Bundan dolayı etiketlerden (etiketlere) veri transferi için tamamen farklı frekans aralıkları kullanılabilir: (örneğin; okuyucu \rightarrow etiket (uydu yer bağı) 135 kHz, etiket \rightarrow okuyucu (yer uydu bağı): 433-435 MHz

aralığında birden fazla kanal). Aktif ve pasif RFID sistemleri için bir seçenek, etiketlerden okuyucuya veri iletimi için çeşitli bağımsız alt taşıyıcı frekanslarını kullanmaktır.

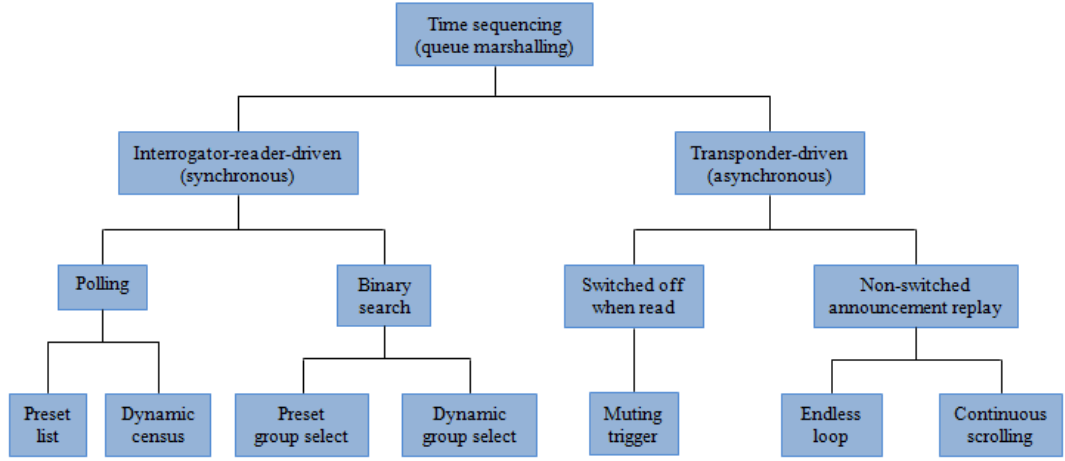
FDMA prosedürünün dezavantajlarından biri, bu tekniği kullanan okuyucuların yüksek maliyetli olmasıdır. Çünkü her alıcı kanal için özel bir alıcı sağlanması gerekir. FDMA tekniği kullanan RFID sistemlerinde çarpışma önleme protokolü kullanımı da birkaç özel uygulamayla sınırlıdır.



Şekil 3.11 : RFID Sisteminde FDMA

3.6.3. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA)

TDMA protokolü, mevcut tüm kanal kapasitesinin katılımcılar arasında kronolojik olarak bölüştürüldüğü tekniklerle ilişkilidir. Özellikle dijital mobil radyo sistemleri alanında yaygın olarak kullanılır. TDMA tekniği kullanan RFID sistemlerinde çarpışma önleme protokolleri çok fazla kullanılmaktadır. TDMA prosedürü, etiket yönlendirmeli ve sorgulayıcı yönlendirmeli prosedürler olarak iki bölüme ayrılır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : TDMA Çarpışma Önleme Protokollerinin Sınıflandırılması [1]

Etiket yönlendirmeli prosedürler eşzamansız olarak çalışır. Okuyucu veri transferini denetlemez (örneğin ALOHA protokolü). Bu prosedür; başarılı veri transferinin ardından etiketin, bir sinyal tarafından okuyucuyla bağlantısının kesilip kesilmediğine bağlı olarak 'kapatılan' ve 'kapatılmayan' prosedürler şeklinde iki kısma ayrılır.

Etiket yönlendirmeli prosedürler çok yavaştır ve esnek değildir. Bundan dolayı, çoğu uygulamada yönetici olan okuyucunun kontrol ettiği prosedürler (sorgulayıcı yönlendirmeli prosedürler) kullanılır. Sorgulayıcı yönlendirmeli prosedürler eşzamanlı olarak çalışır. Tüm etiketler okuyucu tarafından aynı anda denetlenip kontrol edilir. İlk olarak, okuyucunun sorgulama alanındaki büyük bir etiket grubundan belirli bir algoritma kullanılarak tek bir etiket seçilir. Sonra, seçilen etiket ile okuyucu arasında iletişim gerçekleşir (örneğin; veri doğrulama, yazma ve okuma). Veri iletimi bittikten sonra iletişim ilişkisi sona erdirilir ve başka bir etiket seçilir. Herhangi bir anda sadece tek bir iletişim ilişkisi başlatılır ve etiketler hızlı bir şekilde çalıştırılır. Sorgulayıcı yönlendirmeli prosedürlere zamansal dubleks prosedürleri de denilmektedir.

Sorgulayıcı yönlendirmeli prosedürler yoklama (polling) ve ikili arama prosedürü olarak iki bölüme ayrılır. Tüm bu prosedürler tek bir seri numarasıyla tanınan etiketlere dayanır. Yoklama prosedürü, bir uygulamada kullanılacak olan tüm etiket seri numaralarının listesine ihtiyaç duyar. Eş bir seri numarasına sahip bir etiket yanıt verene kadar tüm seri numaraları birbiri ardına okuyucu tarafından sorgulanır. Fakat bu prosedür, olası etiket sayısına bağlı olarak çok yavaş çalışabilir ve bu nedenle yalnızca sorgulama alanında bilinen az sayıda etiketin olduğu uygulamalar için uygundur.

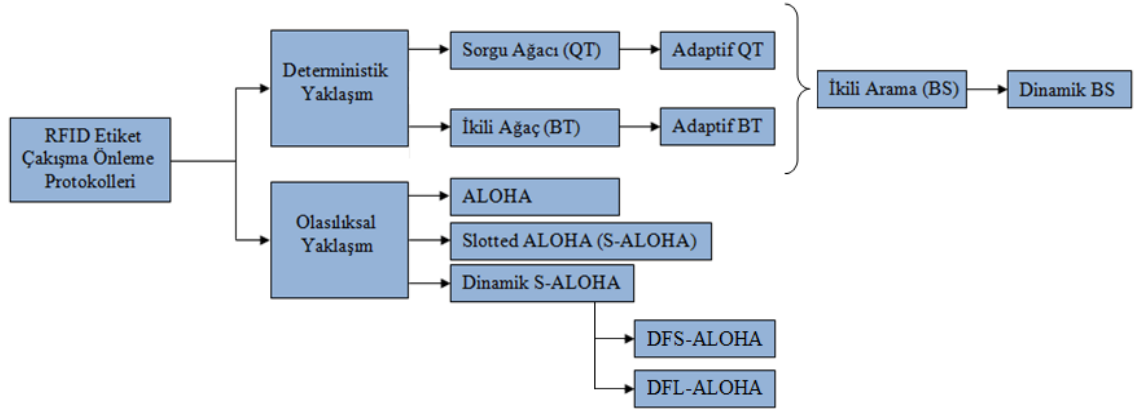
İkili arama prosedürleri, RFID uygulamalarında kullanılan en esnek ve en yaygın prosedürlerdir. Bir ikili arama prosedüründe, okuyucudan gelen bir istek komutunun ardından, okuyucuya iletilen etiketlerin seri numaralarında kasıtlı olarak bir veri çarpışmasına yol açmak suretiyle, bir gruptan bir etiket seçilir. Bu prosedürün başarılı olması için okuyucunun uygun bir sinyal kodlama sistemini kullanarak bir çarpışmanın kesin parça konumunu belirleyebilmesi önemlidir.

3.7. RFID SİSTEMLERİNDE ÇARPIŞMA ÖNLEME PROTOKOLLERİ

Kablosuz iletişim teknolojilerini kullanan sistemler veri haberleşmesinde/iletişiminde aynı frekans bandını kullandıkları için bir çarpışma durumu (collision) meydana gelir. Dolayısıyla, bir kablosuz iletişim teknolojisi olan RFID sisteminde, okuyucu ve etiketler karşılıklı veri iletişimleri için aynı frekans bandında çalıştıklarından okuyucu veya etiket veri iletimleri çarpışmaya yol açar. Çarpışmalar, okuyucu ve etiket çarpışmaları olarak iki kısımda incelenebilir [40-42]. Okuyucu çarpışmalarında, komşu okuyucular bir etiketi aynı anda sorguladığında okuyucu sinyalleri çarpışır ve etiket hiçbir okuyucu sinyalinin şifresini çözemez. Etiket çarpışmalarında ise, birden fazla etiket aynı anda bir okuyucuya “ID” ilettiğinde etiket sinyalleri çarpışır ve etiket çarpışması okuyucunun herhangi bir etiketi tanımasına engel olur [43-45].

Bir okuyucu tüm nesnelere tanımayabilir ya da başarılı bir tanıma için okuyucu ile etiketler arasında yeniden veri iletimleri gerekebilir. Özellikle de düşük işlevli pasif etiketler çarpışmaları tespit edemediği ve komşu etiketleri algılayamadığı için etiket çarpışmasına yol açar. Etiket çarpışmaları, RFID sisteminde ilave iletişimlere ihtiyaç duyulmasına, veri iletiminde gecikmelerin oluşmasına, sistemin etkili bir şekilde çalışmamasına neden olur. Sonuç olarak, RFID sisteminde çarpışmaların olduğu etiketlerin tanınabilmesini sağlayan, gerçek zamanlı iş görebilen, etkili bir etiket çarpışma engelleme protokolünün kullanılması gerekir.

Etiket çarpışma önleme protokolleri, veri transferini belirlemek için, rastgele sayı üretmeye dayalı olan olasılıksal yaklaşımlı (ALOHA temelli) protokoller ve deterministik yaklaşımlı (ağaç temelli) protokoller olmak üzere iki genel kategori içinde gruplandırılabilir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : RFID Sistemlerinde Çarpışma Önleme Protokolleri

ALOHA temelli protokoller etiket çarpışmalarının meydana gelme olasılığını azaltır, çünkü her etiket rastgele seçilen zamanda ID'sini iletmeye çalışır. ALOHA temelli protokoller, çarpışmaları tamamen önleyemez ve bundan dolayı belirli bir etiketin uzun bir süre boyunca tanınmaması gibi ciddi bir sorun yaratırlar. Bu durum “etiket açıklığı problemi”ne yol açar [46-48].

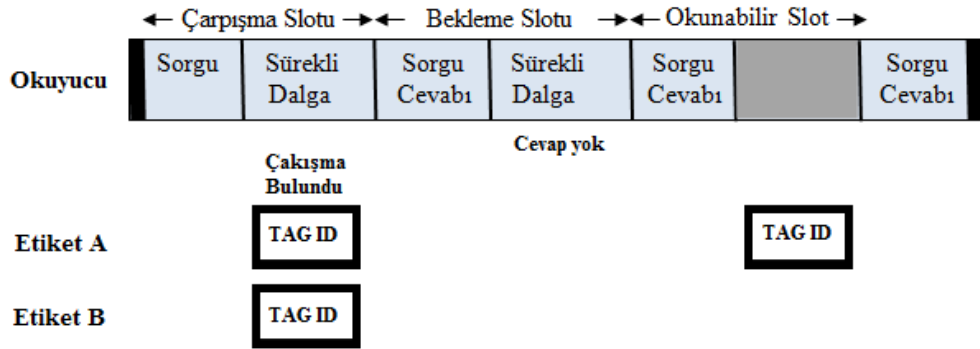
Ağaç temelli protokoller, etiket tanıma işlemi sırasında kavramsal bir ikili ağaç oluşturur. Bu protokoller, bir dizi etiketi bir anda iki alt kümeye ayırır ve alt kümeleri tek tek tanımaya çalışır. Her dizide tek bir etiket kalıncaya dek alt kümeleri bölmek suretiyle okuyucunun sorgulama alanındaki tüm etiketler tanınabilir. Ağaç temelli protokoller etiket açıklığına yol açmaz fakat ALOHA temelli protokollere kıyasla etiketleri tanımadaki gecikmeleri daha uzundur [49-53].

Bir RFID sisteminde iyi bir çarpışma önleme protokolünün aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- Okuyucu, kendi sorgulama alanı içindeki tüm etiketleri anında tanıyabilmelidir. Ayrıca, etiketli bir nesne hareketliyse etiket tanıma işlemi nesnenin hızına ayak uydurmalıdır. Etiket tanıma işlemi nesnenin hızından daha yavaş gerçekleştirilirse okuyucu etiketi tanıyamaz ve etiket açıklığı sorunu meydana gelir. Böyle bir durumda RFID sistemi nesne tanıma ya da takibinde başarısız olur. Okuyucu, kendi sorgulama alanı içindeki etiketlerin sayısını ve durumlarını tam olarak tahmin edemediğinden, çarpışma önleme protokolü tüm etiketlerin tanınmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

- Etiket az miktarda kaynak tüketerek tanınmalı ve izlenmelidir. Pasif RFID sistemlerinde kullanılan etiketlerin mevcut gücü sınırlıdır ve etiketlere okuyucu sinyali tarafından güç verilir. Ayrıca etiketlerin hesaplama yeteneği sınırlı ve bellek kapasitesi düşüktür. Bu nedenle, çarpışma önleme protokolünün etiketleri mümkün olan en az ilave iletişim ve hesaplamayla tanınması gerekir.

Etiket tanıma işlemi, RFID okuyucunun isteği ve etiketin cevabından oluşan devamlı bir süreçtir. Örnek bir okuma işleminin diyagramı Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Okuyucu Tarafında Etiket Okuma İşlemi

Okuma işlemi okuyucu tarafında aşağıdaki bölümlere ayrılır:

- *Okuma Slotu*: Okuyucunun etiketi sorguladığı ve etiketin cevap verdiği slottur.
- *Okunabilir Slot*: Bu slota sadece bir etiket cevap verebilir. Etiket başarıyla tanımlanabildiği bölümdür.
- *Çarpışma Slotu*: Bu bölüm birden fazla etiketin okuyucuya cevap verdiği, CRC hatasının oluştuğu ve çarpışmanın yaşandığı slottur.
- *Bekleme Slotu*: Okuyucu sorgusuna hiç bir etiketin cevap vermediği slottur.

3.7.1. Olasılıksal Yaklaşımlı Çarpışma Engelleme Protokolleri

3.7.1.1. ALOHA Protokolü

Çoklu erişim prosedürlerinin en basiti ALOHA protokolüdür. Veri paketi, hazır olmaz etiketten okuyucuya gönderilir. Bu işlem, etiket tarafından yönlendirilen rastgele bir TDMA prosedürüdür. ALOHA’da her etiket rastgele bir sayı üretir ve bu sayıya bağlı olarak transfer zamanını bekler. Eğer transfer edilen veri başka etiket tarafından engellenmiyor ise etiket tanımlanabilir. Etiket aynı işi transfer ettikten sonra tekrar

yapar. Yeni bir rastgele sayı üretir ve yine bu sayıya bağlı olarak bir süre bekler. Bu işlem sırasında çarpışma olması durumunda etiketlere sabit zaman aralıkları verilir ve etiketler bu zaman aralığında içeriklerini transfer eder [50].

ALOHA protokolü yalnızca salt okunur etiketlerde kullanılır. Etiketler genelde çok küçük miktarda veri (seri numaraları) iletir. Bu veriler okuyucuya çevrimsel bir dizilimle gönderilir. Veri iletim zamanı tekrar zamanının çok küçük bir parçasını oluşturur ve iletimler arasında uzun boşluklar bulunur. Ayrıca etiketler için tekrar süreleri küçük farklılıklar gösterir. İki etiketin veri paketlerini farklı zamanlarda ileteneğine ve veri paketlerinin birbiriyle çarpışmayacağına dair bir olasılık mevcuttur.

3.7.1.2. *Slotted ALOHA Protokolü (S-ALOHA)*

ALOHA protokolünün düşük olan iş yapma oranını ve performansını iyileştirmek için geliştirilmiştir. Bu protokolde, etiketler ancak zamanda belirli eşzamanlı noktalarda (slotlar) veri paketlerini iletmeye başlar ve tüm etiketlerin senkronizasyonu okuyucu tarafından denetlenir. S-ALOHA, rastgele ve sorgulayıcı yönlendirmeli bir TDMA çarpışma önleme protokolüdür.

3.7.1.3. *Dinamik Slotted-ALOHA Protokolü*

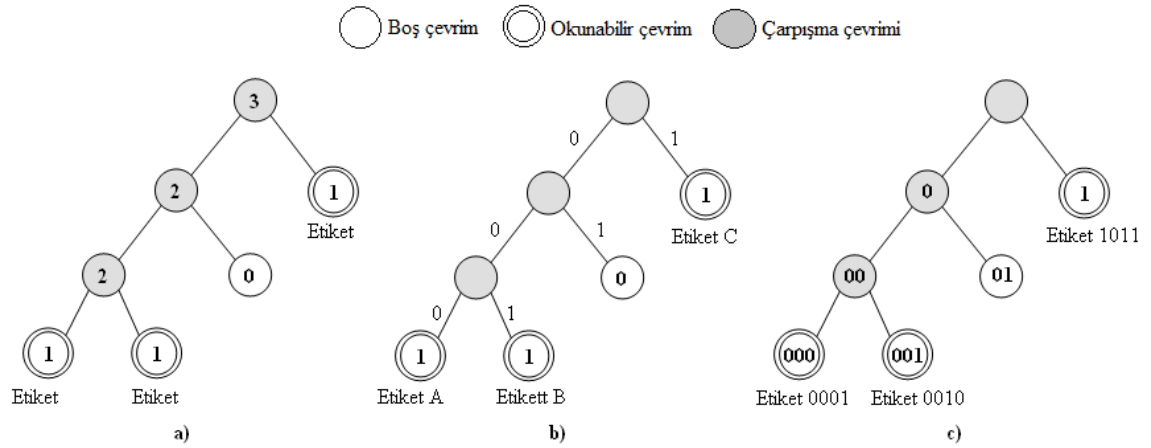
Bir S-ALOHA protokolünün S iş yapma oranı, 1 dolaylarında sunulan bir G yükünde maksimize edilir. Bu tanıma göre, bir okuyucunun sorgulama alanında ne kadar slot varsa aynı sayıda etiket bulunur. Sisteme başka çok sayıda etiket eklenirse iş yapma oranı hızla sıfıra iner. En kötü durumda, sonsuz sayıda girişimden sonra hiçbir seri numarası okuyucu tarafından tespit edilemez, çünkü hiçbir etiket tek bir slotta iletim yapacak tek bir etiket olmayı başaramaz. Bu problem yeterli sayıda slot sağlanarak çözülebilir. Ancak bu da çarpışma önleme algoritmasının performansını düşürür, çünkü sistemin, tüm zaman dilimlerinin süresi boyunca olası etiketleri (okuyucunun sorgulama alanında tek bir etiket olsa bile) listelemesi gerekir. Bu tür problemleri çözmek için çeşitli sayıda slotlara sahip dinamik S-ALOHA protokolü kullanılır [50, 53].

3.7.2. **Deterministik Yaklaşımlı (Ağaç Tabanlı) Çarpışma Önleme Protokolleri**

Bu protokoller, etiket tanımayı okuma çevrimi birimleri dahilinde gerçekleştirir. Okuyucu bir okuma çevriminde sorgusunu etiketlere iletir, sonra bir veya birkaç etiket ID'sini okuyucuya gönderir. Pasif etiketler çarpışmayı tespit edemediğinden etiket yanıtları arasında çarpışma olup olmadığını okuyucu tespit eder. Okuyucu, bir sonraki

okuma çevriminde bu tespit sonucuna göre sorgunun içeriğini belirler. Etiket, okuyucudan bir sorgu alınca veri iletilmeyeceğine karar verir. Yalnızca bir okuma çevriminde tek bir etiket iletim yaparsa okuyucu etiketi başarıyla tanıyabilir.

Ağaç tabanlı protokollerde, okuyucu, birkaç okuma çevriminden oluşan bir tanıma çerçevesi sırasında okuma menzili içindeki tüm etiketleri tanır. Okuyucu, bir okuma çevrimindeki bir küme etiketi tanımaya çalışır. Bir küme, aynı okuma çevriminde iletim yapan etiketleri içerir. Eğer bir kümede birden fazla etiket varsa, etiket iletimleri çarpışmaya neden olur. Bir çarpışma meydana geldiğinde, ikili ağaç algoritması, etiket ID'leri veya rastgele ikili sayılarla kümeyi iki altkümeye böler. Bundan sonra, okuyucu iki altkümeyi aynı çerçevede tek tek tanımaya çalışır. Ağaç tabanlı protokoller, her kümede tek bir etiket kalana kadar bölme işlemine devam ederek okuyucunun menzilineki tüm etiketleri tanımaya çalışır [50, 53].



Şekil 3.15 : Ağaç Tabanlı Çarpışma Önleme Protokollerinde Etiket Tanıma İşlemi

a) Etiket Tanıma İçin Ağaç Açılımı b) İkili Ağaç Protokolünde Etiket Tanıma
c) Sorgu Ağacı Protokolünde Etiket Tanıma

Ağaç tabanlı çarpışma önleme protokollerinde bir tanıma çerçevesi, Şekil 3.15'te gösterilen farklı türde ağaç yapılarıyla temsil edilebilir. Ağaçlardaki her düğüm bir okuma çevrimine karşılık gelir. Düğümlerdeki sayılar ise o okuma çevrimine ait etiket iletimlerinin sayısıdır. Bir okuma çevrimindeki etiket iletimlerinin sayısına bağlı olarak, okuma çevrimleri üç farklı türe ayrılabilir:

- *Boş çevrim:* Hiçbir iletim girişimi olmaz. Gereksiz bir tanıma gecikmesi meydana gelir. Okuyucunun bir etiketi fark edememesine yol açmaz.

- *Okunabilir çevrim:* Bir iletim girişimi olur ve okuyucu etiketi başarıyla tanır.
- *Çarpışma çevrimi:* Birden fazla iletim girişimi olur ve bir çarpışma meydana gelir. Okuyucu hiçbir etiketi tanıyamaz. Çarpışma çevrimi, etiket tanıma işlemini geciktirir. Okuyucu tüm etiketlere bir sorgu göndererek çarpışan etiketler de dahil olmak üzere etiket kümesinin bölünmesini gerçekleştirir.

Tanıma çerçevesi ağacında bir küme iki alt kümeye bölündüğünden çarpışma çevrimine ait düğümün yalnızca iki alt düğümü (yaprak düğüm) vardır. Ağaç tabanlı protokollerde çarpışma çevrimleri düğümlere, okunabilir çevrimler ya da boş çevrimler ise yaprak düğümlere karşılık gelir. Etiket tanıma, okunabilir çevrimlerin düğümlerini bulmak için ağacın kökleri üzerinde gerçekleşen bir arama işlemidir. Tanıma işleminin performansı kümenin ne kadar etkili böldüğüne ve arama işleminin ne kadar iyi çalıştığına bağlıdır.

3.7.2.1. İkili Ağaç Protokolü (Binary Tree-BT)

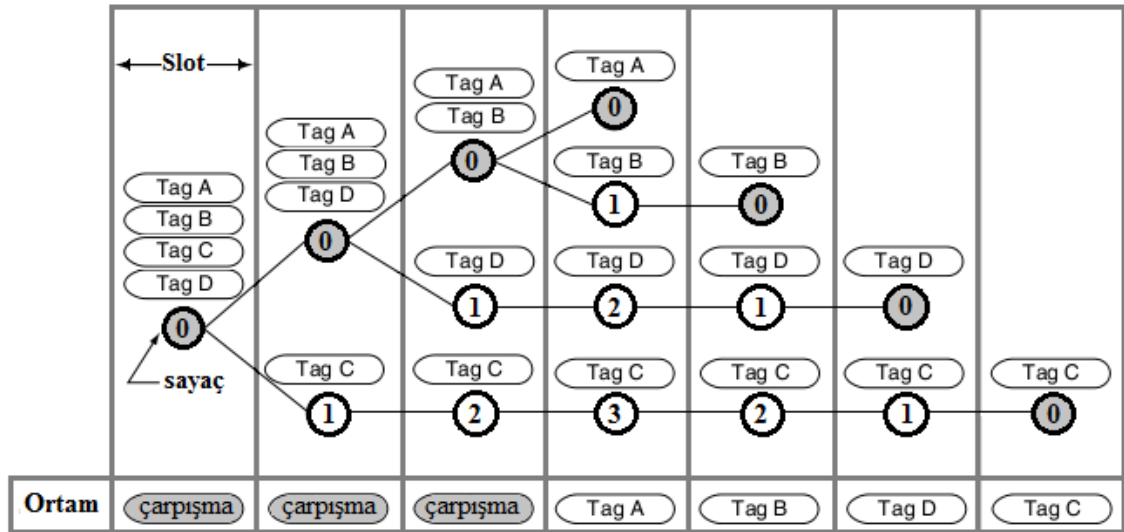
İkili ağaç protokolü bölme prosedürü için etiketlerin çarpışmasıyla üretilen rastgele ikili sayıları kullanır. Etiketın çerçevenin başlangıcında 0 ile yüklenmiş bir sayaç değeri vardır. Sayaç değeri 0 olduğunda etiket ID'sini iletir. Tüm etiketler çerçevenin başlangıcında bir küme oluşturur ve aynı anda iletim yapar. Okuyucu bir sorgu oluşturarak etiketleri çarpışma olduğundan haberdar eder. Okuyucunun sorgusuna göre tüm etiketler sayaç değerlerini değiştirir. Etiketın iletimi çarpışmaya neden olduğu zaman etiket rastgele bir ikili sayı seçer. Seçilen ikili sayıyı sayaç değerine ekleyerek, bir küme iki alt kümeye bölünür. Çarpışma meydana geldiğinde, çarpışmayla ilgili olmayan etiket (sayaç değeri 0 değildir) sayaç değerini 1 artırır. Okuyucunun sorgusu çarpışma olduğunu göstermezse, tüm etiketler sayaç değerlerini 1 azaltır. Etiket, iletimin başarılı olduğunu, hiç çarpışma olmadığını bir sonraki sorgudan anlar. Bir okuyucunun tanımadığı etiket, süregelen çerçeve sonlandırılana kadar hiçbir sinyal iletmez [50]. Şekil 3.15.b ve Şekil 3.16, ikili ağaç protokolünde etiket tanıma işlemini göstermektedir ve çizgilerin yanındaki sayılar çarpışan etiketlerin rastgele seçtiği ikili sayıları belirtir.

Okuyucuda ayrıca çerçeveyi sonlandırmak için bir sayaç bulunur. Okuyucu her çerçevede sayaç değerini 0 ile yükler. Okuyucunun sayaç değeri, bir çerçevede henüz tanınmayan etiket kümelerinin sayısını gösterir. Eğer çarpışma olursa, okuyucunun tanınması gereken etiket kümelerinin sayısı artacağı için okuyucu sayaç değerine 1 ekler.

Aksi durumda, okuyucu sayaç değerini 1 azaltır. “sayaç değeri < 0 ” olduğunda, okuyucu çerçeveyi sonlandırır.

İkili ağaç protokolü rastgele sayı üretici kullanır. RFID okuyucu bir sinyal yayar ve etiketlerden rastgele sayı üretmesini ister. Her etiket, 0 ya da 1’den birini üreterek bu değeri üzerindeki sayaca ekler ve okuyucuya cevap yollar. Okuyucu, etiketlerdeki sayı değerlerine bağlı olarak etiketleri gruplar. Çarpışma olan her durumda, çarpışmaya sebep olan etiketler tekrar rastgele sayı üreterek sayaçlarını artırır. Ağaçta her etiket bir yaprakta yalnız kalana kadar bu işlem devam eder (Şekil 3.16). İşlem sonunda okunabilir duruma geçen etiket kendi içeriğini RFID okuyucuya transfer eder.

İkili ağaç protokolü, etiket ID’lerinin büyük bir bölümünün aynı olması durumunda daha iyi performans verebilir. Fakat, rastgele sayı üreten etiketlerin sürekli aynı sayıyı üretmesi durumunda bu protokolde okuma süresi uzayabilir.



Şekil 3.16 : Etiket Tanıma İşleminde İkili Ağaç Protokolünün İşleyişi

3.7.2.2. Sorgu Ağacı Protokolü (Query Tree-QT)

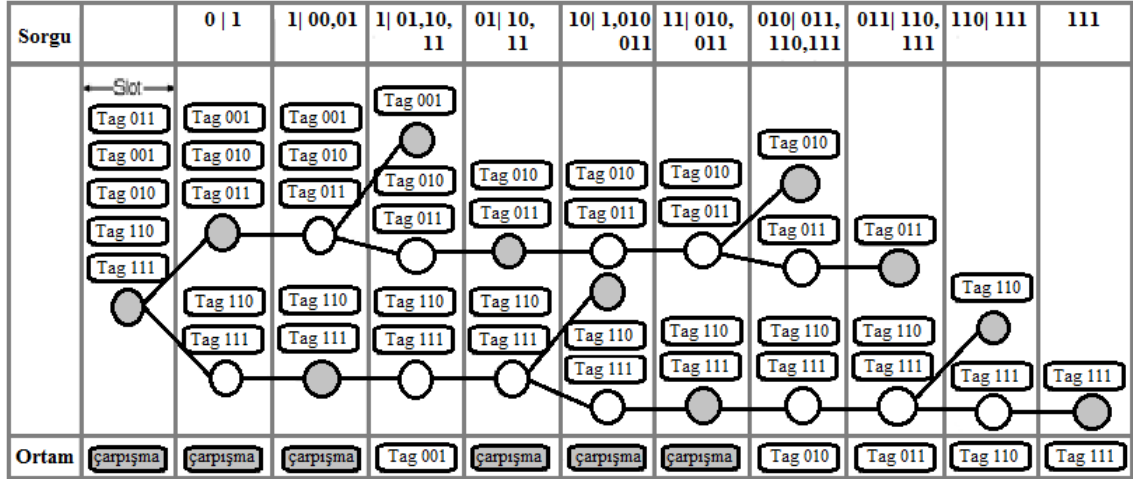
Sorgu ağacı protokolü, etiket ID’lerini etiketleri alt kümelerine ayırmak için kullanır. Okuyucu, etiketlere bir bit katarı içeren (örneğin: $q_1q_2 \dots q_x$) bir sorgu gönderir. ID’si bu bit katarı ile başlayan etiketler, ID bilgilerini cevap olarak okuyucuya gönderir. ID bitleri sorgunun bit dizgisine eşit olan ilk etiket, ID’sini okuyucuya ileterek yanıt verir. Eğer bu sorgu sonucunda gelen cevaplar alınırken bir çarpışma yaşanır, okuyucu,

gönderdiği bit katarının boyunu 1 artırarak bir sonraki okuma çevriminde tekrar sorgu gönderir ($q_1q_2 \dots q_x1$). “ $q_1q_2 \dots q_x$ ” sorgusunun etiket yanıtları ($q_i \in \{0, 1\}$, $1 < x < b$, ve b etiket ID’sindeki bit sayısıdır) çarpışır, okuyucu sonraki okuma çevrimlerinde 1 bit daha uzun iki sorgu kullanır: ($q_1q_2 \dots q_x0$) ve ($q_1q_2 \dots q_x1$). ($q_1q_2 \dots q_x$) ile eşleşen etiket kümesi iki alt kümeye bölünür. Biri ($q_1q_2 \dots q_x0$) ile eşleşen etiketlerin kümesi ve diğeri ($q_1q_2 \dots q_x1$) ile eşleşen etiketlerin kümesidir. Sorgu sonucunda her etiketin benzersiz birer ID’si olduğu için, gönderilen sorgu katarına göre etiketler kuyruğa sokulabilir. Okuyucu, oluşturduğu bu kuyruktan (ID kuyruğu) tek tek etiketler ile iletişime geçerek tüm etiketleri okumuş olur. Eğer tekrar çarpışma yaşanır, okuyucu sorgu parametresine 1 bit daha ekleyerek tekrar sorgulama yapar. Sürekli yanıt alınıncaya kadar devam eden bu süreç ile tüm etiketler okunmuş olur (Şekil 3.17).

Okuyucu, sorgularının bit katarları için Q kuyruğuna sahiptir. Çerçevenin başlangıcında Q, 1 bitlik iki diziyile (0 ve 1 ile) başlatılır. Okuyucu, Q’dan bir bit katarını çıkarıp bir seferde bir sorgu iletir. Etiket yanıtları çarpışır, okuyucu Q’ya 1 bit uzunluğunda iki bit katarını ekler. Bir yanıt gelene veya hiç yanıt gelmeyene kadar sorgu genişletilerek tüm etiketler tanınır.

Şekil 3.15.c ve Şekil 3.17, sorgu ağacı protokolünde etiket tanıma işlemlerini göstermektedir. Düğümlerin içindeki sayı okuyucunun ilettiği sorguyu tanımlar. Okuyucu, sorgulama alanında bulunan etiketlere önce bir sinyal gönderir. Bu sinyalle ilk biti 1 olan etiketler sorgulanır. Etiketler, ID’lerini sorgu ile karşılaştırır ve uygun olanlar okuyucuya cevap gönderir. Daha sonra, etiketler ID’lerine göre gruplandırılır ve sorgu ağacı iki alt düğüme ayrılır. Bu işlemler her düğüme tekrar edilir. Her etiket bir düğüme (yaprak düğüme) denk gelecek şekilde ağaca yerleştirilir.

İkili ağaç protokolüne kıyasla, sorgu ağacı protokolü etiketler üzerinde daha basit işlemler gerçekleştirir. Sorgu ağacı protokolü belleksiz protokol olarak da bilinir, çünkü etiketlerin sadece ID bilgilerini tutmaları yeterlidir. Bu protokoldeki gecikme süresinin kısalığı, etiketlerin ID’lerinin benzerliğine bağlı olarak değişir. Etiket ID’lerinin büyük bir bölümünün aynı olması durumunda, bu yöntem ile okuma yapmak uzun sürebilir. Birbirine benzer ID sayısı arttıkça gecikme süresi de artar [54, 56].



Şekil 3.17 : Etiket Tanıma İşleminde Sorgu Ağacı Protokolünün İşleyişi

3.7.3. Uyarlanabilir Ağaç Tabanlı Çarpışma Önleme Protokolleri

Ağaç tabanlı çarpışma önleme protokollerinde ağaç üzerinde arama, etiketi tanıma işleminde gecikmeye neden olur. Etiket tanımadaki gecikmenin kısaltılması, çarpışma çevrimlerinin atlanmasıyla gerçekleştirilebilir. Bir çerçeve başlatıldığında, ikili ağaç ve sorgu ağacı protokolünün ağaç aramaları, ağacın kökü ve 1. düzey düğümlerinden yola çıkar ve çarpışmalarının olduğu tüm ara düğümleri araştırır. Ağaç aramada gereksiz başlangıç noktası etiket tanıma işlemindeki gecikmeleri uzatır.

Adaptif bölme protokollerinin temel amacı, son tanıma çerçevesinde tanınmış etiketlere ait bilgilerle ağaç aramanın başlangıç noktasına uyarlamalı olarak karar vermektir. Her tanıma çerçevesinde etiket tanımanın ağaç araması, en son tanıma çerçevesindeki ağacın yaprak düğümlerinin bulunduğu düğümlerden başlar. Bu başlangıç düğümleri en son çerçevedeki okunabilir çevrimler veya boş çevrimlerdir. Gelen etiketleri tanımak için, tanıma işlemi, ağaca mevcut düğümün iki yaprak düğümünü ekleyerek ağacın yolunu aşağı doğru işletir. Tanıma işlemi, çıkan etiketlerin sebep olduğu algılanması gereksiz durumdaki atıl çevrimleri, iki yaprak düğümün yerine kök düğümlerini koyarak (iki uç düğümü bir üst düğüm ile değiştirerek) işletir [54-56].

Adaptif bölme protokolleri sayesinde, belirli bir okuyucudan ardı ardına yapılan sorgulamalarda karşılaşılan nesne (etiket) kümesi önemli ölçüde değişmez ve bir sorgulamadan elde edilen bilgiler bir sonraki sorgulama için de kullanılabilir.

3.7.3.1. Adaptif Sorgu Bölme Ağacı Protokolü

Adaptif sorgu bölme ağacı protokolü, okuyucunun sorgularını ve etiket ID örneklerini (sorgu ağacı protokolüne benzer ID'leri) kullanır. Bu protokolü kullanan RFID etiketler belleksizdir çünkü kendi ID'leri dışında başka bilgi saklamazlar. Okuyucu, etikete bir bit katarını içeren bir sorgu iletir. Eğer etiket ID'sinin öneki (" $r_1r_2 \dots r_x$ ": burada etiket ID'si " $r_1r_2 \dots r_b$ "dir. r_i ID'nin i . ikili değeri ve b ID'deki bitlerin toplam sayısıdır.) sorgunun bit dizgisine (" $q_1q_2 \dots q_x$ ") eşitse ve sorgunun bit dizgisi (" $q_1q_2 \dots q_x$ ": q_i sorgunun i . ikili değeridir, $1 < x < b$) ise etiket sorguya kendi ID'si ile yanıt verir.

Okuyucu, sorgu yapmak için Q kuyruğuna ve aday CQ kuyruğuna sahiptir. Q kuyruğu, mevcut tanıma sırasındaki çerçeveler (sorgular) için bit dizilerini saklar. CQ aday kuyruğu, sonraki tanıma çerçevesindeki çerçeveler için bit dizilerini saklar. Okuyucu, CQ 'da depolanan bit dizilerini sonraki çerçevede etiket tanıma işleminin başlangıç noktası olarak kullanır. Başlangıç noktası, sorgu ekleme prosedürü tarafından aşağı doğru (ağacın yapraklarını doğru) ve sorgu silme prosedürü tarafından yukarı doğru (ağacın köküne doğru) taşınır. Çerçevenin başlangıcında okuyucu, Q 'yu CQ 'nun bit dizileriyle başlatır ve CQ 'yı boşaltır. Eğer CQ 'da hiç bit dizisi yoksa (örneğin okuyucu resetlendiğinde), Q 1 bitlik iki diziyi ilk kullanıma hazırlanır (0 ve 1 ile başlatılır). Okuyucu, Q 'dan bir bit dizisini çıkararak bir seferde bir sorgu üretir. Okuyucu, alınan etiket yanıtlarının sonucuna göre kullanılan bit dizilerinden bazılarını CQ 'da sıraya sokar. Tanıma çerçevesi Q boşalana kadar devam eder.

3.7.3.2. Adaptif İkili Bölme Ağacı Protokolü

Bu protokol, ikili ağaç protokolüyle aynı çevrimde iletim yapan bir etiket kümesini bölmek amacıyla, rastgele üretilmiş sayılar kullanır. Ağaç üzerinde aramaya (etiketi tanımaya), yalnızca son çerçevenin okunabilir çevrimlerinin düğümlerinden başlar. Bölme prosedürü için her çarpışan etikette rastgele seçilen ikili sayıları kullanır. Etiket tanıma sırasında, etiketin sayacını tanıma sıralaması içinde gözden geçirerek, etiketlere farklı çevrimler tahsis eder. Kalan etiketlere çevrimler tahsis ederek, bir sonraki tanıma çerçevesinde kalan etiketler arasında çarpışma olmaksızın hızlı bir tanıma işlemi gerçekleştirir. Bu protokol, çıkan etiketlerin çevrimlerini serbest bırakmak için bir ek prosedüre sahiptir. Gelen bir etiketin iletimine, okuyucunun menzili içindeki etiketlere ait olası değerler arasından seçilen rastgele bir sayıyla karar verilir. Etiket iletimleri sayaç değerlerinin artan sıralamasına göre yapılır.

Adaptif ikili bölme ağacı protokolü, çarpışmaları önlemenin yanı sıra gereksiz boş çevrimleri de azaltarak hızlı tanıma işlemi gerçekleştirir. Bu protokolda etiketler okunacaklar ve bekleyecekler şeklinde guruplara ayrılır. Amaç, işleme alınacak etiket sayısını azaltıp okuma işlemini hızlandırmaktır. Okunacak etiket sayısı azaltıldıkça, etiket okuma işlemini sağlayacak olan algoritmanın efektifliği ve hızı artar. Okuma işlemi sırasında etiket, progressed-slot counter (PSC) ve allocated-slot counter (ASC) olarak isimlendirilen iki sayaç değerini üzerinde tutar. PSC başlangıçta tüm etiketler için 0 dır. ASC etiketin durumunu belirtir ve aşağıdaki değerleri alır:

- *Bekleme durumu:* Eğer etiket üzerindeki ASC değeri PSC değerinden büyük ise etiket bekleme durumundadır.
- *Aktif durum:* Eğer etiket üzerindeki ASC değeri PSC değerine eşit ise etiket içeriğini okuyucuya gönderir.
- *Uyku durumu:* Eğer etiket üzerindeki ASC değeri PSC değerinden küçük ise etiket, ilk okuyucu sinyalini almış fakat herhangi bir duruma geçmemiştir ve okuyucunun ikinci sinyalini bekleme durumundadır.

Adaptif ikili bölme ağacı protokolü, etiketlerin, üzerlerindeki sayaçları bir artırarak bir önceki turdaki tanımlama sıralarını kendi üzerlerinde tuttıkları bir metottur. Her etiket bir ASC'nin yanısıra birer PSC'ye sahiptir. PSC, tanıma işlemi için ayrılan zaman dilimlerinin sayısını saklar. Her okunabilen aralıkta, tüm etiketler PSC değerlerini 1 artırır. ASC, etiketin veriyi gönderip göndermeyeceğini belirler. Eğer etiket için ASC ve PSC aynı değere sahipse, etiket veri gönderebilir. Okuma işlemi sırasında çarpışma olması durumunda, çarpışma yaşayan etiketlerin ASC değerine rastgele 1 ya da 0 değeri verilir ve etiketlerin durumları tekrar ayarlanmış olur. Bu protokolün zayıf yönü, daha önce çarpışma yaşayan etiket, çarpışma yaşamamış bir etiketle çarpışma oluşturabilir.

3.8. RFID SİSTEMLERİNİN KABLOSUZ AĞLARA ENTEGRASYONU

RFID sistem tasarımlarında insan etkisi olmaksızın bilgilerin gerçek zamanlı olarak toplanması, izlenmesi ve yönetilmesi amacı güdülmektedir. Bu nedenle, herhangi bir sınırlama getirmeksizin, daha geniş coğrafi alanlarda dinamik nesne bilgisine anında erişilebilmek, farklı nesnelere ulaşabilmek, bunları takip edebilmek ve nesnelere ait

verileri ilgili birimlere yönlendirebilmek için çok daha hızlı, etkin, güvenli, geniş kapasiteli yeni haberleşme ve iletişim teknolojileri kullanmak çağımızın bir gereksinimi olmuştur. Dolayısıyla, nesnelerin ve nesnelere ait verilerin otomatik olarak tanımlanmasında ve takibinde, veri yönetim ve analiz sistemlerinde RFID'nin kablosuz iletişim teknolojileri ile birlikte kullanımı ya da entegrasyonu GSM'de yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına vesile olabilir.

Yeni nesil kablosuz ağlardaki anahtar özelliklerden biri kablosuz iletişimin mükemmel olmasıdır. RFID'nin kablosuz iletişim sistemlerine entegrasyonu sayesinde sabit ve gezgin nesnelere ait dinamik verilerin otomatik olarak toplanması, izlenmesi ve yönetilmesi firmalar, kurumlar, satıcılar, müşteriler, servis/uygulama/içerik sağlayıcıları, kural yapıcılar ve kullanıcıları içeren kablosuz endüstri dünyasında bir yeniliğe yol açabilir.

Çok geniş coğrafi alanlarda nesnelerin hareketlerinin incelenmesine, nesnelere ait işlemlerin ve hizmetlerin izlenebilmesine, veri yönetiminin kolaylaştırılmasına, nesnelere hakkında detaylı bilgilerin diğer sistemler ile paylaşılmasına ihtiyaç duyulabilir. Bu tür durumlarda RFID sistemleri kablosuz iletişim teknolojilerine entegre edilerek farklı alternatif sistemler geliştirilebilir. Otomatik nesne tanımlama, izleme, veri yönetimi ve analizi için kablosuz iletişim teknolojilerine entegre çalışan alternatif RFID ağ tasarımlarında kullanılacak temel sistem bileşenleri, yazılım ve donanım gereksinimleri aşağıda sıralanmıştır. Bunlar:

1. Entegre RFID sistemi için gerekli olan donanımlar:
 - a. RFID etiketler,
 - b. Antenler,
 - c. RFID okuyucular,
 - d. Denetleyiciler/Sorgulayıcılar,
 - e. Programlayıcılar,
2. Kullanılacak frekanslar ve standartlar
3. Kablolulu ya da kablosuz iletişim teknolojileri
4. Sistemi yönetecek yazılım ve ara yüzler (ara katman yazılımları)

3.8.1. RFID Sistemi Entegrasyonunda Kullanılan Ağ Tasarım Programları

RFID sistemlerinin kablosuz ağlara entegrasyonunun incelendiği bu tez çalışmasında, ağ topolojilerinin oluşturulması ve ilgili mekanizmaların karşılaştırılması çeşitli ağ tasarım programlarıyla yapılmıştır. Bu programlarda, IEEE'nin kablosuz iletişim teknolojileri için geliştirdiği standartlardan 802.15.4 (ZigBee), 802.11 b/g/n (Wi-Fi), 802.16 d/e (WiMAX), GSM ağlarından 3GPP/3GPP2 ve heterojen ağlar kullanılarak farklı ağ topolojileri ve RFID sistem tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Ağ tasarım programlarının asıl hedefi farklı standartlar, frekanslar, bant genişlikleri, veri hızları ve network cihazları kullanan ağlar üzerinde RFID sistemlerinin nasıl kurulabileceğini ve yönetilebileceğini göstermektir. RFID sistemi entegrasyonu için tasarlanan ağ topolojilerine ait farklı işlemler programlar içerisinde mevcut olup gerekli parametreler kullanıcı tarafından seçilebilir ve belirlenebilir. Yüksek Lisans tez çalışması kapsamında kullanılan programlar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

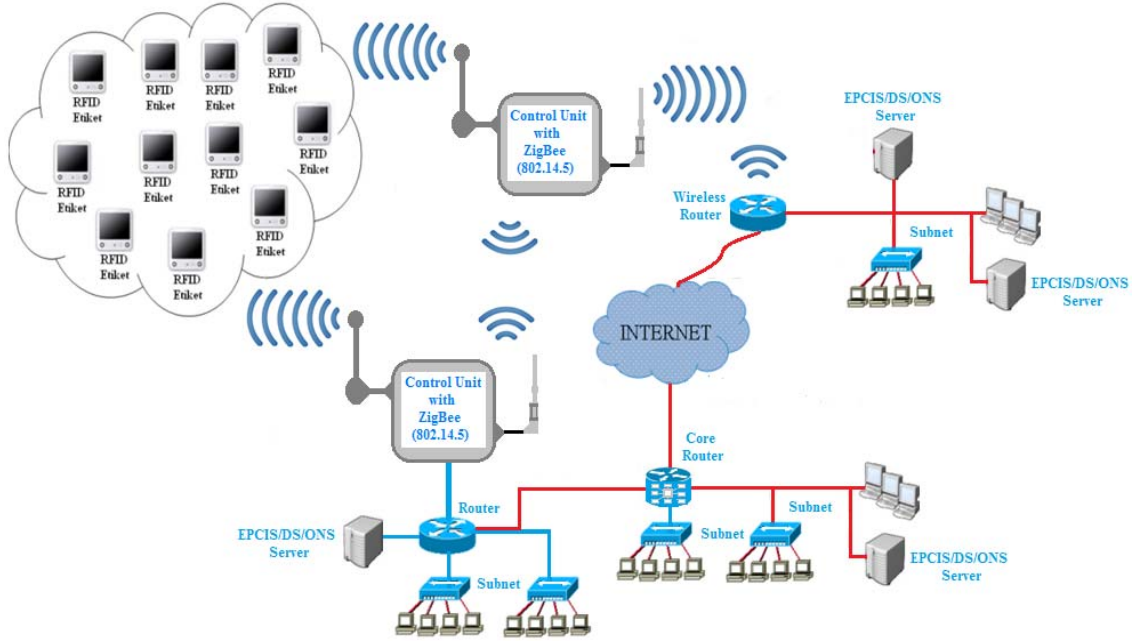
1. RouterSim (CCNA™ Network Visualizer® 6.0): Ağ konfigürasyonu ve tasarımı için kullanılmıştır [57].
2. Boson NetSim Network Simulator®: Simülasyonda kullanılan Cisco System'in geliştirdiği ağ donanımlarını, yazılımlarını simüle eder. Ağ içerisinde kullanılan routerları konfigüre etmek için kullanılmıştır [58].
3. Cisco Config Maker: Tek bir bilgisayar üzerinde Cisco routerlar (800, 1000, 1600, 1700, 2500, 2600, 3600 ve 4000 serileri), switchler, hublar ve diğer ağ cihazlarından oluşan ağları konfigüre etmek için kullanılan Microsoft Windows uygulamasıdır [59].
4. Ethereal®: Ağ içerisinde arıza arama, analiz, yazılım ve protokol geliştirmek için kullanılır [60].
5. Wireshark: Ağ protokollerini analiz etmek için kullanılır [61].

3.8.2. RFID Sisteminin ZigBee Ağlara Entegrasyonu

IEEE 802.15.4 standartlarını destekleyen çok fonksiyonlu RFID okuyucular ve sorgulayıcılar içeren bir RFID sistemi ZigBee ağlar ile entegre çalışabilir. Bu tür bir sisteme alternatif; ZigBee iletişim modülleri içeren bir kontrol ünitesi tasarlanarak RFID sistemlerinin ZigBee kablosuz iletişim teknolojilerine entegre edilmesidir. Kontrol ünitesi, eğer ortamda RFID okuyucular varsa, okuyucular ile ZigBee'ler

arasında konumlandırılmalıdır. Böyle bir sistemde kontrol ünitesi okuyucudan aldığı etiket bilgilerini ZigBee ağlara aktarabilecek özellikte olmalıdır. Eğer ortamda RFID okuyucular, sorgulayıcılar ya da denetleyiciler mevcut değilse ve sistemde sadece ZigBee cihazlar ağırlıklı olarak kullanılmışsa, kontrol ünitesi RFID etiketler ile ZigBee cihazlar arasında konumlandırılmalıdır (Şekil 3.18). Kontrol üniteleri gerçek zamanlı olarak çalışmalı, RFID okuyucu/programlayıcı/sorgulayıcı cihaz özelliklerini içerecek şekilde tasarlanmalı ve ZigBee sistemlerle iletişim sağlayabilecek standartları desteklemelidir. Böyle bir RFID sisteminde kullanılabilir yazılım ve donanım gereksinimleri şu şekilde özetlenebilir:

1. IEEE 802.15.4 standartlarını destekleyen RFID sistem bileşenleri
2. ZigBee kontrol üniteleri ve ağ cihazları
3. ZigBee ağ servisleri ve hizmetleri
4. Ara katman yazılımları ve yazılım ara yüzleri



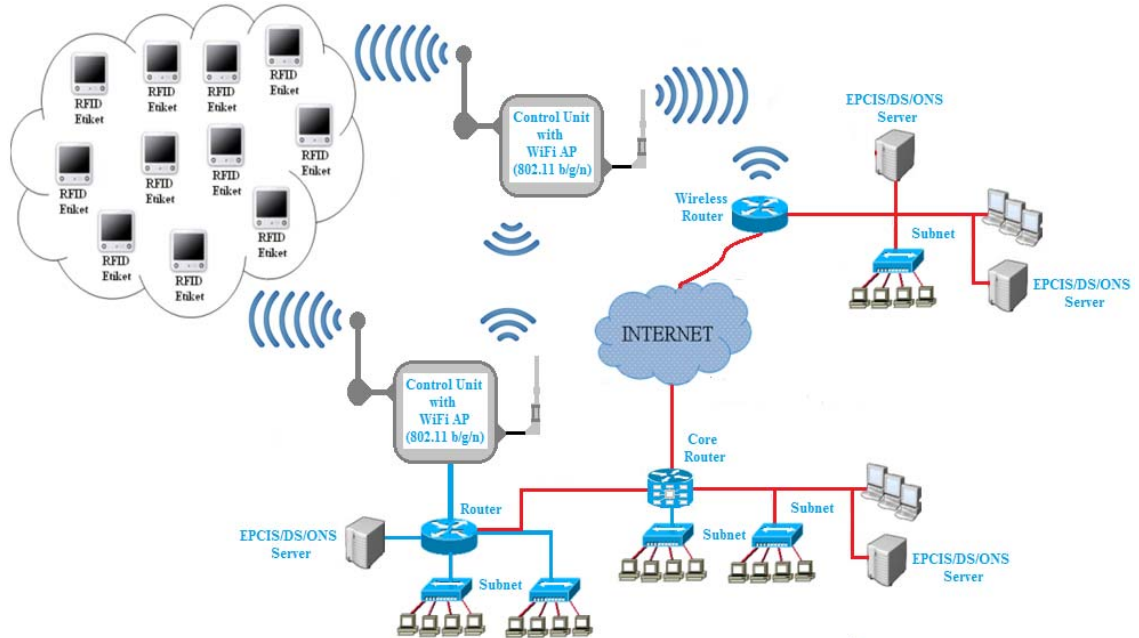
Şekil 3.18 : RFID-ZigBee Birlikteliği

3.8.3. RFID Sisteminin Wi-Fi Ağlara Entegrasyonu

IEEE 802.11 standartlarını ve mobil iletişim özelliklerini destekleyen çok fonksiyonlu RFID okuyucular, sorgulayıcılar ve denetleyiciler içeren bir RFID sistemi Wi-Fi ağlarla entegre çalışabilir. Böyle bir RFID sistemine alternatif olabilecek farklı ağ topolojileri

tasarlanabilir. Sistem tasarımlarından biri, IEEE 802.11 standartlarını ve mobil uygulamaları destekleyen bir kontrol ünitesinin Wi-Fi ağlara entegre edilmesidir. Kontrol ünitesi, eğer ortamda RFID okuyucular varsa, okuyucular ile Wi-Fi cihazlar arasında konumlandırılmalıdır. Diğer bir alternatif tasarım ise (Şekil 3.19); ortamda RFID okuyucuların/sorgulayıcıların bulunmadığı, sadece Wi-Fi ağların kullanıldığı ve kontrol ünitelerinin RFID etiketler ile Wi-Fi cihazlar arasında konumlandırıldığı yapıdır. Bu tür bir sistemde kontrol üniteleri gerçek zamanlı olarak çalışmalı, QoS desteklemeli, RFID okuyucu/denetleyici cihaz özelliklerini içermeli ve Wi-Fi cihazlarla iletişim kurabilmelidir. Kontrol ünitesi okuyucudan aldığı etiket bilgilerini güvenli bir şekilde ve gerçek zamanlı olarak Wi-Fi ağlara aktarabilecek özellikte olmalıdır. Bu tip bir RFID sisteminde kullanılacak yazılım ve donanım gereksinimleri şu şekilde özetlenebilir:

1. IEEE 802.11 standartlarını destekleyen RFID Sistem bileşenleri
2. Wi-Fi Kontrol Üniteleri, AP'ler ve diğer Wi-Fi cihazları
3. Wi-Fi Ağ Servisleri ve hizmetleri
4. Ara katman yazılımları ve yazılım ara yüzleri

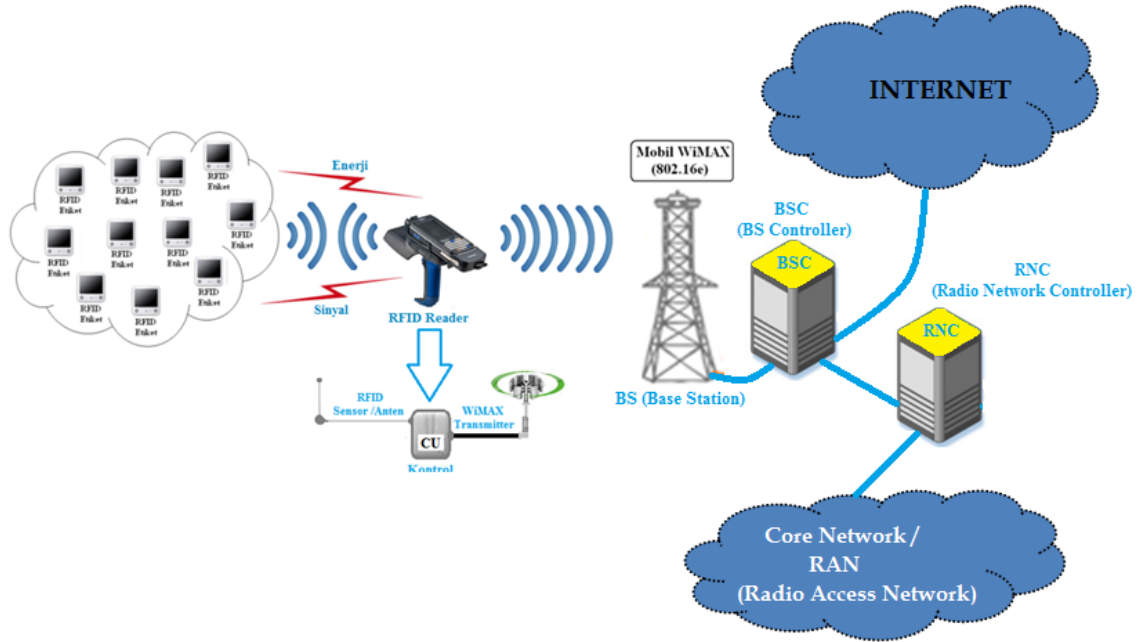


Şekil 3.19 : RFID-WiFi Birlikteliği

3.8.4. RFID Sisteminin WiMAX Ağlara Entegrasyonu

RFID sistemleri WiMAX ağlara entegre edilebilir. Böyle bir entegre RFID sistemi için, yeni nesil genişband kablosuz iletişim teknolojileriyle birlikte çalışabilecek bir kontrol ünitesi tasarlanmalıdır. Ağ içerisinde RFID okuyucular, sorgulayıcılar ve denetleyiciler varsa, kontrol ünitesi okuyucularla WiMAX baz istasyonları arasında bulunmalıdır. Eğer ortamda okuyucular/sorgulayıcılar/denetleyiciler yoksa ve sistemde sadece WiMAX ağlar ağırlıklı olarak kullanılıyorsa, kontrol üniteleri RFID etiketler ile WiMAX baz istasyonları arasında bulunmalıdır (Şekil 3.20). Kontrol üniteleri RFID okuyucu/programlayıcı/sorgulayıcı cihaz özelliklerine sahip olmalı, dinamik çalışabilmeli, QoS desteklemeli, IEEE 802.16 standartlarını içerecek şekilde tasarlanmalı ve okuyucudan aldığı etiket bilgilerini WiMAX ağlara gerçek zamanlı olarak güvenilir bir şekilde aktarabilmelidir. Böyle bir sistemde kullanılacak yazılım ve donanım gereksinimleri şu şekilde özetlenebilir:

1. IEEE 802.16 standartlarını destekleyen RFID sistem bileşenleri
2. WiMAX kontrol üniteleri, baz istasyonları ve WiMAX destekli ağ cihazları
3. WiMAX ağ servisleri ve hizmetleri
4. Ara katman yazılımları, olay yöneticileri ve yazılım ara yüzleri



Şekil 3.20 : RFID-WiMAX Birlikteliği

- Açık iletim sağlanmalıdır. RFID sisteminde farklı ağlar üzerinden giden çok sayıda bağlantı olmalıdır. Bu nedenle; heterojen ağ içerisinde yönlendirme ve köprüleme içeren prosedürlerin tanımlanması gerekir.
- Kullanıcı konum yönetimi işinin gerçekleştirilmesi gerekir. Mevcut ağlardaki kullanıcı konum bilgisini düzenleyen veritabanları veri değişimini gerçekleştirmeli, küresel olarak veri arama, sayfalama ve erişimi sağlamalı, bu işlemleri tek bir veritabanı içinde birleştirmek amacıyla bir arada çalışmalıdır.
- RFID sisteminin çoklu ortam uygulamalarını iyi bir şekilde dağıtması için ağ, gerekli servis kalitesine (QoS) sahip bir iletim sağlayabilmelidir. Ağ için uygun QoS, ihtiyaç duyulan gecikme ve bant genişliği değerlerini garanti etmelidir.

RFID sistemlerinin heterojen kablosuz ağlarla birlikte çalışabilmesi için gerekli yapılar aşağıda kısaca sunulmuştur:

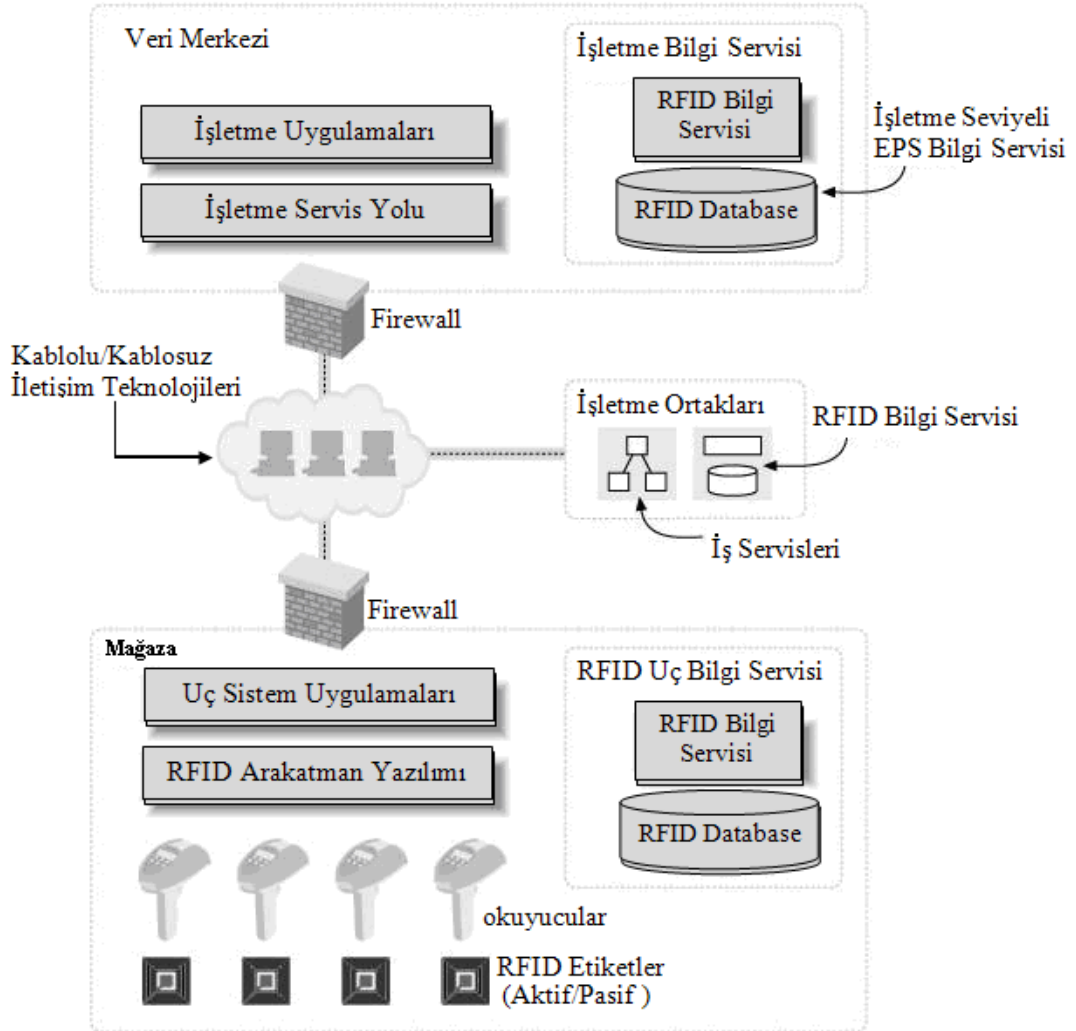
1. Heterojen ağlarla birlikte çalışabilecek RFID sistem bileşenleri
2. Anten sistemleri
3. Kablosuz Ad-Hoc ağlar, RAN (Radyo erişim ağları), 2.5G, 3G, 4G teknolojileri
4. ZigBee, Wi-Fi, WiMAX, GSM/GPRS/CDMA/UMTS kontrol üniteleri
5. ZigBee, Wi-Fi, WiMAX, GSM ağ servisleri ve hizmetleri
6. Olay yöneticileri

3.8.7. Kablosuz İletişim Altyapısına Entegre Edilmiş Bir RFID Sistem Tasarımı

Şekil 3.22, bir perakende satış mağazasında bulunan RFID sisteminin temel bileşenlerini göstermektedir. Şeklin sol aşağı köşesinde, etiketlenmiş nesnelere ifade eden RFID etiketler dizisi vardır. Mağaza, aynı zamanda kasa ödeme geçitlerinde ve raflarda yerleştirilmiş okuyuculara sahiptir. Bu okuyucular etiketleri dakikada yüzlerce ya da binlerce kez okuyabilir. Okuyucular, yeniden konfigüre edilebilir ve yönetilebilir olmalıdır. Okuyucu hatasına yol açan kör noktaları içeren durumlarda okuyucular birbirleri ile nasıl çalışacağını bilmelidir. RFID ara katman yazılımı ile işaretlenmiş kutu bu sorumlulukları tutan bir ya da daha fazla yazılım modülleri içerir. Uç sistem uygulamalarıyla işaretlenmiş kutu, mağaza içerisinde yürütülen işlemlere/bileşenlere sahip (örneğin POS sistem bileşenleri gibi) işletme uygulamalarını içerir. RFID bilgi servisi ile işaretlenmiş kutu, uç birimlerdeki ilişkisel verileri ve RFID olaylarını

saklayan mekanizmaları içerir. Şirketin veri merkezinde ve şirketin iş ortağının veri merkezinde benzer RFID bilgi servis kutuları bulunmaktadır. Bunun nedeni, RFID bilgisinin uç kısımlar, veri merkezleri, iş ortakları gibi altyapı içerisinde değişik noktalarda saklanmasıdır.

İşletme veri merkezi içerisinde gösterilen iki diğer bileşen, işletme servis yolu ve işletme uygulamalarıdır. İşletme servis yolu şirketin uygulama entegrasyonu için seçtiği herhangi bir mekanizmadır. Bunu kolaylaştıran standart-tabanlı ürünler şu an mevcuttur. İşletme uygulamaları ise kullanıcıların (müşteriler ya da çalışanlar) yaptığı ya da işletmedeki RFID verisi ile başka yolla etkilenmiş herhangi bir uygulamadır.



Şekil 3.22 : Kablosuz Ağlara Entegre Edilmiş Bir RFID Sistemi

3.9. SİMÜLASYON

RFID sistemlerinin kablosuz iletişim teknolojilerine entegrasyonunun incelendiği bu tez çalışmasında, etiket çarpışma önleme protokolleri hazırlanan farklı simülasyonlarla incelenmiştir. Bu simülasyonlarda “ALOHA”, “S-ALOHA”, “Dinamik S-ALOHA”, “İkili Ağaç”, “Sorgu Ağacı”, “Adaptif İkili Ağaç” ve “Adaptif Sorgu Ağacı” gibi protokollerin karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Simülasyonların çalıştırılması aşamasında, RFID sistemlerine ait farklı işlemlerin kullanıcı tarafından seçilebilmesi ve belirlenebilmesi için gereken parametreler simülasyon programları içerisinde mevcuttur.

Bu bölümde yapılan çalışmanın amacı, farklı sistem cihazları (aktif/pasif etiketler, okuyucular, denetleyiciler, antenler, vs.), standartlar, frekanslar, bant genişlikleri ve veri iletim hızları kullanan RFID sistemlerinin kablosuz bir ağa entegrasyonu sırasında hangi çarpışma önleme protokolünün daha etkili çalışabileceğinin tespitini yapmaktır. Sistem performansının değerlendirilebilmesi için etiket ID benzerliği, etiket sayısı, etiket hareketliliği, ilave etiket iletişimi, etiket tanıma gecikmesi, okuyucu sayısı, okuyucu sorgulama alanı, her çerçeve için maksimum mesafe, çarpışma sayısı, boş çevrim sayısı gibi veriler dikkate alınmıştır. Çarpışma önleme protokollerinin analizleri için kullanılan simülasyon programları aşağıda kısaca açıklanmıştır:

1. Matlab/Simulink: Bir RFID sisteminin performansını etkileyen parametreler belirlenerek bu parametrelere göre çarpışma önleme protokollerinin kodlanması ve analizlerinin yapılması sağlanmıştır.
2. RFIDSIM: RFID sisteminin, okuyucuların, etiketlerin performans ölçümlerinde ve analizlerinde kullanılan, açık kaynak kodlu, C++ ve Linux tabanlı bir simülatördür.
3. SimTag: Farklı standartlarda ve frekanslarda çalışan etiketler ve okuyucular tasarlanarak bir RFID sisteminde kullanılan çarpışma önleme protokollerinin test edilmesi ve analizlerinin yapılması için kullanılmıştır.

3.10. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.10.1. Amaç

Farklı sistem cihazları (aktif/pasif etiketler, okuyucular, denetleyiciler, antenler, vs.), standartlar, frekanslar, bant genişlikleri ve veri iletim hızları kullanan RFID sistemlerinin kablosuz bir ağa entegrasyonu sırasında hangi çarpışma önleme protokolünün (protokollerinin) daha etkili çalışabileceğinin tespitini yapmaktır.

Bu deneysel çalışmayla aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

- Etiket sayısının artması sistem performansını ve okuma hızını nasıl etkilemektedir? Sistemdeki çarpışmaların sayısı/oranı nasıl değişmektedir?
- Etiket ID büyüklüğü (veri boyutu) arttığında okuyucunun okuma hızı ve sistem performansı nasıl değişmektedir? Sistem bundan nasıl etkilenir?
- Etiketten okuyucuya veri hızı değiştiğinde sistem nasıl etkilenmektedir? Etiket ve okuyucu çarpışmaları sayısı/oranı nasıl değişmektedir?
- Etiket ve okuyucuya ait antenlerin boyutları ve antenlerin veri alma/gönderme yanıtları (yayın gücü) değiştiğinde sistemin performansı nasıl etkilenir?
- Etiket algılama alanı ve okuyucu sorgulama alanı değiştiğinde, okuyucuların etiket ID'lerini tanıma (veri okuma) hızları ve performansları nasıl etkilenmektedir? Sistemdeki çarpışmaların sayısı/oranı nasıl değişmektedir?
- Okuyucu tarafında okuma işlemleri için kullanılan slotların ve çerçevelerin boyutları değiştirildiğinde sistemin okuma performansı nasıl etkilenmektedir? Sistemdeki çarpışmaların sayısı/oranı nasıl değişmektedir?
- RFID sisteminde farklı frekanslar kullanılırsa sistem nasıl etkilenir?

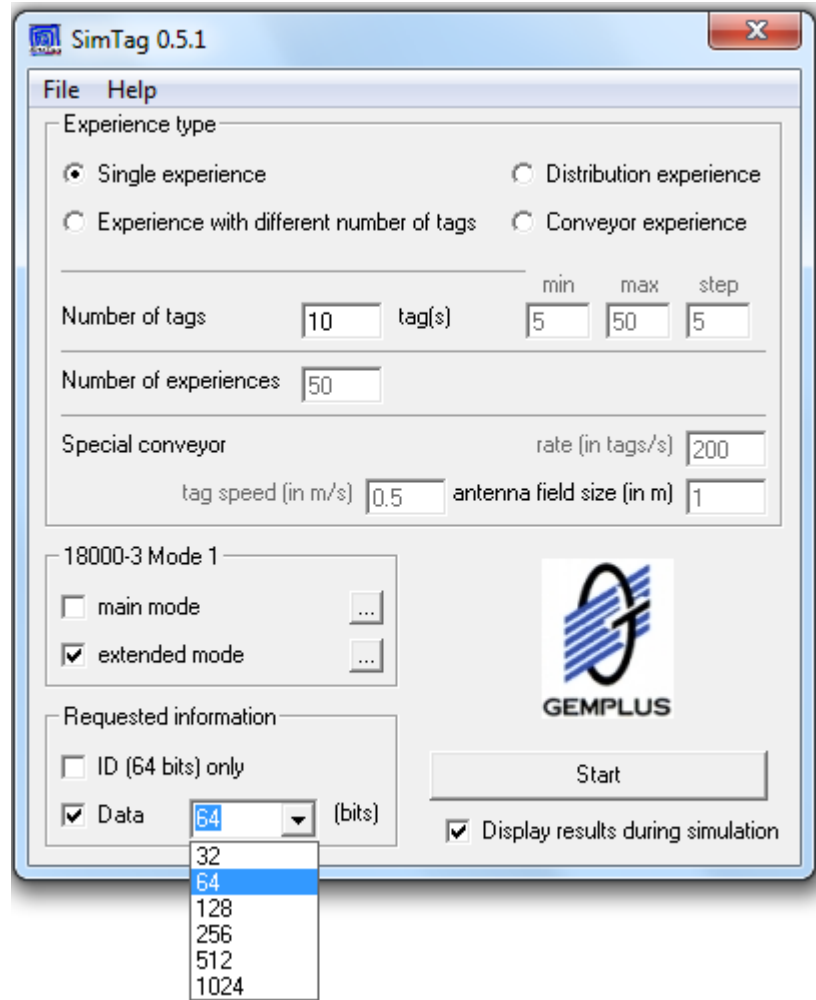
3.10.2 Metodoloji

- RFID sistemi için gerekli fiziksel ortamın sanal olarak simülörde oluşturulması
- Sistem için gerekli konfigürasyonların yapılması ve parametrelerin belirlenmesi
- Sistemin çalıştırılması (veri akışının sağlanması)
- Elde edilen sonuçların (verilerin) toplanması
- Toplanan verilerin belirlenmesi, incelenmesi ve analiz edilmesi. Matlab programı kullanarak sonuçların grafiksel olarak ifade edilmesi ve yorumlanması

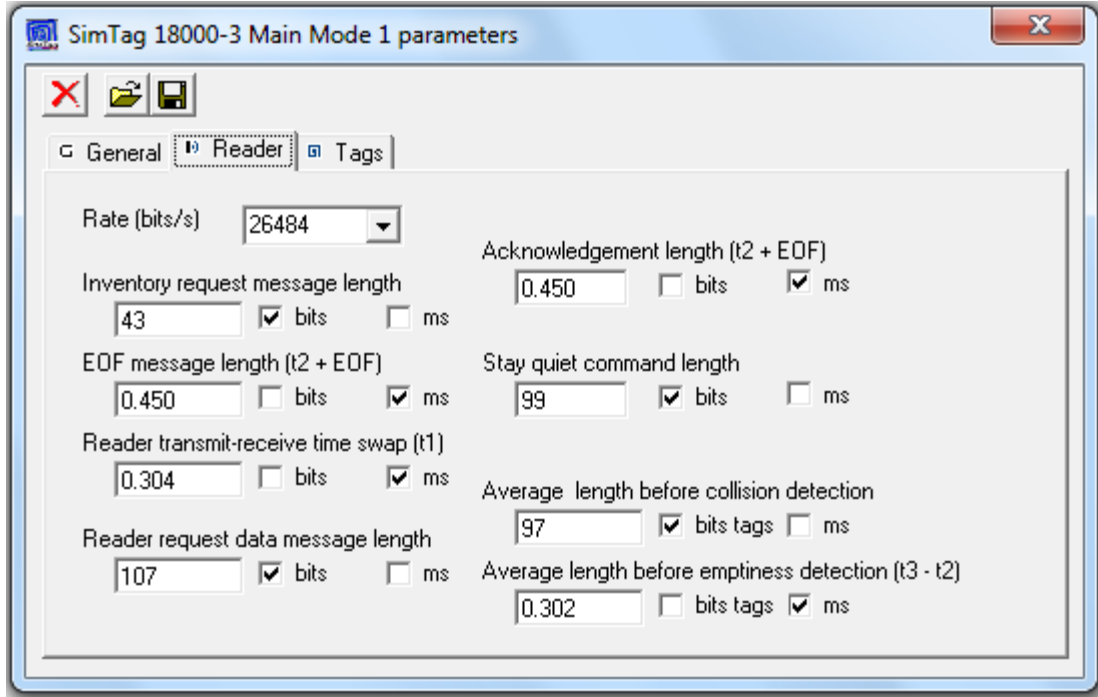
3.10.3. Kullanılan Araçlar

- 1 Adet Bilgisayar: Microsoft Windows 7, Intel Core 2 Duo 3.0 GHz, 3 GB RAM
- 2 adet RFID okuyucu ve 10 adet RFID etiket
- 1 adet GSM modem: Motorola GSM modem
- Kullanılan Programlar: SimTag RFID etiket ve okuyucu simülatörü, RFIDSIM, Matlab, RouterSim (CCNA™ Network Visualizer® 6.0), Boson NetSim Network Simulator®, Cisco Config Maker, Ethereal®, Wireshark

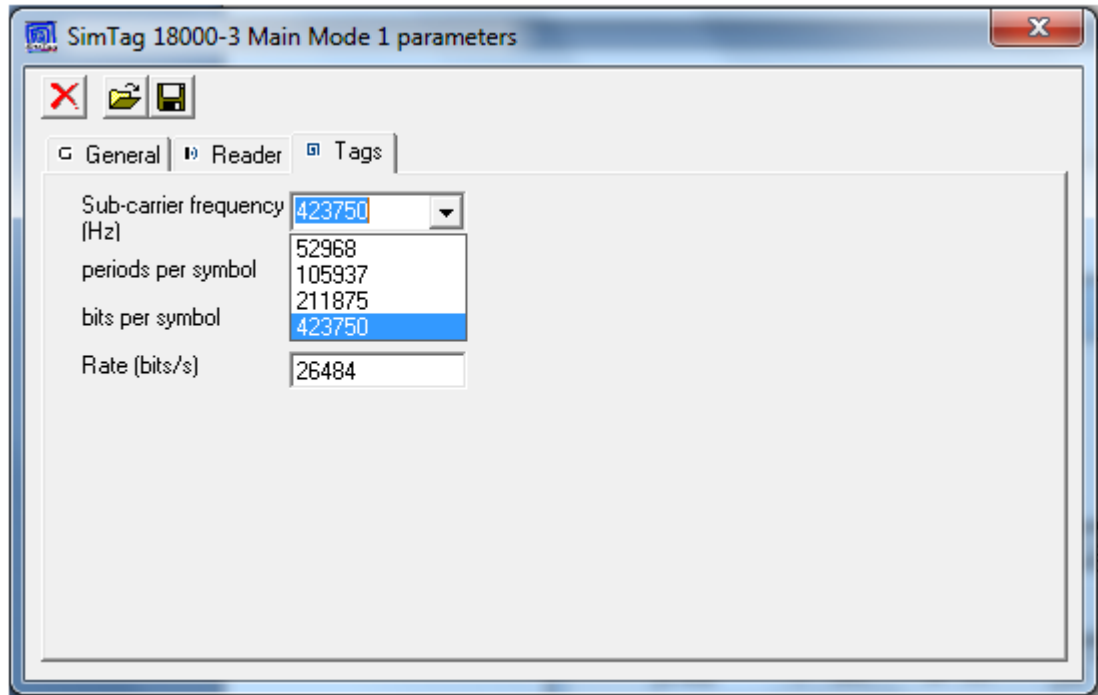
3.10.3.1. SimTag Çarpışma Önleme Protokolü Simülatörü



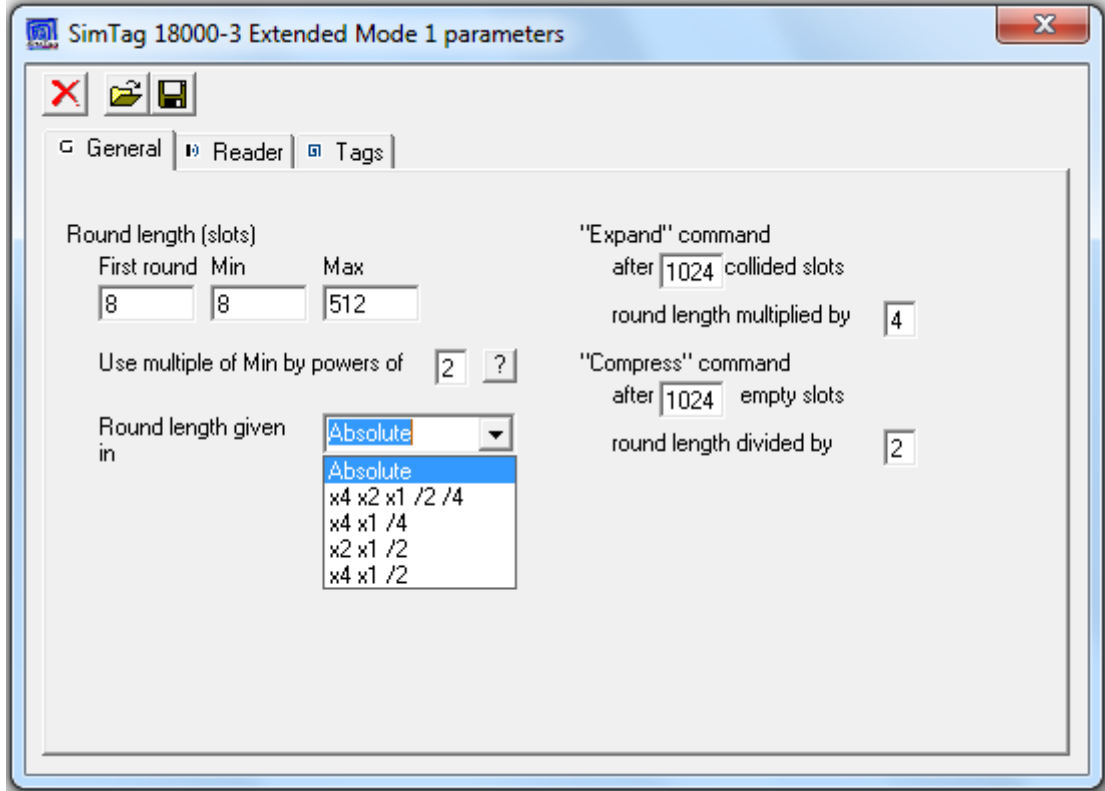
Şekil 3.23 : SimTag Ana Menü



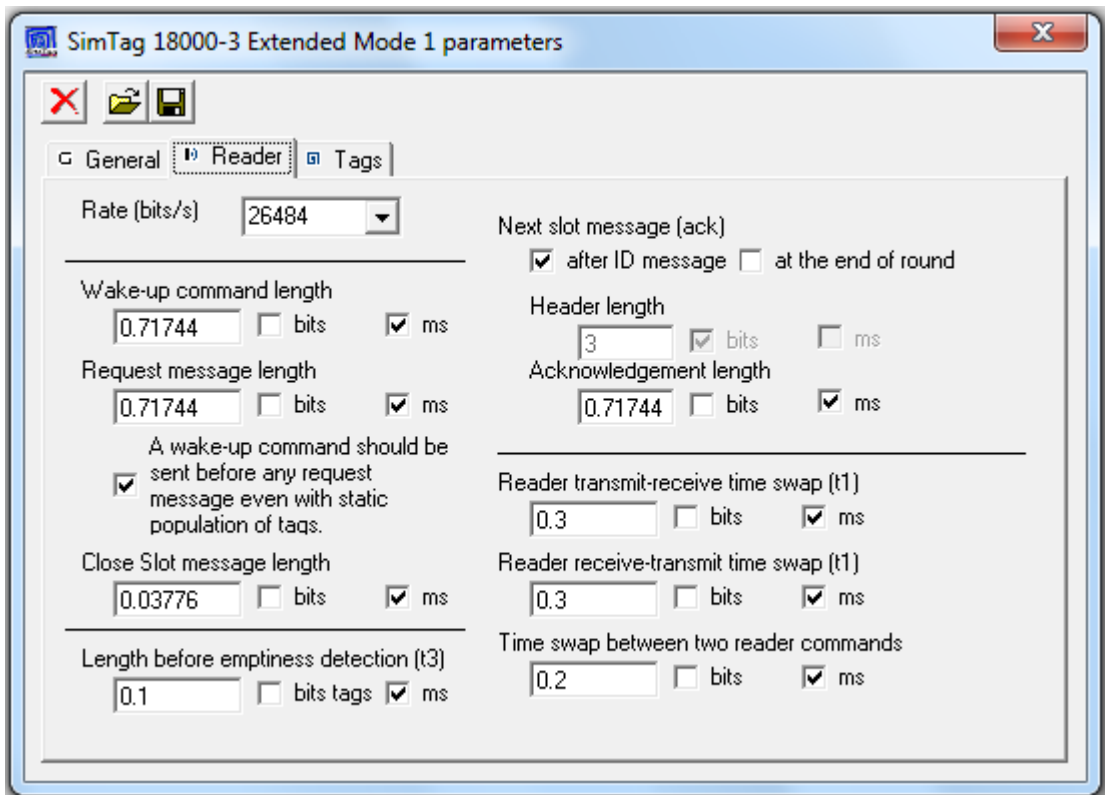
Şekil 3.24 : Okuyucu Konfigürasyon Bölümü (Temel Mod)



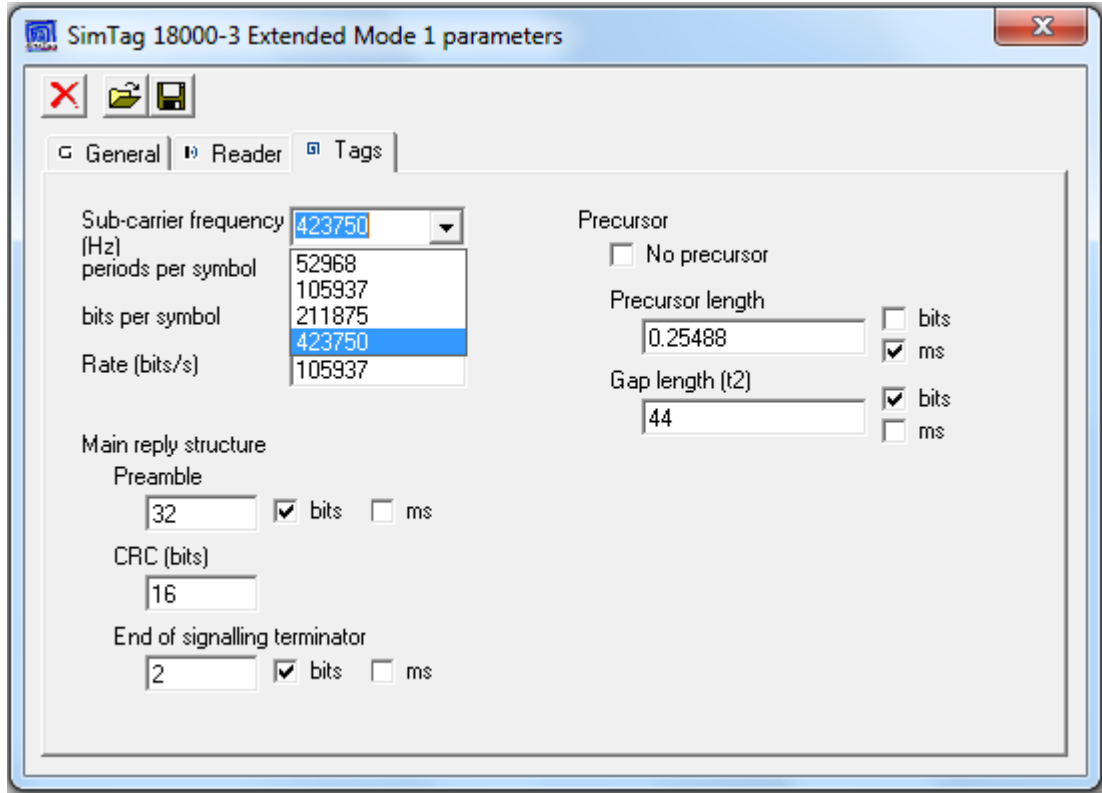
Şekil 3.25 : Etiket Konfigürasyon Bölümü (Temel Mod)



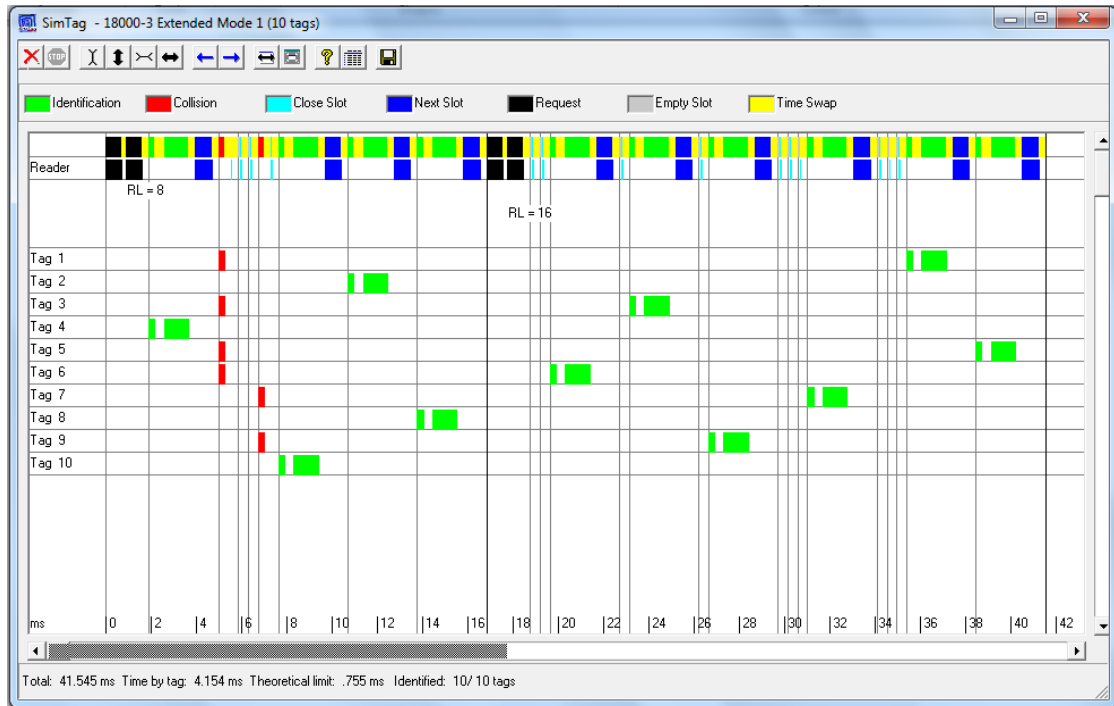
Şekil 3.26 : Genel Konfigürasyon Bölümü (Genişletilmiş Mod)



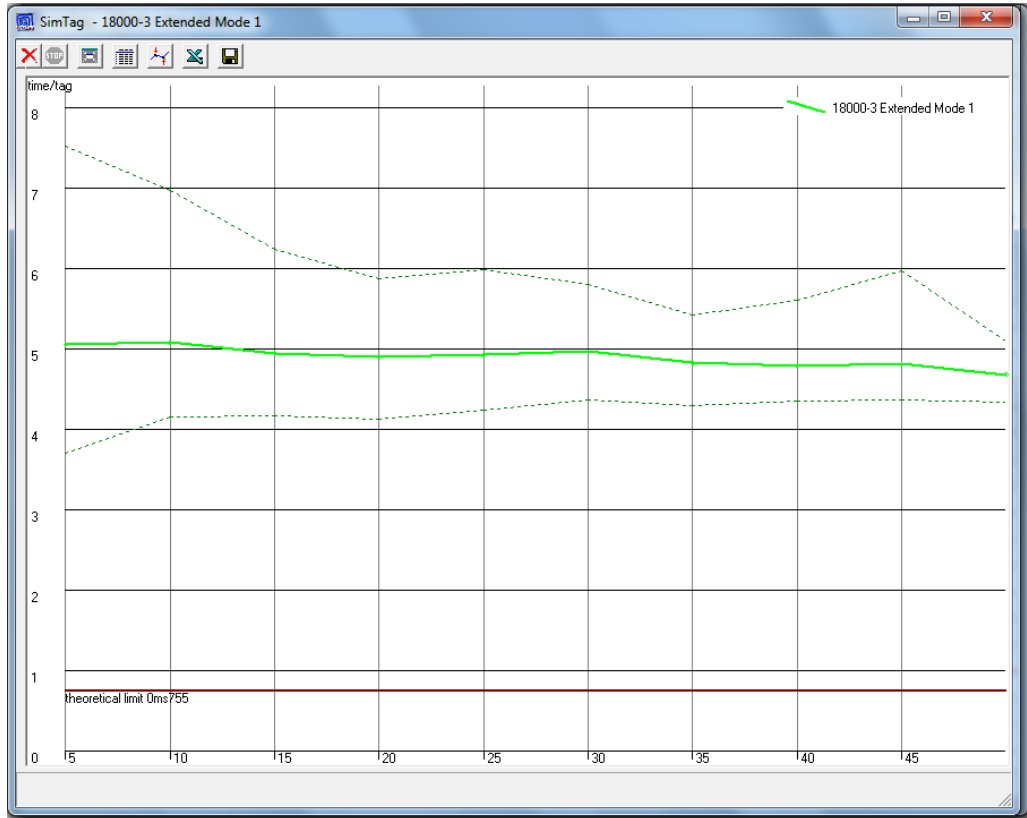
Şekil 3.27 : Okuyucu Konfigürasyon Bölümü (Genişletilmiş Mod)



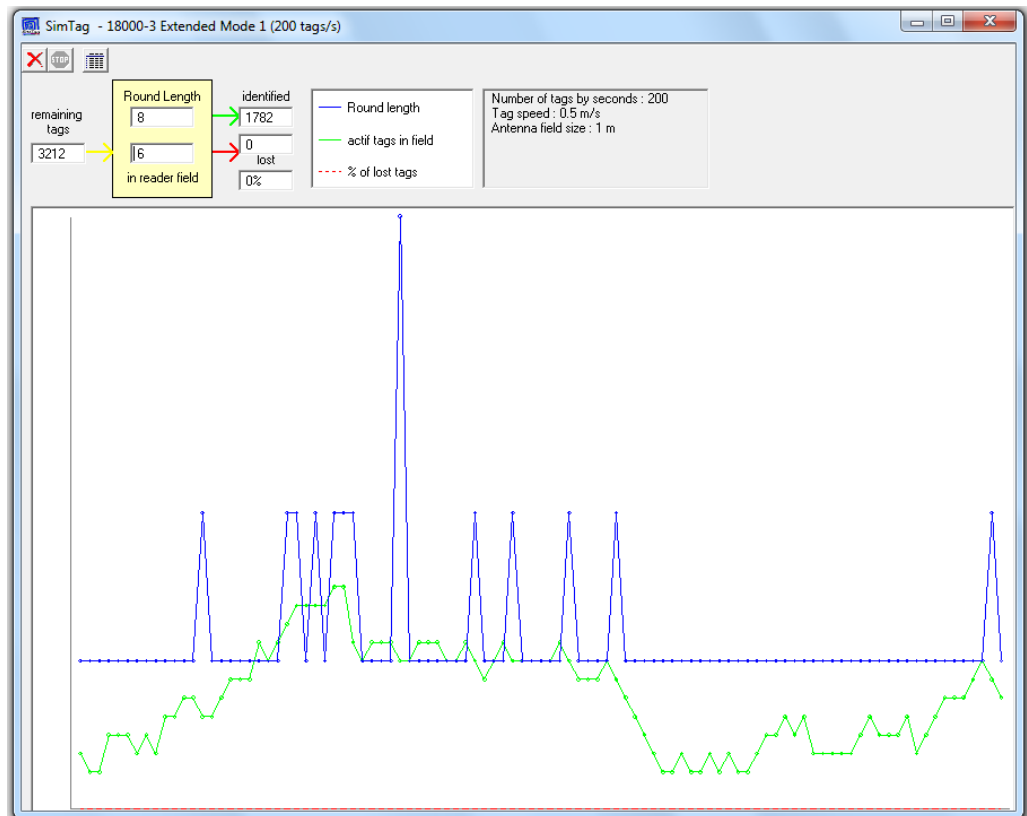
Şekil 3.28 : Etiket Konfigürasyon Bölümü (Genişletilmiş Mod)



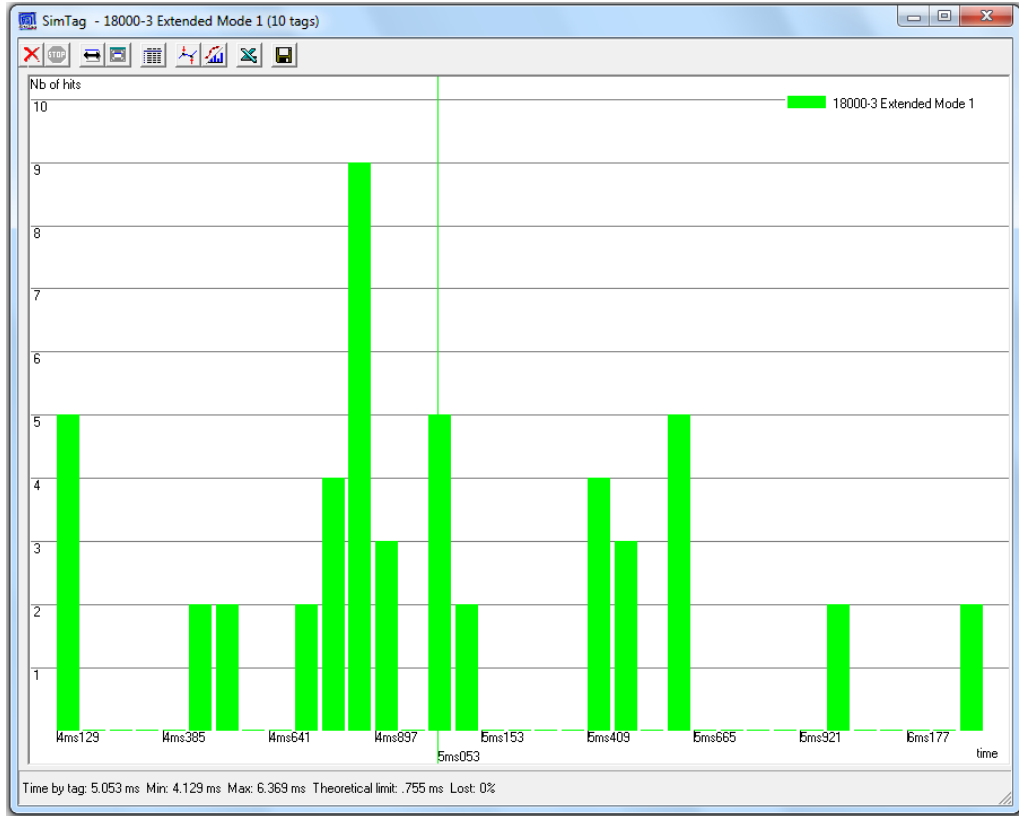
Şekil 3.29 : Sistemin Çalıştırılması – 1 (Etiket Çarpışma Durumları)



Şekil 3.30 : Sistemin Performans Analizi - 1



Şekil 3.31 : Sistemin Performansı Analizi - 2



Şekil 3.32 : Sistemin Performans Analizi - 3

4. BULGULAR

Bu bölüm, RFID sistemlerinin kablosuz iletişim teknolojilerine entegrasyonunda kullanılacak çarpışma önleme protokollerinin (olasılık yaklaşımı protokoller ve ağaç tabanlı protokoller) analizlerini, performans karşılaştırmalarını ve sonuçlarını içermektedir. Kullanılan simülasyonlarda tasarlanan ağlar göz önünde bulundurularak RFID sistemi için farklı konfigürasyonlar oluşturulmuştur. Bu konfigürasyonlardan elde edilen verilere bağlı olarak etiketler, okuyucular, denetleyiciler ve kontrol üniteleri üzerinde işletilebilecek çarpışma önleme protokolleri incelenmiş; analiz sonuçları grafiksel olarak ifade edilmiş ve yorumlanmıştır. Simülasyonlardaki test sonuçlarına göre hangi protokollerin hangi uygulama alanlarında daha iyi çalışabileceği örneklendirilerek açıklanmıştır.

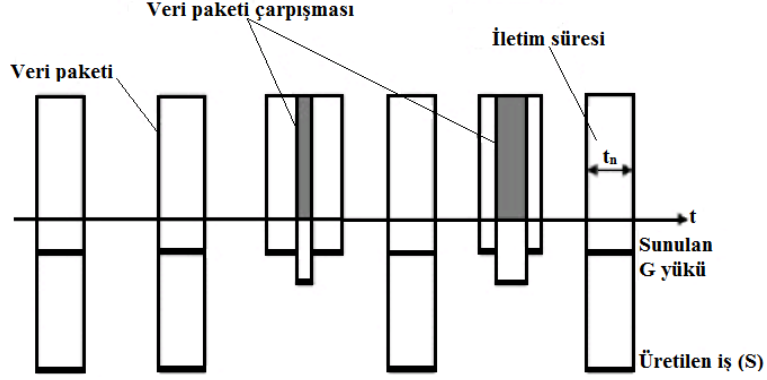
Gerek ağaç tabanlı protokoller gerekse olasılıksal protokoller her entegre RFID sistemine uygun çalışmayabilir. Çarpışma önleme protokollerinin uygulama alanında denenmeden önce performanslarının simülasyonlarla ya da farklı araçlarla test edilmesi gerekir. Bu nedenle, kullanılacak protokollerin performanslarının bilinmesi o protokollerin optimize edilmesine, değiştirilmesine ya da hangisinin daha iyi işletilebileceği seçimine sebep olabilir.

4.1. ALOHA PROTOKOLÜ

Bir ALOHA sisteminde veri iletiminin zaman serisi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Sunulan G yükü, zamandaki belli bir t_0 noktasında aynı anda iletim yapan etiket sayısına karşılık gelir (örneğin 0, 1, 2, 3, ...). Ortalama sunulan G yükü ise bir T gözlem süresindeki ortalamadır. Bir veri paketine ait G yükünün t iletim süresinden hesaplanması denklem 4.1'de verilmiştir:

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{t_n}{T} \cdot r_n \quad (4.1)$$

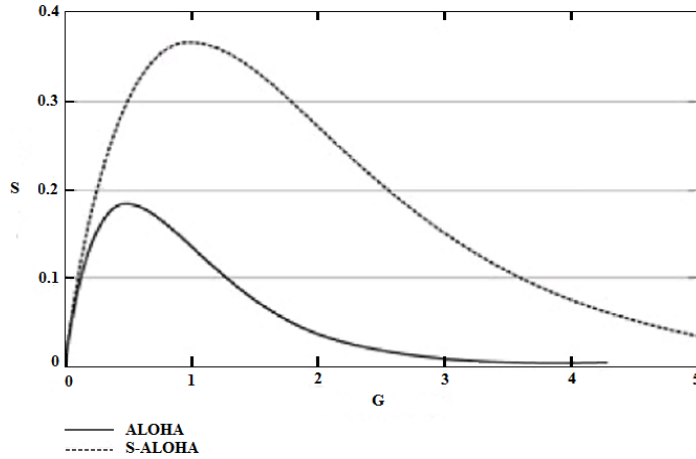
burada $n = 1, 2, 3, \dots$ sistemdeki etiket sayısı ve $r_n = 0, 1, 2, \dots$ gözlem süresi boyunca n etiketin ilettiği veri paketlerinin sayısıdır.



Şekil 4.1: ALOHA Protokolünde Üretilen İş (S) Ve Sunulan Yük (G)

Hatasız (çarpışmasız) bir veri paketi iletiminin iletim süresi boyunca S yapılan iş oranı $1/2$ 'dir. Ancak diğer tüm durumlarda 0 'dır, çünkü veriler ya iletilmemiştir ya da çarpışmadan dolayı hatasız okunamamıştır. Bir iletim kanalının S iş yapma oranı (ya da ortalama S), sunulan G yükü kullanılarak denklem 4.2 ile hesaplanabilir:

$$S = G \cdot e^{(-2G)} \quad (4.2)$$



Şekil 4.2: ALOHA Ve S-ALOHA Protokollerinin Karşılaştırılması

S iş yapma oranı sunulan G yüküne göre düşünülürse (Şekil 4.2), $G = 0.5$ 'de %18.4'lük bir maksimum değer bulunur. Daha küçük sunulan bir yük değeri için iletim kanalı zamanın büyük çoğunluğunda kullanılmayacaktır. Sunulan yük artırılırsa tek tek etiketler arasındaki çarpışma sayısı anında ciddi bir şekilde artacaktır. Böylece kanal kapasitesinin %80'inden fazlası kullanılmadan kalacaktır.

q başarı olasılığı (tek bir paketin çarpışma olmadan iletilebilme olasılığı), denklem 4.3 kullanılarak ortalama sunulan G yükü ve S iş yapma oranından hesaplanabilir:

$$q = \frac{S}{G} = (e^{-2G}) \quad (4.3)$$

Denklem 4.3'ten çıkarılan bazı veri değerleri ve bu değerler kullanılarak hazırlanan Tablo 4.1, bir okuyucunun sorgulama alanındaki tüm etiketleri güvenilir bir şekilde okuması için gereken zamana ilişkin durumları göstermektedir. Bu zaman, okuyucunun sorgulama alanındaki etiket sayısına bağlıdır.

Tablo 4.1: Okuyucu Sorgu Alanında Bulunan Bütün Etiketlerin Okunabilmesi İçin Harcanan Ortalama Zaman

Sorgu Alanındaki Etiket Sayısı	Ortalama (ms)	%90 güvenilirlik (ms)	%99.9 güvenilirlik (ms)
2	170	370	520
3	270	570	820
4	320	770	1020
5	420	920	1270
6	520	1220	1620
7	670	1570	2020
8	820	1820	2570
9	980	2220	3170
10	1090	2750	3820

T gözlem süresinde k hatasız veri paketi iletimlerinin $p(k)$ olasılığı, bir veri paketinin t iletim süresi ve ortalama sunulan G yükünden (G/t) hesaplanabilir (Denklem 4.4):

$$p(k) = \frac{\left(G \cdot \frac{T}{t}\right)^k}{k!} \cdot e^{-\left(\frac{G \cdot T}{t}\right)} \quad (4.4)$$

$p(k)$ olasılığı bir Poisson dağılımıdır [1]. $k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ olası sayılabilir değerler için rastgele seçilen bir k sayısı Poisson dağılımına sahiptir ve k'nın olasılığı denklem 4.5 kullanılarak hesaplanabilir:

$$p(k) = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda} \quad (4.5)$$

ALOHA protokolü slotted ve framed olmak üzere iki farklı yapıda incelenebilir. Slotted ALOHA'da her etikete belirli bir zaman aralığı ayrılır ve etiket bu zaman aralığında içeriğini transfer eder. Framed ALOHA'da ise etiketler N etiketlik gruplara ayrılır ve bir gruba sıra geldiğinde grup elemanları sıra ile içeriğini transfer eder. Bir etiketin ne kadar süre bekleyeceği, etikete ayrılacak sıranın ya da zamanın nasıl belirleneceği bu yöntemin başarısını etkiler. Basit uygulamasından dolayı ALOHA prosedürü salt okunur etiket sistemleri için bir çarpışma önleme prosedürü olarak kullanılmaya çok uygundur. ALOHA prosedürünün başka uygulama alanları ise, yazılı mesaj alışverişi için tüm dünyada amatör radyo kullanıcıları tarafından kullanılan paket radyo iletişimi sunan dijital haber ağlarıdır.

4.2. S-ALOHA PROTOKOLÜ

Bu protokolde bir çarpışmanın meydana gelebileceği süre (çarpışma aralığı) ALOHA protokolündekinin ancak yarısı kadardır. Veri paketlerinin aynı boyutta olduğu ve dolayısıyla aynı t iletim sürelerine sahip olduğu varsayılırsa, ALOHA prosedüründe bir çarpışma, eğer iki etiket bir veri paketini okuyucuya $T < 2t$ zaman aralığında iletmek isterse gerçekleşir. S-ALOHA prosedüründe veri paketleri iletimi ancak senkronize zaman noktalarında başlayabildiğinden dolayı çarpışma aralığı $T = t$ 'ye indirgenir. Bu durumda, S-ALOHA protokolünün S iş yapma oranı denklem 4.6'dan hesaplanabilir:

$$S = G \cdot e^{(-G)} \quad (4.6)$$

S-ALOHA protokolünde, sunulan bir G yükü için maksimum S iş yapma oranı %36.8'dir (Şekil 4.2). Bu protokolde, aynı anda birkaç veri paketi gönderilebiliyorsa çarpışma olmak zorunda değildir. Bir etiket okuyucuya diğerlerinden daha yakınsa bu etiket, okuyucudaki daha büyük sinyal gücünden dolayı veri paketi iletiminde diğer etiketlere üstün gelebilir. Bu duruma yakalama etkisi denir. Yakalama etkisinin iş yapma davranışı üzerinde çok yararlı bir etkisi vardır (Denklem 4.7). Bunu belirleyen λ değerine sahip bir eşik değeridir. λ eşik değeri, bir veri paketinin alıcı tarafından hatasız tespit edilebilmesi için diğerlerinden ne kadar güçlü olması gerektiğini belirler.

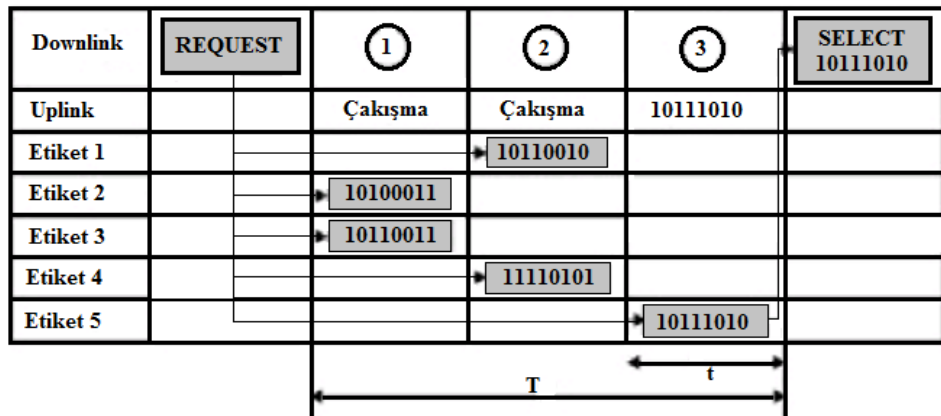
$$S = G \cdot e^{\left(\frac{\lambda \cdot G}{1+\lambda}\right)} \quad (4.7)$$

S-ALOHA protokolünün pratikteki uygulamasını bir örnek üzerinden daha detaylı inceleyebiliriz. Kullanılan etiketlerin benzersiz bir seri numarasına sahip olması gerekir. Örneğimizde 8 bitlik seri numarası kullanılmıştır ve bu da seri numaralarının benzersizliğini garanti etmek için en fazla 256 etiketin kullanılabileceği anlamına gelir. Etiketleri senkronize ederek denetlemek için bir dizi komut belirlenir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 : S-ALOHA Protokolü İçin Komut Setleri

REQUEST	Bu komut okuyucunun sorgulama alanındaki bütün etiketleri senkronize eder. Takip eden zaman slotlarının birinde, etiketlerin seri numaralarını okuyucuya iletmeleri için etiketlere istekte bulunur.
SELECT (SNR)	Etiket için önceden tanımlanmış bir seri numarasını (SNR) parametre olarak gönderir. Böylece bu seri numaralı etiket okuma-yazma komutlarını gerçekleştirmek için seçilir. Farklı seri numaralı etiketler REQUEST komutu için tepki göstermeye devam eder.
READ_DATA	Seçilen etiket kayıtlı veriyi okuyucuya gönderir. (Gerçek RFID sistemlerinde etiketler ve okuyucular arasında yazma, şifreleme, yetkilendirme vb. komutlar da bulunmaktadır.)

Bekleme modunda olan bir okuyucu döngüsel aralıklarla bir REQUEST komutu iletir. Okuyucunun sorgulama alanına aynı anda beş etiket sokulur (Şekil 4.3). Etiketler REQUEST komutunu tanır tanımaz, her etiket kendi seri numarasını okuyucuya göndermek için bir rastgele denetim üretici aracılığıyla mevcut üç slottan birini seçer. Örneğimizde, slotların rastgele seçilmesinin sonucu olarak 1. ve 2. slotlarda çarpışmalar olur. Yalnızca 3. slotta beşinci etiketin seri numarası okuyucuya hatasız iletilebilir.



Şekil 4.3: Etiket Tanıma İşleminde S-ALOHA Protokolünün Çalışması

Bir seri numarası hatasız okunursa, o zaman tespit edilen etiket, bir SELECT (SEÇME) komutunun iletimiyle seçilebilir ve daha sonra diğer etiketlerle başka çarpışma olmadan okunup yazılabilir. İlk girişimde hiç seri numarası tespit edilmezse REQUEST komutu çevrimsel olarak tekrarlanır. Önceden seçilen etiket işlendiğinde okuyucunun sorgulama alanındaki diğer etiketler yeni bir REQUEST komutuyla aranır.

4.3. DİNAMİK S-ALOHA PROTOKOLÜ

Bu protokol, farklı sayıda dinamik slotlar kullanarak etiket tanıma işlemini gerçekleştirir. Okuyucu, her REQUEST komutuyla birlikte etiketler için o anda hazır bulunan slot sayısını bir argüman olarak gönderir. Bekleme modunda olan okuyucu REQUEST komutlarını çevrimsel aralıklarla iletir. REQUEST komutunu olası etiketler için ayrılmış bir veya iki slot izler. Eğer çok fazla sayıda etiket iki slotta da bir tıkanmaya neden olursa, daha sonraki her REQUEST komutu için sunulan slot sayısı tek bir etiket tespit edilene kadar artırılır (örneğin; 1, 2, 4, 8, ... şeklinde).

Etiket tanıma işlemi sırasında çok sayıda slot da (örneğin; 16, 32, 48, ...) sürekli mevcut olabilir. Bu durumda okuyucu, performansı artırmak amacıyla, bir seri numarası tanınır tanınmaz bir BREAK (kesme) komutu iletir. BREAK komutlarının ardından slotlar etiket adreslerinin iletimine karşı 'bloke olur' (Şekil 4.4).

Downlink	REQUEST	①	②	③	④	BREAK	⑥	⑦	⑧
Uplink									
Etiket 1					10110010				
Etiket 2							✘		

Şekil 4.4 : Etiket Tanıma İşleminde Dinamik S-ALOHA Protokolünün Çalışması

Dinamik slot dağıtım/tahsisisi ile, bir önceki çerçevedeki okunabilir etiket sayısına ve sonraki çerçevedeki çarpışma yaşayan etiket sayısına bağlı olarak etiket sayısı tahmin edilebilir. Tahmini etiket sayısı denklem 4.8 ile hesaplanabilir.

$$N = S + 2C \quad (4.8)$$

Eğer çerçeve boyutu ve etiket sayısı biliniyorsa okunabilir, boş ve çarpışma slotlarının sayısı bulunabilir. Aynı zamanda her seferinde bir çerçeve işlendikten sonra önceki

çerçevedeki gerçek değerler kullanılarak okunabilir, boş ve çarpışma slotlarının sayısı tekrar tahmin edilebilir (Denklem 4.9).

$$\text{Tahmini Fonksiyon} = \min_{N_{\text{etiket}}} \left(\begin{array}{c} S_{EXP}(F, N_{\text{etiket}}) \\ C_{EXP}(F, N_{\text{etiket}}) \\ I_{EXP}(F, N_{\text{etiket}}) \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} S \\ C \\ I \end{array} \right) \quad (4.9)$$

- **F:** Çerçeve boyutu
- **S:** Okunabilir slot sayısı,
- **I:** Boş slot sayısı
- **$S_{EXP}(F, N_{\text{etiket}})$:** Çerçeve boyutu ve etiket sayısı verilmiş okunabilir slotun beklenen değeri
- **$C_{EXP}(F, N_{\text{etiket}})$:** Çerçeve boyutu ve etiket sayısı verilmiş çakışan slotun beklenen değeri
- **$I_{EXP}(F, N_{\text{etiket}})$:** Çerçeve boyutu ve etiket sayısı verilmiş boş slotun beklenen değeri
- **N_{etiket} :** Tahmini etiket sayısı
- **C:** Çakışan slot sayısı,

4.4. DİNAMİK ÇERÇEVELİ S-ALOHA PROTOKOLÜ

Bu yöntemde binom dağılımı kullanılarak çarpışma olasılığı tespit edilir. Etiketlerin sayısı ve çerçeve boyutu göz önüne alınarak okunabilir, boş ve çarpışma bölümlerinin olasılığı hesaplanabilir. Çarpışma oranı, okunabilir bölüm oranı ve boş bölüm oranının toplamının birden çıkarılması ile bulunabilir.

$$C = 1 - \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{N_{\text{etiket}}} \cdot \left(1 + \left(\frac{N_{\text{etiket}}}{F-1}\right)\right) \quad (4.10)$$

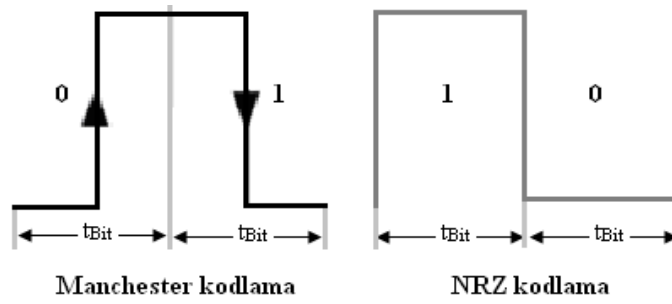
4.5. DİNAMİK ÇERÇEVE UZUNLUKLU ALOHA PROTOKOLÜ

Okunabilir ve çarpışma bölümlerinin sayısı kullanılarak tahmini etiket sayısı hesaplanabiliyordu. Eğer etiket sayısı sonsuza yaklaşırsa çarpışma slotunda ortalama 2.39 gibi bir etiket değeri elde edilir. Bu değer denklem 4.8'deki 2C değeri ile değiştirildiğinde tahmini etiket sayısı denklem 4.11 kullanılarak hesaplanabilir.

$$N_{\text{etiket}} = S + 2.39C \quad (4.11)$$

4.6. AĞAÇ TABANLI PROTOKOLLER

Ağaç tabanlı protokollerde ikili arama algoritması kullanılarak bir veri çarpışmasının tam bit konumunun okuyucuda tanınması sağlanabilir. İkili arama işlemi için uygun bir bit kodlaması gerekir. Bu nedenle öncelikle NRZ (sıfırda dönüşsüz) ve Manchester kodlamasının çarpışma davranışı karşılaştırılmıştır (Şekil 4.5). Seçilen sistem, bir ASK modülasyonlu alt taşıyıcı ve yük modülasyonu kullanan pasif etiket sistemidir. Anabant kodlamasındaki 1 düzeyi alt taşıyıcıyı açar ve 0 düzeyi ise kapatır.



Şekil 4.5 : Manchester Kod ve NRZ Kod Kullanılarak Bit Kodlama İşlemi

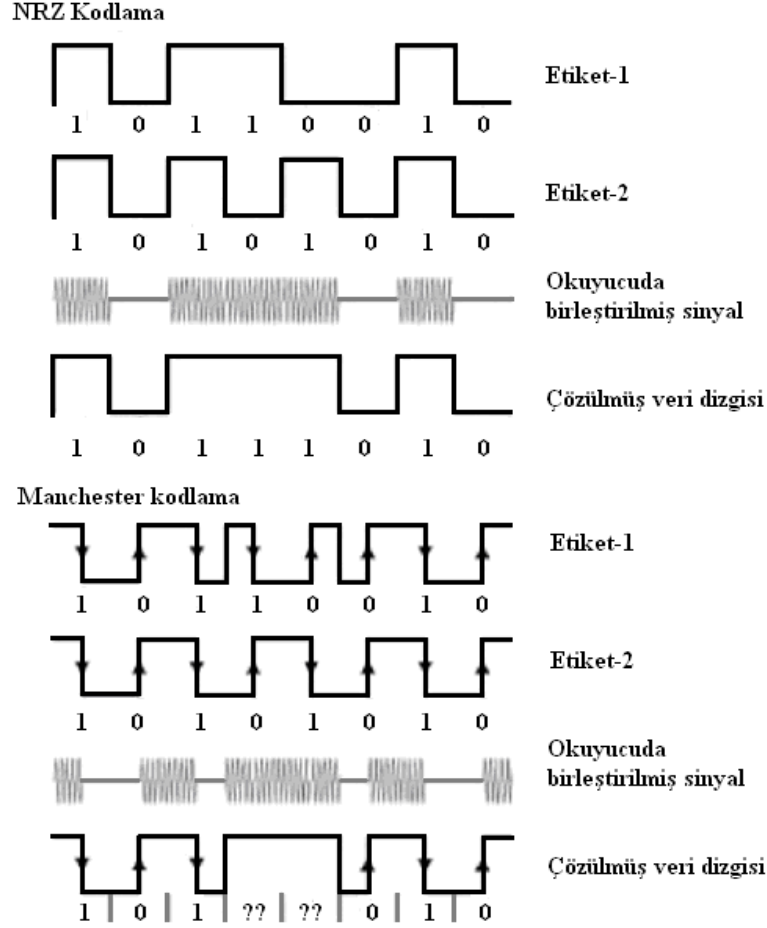
4.6.1. NRZ Kodu

Bir bitin değeri bit penceresi içindeki iletim kanalının statik düzeyi " t_{BIT} " tarafından belirlenir. Bu uygulamada bir 1 mantığı statik bir 'yüksek' düzey tarafından kodlanır; bir 0 mantığı ise statik bir 'düşük' düzey tarafından kodlanır. İki etiketten en az biri bir alt taşıyıcı sinyali gönderirse bu, okuyucu tarafından 'yüksek' düzey olarak yorumlanır ve 1 mantık değeri atanır. Okuyucu, kendisinin aldığı bit diziliminin birkaç etiketten gelen iletimlere veya tek bir etiketten gelen sinyale geri götürülüp götürülemediğini tespit edemez. Bir blok sağlaması (eşlik, CRC) kullanılarak ancak veri bloğundaki 'bir yerde' bulunan bir iletim hatası tespit edilebilir (Şekil 4.6).

4.6.2. Manchester Kodu

Bir bitin değeri, bit penceresi içindeki düzey değişikliğiyle (negatif veya pozitif geçiş) " t_{BIT} " belirlenir. Bu uygulamada bir 0 mantığı pozitif bir geçiş, bir 1 mantığı ise negatif bir geçiş tarafından kodlanmaktadır. 'Geçiş yok' durumuna veri iletimi sırasında izin verilmez ve hata olarak kabul edilir. İki (veya daha fazla) etiket aynı anda farklı değerlere sahip bitleri iletirse, alınan bitlerin pozitif ve negatif geçişleri birbirini iptal eder ve böylece tüm bit süresince bir alt taşıyıcı sinyali alınır. Manchester kodlama

sisteminde bu duruma izin verilmez ve dolayısıyla hata kabul edilir. Bu yüzden bir çarpışmayı tek bir bite kadar götürmek mümkündür (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : NRZ Ve Manchester Kodlamada Etiket Çarpışma Davranışı

4.6.3. İkili Arama Algoritması

İkili arama algoritması, büyük bir gruptan istenen bir etiketi seçebilmek amacıyla okuyucu ve birkaç etiket arasındaki etkileşimlerin (komut ve yanıt) önceden belirlenen bir dizilimini kullanır. Algoritmanın uygulanabilmesi için etiket tarafından işlenebilecek bir dizi komuta ihtiyaç vardır (Tablo 4.3). Ayrıca her etiketin benzersiz bir seri numarası olmalıdır. Uygulamada ikili arama algoritması için 8 bitlik seri numarası kullanılmıştır. Bu yüzden etiket ID'lerinin benzersizliğini sağlamak için maksimum 256 etiket kullanılabilir. Kodlama olarak ise Manchester kodlaması kullanılmıştır.

Tablo 4.3 : İkili Arama Algoritması İçin Etiket Komutları

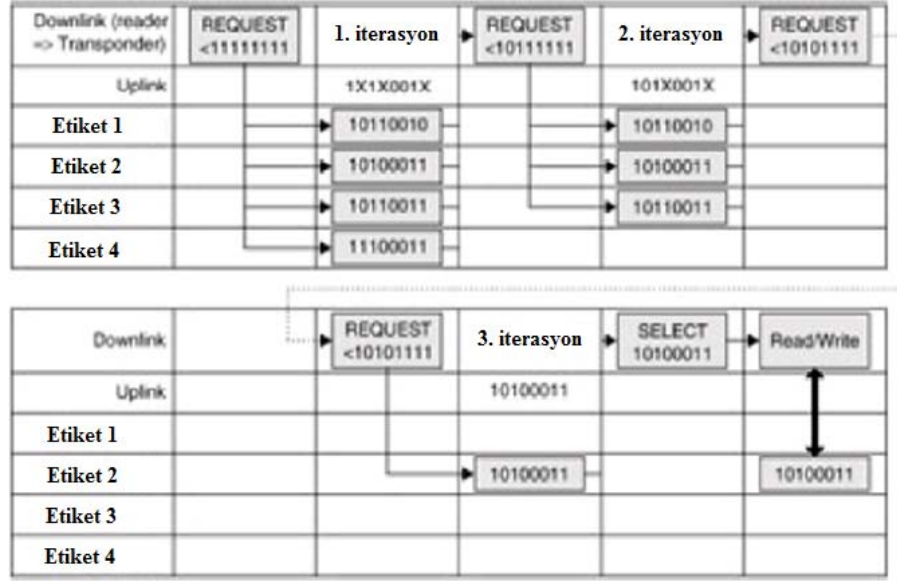
REQUEST(SNo)	Etikete parametre olarak bir seri numarası gönderir. Eğer etiketin seri numarası alınan seri numarasından küçük veya eşitse etiket seri numarasını okuyucuya geri gönderir. Böylelikle önceden bir grup etiket seçilip ön eleme yapılabilir.
SELECT(SNo)	Etikete parametre olarak önceden belirlenmiş bir seri numarası iletir. Bu işlem sonunda söz konusu seri numarasına sahip etiket seçilmiş olur ve veri yazma/okuma gibi diğer komutları işleyebilecek hale gelir. Söz konusu seri numarasına sahip olmayan etiketler REQUEST komutuna yanıt vermek için beklemeye devam ederler.
READ_DATA	Seçilen etiket sakladığı veriyi okuyucuya iletir. (Gerçek RFID sistemlerde kimlik doğrulama, yazma, kredilendirme gibi işlemler için de komutlar bulunmaktadır.)
UNSELECT	Önceden seçilmiş bir etiketin seçilmişliği iptal edilir ve etiket sessiz konumuna geri döner. Bu konumda etiket tamamen etkisizdir ve REQUEST komutuna dahi yanıt vermez. Etiket yeniden etkinleştirilebilmesi için geçici olarak okuyucunun menziline çıkarılması gerekir.

İkili arama algoritmasında tanımlanan komutların (Tablo 4.3) kullanılması okuyucunun sorgulama alanında bulunan dört etiketli bir sisteme dayanılarak örneklendirilmiştir. Örnekteki etiketler 00-FFh (0 - 255 dec. veya 00000000 - 11111111 bin.) aralığında benzersiz seri numaralarına sahiptir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 : Kullanılan Etiketlerin Seri Numaraları

Etiket 1	10110010
Etiket 2	10100011
Etiket 3	10110011
Etiket 4	11100011

Algoritmanın ilk iterasyonu, okuyucunun **REQUEST** komutunu (**SNo < 11111111**) iletmesiyle başlar. 11111111b seri numarası, 8 bitlik seri numarası kullanan örnek sistemimizdeki en yüksek olasılıktır. Bundan dolayı okuyucunun sorgulama alanındaki tüm etiketlerin seri numaraları 11111111b'den az veya bu sayıya eşit olmalıdır. Böylece bu komut okuyucunun sorgulama alanındaki tüm etiketler tarafından yanıtlanır.



Şekil 4.7 : REQUEST Komutuna Karşı Etiketlerden Okuyucuya Dönen Seri Numaraları

Tüm etiketlerin seri numaralarını tam olarak aynı anda iletmeye başlamaları için gereken senkronizasyon, arama algoritmasının güvenilir bir şekilde işleyebilmesinde belirleyici bir rol oynar. Olası bir çarpışmanın tam konumu ancak bu şekilde belirlenir.

Alınan seri numarasının 0, 4 ve 6 bitinde yanıtlayan etiketlerin farklı bit dizilimlerinin üst üste binmesi sonucunda bir çarpışma (X) olur. Alınan seri numaralarında bir veya daha fazla çarpışmanın meydana gelmesi, okuyucunun sorgulama alanında iki veya daha fazla etiket olduğu sonucunu gösterir. Alınan bit dizilimi 1X1X001X, hala tespit edilmesi gereken seri numaraları için sekiz olasılık olduğunu belirtir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 : Okuyucuya Gelen Verinin Değerlendirilmesi

Bit Numarası:	7	6	5	4	321	0
Okuyucuya gelen veri	1	X	1	X	001	X
Olası seri numarası A	1	0	1	0	001	0
Olası seri numarası B*	1	0	1	0	001	1
Olası seri numarası C*	1	0	1	1	001	0
Olası seri numarası D*	1	0	1	1	001	1
Olası seri numarası E	1	1	1	0	001	0
Olası seri numarası F*	1	1	1	0	001	1
Olası seri numarası G	1	1	1	1	001	0
Olası seri numarası H	1	1	1	1	001	1

İlk adımda oluşan çarpışmaların (X) dikkate alınmasıyla oluşturulan olası seri numaraları. Bu uygulama için olası etiket adreslerinden (*) dördü ön plana çıkmaktadır.

Bit 6, ilk iterasyonda çarpışmanın olduğu en yüksek değerli bittir. Buna göre $SNo > 11000000b$ ve $SNo < 10111111b$ durumlarında en az bir etiket vardır. Tablo 4.5'teki sonuçlar incelendiğinde $11100010b - 11110011b$ ve $10100010b - 10110011b$ aralıklarında en az bir etiket olduğu sonucuna varılır. Tek bir etiket seçebilmek için bir sonraki iterasyonda elde edilen bilgiye göre arama aralığının sınırlandırılması gerekir. $SNo < 10111111b$ aralığında aramaya devam etmeye rastgele karar verilir. Bunun için bit 6 0'a (çarpışmalı en yüksek değerli bit) eşitlenir ve daha düşük tüm diğer bitler 1'e ayarlanarak göz ardı edilir. Arama alanını sınırlamak için genel kural Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 : İkili Arama Ağacında Adres Parametresini Oluşturmak İçin Genel Kural

Arama komutu	1. Adım aralığı	n. adım aralığı =
$REQUEST \geq \text{Menzil}$	0	$Bit(X) = 1, Bit(0 \sim X-1) = 0$
$REQUEST \leq \text{Menzil}$	SNRmax	$Bit(X) = 0, Bit(0 \sim X-1) = 1$
Bir önceki adımda çarpışma olduğunda, her durumda bit(X) okunan etiket adresinin en yüksek anlamlı bitidir.		

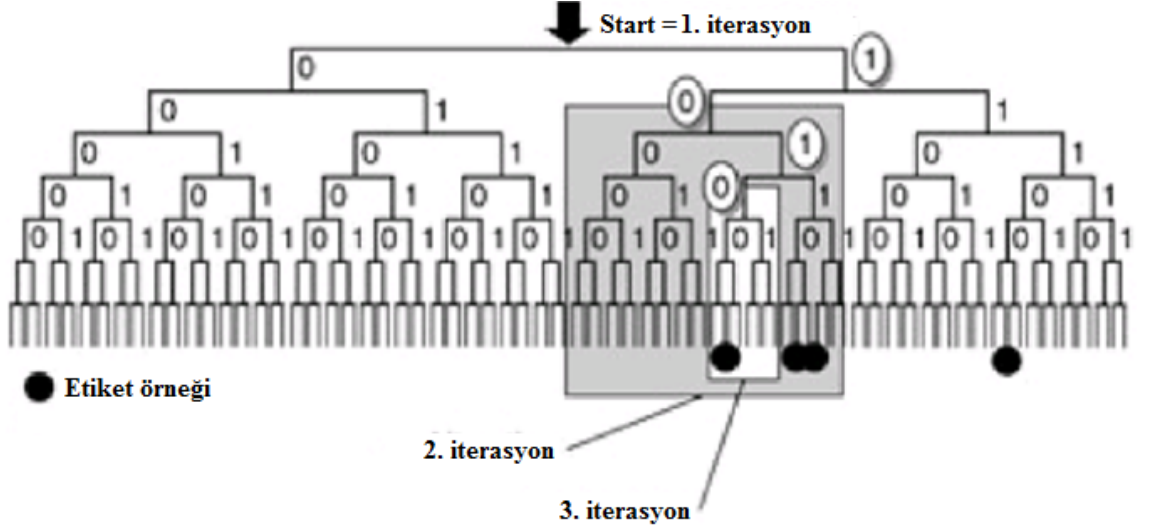
Okuyucu REQUEST komutunu ($SNo < 10111111$) ilettikten sonra, bu koşulu yerine getiren tüm etiketler kendi seri numaralarını okuyucuya göndererek yanıt verecektir. Örneğimizde bunlar 1, 2 ve 3 numaralı etiketlerdir (Şekil 4.8). Alınan seri numarasının 0. ve 4. bitinde şuan bir çarpışma (X) vardır. Buradan, ikinci iterasyonun arama aralığında en az iki etiket olduğu sonucuna varılabilir. Alınan bit dizilimi $101X001X$, tespit edilecek seri numaraları için hala dört seçeneğin olduğunu gösterir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 : Tarama Menziline Olan Olası Seri Numaraları

Bit Numarası:	765	4	321	0
Okuyucuya gelen veri	101	X	001	X
Olası seri numarası A	101	0	001	0
Olası seri numarası B*	101	0	001	1
Olası seri numarası C*	101	1	001	0
Olası seri numarası D*	101	1	001	1
İkinci adımın değerlendirilmesinden sonra tarama menzilineki olası seri numaraları * ile işaretlenen etiketlere ait seri numaralarıdır.				

İkinci iterasyondaki çarpışmaların sonucu, üçüncü bir iterasyonun kullanılmasını ve aralığın daha da daraltılmasını gerektirir. Tablo 4.6'daki kuralın tekrar işletilmesi $SNo < 10101111$ aralığını tanımlar. Okuyucu etiketlere tekrar REQUEST komutunu

(SNo < 10101111) gönderir. Bu koşul artık etiket 2 (10100011) tarafından yerine getirilir ve sadece bu etiket komuta yanıt verir. Sonuç olarak geçerli bir seri numarası tespit edilir ve başka bir iterasyona gerek kalmaz.

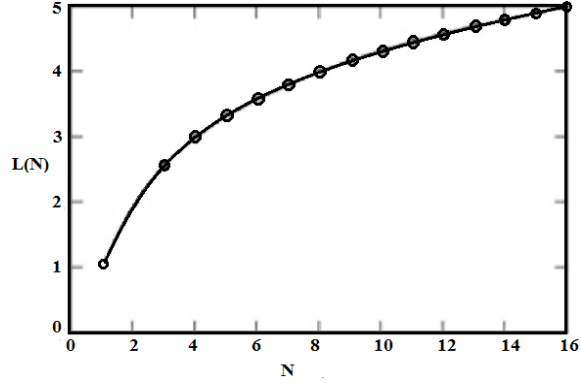


Şekil 4.8 : İkili Arama Ağacı

Daha sonra SELECT komutuyla, tespit edilen etiket adresi kullanılarak etiket 2 seçilir ve bu etiket diğer etiketlerle çarpışma yaşamadan okuyucu tarafından okunup yazılabilir. Diğer tüm etiketler sessizdir çünkü bir okuma/yazma komutuna (READ_DATA) sadece seçilen bir etiket yanıt verir. Okuma/yazma işlemlerinin tamamlanmasından sonra etiket 2, bir UNSELECT (seçim iptal) komutuyla deaktiv edilir ve böylece artık bir sonraki REQUEST komutuna yanıt vermez. Bu şekilde eğer okuyucunun sorgulama alanında işlem için çok sayıda etiket bekliyorsa tek bir etiketin seçimi için gerekli iterasyon sayısı yavaş yavaş azaltılabilir. Uygulamada, çarpışma önleme algoritmasının tekrar çalıştırılması otomatik olarak daha önce işlenen 1, 3 veya 4 numaralı etiketlerden birinin seçilmesine yol açacaktır.

Tek bir etiketi çok sayıda etiketten ayırmak için gereken ortalama L iterasyon sayısı, okuyucunun sorgulama alanındaki toplam N etiket sayısına bağlıdır ve denklem 4.12 kullanılarak hesaplanabilir.

$$L(N) = Id(N) + 1 = \frac{\log(N)}{\log(2)} + 1 \quad (4.12)$$

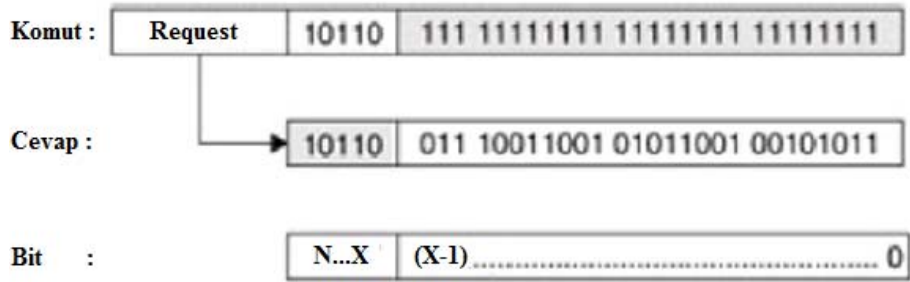


Şekil 4.9: Ortalama İterasyon Sayısı İle Etiket Sayısı Arasındaki İlişki

Eğer okuyucunun sorgulama alanında tek bir etiket varsa, etiketin seri numarasını tespit etmek için tam olarak bir iterasyon gerekir ve bu durumda çarpışma olmaz. Eğer okuyucunun sorgulama alanında birden fazla etiket varsa, o zaman ortalama iterasyon sayısı hızla artar (Şekil 4.9).

4.6.4. Dinamik İkili Arama Algoritması

İkili arama algoritmasında hem arama kriteri hem de etiketlerin seri numaraları daima tümüyle iletilir. Fakat, uygulamalarda etiketlerin seri numaraları bir bayttan oluşmaz ve RFID sistemine bağlı olarak etiket ID uzunlukları 10 bayta kadar çıkabilir. Bu durum, tek bir etiketin seçilmesi için büyük miktarda verinin aktarılması gerektiğini gösterir.



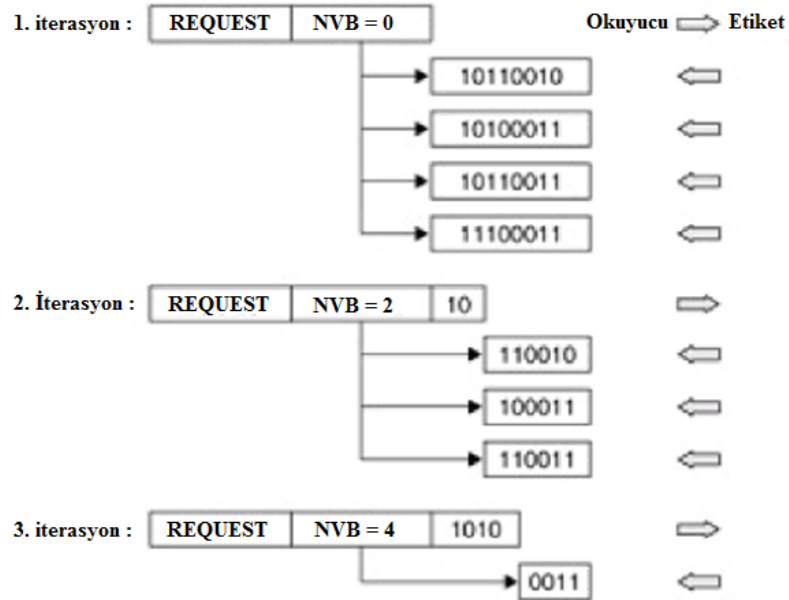
Şekil 4.10 : 4 Bit Seri No Tanındığında Okuyucu Komutu (n. İterasyon) Ve Etiket Cevabı

Okuyucu ile tek tek etiketler arasındaki veri akışı incelenirse (Şekil 4.10), aşağıdaki durumlar ortaya çıkar:

- Komutun (X - 1)'den 0'a kadar olan bitleri etiket için ilave bilgi içermez, çünkü her zaman 1'e ayarlanırlar.
- Etiketin yanıtladığı seri numarasının (N-X) arası bitleri okuyucu için ilave bilgi içermez, çünkü bunlar zaten bilinmektedir ve önceden belirlenmiştir.

Şekil 4.10'da gösterilen okuyucu ile etiket arasında veri akışı incelenirse, iletilen seri numaralarının tamamlayıcı parçalarının gereksiz olduğu ve aslında iletilmesine gerek olmadığı görülür. Bu durum optimize edilmiş bir algoritmayı sunar. Seri numaralarını tüm uzunluğuyla her iki yönde iletmek yerine, bir seri numarası veya arama kriterinin transferi yalnızca (X)'e göre bölünür. Okuyucu artık REQUEST komutunda arama kriteri olarak belirlenecek olan seri numarasının yalnızca bilinen parçasını (N - X) gönderir ve sonra iletimi keser. (N - X) bitlerinde arama kriterine karşılık gelen seri numaralı tüm etiketler artık seri numaralarının geriye kalan bitlerini ((X - 1) - 0) ileterek yanıt verir. Etiketler REQUEST komutundaki ilave bir parametreyle (NVB = geçerli bit sayısı) daha sonraki bitlerin sayısını bilir.

Şekil 4.11, dinamik ikili arama algoritmasının çalışmasını göstermektedir. Bu örnekte, bir önceki uygulamada kullanılan etiketlere ait seri numaraları üzerinde işlemler yapılmıştır. Tablo 4.6'daki kural aynen uygulanırsa, tek tek iterasyonların dizilimi önceki uygulamadakiyle aynıdır. Fakat, aktarılacak verinin miktarı ve dolayısıyla etiket tanıma işlemi için gereken toplam zaman %50'ye varan oranda azaltılabilmektedir.



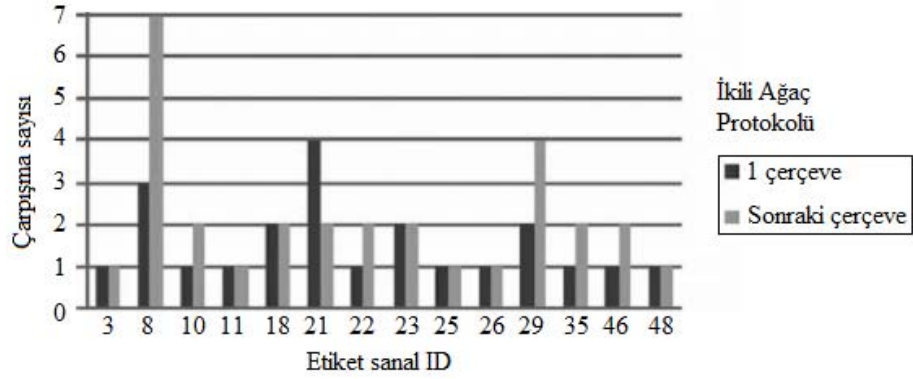
Şekil 4.11 : Dinamik İkili Arama Protokolünde Etiket Tanıma İşlemi

4.7. AĞAÇ TABANLI PROTOKOLLERDE SORUNLAR

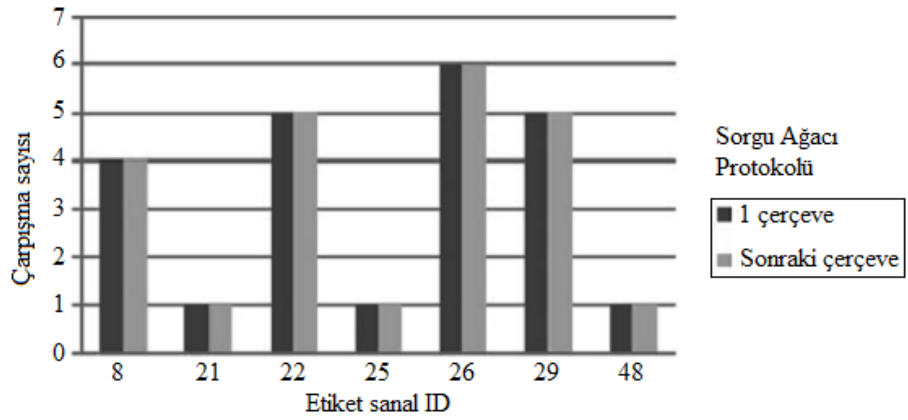
Bir RFID okuyucu, nesne tanıma ve izleme için etiket tanıma çerçevesini tekrar tekrar gerçekleştirir. a_x 'in x nesnesine ait etiketi gösterdiğini düşünelim. $A_{r,i}$ de, r okuyucusunun i . çerçevesinde sorgulama alanı içinde kalan etiketlerin kümesi olsun. Etiket hareketliliğini değerlendirmek için etiketler kalan, gelen ve çıkan etiketler şeklinde sınıflandırılabilir. r okuyucusunun i . çerçevesi için kalan etiket, r okuyucusu tarafından son çerçevede tanınan ve mevcut çerçevede sorgulama alanında bulunan etikettir. Kalan etiket $\{a_x:a_x \square A_{r,i-1} \cap A_{r,i}\}$ şeklinde tanımlanabilir. Gelen etiket, r okuyucusu tarafından son çerçevede tanınmayan ve mevcut çerçeve başlatılmadan önce r okuyucusunun menziline giren etikettir. Gelen etiket de $\{a_x:a_x \square A_{r,i} - A_{r,i-1}\}$ şeklinde tanımlanabilir. Çıkan etiket, r okuyucusunun son çerçevede tanıdığı ve mevcut çerçeve başlatılmadan önce r okuyucusunun menziline çıkan etikettir. Çıkan etiket ise $\{a_x:a_x \square A_{r,i-1}-A_{r,i}\}$ şeklinde tanımlanabilir. Bu durumlar incelendiğinde etiket tanıma işlemi, kalan etiket ve gelen etiket kümelerini hızlı bir şekilde tanımalıdır.

Kalan etiketler son tanıma çerçevesinde tanınır ve okuyucu mevcut tanıma çerçevesinde kalan etiketleri yeniden tanıyacaktır. Okuyucu kalan etiketlerle ilgili bilgiyi zaten bildiği için çarpışma önleme işlemi, tahmini mevcut çerçeve boyunca kalan etiketlerin ilettiği sinyaller arasında çarpışmaları önleyebilir. Mevcut ağaç tabanlı çarpışma önleme protokolleri, kalan etiketlerle ilgili bilgileri dikkate almadığından kalan etiketler arasında çarpışmalara yol açar. Tanıma çerçevesinin başlangıcında okuyucunun tanıma menzili içindeki tüm etiketleri kapsayan bir küme oluşturarak bölme işlemine başlarlar. Kalan etiketler arasındaki çarpışmaları göstermek için arada kalan etiket çarpışmaları ikili ağaç protokolü ve sorgu ağacı protokolü simülasyonları ile gösterilmiştir. Simülasyonlarda 10 m x 10 m'lik bir alanda 50 etiket bulunur ve etiketler rastgele yürüyüş modeline göre hareketlidir. Tanıma menzili 3 m olan bir okuyucu simülasyon alanının merkezine konur ve etiketleri tekrar tekrar tanır. Tek bir etiketin yerini belirlemek için etiketlere 1'den 50'ye kadar sanal ID'ler verilir. 1. etiketi kalan etiket yapmak için bu etiketin okuyucunun yakınına sabitlendiği düşünülür. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te iki ardışık tanıma çerçevesi boyunca 1. etiket ve diğer kalan etiketlerin neden olduğu çarpışmaların sayısı görülmektedir. Şekil 4.12'de gösterilen ikili ağaç protokolüne göre, 1. etiket 1. çerçeveye kıyasla 2. çerçeve sırasında bazı kalan

etiketlerle daha fazla çarpışma yaşar. Bunun nedeni, ikili ağaç protokolünün, rastgele sayıları kullanan olasılıksal yaklaşımı benimsemesi ve kalan etiketlerle ilgili bilgileri kullanmamasıdır. Şekil 4.13’de gösterilen sorgu ağacı protokolüne göre, 1. etiket diğer kalan etiketlerle yine aynı sayıda çarpışmaya neden olur. Sorgu ağacı protokolü, etiket ID’lerini kullanma anlamında ikili ağaç protokolünden farklı olsa da, kalan etiketlerin çarpışmalarını göz önüne almaz.



Şekil 4.12 : İkili Ağaç Protokolünde Çarpışma Durumu



Şekil 4.13 : Sorgu Ağacı Protokolünde Çarpışma Durumu

Ağaç tabanlı protokollerin etiketleri tanıma işlemi sırasında çarpışma meydana geldiğinde, çarpışan etiketlerin ID’lerini yeniden iletmesi gerekir. Çarpışmalarının çözülmesi, etiketin sınırlı enerjisini tüketir ve etiket tanıma işleminde ilave gecikmeye neden olur. Bu nedenle arada kalan çarpışmaları ortadan kaldırmak etiket tanıma işlemindeki toplam gecikmeyi ve etiketin genel iletişim süresini kısaltır. Kalan etiketler arasındaki çarpışmaları önlemek için adaptif bölme protokolleri kullanılabilir. Bu protokoller ağaç bölme işlemine birkaç etiket kümesinden başlar. Kümelerin her birinde en fazla bir kalan etiket bulunur ve böylece tüm etiketler hızlı bir şekilde tanınır.

4.8. PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, adaptif sorgu bölme ağacı ve adaptif ikili bölme ağacı protokollerinin performansları ikili ağaç ve sorgu ağacı protokollerine kıyasla değerlendirilmiştir. Ağaç tabanlı protokollerde etiket tanıma işleminin verimini ölçmek için aşağıdaki durumlar dikkate alınabilir:

- *Çarpışma sayısı*: Etiket ile okuyucu sinyalleri arasındaki çarpışmaların sayısı ölçülür. Bir çarpışma, tanımaya engel olur ve etiketlerin güç tüketimini artırır.
- *Boş çevrim sayısı*: Boş çevrim bir etiket tanıma gecikmesi faktörüdür.
- *Tanıma gecikmesi*: Tüm etiketlerin tanınması için toplam gecikme sorgulama çevrimiyle ölçülür. Ağaç tabanlı çarpışma önleme protokollerinde hızlı tanıma işlemi en önemli faktördür, çünkü bunlar etiket açlığı sorununa yol açmaz.
- *İlave etiket iletişimi*: Bu ölçüm, bir çerçevede bir etiketin ilettiği ortalama bit sayısıdır. Bu durum, güç tüketim miktarını etkiler. Etiketlerde güç kaynağı olmadığından bu değer düşük olmalıdır.

Tablo 4.8’de simülasyon ortamı gösterilmiştir. Okuyucu çarpışma sorununu önlemek için, okuyucular sorgulama alanları kesişmeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Etiket hareketliliğinin etkisini değerlendirmek için çerçeve başına ölçü fonksiyonu kullanılır. Bir a_x etiketinin çerçeve başına ölçü fonksiyonu $F(a_x)$ denklem 4.13 ile tanımlanır:

$$F(a_x) = \frac{m_a(t_1, t_2)}{F_p(t_1, t_2)} (m / frame) \quad (4.13)$$

- $m_a(t_1, t_2)$, a_x etiketinin $[t_1, t_2]$ zaman aralığında kat ettiği mesafe
- $F_p(t_1, t_2)$, $[t_1, t_2]$ aralığında p protokolünün gerçekleştirdiği çerçeve sayısı

F fonksiyonu kullanılarak ağaç tabanlı protokollerin bir çerçevedeki aynı etiketleri tanınması sağlanabilir. Simülasyonlarda etiketlerin ilk konumları ve gidecekleri yönler simülasyon alanına göre rastgele seçilmiştir. Bir etiket, ilk konumundan ulaşacağı yere doğru, 0 ile maksimum F arasında gelişigüzel seçilen F ile ilerler. Her simülasyon daha önceki parametrelere göre 100 kez çalıştırılmış ve performans değerlendirmesi için ortalama sonuçlar karşılaştırılmıştır.

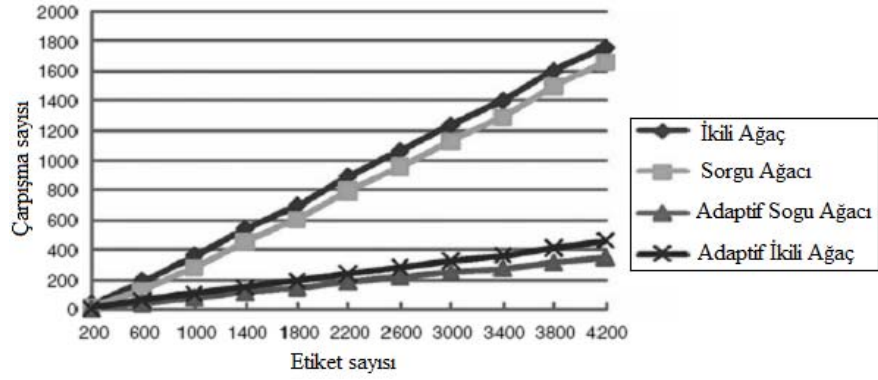
Tablo 4.8 : Simülasyon Ortamı

Parametre	Değer
Simülasyon alanı	100m x 100m
Okuyucu sayısı	100
Okuyucunun sorgulama aralığı	3 m
Etiket Sayısı	1000
Etiket ID	Rasgele seçilen 96 bitlik ID
Her frame için maksimum mesafe	2 m/frame

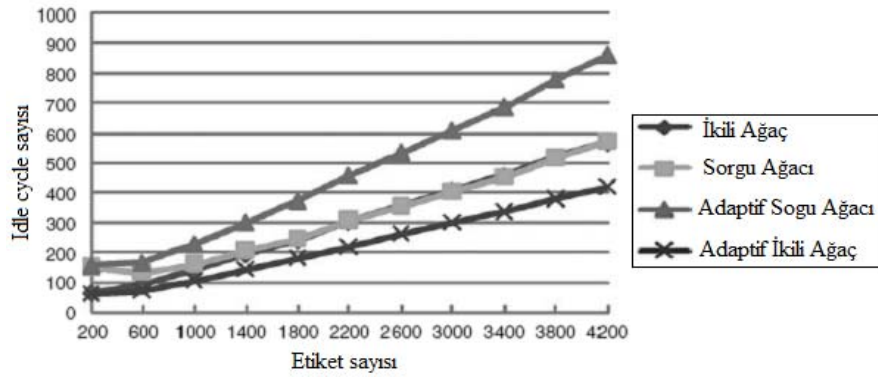
4.8.1. Etiket Sayısının Etkisi

Şekil (4.14 - 4.17), simülasyon alanındaki etiket sayısını değiştirerek elde edilen sonuçları göstermektedir. Okuyucuların okuma menzillerinde ortalama %35.86 etiket mevcuttur. Etiket sayısı arttıkça tanıma gecikmesi uzar ve etiket çarpışmaları daha sık olur. İkili ağaç protokolü ve sorgu ağacı protokolü benzer gecikme eğrileri sergilemektedir. Gecikmedeki ufak farklılık etiket tanıma başlangıç noktalarından kaynaklanmaktadır. Etiket tanıma (arama) işlemine, ikili ağaç protokolü ağacın kökünden sorgu ağacı protokolü ise ağacın birinci düzey düğümlerinden başlar. Etiketinin sayaç değeri 0 yerine rastgele bir ikili sayıyla başlatılırsa, ikili ağaç protokolünün performansı sorgu ağacı protokolünün performans düzeyine çıkabilir.

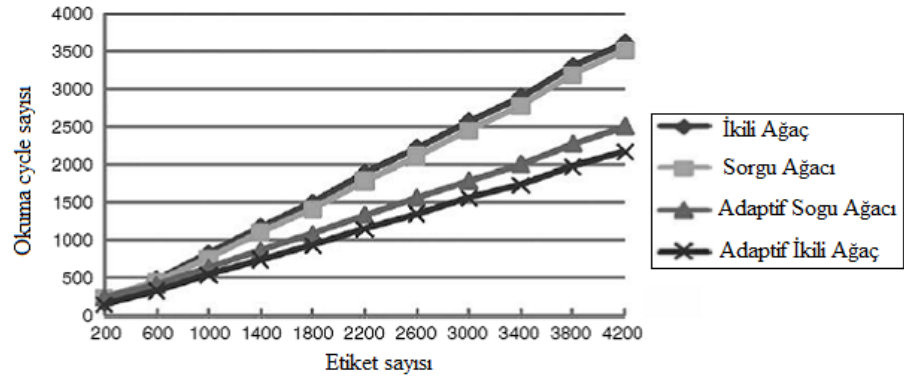
Çarpışmaların oluşmasını engelleyerek, adaptif sorgu ve adaptif ikili ağacının tanıma gecikmesi ikili ağaç ve sorgu ağacı protokolünden daha kısa olur. Küçük çarpışmalar ilave küçük etiket iletişimini tetikler. En kısa gecikme adaptif ikili ağacındadır, çünkü çoğu boş çevrimi ortadan kaldırır. Adaptif sorgu ağacı, tüm etiketleri tanımayı sağlamak için oluşturduğu ilave sorgulardan dolayı diğerlerinden daha fazla boş çevrim üretir. Diğer yandan adaptif sorgu ağacındaki çarpışma sayısı ve ilave etiket iletişimi adaptif ikili ağaca göre daha azdır. Çünkü boş çevrimler, diğer etiketlerle çarpışmaları önlemek konusunda gelen etiketlere yardımcı olur.



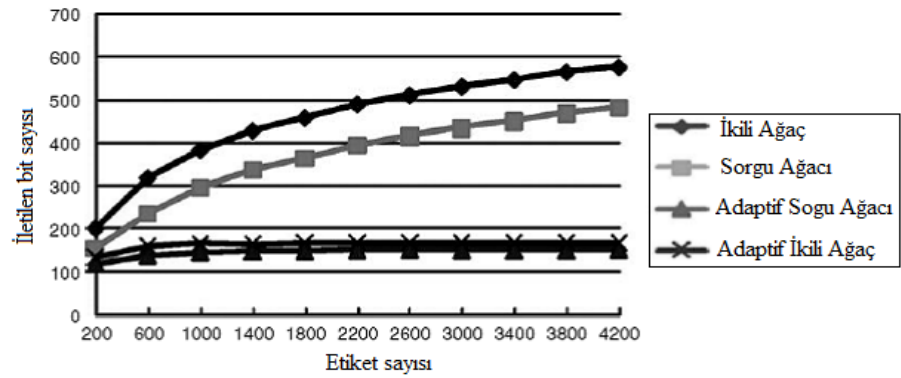
Şekil 4.14 : Etiket Çarpışma Sayısı



Şekil 4.15 : Boş Çevrim Sayısı



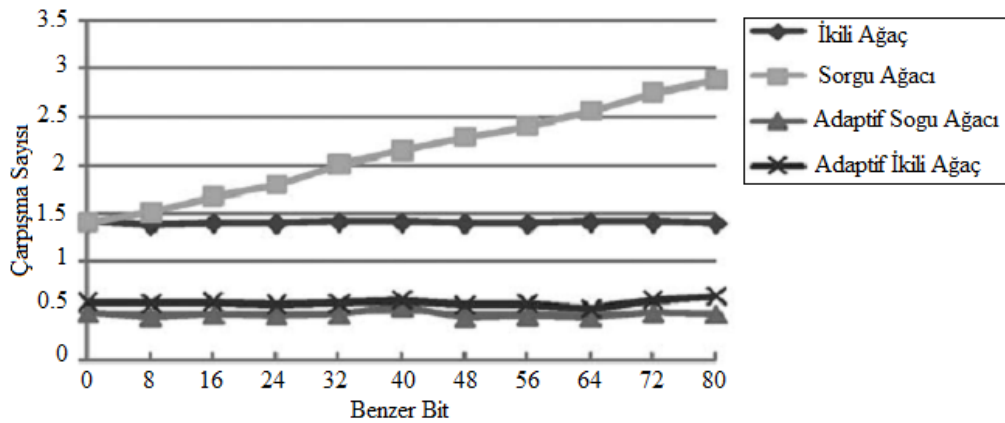
Şekil 4.16 : Okunabilir Çevrim Sayısı



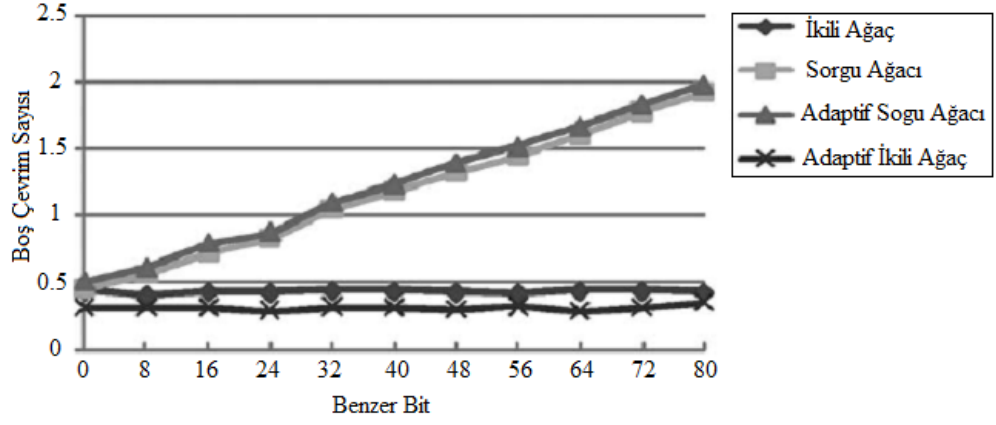
Şekil 4.17 : İletilen Bit Sayısı

4.8.2. Etiket ID Benzerliğinin Etkisi

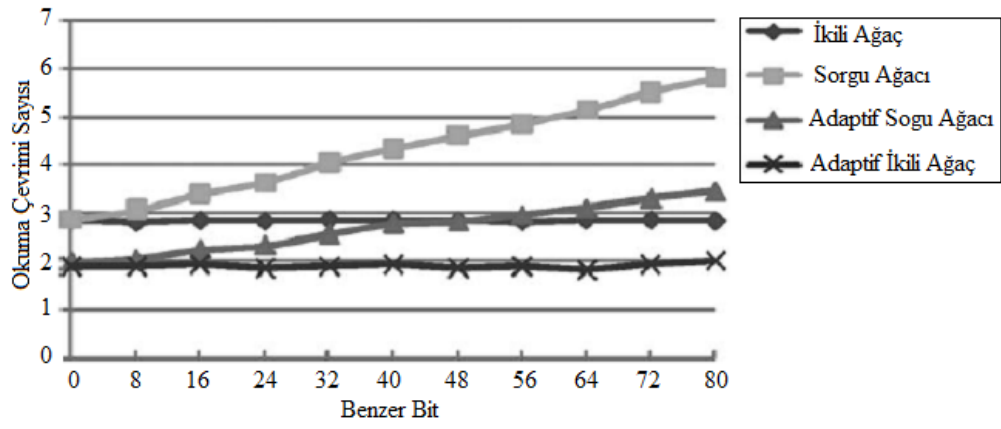
Diğer bir karşılaştırma, etiket ID'leri arasındaki benzerliğin etkisini değerlendirmektir. Sorgu ağacı ve adaptif sorgu ağacı protokolü, ID'lerin dağılımından etkilenebilir çünkü bir etiket kümesini bölmek için etiket ID'lerini kullanır. ID'lerin benzerliğini ölçmek için, tüm etiket ID'lerinin sahip olduğu özdeş önekin uzunluğu gibi bir özdeş bit tanımlanır. Etiket ID'si " $x_1x_2 \dots x_ax_{a+1} \dots x_{96}$ " (x_i ikili bir sayı ve $1 < a < 96$) ile gösterilir. Özdeş bit "a" ise ve her etiketin 96 bitlik ID'si varsa, tüm etiket ID'leri aynı " $x_1x_2 \dots x_a$ " değerine sahiptir. Şekil (4.18 - 4.21) 0'dan 80'e kadar çeşitli özdeş bitler için simülasyon sonuçlarını göstermektedir. ID'ler tamamen rastgele seçilmiştir. Ölçülen değerler tanınan etiketlerin sayısına göre normleştirilmiştir. Özdeş bit arttıkça sorgu ağacı protokolü hızla bozulur. En yüksek ilave iletişim sorgu ağacı protokolünde yaşanır çünkü okuyucu tüm sorguları ileterek her çerçevede çarpışmaya neden olur. Diğer yandan ID'lerin benzerliği adaptif sorgu ağacının performansını ciddi bir şekilde etkilemez. CQ aday sırası son çerçevenin çarpışma çevrimlerinin sorgularını dışarıda bıraktığından dolayı adaptif sorgu ağacı bir çarpışma sorgusunu tek seferde kullanır. Ancak, özdeş bit arttıkça ağaç sorgu protokolünün ağaçlarındaki boş çevrimler artar. Özdeş bit >48 olduğunda adaptif sorgu ağacında, boş çevrimlerdeki artış nedeniyle ikili ağaç protokolünden daha uzun bir gecikme olur. Adaptif ikili ağaç ve ikili ağaç protokolü özdeş bittten etkilenmez çünkü ID kalıplarını kullanmazlar. Adaptif ikili ağacı en kısa tanıma gecikmesine sahiptir.



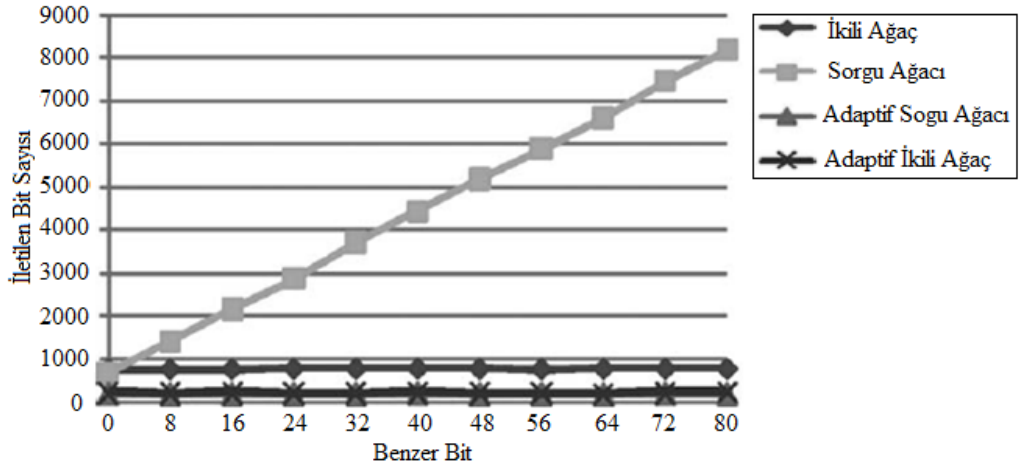
Şekil 4.18 : Etiket Çarpışma Sayısı



Şekil 4.19 : Boş Çevrim Sayısı



Şekil 4.20 : Okunabilir Çevrim Sayısı

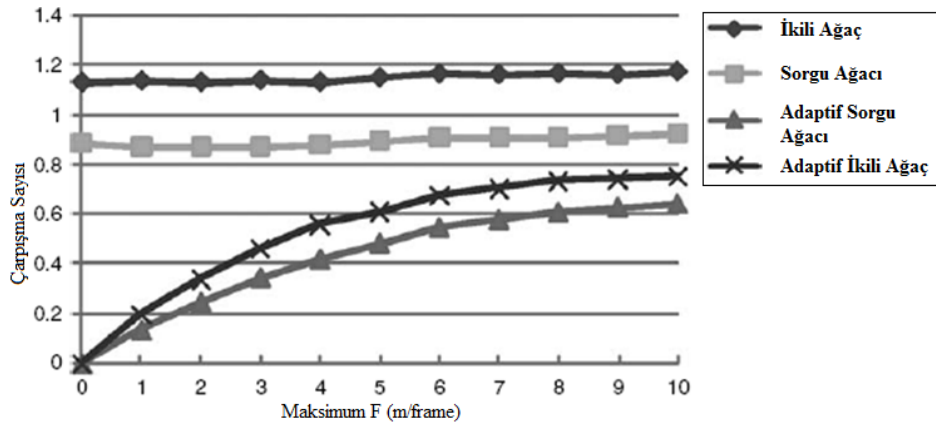


Şekil 4.21 : İletilen Bit Sayısı

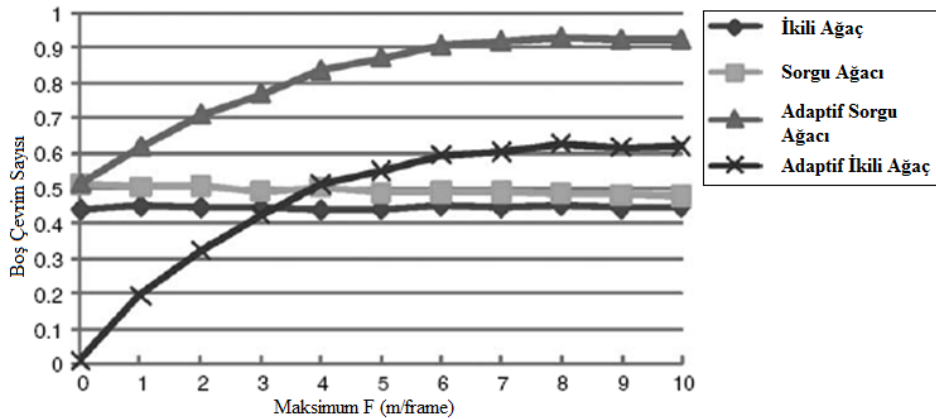
4.8.3 Etiket Hareketinin Etkisi

Etiket hızını artırarak performans değerlendirilmesi yapılabilir. Şekil (4.22 - 4.25), maksimum F'i değiştirerek elde edilen simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Ölçülen değerler tanınan etiketlerin sayısına göre normalize edilmiştir. Etiketler düşük hızda

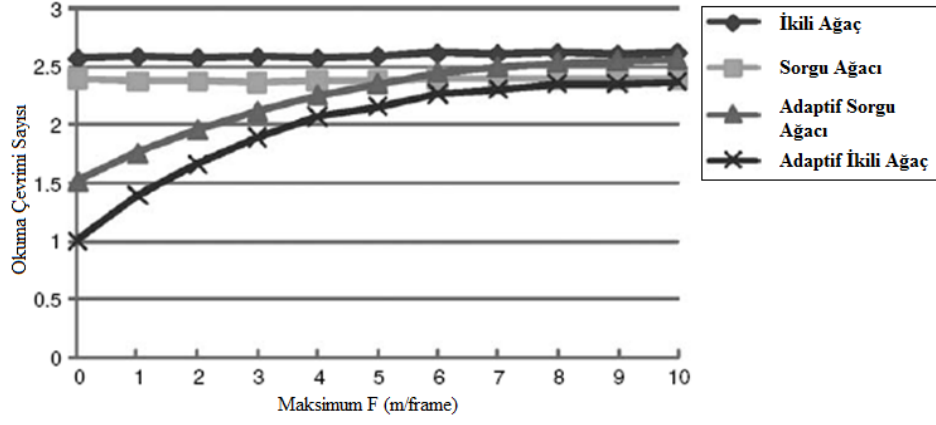
hareket ettiğinde adaptif bölme protokollerinin performansı, ikili ağaç ve sorgu ağacı protokolünün performansından daha yüksektir. Etiketler kalan etiket olmak ister ve adaptif sorgu ağacı ve adaptif ikili ağacı, kalan etiketler arasındaki çarpışmaları tamamen engeller, çünkü bir kümeye birden fazla kalan etiket tahsis etmezler. Özellikle de maksimum F 0 olduğunda çarpışmasız bir etiket tanımaya ulaşırlar. Etiketlerin hareket hızı arttıkça adaptif sorgu ağacı ve adaptif ikili ağaçta performans kötüleşir. Maksimum F >6 m/f olduğunda adaptif sorgu ağacı, sorgu ağacı protokolünden daha uzun bir gecikme süresine sahiptir. Etiket hareketliliğinin hızı yüksek olduğunda, kalan etiketlerin sayısı az olur ve ikili ağaç protokolü ile sorgu ağacı protokolünde kalan etiketler arasında çarpışmalar çok az görülür. İlave olarak adaptif sorgu ağacı ve adaptif ikili ağaç boş çevrimler üretir çünkü çıkan etiketler artar ve çıkan etiketler boş çevrimler oluşturur. Bu nedenle, adaptif sorgu ağacı ve adaptif ikili ağaç yüksek hızlarda, ikili ağaç protokolü ve sorgu ağacı protokolününkine benzer bir performans gösterir.



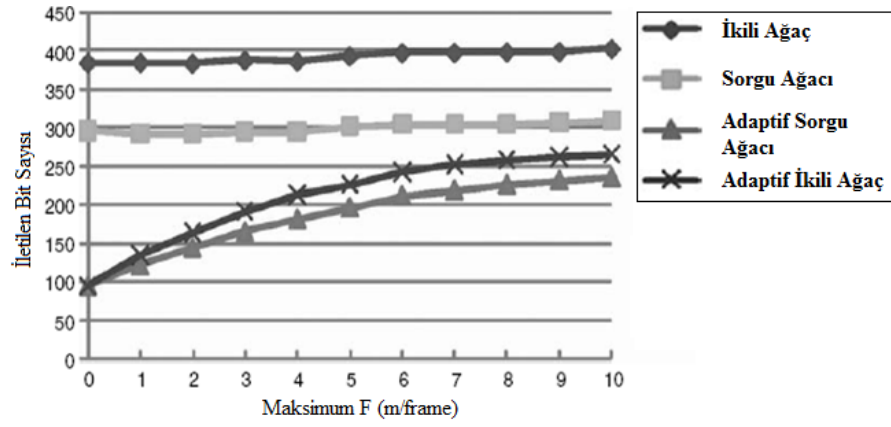
Şekil 4.22 : Etiket Çarpışma Sayısı



Şekil 4.23 : Boş Çevrim Sayısı



Şekil 4.23 : Okunabilir Çevrim Sayısı



Şekil 4.24 : İletilen Bit Sayısı

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

RFID, mikroişlemci ile donanmış etiket taşıyan bir nesnenin, bu etikette taşıdığı bilgiler sayesinde hareketlerinin izlenebilmesine imkan veren, radyo frekansları ile çalışan bir teknolojidir. RFID ile nesnelere, tüm hareketleri boyunca tanınıp takip edilebilmektedir. Bu yeni teknolojik altyapı ile veri toplama, hizmet dağıtım ve sistem yönetimi insan müdahalesi olmadan gerçekleştirilmekte, hata oranı azaltılıp servis hızı ve kalitesi artırılmaktadır.

RFID, nesnelere otomatik tanımlanmasında radyo dalgalarını kullanan, nesneye ait kimlik bilgilerini nümerik bir seri numarası şeklinde dinamik olarak ileten sistemlerin genel adıdır. Bu kablosuz sistemler temas etmeden ve hatta görünür dahi olmadan okuma imkanı vermektedir. Bu özelliği ile gelecekte, üretim ve bar kod gibi geleneksel teknolojilerin kullanılmadığı zorlu ortamlarda firmalara büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

Teknoloji çok hızlı bir şekilde gelişirken, beraberinde getirdiği yenilikler ve kullanım kolaylıkları günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Bu yeniliklerden biri olan RFID tartışmasız olarak alışveriş yaptığımız marketlerden fabrikalardaki depolara kadar, farklı iş alanlarında, bilgi teknolojilerinde kısaca gerçek zamanlı, dinamik bir verinin kullanılabilmesi ya da gereksinim duyulabileceği her alanda kolay, hızlı, hatasız veri girişinin, depolanmasının ve iletiminin en temel unsurunu oluşturabilecek bir sistemdir. RFID teknolojisi yeni kodlama, depolama ve iletim sistemlerine temel oluşturmakta; bunun yanında firmaların, işletmelerin, kurumların verileri kontrol etmelerinde karşılarına çıkan sorunları ya da bilgi eksikliği nedeni ile oluşan problemleri çözmeye yardımcı olmaktadır. RFID sistemleri, kendisi dinamik veri olarak en etkin basım/depolama/iletim ilişkili otomatik nesne tanımlama teknolojileri olma yönünde hızla ilerlemektedir.

Süreçlerini sürekli olarak geliştirmeyi amaçlayan firmaların ya da kurumların gerçekleştirmesi gereken faaliyetlerden biri yeni teknolojilerin değerlendirilmesidir. RFID iş çözümleri, tüm dünyada bir çok sektörde kullanılmaktadır. Bu uygulamalar bar kod, contact memory gibi Auto-ID teknolojilerinin yetersiz kaldığı alanlarda kullanıcılara daha fazla avantaj sunmak, firmaların/kurumların nesnelere ve veriler üzerinde daha etkin, güvenli ve hızlı işlemler yapmalarını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

İş sistemleri, teknoloji ve bilgi ihtiyaçları gelişmeye devam ettikçe, bilgi iletişim standartları ve yöntemleri de gelişmektedir. Bilgi ve iletişim teknolojilerine bilgisayarlarla başlayan destek, bilgisayar ağları, GSM, GPRS, WiMAX gibi kablosuz iletişim teknolojileri ile devam etmiştir. Şimdi ise teknoloji yeni bir çözümle karşımızdadır. Yarı mamül takibinden üretim hattının otomasyonuna kadar üretim süreçlerinin her aşamasında kontrolü elimizde tutabileceğimiz yeni bir teknoloji olan RFID; yapabilecekleri sadece nesne tanımlama ve takibi ile sınırlı olmayan, çok geniş uygulama alanları bulunan; son yılların beklenen, en ümit verici teknolojilerinden biridir.

RFID, başlangıçta perakende satış uygulamalarını kolaylaştırmak ve hızlandırmak üzere geliştirilmiştir. Ancak otomatik tanımlama-izleme sistemlerinde ve bilişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, elektronik ortamda veri iletişiminin kolaylaşması ve yaygınlaşması RFID'nin her alanda kullanılabilmesini sağlamıştır.

Bluetooth, ZigBee, WIFI (IEEE 802.11a/b), NFC, UMTS, GPRS, EDGE, CDMA, HSCSD, WIMAX (IEEE 802.16e) gibi yeni nesil mobil ve kablosuz iletişim sistemleri hızlı internet bağlantısını ve veri haberleşmesini sağlamaktadır. Fakat amaçlar; veri iletişimi, veri (nesne) izleme, veri (nesne) analizi ve yönetimi ise servislerin etkin, güvenilir, hızlı ve daha az maliyetli olarak daha geniş alanlarda rahat kullanılması gerekir. RFID ile birlikte kullanılacak kablosuz iletişim sistemleri nesnelere arasında haberleşmeyi daha uygun hale getirebileceklerdir. Mevcut bu sistemler, mobilite, güvenlik, nesne tanımlama ve takibi, nesne data seviyeleri, servis tipleri gibi farklı ihtiyaçları karşılamak için birbirlerinden bağımsız ya da heterojen yapılar şeklinde dizayn edilebilir, uygulanabilir ve çalışabilir. Bu sistemlerden bir kısmı, belirli bir

coğrafi konumda, servisleri eş zamanlı olarak sağlayabilir; böylece belli bir servis alanındaki nesnelere takip edebilmek için heterojen kablosuz bir ortam sağlanabilir.

RFID ve kablosuz ağ teknolojileri farklı frekans aralıklarında çalışmaları ve farklı özellikleri bünyelerinde buldurmaları nedeniyle, nesneye ait verilerin takibinde, yönetiminde, analizinde, tekil sistemler olarak ağ kullanıcılarının veya ağ sistem cihazlarının bütün ihtiyaçlarını karşılamayabilir. Nesnelerin tanımlanmasında ve takibinde, nesneye ait verilerin analizinde, daha karmaşık ihtiyaçları karşılayabilmek, hızlı veri akışları oluşturabilmek, yüksek kullanılabilirlik, güvenlik ve popülerite sağlayabilmek için RFID ağı ile yüksek ölçekli servis alanı, genişband ve yüksek seviye data iletimi sağlayan hücreli ağlar birleştirilebilir. Bu farklı yapıdaki teknolojileri avantajlarıyla beraber bünyesinde barındıran yeni alternatif entegre RFID sistemler tasarlanabilir. RFID'nin kablosuz iletişim teknolojilerine kusursuz entegrasyonu sayesinde sabit ve gezgin nesnelere ait dinamik verilerin otomatik olarak toplanması, izlenmesi ve yönetilmesi; satıcılar, müşteriler, servis/uygulama/içerik sağlayıcıları, kural yapıcılar ve kullanıcıları içeren kablosuz endüstri dünyasında bir yeniliğe yol açabilir.

Bu entegrasyon işlemlerini gerçekleştirirken karşılaşılabilecek bir takım zorluklar vardır. İlk olarak protokollerin ve uygulamaların tam olarak uyumluluk göstermesi gerekmektedir. Sistem kullanıcıları, operatörler ve gerekli sistem cihazları için alternatif ağ tasarımları geliştirilmelidir. Orijinal uygulamalar yeni alt yapılar üzerinde doğru bir şekilde çalışmalı ve açık iletim sağlanmalıdır. RFID entegreli alternatif kablosuz ağlarda, farklı ağlar üzerinden giden çok sayıda bağlantı olmalıdır. Bu nedenle, yönlendirme ve köprüleme içeren fonksiyonların tanımlanması gerekmektedir. Diğer bir zorluk ise, nesneye ait verileri toplayacak, yönetecek alıcı-verici kontrol ünitelerinin konum yönetimi işinin gerçekleştirilmesidir. Mevcut ağlardaki, nesne konum bilgisini düzenleyen kontrol üniteleri, yazılımlar ve arayüzler veri değişimini, yönetimini gerçekleştirmeli ya da küresel arama, sayfalama ve erişim sağlayacak veritabanı yönetim sistemleri ile bir arada çalışmalıdır. RFID entegrasyonunda alternatif sistemler, çoklu ortam uygulamalarını, web servislerini, uygun protokolleri ve standartları, veri madenciliği uygulamalarını desteklemelidir. Sistem servis kalitesine (QoS) sahip olmalıdır. Güvenli veri iletişimleri, kimliklendirme, doğrulama, ölçeklenebilirlik, özel koşullara uyma gibi özellikleri sağlayabilmelidir.

RFID sistem tasarımlarında insan etkisi olmaksızın, dinamik bir bilginin oluşturulması, toplanması ve yönetilmesi amacı güdülmektedir. Bu nedenle, herhangi bir sınırlama getirmeksizin, daha geniş coğrafi alanlarda dinamik nesne bilgisine anında erişilebilmek, farklı nesnelere ulaşabilmek, bunları takip edebilmek ve nesnelere ait verileri ilgili birimlere yönlendirebilmek için çok daha hızlı, etkin, güvenli, geniş kapasiteli yeni haberleşme ve iletişim teknolojileri kullanmak, çağımızın bir gereksinimi olmuştur. Dolayısıyla, nesnelere ve nesnelere ait verilerin otomatik olarak tanımlanmasında ve takibinde, veri yönetim ve analiz sistemlerinde RFID'nin kablosuz iletişim teknolojileri ile birlikte kullanımı ya da entegrasyonu GSM'de yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına vesile olabilir

Genel olarak RFID sistemlerinin kablosuz iletişim teknolojilerine entegrasyonun faydaları aşağıdaki başlıklar altında özetlenebilir:

- **Sıralı Veri İle Ürün Takibi:** Ham madde ya da yarı mamul üzerine yerleştirilen akıllı RF etiketler ile parçaların üretim süreci boyunca hangi ürün içerisinde kullanıldığı, kim tarafından hangi aşamada monte edildiği gibi güncel veriler, veri tabanında tutulabilir. Bu sayede, ilgili parçanın kullanıldığı ürünler otomatik olarak tespit edilip gerekli işlemlere tabi tutulabilir.
- **İnsan Müdahalesini Azaltma:** RF etiketler ile üretim hattından sağlıklı bilgiler temin edilebilir, hatalı ürünlerin üretim bandındayken belirlenip diğer işlemlere tabi tutulması önlenebilir ve belirlenen rota dahilinde yönlendirilebilir. RFID etiketi, ürün üzerine yerleştirildiğinde stok takibi, nakliye, teslimat ve faturalama gibi kritik iş süreçleri planlanabilir, ürün hayatının değişik evrelerinde insan müdahalesi olmadan kullanılabilir. Bu sayede zaman ve işgücü kaybı en aza indirilebilir.
- **Etkin Tedarik Zinciri Yönetimi:** Tedarik zinciri yönetiminde RFID uygulamalarının faydaları, stok hareketlerinin gerçek zamanlı takibi sonucu etkin lojistik yönetimi, etkin satın alma ve tedarikçi yönetimi, gerçek zamanlı bilgi aktarımı ile hem firma içinde, hem tedarikçilerle, hem de müşterilerle daha doğru ve hızlı iletişim, bayi ağında izlenebilirlik sağlanması ve kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi, teslimat zamanlarının azalması, teslimat

zamanlarının önceden belirlenmesi, tekrarlanan işlerin azaltılması, işgücü ile gerçekleşen işlemlerin otomasyonla gerçekleşmesi sonucunda hataların azalması ve işgücü maliyetlerinde azalma, üretimden satış noktasına kadar ürünle ilgili detaylı bilginin elde edilmesiyle tedarik zincirinde oluşabilecek problemlere karşı önlem alınabilmesi, tedarik zincirindeki değişime hemen cevap verebilme, sonuç olarak tedarik zinciri kontrolü ve yönetiminin etkinleşmesi olarak açıklanabilir.

- **Gerçek Zamanda Bilgi Yakalama:** Ham madde, yarı mamul ve üretim bandına yerleştirilen RF etiketler ile ürünün hangi üretim safhasında olduğu, kim tarafından ne zaman ve ne kadar sürede üretildiği gibi kritik veriler dinamik olarak çalışanlara iletilebilir, üretim ile ilgili bilgilere/verilere gerçek zamanlı olarak ulaşılabilir. Üretim bantlarındaki durumun gerçek zamanlı izlenmesi sonucunda kapasite optimizasyonu yapılabilir, maliyetler azalır, satışlar gelişir, nakit akışı artar, özelleştirilmiş servis hizmetleri ve üst düzey müşteriler için üretim geliştirilerek büyük pazar payı yakalanır ve işçi başına, müşteri başına genel aktifleştirme geliştirilir.
- **Stok/Ürün İzlemede RFID'nin Esasları:** RFID sistemleri ile firmaların nereye, ne kadar, hangi tarihte ürün veya hizmet sağlamaları gerektiğinin kararı, etkileşimli olarak hangi üründen ne kadar ve hangi süreyle stok bulunduracağına yönetimi, elektronik ortamda alıcı ve satıcılar arasında etkileşimin sağlanması gibi avantajlar elde edilir. Bu nedenle RFID sistemler sayesinde müşterinin hangi mala talep duyduğu yönünde bir veri tabanı oluşturulmasına imkan sağlayabilmektedir. Bu kapsamda işletmeler müşteri taleplerini veya satış reyonlarını yönlendirme şansını da elde edebilmektedir.
- **Güvenliği Artırma:** RFID çiplerinin kopyalanması oldukça zordur. Her etiket, güvenlik amacıyla üretici firma tarafından belirlenen ve değiştirilemeyen bir kimlik koduna sahiptir. Etiketdeki bilgiler üzerine birden fazla koruma seviyesi eklenmektedir. Yeni Gen 2 standardındaki 32 bitlik şifreleme sayesinde yetkisiz kişilerin çip içerisindeki bilgilere ulaşması engellenmekte, çip kilitlenmekte ve gerekirse kullanılmaz hale getirilmektedir. RFID'nin güvenliği artırması mal teslimini ve kontrolünü geliştirir, maliyetlerde önemli azalmalara götürür, hırsızlığı azaltmanın yanında anti-sahtecilik önlemlerini artırır, kullanıcı

hatalarını azaltır, yanlış bilgi girişi elimine edilir, benzer ürün ve benzer kodlara sahip ürünler arasındaki karışıklıklar önlenir.

- **İşlem Hızı ve Verimlilik Artışı:** RFID, bir faaliyet alanında (satış, depolama, üretim vb) insan hatalarını en aza indirmek ve işlem hızını artırmak amacıyla da kullanılır. RFID sisteminde bilgiler elektronik yöntemlerle aktarıldığından manüel sisteme göre çok daha hızlı işlem yapılabilmektedir. Veri girişlerindeki hız artışıyla, işgücü verimliliği de artmakta ve çalışanlar daha üretken oldukları alanlara kaydırılabilmektedir. Ayrıca RFID kullanımının bir diğer yararı da ekonomik olmasıdır. Zira, doğru veri girişi ve veri girişindeki hızın yükselmesi o işle ilgili istihdam edilen personel sayısında azalma yaratacağından dolayı sistemi daha ekonomik hale getirmektedir.
- **Bilgilerinin Zamanında Güncellenmesi:** RFID kullanımıyla muhasebe ve veritabanı sistemlerinde yer alan bilgiler zamanında güncellenir, raporlama ve analiz için gerekli olan doğru bilgiler zamanında elde edilir. RFID, ürünün faturalanması, gönderilmesi, fiziksel stok takibi ve varlık hesaplarının izlenmesi gibi birçok potansiyel etkinliğe sahip olur. RFID sistemiyle entegre çalışan bir stok takip programıyla bilgilere/verilere kolaylıkla ulaşılabilir, veriler dinamik olarak güncellenerek stoklar takip ve kontrol edilir, ambar ve satış denetimi yapılabilir, herhangi bir tarihte stoktan çekilen ve stokta kalan maddeler maliyetleriyle birlikte izlenebilir ve etkin stok yönetimi yapılabilir.
- **Uygulama Kolaylığı ve Maliyet Azaltımı:** RFID uygulaması veri giriş formlarını elimine ederek hem kırtasiye hem de depolama maliyetlerini düşürür. RFID etiketi için karmaşık bir ekipmana-kırtasiyeye gerek kalmadığından veri kaydetme/depolama işlemi oldukça kolay ve diğer otomatik tanıma teknolojilerine göre düşük maliyetli olmaktadır. Kullanımda meydana gelebilecek hasar, eskime, yırtılma vb. faktörler sebebiyle diğer Auto-ID teknolojilerine oranla daha dayanıklı ve kolay uygulanabilirdir.

RFID teknolojisi hemen her sektöre farklı uygulama alanlarıyla birçok avantaj sağlayabilecektir. Başarısı her geçen gün artan bu yeni teknoloji ile firmaların, kurumların çalışan ve operasyonel maliyetleri azalacak, verimlilik ve karlılıklar ise artacaktır. RFID teknolojisi ile iş süreçlerindeki değişimler planlanabilecek ve analiz edilebilecek; en uygun etiket düzenlemesi ile sistemler kurulup verimli bir şekilde

yönetilebilecektir. Üretim, lojistik, perakende, finans, kamu gibi çok çeşitli sektörlerde veri tabanları ve kablolu/kablosuz ağlara entegre edilerek geniş kapsamlı uygulamalar geliştirilebilecek; envanter takibi, üretim bandı otomasyonu, depo yönetimi, personel ve nesne takibi gibi detaylı iş süreçleri optimize edilebilecektir.

Kablosuz ağlara entegre RFID sistemler, ürün teslim ve servis sürelerini daha da kısaltıp daha iyi hizmet verebilmek amacıyla gerçek zamanlı ticaret yapan firmalar, müşterilerine daha yakın olarak yoğun rekabet ortamında pazar paylarını kaybetmek istemeyen üreticiler, varlıklarını, verilerini, bilgilerini güvenilir bir şekilde her an kontrol edebilecek dinamik sistemlere ihtiyaç duyan kurumlar ya da şirketler için RFID gelecekte çok faydalı ve etkili bir teknoloji olma yolundadır. Gelecekte, RFID ile ilgili yatırım yapmak isteyenlerin RFID ile ilgili kazanımlarını çok iyi araştırmaları gerekmektedir. RFID ile ilgili bir keşif sürecinin yaşandığı ve RFID tabanlı bir sistemi uygulamanın bir bilim olduğu kadar aynı zamanda bir sanat olduğu da söylenebilir.

RFID sistemlerinin kullandıkları veri iletişim tekniklerindeki, üretim ve uygulama amaçlarındaki farklılıklar bu sistemler için neden çok özel uygulamalar olduğunu gösterir. RFID sistemlerinin gelişmiş özellikleri, farklı uygulama seçenekleri iyi anlaşılır ve incelenirse, işletmelerde ya da kurumlarda nasıl verimli kullanılacağına ilişkin stratejiler geliştirilebilir.

Entegre RFID uygulamalarını mobilite gerektirmeyen (sabit) ve mobil uygulamalar (hareketli) olarak ikiye ayırabiliriz. Mobilite gerektirmeyen uygulamalar için olasılıksal ve ağaç tabanlı uygulamalar tercih edilebilir. Mobil uygulamalarda ise en iyi performansın sağlanması için ABS ve AQS tercih edilebilir. Sabit sistemlerde etiketler depolar, marketler gibi sabit ürünler üzerine uygulanan etiketler olabilir. Bu tip durumlarda sorgu ağacı ve ikili ağaç en iyi sonucu verir. ALOHA protokolleri hata oranlarının etiket sayısı ile artıyor olmasından dolayı ağaç tabanlı protokollere göre daha kötü bir performans sergiler. Mobil sistemlerde ise etiketler okuyucunun önünden geçtikçe okunmaya çalışılırlar. Eğer etiket okunmadan okuyucunun tarama alanından çıkarsa okuma işlemi tamamlanamaz. Hareketli etiketlerin okunmasında ikili ağaç ve sorgu ağacı iyi performans vermeyebilir. Çünkü geçiş sırasında etiketlerin tamamı ağaca eklenemeyebilir. AQS ve ABS etiketlerin bir önceki durumunu tutması sebebiyle iyi

performans gösterebilir. Olasılıksal protokoller ise etiketleri grupladıklarından hareketli etiketleri kısa süreler içerisinde okumaları mümkün olmayabilir.

Performans analizleri incelendiğinde, olasılıksal yaklaşımlı protokoller ikili ağaçlardan farklı çerçeve algoritmaları kullanabilir. İki protokol de birbirine yakın sonuçlar üretebilir. Fakat etiket sayısı arttıkça ALOHA protokolünün etkinliği ikili ağaç protokolüne göre artmaktadır.

Adaptif bölme protokolleri, etiket tanımanın son çerçevesinden elde edilen bilgileri kullanarak çarpışmaları azaltmak için geliştirilen ağaç tabanlı protokollerdir. Adaptif bölme protokollerinin arkasındaki temel düşünce, RFID etiketlerini kullanan çoğu uygulamada, belli bir okuyucudan birbiri ardına alınan okumalarda karşılaşılan nesne kümesinin önemli ölçüde değişmediği ve bir okumadan alınan bilginin bir sonraki için kullanılabilmesi şeklindedir. Simülasyon tabanlı bir değerlendirme, AQS ve ABS'nin etiket okuma süreci için ilave gecikme ve iletişimi önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

Adaptif sorgu bölme protokolü, ikili ağaç protokolü ve sorgu ağaç protokolüne kıyasla çarpışmaları azaltabilir fakat boş çevrimler üretir. Tüm etiketlerin tanınmasını sağlamak için okuyucu okunabilir çevrim sorgularının yanı sıra son çerçevedeki boş çevrimlerin sorgularını da kullanır. AQS'nin sorgu silme prosedürü, etiketleri çıkararak gereksiz boş çevrimleri ortadan kaldırırsa da ağaç aramanın başlangıcının, etiket ID'sinin tüm olası aralıklarını içerecek şekilde bazı boş çevrimleri kapsamasından kaçınmaz.

ABS ve AQS protokolleri okunacak etiket sayısı ve etiketlerin ağaca eklendikçe durumunu kontrol etmesinden dolayı ağaç tabanlı protokollere performans olarak yaklaşır. Bu iki protokol arasında ciddi bir fark olduğu söylenemez çünkü biri okunabilir bölümleri (readable slot) dikkate alırken diğeri boş bölümleri (idle slot) dikkate alır.

Sonuç olarak, kablosuz iletişim teknolojileri ile RFID sistemlerini birlikte kullanmak, bu entegre sistemlere ait alternatif ağ modellerini başarılı bir şekilde tasarlamak, geliştirmek ve uygulamak için yapılması gerekenler şu şekilde özetlenebilir:

- ✓ Firma/kurum içinde proje takımı oluşturulması, tasarım ile ilgili olarak işlevsel, teknik ve eğitim ile ilgili dönüm noktalarının belirlenmesi, mevcut ve önerilen sistemdeki tüm iş akışlarının çıkarılması, mevcut ve planlanan donanımların belirlenmesi, değişmesi planlanan tüm işlemlerde performans ölçümlerinin oluşturulması, süreçleri yeniden tasarlarken çeşitli yazılımların ve donanımları sunduğu fırsatlardan yararlanılması.
- ✓ Firma ya da kurumdaki herkesi gerçekleştirecek değişim konusunda bilgilendirme ve eğitime; karşılanacak gereksinimler, elde edilecek sonuçlar ve prosedürlerin nasıl değişeceği konularına odaklanılması.
- ✓ Sistemi detaylandırırken departman ve işlem bazında etkilerinin incelenmesi, daha önce RFID sistemleri oluşturmuş danışman ve sistem bütünleştiricilerinin yardımlarının alınması, bu firmaların geliştirmiş oldukları önceki projelerin tüm departmanlardaki proje üyelerinin katılımıyla incelenmesi.
- ✓ Zamana dayalı plan kapsamında sistemin hayata geçirilmesi ve gözlemlenmesi, acil durum planlarının hazırlanması, projede önemli parçalardan (RF terminal, etiket, pil, güç kaynağı vb.) yedekler oluşturulması, yedekleme planlarının yapılması.

KAYNAKLAR

1. FINKENZELLER, K., 2003, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications In Contactless Smart Cards and Identification*, John Wiley & Sons, Chichester, England, 0470844027
2. AHSON, S., and ILYAS, M., 2008, *RFID Handbook Applications, Technology, Security, and Privacy*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, 978-1-4200-5499-6
3. HUNT, V. D., PUGLIA, A., PUGLIA, M., 2007, *RFID-A Guide To Radio Frequency Identification*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 978-0-470-10764-5
4. GLOVER, B., BHATT, H., 2006, *RFID Essentials*, O'Reilly Media, Inc. , Sebastopol, CA, 978-0-59-600944-1
5. LAHIRI, S., 2005, *RFID Sourcebook*, Pearson Education, Inc., New Jersey, 0-13-185137-3
6. CURTY, J.P., DECLERCQ, M., DEHOLLAIN, C., JOEHL, N., 2007, *Design And Optimization Of Passive UHF RFID Sysytems*, Springer Science-FBusiness Media, New York, 978-0-387352749
7. MANISH, B., SHAHRAM, M., 2005, *RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems*, Prentice Hall PTR, New Jersey, 0-13-185355-4
8. KRAUS, J.D., and MARHEFKA, R.J., 2002, *Antennas-For All Applications*, McGraw-Hill, New York, 978-0-072321036
9. RAO, K.V.S., NIKITIN, P.V., and LAM, S.F., 2005, Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 53, no.12, pp. 3870–3876
10. RANASINGHE, D.C., LEONG, K.S., NG, M.L., COLE, P.H., 2006, Small UHF RFID label antenna design and limitations, *IEEE International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials*, New York
11. RAPPAPORT, T. S., 2002, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall PTR, Pearson Education Inc., New Jersey, 0-13-042232-0
12. ROSS, J., 2008, *The Book of Wireless: A Painless Guide To Wi-Fi And Broadband Wireless*, No Starch Press, Inc., San Francisco, CA, 978-1-59327-169-5
13. OHRTMAN, F., ROEDER, K., 2003, *Wi-Fi Handbook-Building 802.11b Wireless Networks*, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA, 0-07-141251-4
14. GAST, M., 2002, *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*, O'Reilly&Associates Inc., Sebastopol, CA, 0-596-00183-5
15. EDNEY, J., ARBAUGH, W. A., 2003, *Real 802.11 Security: Wi-Fi Protected Access and 802.11i*, Addison Wesley, Pearson Education Inc., Boston, MA , 0-321-13620-9
16. MAXIM, M., POLLINO, D., 2002, *Wireless Security*, RSA Press, McGraw-Hill Companies Inc., New York, USA, 978-0-072222869

17. IEEE Std 802.11 TASK GROUP, 1999, *IEEE 802.11 Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, <http://standards.ieee.org>
18. KHAN, J., KHWAJA, A., 2003, *Building secure wireless networks with 802.11*, Wiley, Indianapolis, Ind., 0471237159
19. ROSHAN, P., LEARY J., 2004, *802.11 Wireless LAN fundamentals*, Cisco, Indianapolis, Ind., 1587050773
20. ANDREWS, J. G., GHOSH, A., MUHAMED, R., 2007, *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*, Pearson Education, NJ, 0-13-222552-2
21. NUAYMI, L., 2007, *Wimax: Technology For Broadband Wireless Access*, JohnWiley & Sons Ltd., Chichester, England, 978-0-470-02808-7
22. OHRTMAN, F., 2005, *WiMAX Handbook: Building 802.16 Wireless Networks*, McGraw-Hil Companies Inc., New York, 0-07-158903-1
23. ZHANG, Y., CHEN, H.-H., 2007, *Mobile Wimax:Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Networks*, Auerbach Publications, Taylor & Francis Group, NW, Boca Raton, 978-0-8493-2624-0
24. CHEN., K.C., De MARCA, J. R. B., 2008, *Mobile Wimax*, JohnWiley & Sons Ltd., Chichester, England, 978-0-470-51941-7
25. GARG, V. K., 2007, *Wireless Communications And Networking*, Morgan Kaufmann, San Francisco, 978-0-12-373580-5
26. FARAHANI, S., 2008, *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*, Elsevier Inc., Oxford, England, 978-0-7506-8393-7
27. GISLASON, D., 2008, *ZigBee Wireless Networking*, Elsevier Inc., Oxford, England, 978-0-7506-8597-9
28. BETTSTETTER, C., VOGEL, H.J., EBERSPACHER, J., 1999, GSM phase 2+ general packet radio service GPRS: Architecture, protocols, and air interface, *The IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 2 , Is. 3, pp. 2-14, Munich, Germany
29. McGUIGGAN, P.,2004, *GPRS in Practice: A Companion to the Specifications*, JohnWiley & Sons Ltd., Chichester, England, 978-0-470-09507-5
30. SAMJANI, A.A., 2002, General Packet Radio Service [GPRS], *IEEE Potentials Magazine*, Vol. 21, Is. 2, pp. 12-15
31. FARES, A., 2004, *GPRS and EDGE Engineering*, BookSurge LLC, SC, USA, 1-4196-3213-2
32. YALLAPRAGADA, R., KRIPALANI, V., KRIPALANI, A., 2003, EDGE: a technology assessment, *Personal Wireless Communications, 2002 IEEE International Conference on*, pp. 35-40, QUALCOMM Inc., San Diego, CA, USA, 0-7803-7569-6
33. MULLNER, R., BALL, C.F., IVANOV, K., TREML, F., SPRING, G., 2004, Quality of service in GPRS/EDGE mobile radio networks, *IEEE 59th Vehicular Technology Conference*, Vol. 5, pp. 2507 – 2511, I&C Mobile Networks, Siemens AG, Germany, 0-7803-8255-2
34. HARTE, L., 2004, *Introduction to Code Division Multiple Access (CDMA): Network, Services, Technologies, and Operation*, Althos Publishing Inc.,USA, 1-9328130-5-5

35. ABU-RGHEFF, M. A., 2007, *Introduction to CDMA Wireless Communications*, Academic Press, Elsevier Ltd., Oxford, England, 978-0-75-065252-0
36. JOHNSON, C., 2008, *Radio Access Networks for UMTS: Principles and Practice*, JohnWiley & Sons Ltd., Chichester, England, 978-0-470-72405-7
37. KREHER, R., RUEDEBUSCH, T., 2007, *UMTS Signaling: UMTS Interfaces, Protocols, Message Flows and Procedures Analyzed and Explained*, JohnWiley & Sons Ltd., Chichester, England, 978-0-470-06533-4
38. MARCHESE, M., 2007, *QoS Over Heterogeneous Networks*, John Wiley & Sons, Chichester, England, 978-0-470-01752-4
39. D. KOUVATSOS, D., 2009, *Performance Modelling and Analysis of Heterogeneous Networks*, River Publishers, Wharton, TX, USA, 978-8792329189
40. SARMA, S.E., BROCK, D., and ENGELS, D.W., 2001, Radio frequency identification and the electronic product code, *IEEE Micro*, Vol. 21, Is. 6, pp. 50–54.
41. SARMA, S.E., WEIS, S.A., and ENGELS, D.W., 2002, RFID systems and security and privacy implications, in *Workshop on Cryptographic Hardware in Embedded Systems*, pp. 454–470.
42. WEIS, S.A., SARMA, S.E., RIVEST, R.L., and ENGELS, D.W., 2003, Security and privacy aspects of low-cost radio frequency identification systems, in *Proceedings of the 1st Annual Conference on Security in Pervasive Computing*, pp. 201–212.
43. ENGELS, D.W., and SARMA, S.E., 2002, The reader collision problem, in *Proceedings of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*, Hammamet, Tunus
44. WALDROP, J., ENGELS, D.W., and SARMA, S.E., 2003, Colorwave: an anticollision algorithm for the reader collision, in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications*, pp. 1206–1210.
45. ZHOU, F., CHEN, C., JIN, D., HUANG, C., and MIN, H., 2004, Evaluating and optimizing power consumption of anti-collision protocols for applications in RFID systems, in *Proceedings of the International Symposium on Low Power Electronics and Design*, pp. 357-362
46. FLOERKEMEIER, C., LAMPE, M., 2004, Issues with RFID usage in ubiquitous computing applications, in *Proceedings of the 2nd International Conference of Pervasive Computing*, LNCS 3001, pp. 188–193.
47. CHA, J., KIM, J., 2006, Dynamic framed slotted ALOHA algorithm using fast tag estimation method for RFID system, in *Proceedings of the IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC'06)*, Las Vegas, USA
48. ZHEN, B., KOBAYASHI, M., SHIMIZU, M., 2005, Framed ALOHA for multiple RFID objects identification, *IEICE Transactions on Communications*, Vol. 88, Is. 3, pp. 991-999
49. VOGT, H., 2002, Efficient object identification with passive RFID tags, in *Proceedings of the International Conference on Pervasive Computing*, pp. 98–113
50. BANG, O., CHOI, J.H., LEE, D., LEE, H., 2009, *Efficient Novel Anti-collision Protocols for Passive RFID Tags*, Auto-ID Labs, White Paper, www.autoidlabs.org
51. ZHAI, J., WANG, G., 2005, An anti-collision algorithm using two-functioned estimation for RFID tags, in *Proceedings of International Conference on Computational Science and its Applications*, pp. 702–711.

52. EPCglobal, 2004, EPC radio-frequency identification protocols: class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860 MHz–960 MHz version 1.0.8, <http://www.epcglobalinc.org>
53. Auto-ID CENTER, 2003, Draft protocol specification for a 900 MHz class 0 radio frequency identification tag, Auto-ID Labs, White Paper, www.autoidlabs.org
54. MYUNG, J., LEE, W., 2005, “An Adaptive Memoryless Tag Anti-Collision Protocol for RFID Networks”, *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, Poster Session, Miami, Florida, USA.
55. LAW, C., LEE, K., and SIU, K.Y., 2000, Efficient memoryless protocol for tag identification, in *Proceedings of the 4th International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications*, pp. 75–84.
56. MYUNG, J., LEE, W., SRIVASTAVA, J., and SHIH, T., 2007, Tag-splitting: adaptive collision arbitration protocols for RFID tag identification, *IEEE Transactions on Parallel Distributed Systems*, Vol. 18, Is. 6, pp. 763–775.
57. <http://www.routersim.com>
58. <http://www.boson.com/AboutNetSim.html>
59. <http://www.cisco.com/cgi-bin/tablebuild.pl/configmaker>
60. <http://www.ethereal.com/>
61. <http://www.wireshark.org/>

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Erkan YÜKSEL, 28 Haziran 1980 tarihinde Tokat ili Zile ilçesinde doğdu. 1998 yılında lise öğrenimini bitirdi. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı.

Lisans eğitimi boyunca Fırat Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı CNAP (Cisco Networking Academy Program) biriminde yarı zamanlı olarak çalıştı. Şubat 2008 tarihinde İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Şubat 2008 tarihinde ise aynı bölümde araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır ve halen bu göreve devam etmektedir. Çalışma konuları bilgisayar ağları,.