

Neslihan TUĞRAL tarafından hazırlanan KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARININ KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. O. Ayhan ERDEM
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Tarih :/...../.....

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

TEZ BİLDİRİMİ

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

Neslihan TUĞRAL

**KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARININ KARŞILAŞTIRMALI
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Neslihan TUĞRAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2006

ÖZET

Bu tezde, farklı kablosuz ağ standartlarının kullanım alanlarına göre sınıflandırmaları yapılmıştır. IEEE ve ETSI çalışma gruplarının geliştirdiği IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, HiperLAN/2 kablosuz ağ standartlarının OPNET programı kullanılarak performansları incelenmiştir. Düğüm modelleri oluşturularak kritik veri, kritik olmayan veri, gerçek zamanlı çoklu ortam trafikleri tanımlanmıştır. Performans karşılaştırması veri iletim oranı, gecikme, ortam erişim gecikmesi kriterlerine göre yapılmıştır.

Bilim Kodu : 702.3.006
Anahtar Kelimeler : Kablosuz bilgisayar ağları, IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, HiperLAN/2, KATM, ZigBee, Bluetooth, LMDS
Sayfa Adedi : 73
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. O. Ayhan ERDEM

COMPARISON OF WIRELESS COMPUTER NETWORKS**(M.Sc. Thesis)****Neslihan TUĞRAL****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****June 2006****ABSTRACT**

In this thesis, different wireless computer networks has been compared according to using area. Performances of IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, HiperLAN/2 wireless computer network standarts evaluated by using OPNET modeler. Node models and critical data, non critical data, real time multimedia traffics have been explained. Performance evaluation has been done according to throughput, delay and medium access delay criterias.

Science Code : 702.3.006**Key Words : Wireless Computer Networks, IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, HiperLAN/2, WATM, ZigBee, Bluetooth, LMDS****Page Number : 73****Adviser : Assist. Prof. Dr. O. Ayhan ERDEM**

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli fikir ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danıőmanım Yrd. Doç. Dr. O. Ayhan ERDEM'e, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve çok değerli arkadaşlarım Esra BİR AKTÜRK'e, kaynak temininde yardımını esirgemeyen Ali AKTÜRK'e, üzerimde hakkı ve emeği geçen herkese teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR ...	5
3. KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARI.....	8
3.1. Bilgisayar Ağ Kavramları	8
3.1.1. OSI başvuru modeli	9
3.1.2. Mimariler (Topolojiler).....	10
3.1.3. Coğrafi konumlarına göre ağ çeşitleri.....	14
3.1.4. Elektromanyetik spektrum	18
3.1.5. Modülasyon teknikleri	19
3.1.6. Kablosuz ortam fiziksel bileşenleri.....	21
3.1.7. Kablosuz bilgisayar ağlarında kullanılan standartlar	22
3.2. ZigBee Kablosuz Haberleşme Teknolojisi	24
3.2.1. ZigBee protokol mimarisi	25
3.2.2. ZigBee ağ topolojileri	25
3.2.3. ZigBee çerçeve yapısı	26

Sayfa

3.3. Bluetooth Kablosuz Haberleşme Teknolojisi	27
3.3.2. Bluetooth'da kullanılan topolojiler	29
3.3.3. Bluetooth protokol kümesi	30
3.3.5. Bluetooth çerçeve yapısı	31
3.4. IEEE 802.11 Standartları	32
3.4.1. 802.11 protokol kümesi	33
3.4.2. 802.11 çerçeve yapısı	42
3.5. ETSI HiperLAN Standartları	43
3.5.1. HiperLAN protokol kümesi	43
3.5.2. HIPERLAN/2 referans modeli	46
3.5.3. HiperLAN/2 ve 802.11 arasındaki temel farklar	46
3.6. Kablosuz ATM	47
3.6.1. Kablosuz ATM bileşenleri	47
3.6.2. Kablosuz ATM protokol kümesi	48
3.7. Genişbant Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve LMDS	51
3.7.1. 802.16 protokol kümesi	51
3.7.2. LMDS ağ mimarisi	55
4. BENZETİM YÖNTEMİ İLE KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARININ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMASI	57
4.1. Kullanılan Benzetim Programı	57
4.2. Sistemin Modellenmesi	58
4.2.1. Uzak site bağlantı uygulaması	58
4.2.2. Yerleşke ağı uygulaması	60

	Sayfa
4.3. Sistemin Çalışması ve Analizi	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	72

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. IEEE yerel alan ağı standartları	23
Çizelge 3.2. 802.11 standartları	32
Çizelge 3.3. HiperLAN standartları	43
Çizelge 3.4. Fiziksel katman için spesifik gereksinimler.....	50
Çizelge 4.1. Benzetim değerleri	60
Çizelge 4. 2 Ortam erişim gecikme değerleri.....	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Ortak yol (bus) topolojisi	11
Şekil 3.2. Halka (ring) topoloji	12
Şekil 3.3. Yıldız (star) topolojisi	13
Şekil 3.4. Ağaç (tree) topolojisi	13
Şekil 3.5. Örgü (mesh) topolojisi	14
Şekil 3.6. Büyüklüklerine göre kablosuz ağlar	15
Şekil 3.7. ISM bantları	18
Şekil 3.8. OSI başvuru modeline göre IEEE 802.11 katmanları.....	22
Şekil 3.9. ZigBee katmanları.....	25
Şekil 3.10. ZigBee ağ topolojileri	26
Şekil 3.11. ZigBee veri çerçevesi.....	27
Şekil 3.12. Bluetooth uygulamaları.....	29
Şekil 3.13. Piconet	29
Şekil 3.14. Scatternet.....	30
Şekil 3.15. Bluetooth protokol kümesi ve OSI referans modeli	31
Şekil 3.16. Bluetooth çerçeve yapısı	31
Şekil 3.17. 802.11 protokol kümesinin bölümleri.....	34
Şekil 3.18. (a) Gizli istasyon sorunu (b) Açığa çıkmış istasyon sorunu	37
Şekil 3.19. Kanal kullanımı ile ilgili örnek	38
Şekil 3.20. PCF modu kanal kullanım örneği	40
Şekil 3.21. 802.11' de çerçeveler arası zaman aralıkları.....	41

Şekil	Sayfa
Şekil 3.22. 802.11 veri çerçevesi	42
Şekil 3.23. HiperLAN katmanları	44
Şekil 3.24. KATM protokol katmanları	49
Şekil 3.25. 802.16 protokol kümesi	52
Şekil 3.26. 802.16 gönderim alanı	53
Şekil 4.1. Uzak site bağlantı benzetim modeli.....	58
Şekil 4.2. Site-1 ağ şeması	59
Şekil 4.3. Kablolü dağıtım sistemi ile oluşturulmuş yerleşke ağı.....	60
Şekil 4.4. IEEE 802.11a ve 802.11b standartlarının veri aktarım oranları	61
Şekil 4.5. Kampüs ağının erişim noktası veri yükleri	62
Şekil 4.6. Ortalama ortam erişim gecikmeleri (802.11b- 802.11a).....	62
Şekil 4.7. Ortalama ortam erişim gecikmeleri (802.11g- HiperLAN/2).....	63
Şekil 4.8. Ortalama Http yanıt zamanı (802.11g - HiperLAN).....	63
Şekil 4.9. Ortalama Http yanıt zamanı (802.11a – 802.11b).....	64
Şekil 4.10. Yerleşke ağı bina içi kablosuz ağ veri aktarım miktarları	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

bps	Saniyede gönderilen bit sayısı
Hz	Hertz
MHz	MegaHertz
GHz	GigaHertz
Mbps	Saniyede gönderilen Megabit sayısı

Kısaltmalar

Açıklama

ATM	Asynchronous Transfer Mode (Asenkron Transfer Modu)
CAC	Channel Access and Control (Kanal Erişim ve Kontrolü)
CCA	Clear Channel Assessment (Boş Kanal Değerlendirmesi)
CDMA	Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CSMA/CA	Carrier Sense of Multiple Access with Collision Avoidance (Çarpışma Kontrollü Çoklu Erişim Taşıyıcı Algılama)
DCF	Distributed Coordination Function (Dağıtık Koordinasyon Fonksiyonu)
DIFS	DCF InterFrame Spacing (DCF çerçeve boşluğu)
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum (Doğrudan Sıralı Yayılım)

Kısaltmalar	Açıklama
EIFS	Extended InterFrame Spacing (Genişletilmiş Çerçeve Boşluğu)
ETSI	European Telecommunications Institute (Avrupa Telekomünikasyon Enstitüsü)
FDMA	Frequency Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum (Frekans Atlamalı Yayılım)
FSK	Frequency Shift Keying (Frekans Kayma Anahtarlama)
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying (Gaussian Minimum Kayma Anahtarlama)
HR-DSSS	High Rate Direct Sequence Spread Spectrum (Yüksek Oranlı Doğrudan Sıralı Yayılım)
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers (Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
ISM	International Science and Medicine (Uluslararası Bilim ve Sağlık)
LLC	Logical Link Control (Mantıksal Bağlantı Kontrolü)
LAN	Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
MAC	Medium Access Control (Ortam erişim kontrolü)
MMAC	Multimedia Mobil Access Communication (Çoklu Ortam Mobil Haberleşme)
NAV	Network Allocation Vector (Ağ Yerleşim Vektörü)
NIC	Network Interface Card (Ağ Arayüz Kartı)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama)
OPNET	Optimized Network Performance Tool
OSI	Open System Interconnection (Açık Sistem Mimarisi)
PAN	Personal Area Network (Kişisel Alan Ağı)

Kısaltmalar**Açıklama****PCF**

Point Coordination Function (Nokta Koordinasyon Fonksiyonu)

PPDU

Physical Protocol Data Unit (Fiziksel Protokol Veri Birimi)

QoS

Quality of Service (Servis Kalitesi)

RF

Radio Frequency (Radyo Frekansı)

SIFS

Short InterFrame Spacing (Kısa Çerçeve Boşluğu)

SIG

Special Interest Group (Özel İlgi Grubu)

TDMA

Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)

1. GİRİŞ

Bir ya da daha fazla bilgisayar ve çevre birimlerinin birbirine fiziksel olarak bağlanarak iletişimde bulunmasıyla oluşan yapı bilgisayar ağı olarak adlandırılmaktadır. Bilgisayar ağları, kullanıcılara bilgisayarlar arası bilgi paylaşımı yapabilecekleri bir ortam sunmaktadır. Bilgisayar ağlarının temel amacı bağlı kullanıcıların, ağın kaynaklarına ulaşması ve diğer kullanıcılarla iletişimde bulunmasını sağlamaktır.

Bilgisayar ağlarının kullanımı sayesinde kaynak ve zaman tasarrufu sağlanmaktadır. Kullanıcılar birbirlerinin sabit disklerine, verilerine erişebilir, program veya donanım paylaşımında bulunabilmektedir. Ağda bulunan ve paylaşımına açılmış bir çevre birimi (yazıcı, tarayıcı, CD-ROM, modemler gibi) ağdaki tüm bilgisayarlar tarafından kullanılabilir. Kaynakların paylaşımı aynı zamanda maliyet kazancı sağlamaktadır.

Dünya çapında internetin yaygınlaşması ile her alanda kullanımı, interneti bir ihtiyaç haline getirmiştir. Veri trafiğinin yanı sıra çoklu ortam uygulamaları gibi farklı özelliklerdeki transfer gereksinimleri ile hız ve servis kalitesi kavramları önem kazanmıştır.

Dinamik iş hayatının getirdiği yoğun tempo, insanların bir ofise bağlı kalmadan kaynak paylaşımı, internet erişimi gibi servislerden yararlanma ihtiyacını doğurmuştur. Ethernet' in geniş uygulama alanlarında kullanılmasına rağmen, kablosuz LAN teknolojisi ofis, havaalanı ve diğer toplumsal alanlarda gittikçe yaygın bir hale gelmeye başlamıştır.

Kablosuz ağ sistemlerinin kullanıldığı kurumsal uygulamalar

Sağlık alanında; hastanelerde hasta takibini kolaylaştırmak amacıyla doktorların ve hemşirelerin hasta bilgilerine her zaman ve her yerde ulaşmalarını sağlamakta kullanılmaktadır. Hasta başucunda bulunan veya bileklik benzeri bir cihazla bilgiler

istenen yere kablosuz olarak iletilebilmektedir. Bazı hastanelerde kablosuz kontrollü robot doktor uygulamaları bulunmaktadır. Bu şekilde doktor hastaya uzaktan konsültasyon yapabilmektedir.

Eğitim alanında; öğretmen ve öğrencilerin okul dahilinde her ortamda internete erişimlerini sağlamak amacıyla yerleşke içerisinde yayın yapılmaktadır. Bu konuda Türkiye’ de ilk uygulama Orta Doğu Teknik Üniversitesi’ nde gerçekleştirilmiştir.

Üretim tesisleri; beyaz eşya, otomobil ve benzeri üretim tesislerinde kablosuz bilgisayar ağları kullanılmaktadır. Ayrıca kontrol sistemlerinde de kablosuz kontrol cihazları yaygınlaşmaktadır.

Hizmet sektörü; günlük hayatta özellikle restoran ve satış mağazalarında da kablosuz haberleşme kullanılır hale gelmiştir. Restoranlarda siparişlerin hızlı takibi, büyük depo ve mağazalarda mal giriş çıkışlarının takibinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

Özellikle kablolanmanın zor olduğu fiziksel yerleşimlerde, tarihi binalarda kablosuz bilgisayar ağlarının kullanımı tercih edilmektedir.

Tren istasyonları, oteller, hava alanları gibi yerlere kablosuz erişim alanları kurulmakta ve kablosuz erişim özelliğine sahip bilgisayar ve cihazlara hizmet verilmektedir.

Kablosuz LAN sistemleri için pek çok farklı standart bulunmaktadır. Farklı frekans bantlarında farklı protokol ve fiziksel alt yapının kullanılması gerekmektedir. Kullanım amaçlarına, ihtiyaca ve verinin taşınacağı mesafeye göre farklı frekansların ve standartların kullanılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Gelişen yeni teknolojiler birbirinin yerini almak yerine birlikte gelişmekte ve birbirini tamamlayıcı hale gelmektedir. Kablosuz uygulamalarda var olan çeşitlilik kaçınılmazdır. Bu çeşitlilik nedeniyle oluşabilecek karışıklıklar standartların yayınlanmasıyla engellenmektedir.

Dünya çapında standartların oluşturulması amacıyla çeşitli kuruluşlar çalışmalar yürütmektedir. Bu kuruluşlar sistemlerin tanıtımı, cihazların uyumluluk onayları, erişim alanları, sağlanması gereken servisler, güvenlik ilkeleri gibi pek çok konuda bilgi sağlamakta ve teknolojileri sınıflandırmaktadır.

WLAN standardizasyon çalışmaları, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers-Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü), ETSI (European Telecommunications Institute – Avrupa Telekomünikasyon Enstitüsü), MMAC (Multimedia Mobil Access Communication-Çoklu Ortam Mobil Haberleşme) olmak üzere üç temel kuruluş tarafından yürütülmektedir. ZigBee teknolojilerini geliştirmek ve tanıtmak amacıyla ZigBee Alliance adı altında bir birlik kurulmuştur. Bluetooth kablosuz haberleşme standardı üzerinde çalışmalar yapan Bluetooth SIG, farklı şirketlerin bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. IEEE 802.15 çalışma grubu PAN (Personal Area Network-Kişisel Alan Ağı) alanında çalışan kablosuz haberleşme teknolojilerini standartlaştırmak amacıyla kurulmuştur.

Uygulamalardaki ve geliştirilen standartlardaki çeşitlilik pratikte bazı sorunlar ortaya çıkartmaktadır. İhtiyaca en uygun standardı ve uygulamayı belirlemek güçleşmekte ve farklı standartların bir arada kullanılmasından kaynaklanan uyum sorunları görülmektedir. Bir ağ uygulamasının düzenlenmesi sırasında göz önünde bulundurulması gereken bazı kriterler vardır. Bu kriterler uygulamada taşınacak veri türü, servis sağlanacak kullanıcı sayısı, fiziksel alanın boyutları olarak örneklenebilir.

Bu tezde kablosuz ağ standartlarının farklı uygulamalarda gösterdikleri performanslar incelenerek ihtiyaca uygun standart seçiminin kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Uygulamalarda taşınacak 4 farklı veri türü belirlenmiştir: Kritik veri, kritik olmayan veri, ses ve gerçek zamanlı video. Örnek ağ yapısı oluşturularak 802.11a , 802.11b, 802.11g ve HiperLAN/2 standartlarının bu uygulamalardaki performansları karşılaştırılmıştır.

İkinci bölümde, Kablosuz ağlar konusunda yapılmış olan çalışmalar ve bu çalışmaların sonuçları incelenmiş, çalışmaları destekleyen kuruluşlar ve ilgi alanları açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, OSI (Open System Interconnection – Açık sistem Mimarisi) başvuru modeli, genel ağ kavramları hakkında bilgi verilmiş, kullanılmakta olan kablosuz haberleşme standartları basitten karmaşığa sıralanarak kullandıkları modülasyon teknikleri, destekledikleri mimariler, çerçeve yapıları ve protokol kümeleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, OPNET simülasyon programı ile farklı standartlardaki kablosuz bilgisayar ağları modellenerek farklı veri trafiklerinde performans ölçümleri yapılarak karşılaştırmalı bir inceleme yapılmıştır.

Beşinci bölümde, simülasyonlardan elde edilen sonuçlar analiz edilerek ve bundan sonraki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kablosuz ağ standartları dünya çapında farklı kuruluşlar tarafından geliştirilmekte, her biri çeşitli organizasyonlar tarafından tanıtılmakta ve desteklenmektedir. Dünya çapında pek çok bilim adamının, üniversitelerin, araştırma kuruluşları ve ticari şirketlerin de dahil olduğu çalışma grupları kablosuz iletişim standartlarının geliştirilmesi, birbirleri ile uyumlarının sağlanması, performanslarının artırılması ile ilgili çalışmaları yürütmektedir.

IEEE, elektrik mühendisliği, elektronik, biomedikal, telekomünikasyon ve bilgisayar alanlarında teori ve uygulama geliştirmek amacıyla 1884'de kurulmuştur. IEEE, yaklaşık 175 ülkede 360 binin üzerinde elektrik, elektronik mühendisi ve bilim adamı üyesi ile dünyanın en geniş teknik profesyonel topluluğudur. IEEE'nin misyonu; elektroteknoloji ve ilgili bilimlerin gelişimi, bu teknolojilerin insan yararı için uygulanması ve üyelerinin mesleki anlamda ilerlemesi ve mutluluklarının sağlanmasıdır. IEEE desteklediği projeleri bir arşivde toplamakta ve elektronik ortamda üyelerin erişimine sunmaktadır. IEEE 802 LAN/MAN standart komitesi 802.x adı altında bir seri standart yayınlamıştır. 802.11 standardı Haziran 1997'de yayınlanmıştır. Bu ilk standardın amacı var olan kablolu LAN'ların, kablosuz olarak genişlemesini gerçekleştirmektir [1].

ETSI kablosuz ağ standartları üzerine çalışan bir başka kuruluştur. Bu kuruluş Avrupa'daki standartlaşmadan sorumludur. HiperLAN adı altında 4 farklı tipte kablosuz ağ standardı geliştirilmiştir [2].

Türkiye'de de son yıllarda kablosuz bilgisayar ağları ve kablosuz iletişim üzerine pek çok çalışma yapılmaktadır. Boğaziçi ve Kocaeli Üniversiteleri gibi bazı üniversiteler bünyelerinde kablosuz teknolojilerle ilgili araştırma grupları kurmuşlardır .

Farshad Eshggi ve Ahmed K. Elhakeem tarafından yapılan “Kablosuz Ad-hoc LAN'ların gerçek zamanlı trafikte performans analizi” adlı çalışmada farklı uygulamaların gereksinim duyduğu parametreleri belirleyerek matematiksel bir

modelle baz istasyonu ya da erişim noktası bulunmayan Ad-hoc yapıdaki kablosuz ağların performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada giriş parametreleri olarak paket bölünmesi, ön bellek kapasitesi ve sistemdeki maksimum kullanıcı sayısı seçilmiştir. Performans kriterleri ise; gönderilen veri miktarı, gecikme ve dağıtımın başarısız olma olasılığıdır [3].

F. Cali, M. Conti ve E. Gregori tarafından yapılan “IEEE 802.11 WLAN: Kapasite analizi ve protokol genişlemesi” adlı çalışmada IEEE 802.11 WLAN standardının verimliliğini araştırmışlardır. Protokol kapasitesi için analitik bir formül geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak IEEE 802.11 standardının en üst seviyedeki teorik kapasitesini bularak, bu kapasitenin ağ konfigürasyonuna bağlı olarak teorik sınırlardan çok farklı sınır değerlerde çalışabildiğini, uygun geri dönüş algoritması ile performansın teorik sınır değerlere yaklaştırılabileceğini ortaya koymuşlardır [4].

Doufexi A. ve arkadaşları tarafından yapılan “HiperLAN/2 ve IEEE 802.11 kablosuz LAN standartlarının karşılaştırılması” adlı çalışmada HiperLAN/2 ve IEEE 802.11 standartlarının genel anlatımıyla birlikte bu iki standardın fiziksel katman seviyesinde simülasyonlarını gerçekleştirerek veri aktarım oranlarını analiz etmişlerdir [5].

Romain Rollet ve Christohe Mangin tarafından yapılan “Gerçek fiziksel ortamda IEEE 802.11a, 802.11e ve HiperLAN/2 performans karşılaştırması” adlı çalışmada IEEE 802.11a, 802.11e ve HiperLAN/2 standartlarının performansları OFDM modem yardımıyla MAC katmanı seviyesinde karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarında hangi şartlarda hangi hata düzeltme mekanizmalarının yararlı olacağı tartışılmıştır [6].

Doufexi ve arkadaşları tarafından yapılan “Ortak ofis ortamında IEEE 802.11a ve 802.11g WLAN standartlarının performans değerlendirmesi” adlı çalışmada farklı frekans bantlarında çalışan 802.11a ve 802.11g standartlarının aynı ofis ortamında

sağladığı faydalar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 802.11g, geniş kapsama alanı sağlamakta ancak 802.11a daha yüksek veri oranlarını transfer edebilmektedir [7].

Bayılmış ve arkadaşları tarafından yapılan “Kablosuz Bilgisayar Ağlarının Karşılaştırılması” adlı çalışmada farklı ihtiyaçlara cevap vermek üzere mevcut ve geliştirilmekte olan kablosuz bilgisayar ağ türleri, yapıları ve genel özelliklerine göre inceleyerek, destekledikleri uygulama çeşitlerine, veri iletim hızlarına, kapsama alanlarının büyüklüğüne, coğrafik ağ yapılarına ve maliyetlerine göre bir değerlendirme yapılmıştır [8].

Çelebi, E.’nin “Telsiz çok sekmeli plansız ağlar için yönlendirme protokollerinin başarımlarını değerlendirilmesi” adlı yüksek lisans tezinde plansız kablosuz bilgisayar ağlarının performanslarını yönlendirme protokollerine göre karşılaştırmıştır [9].

David R. Wisely ve Philip L. Eardley tarafından yapılan “OPNET yardımıyla HIPERLAN standardının modellenmesi” adlı çalışmada OPNET modelleme yazılımını kullanarak farklı senaryolarda, HiperLAN standardı ile dağıtılan çoklu ortam servislerinin performans değerlendirmesini gerçekleştirmiştir [10].

Baldwin, R. Ve arkadaşları tarafından yapılan “OPNET kullanılarak IEEE 802.11 WLAN Modelinin uygulanması” adlı çalışmada IEEE 802.11 modeli oluşturularak modelin geçerliliği tanımlanmıştır [11].

Khurana, S. ve arkadaşları tarafından yapılan “Mobil ve gizli terminaller için IEEE 802.11 WLAN protokolünde DCF performansının değerlendirilmesi” adlı çalışmada gizli terminallerin ve kullanıcı hareketliliğinin 802.11 standardı üzerindeki ortak etkisini görebilmek için gizli terminal sayısı ve mobilite oranı olmak üzere iki parametreye sahip basit bir model oluşturmuşlardır [12].

3. KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARI

Bir bilgisayar ağı çeşitli özelliklerdeki bilgisayarlardan, bu bilgisayarları bağlayan fiziksel bir iletim ortamından, iletişimi ve ortam kullanımını düzenleyen ağ cihazlarından ve kural kümelerinden (protokoller) meydana gelmektedir. Fiziksel iletim, geleneksel olarak kablo bağlantıları ile sağlanmaktadır. Kablo bağlantısının mümkün olmadığı ya da dezavantajlarının bulunduğu durumlarda ise kablosuz ağlar ön plana çıkmaktadır.

Günümüzde kablosuz bilgisayar ağları kabloların istenmediği ya da kablolanmanın zor ve maliyetli olduğu her alanda karşımıza çıkmaktadır. Bilgisayarlara ya da cep telefonlarına çevre birimlerinin bağlanmasında, mobil bilgisayarların ya da cihazların bir yerel ağa dahil edilmesinde, kablosuz uygulamalar etkin olarak kullanılmaktadır.

Bu bölümde öncelikle genel ağ kavramları verilerek bu kavramların kablosuz bilgisayar ağlarındaki yerine değinilmiştir. Kablosuz bilgisayar ağlarında kullanılan kavramlar ve standartlar açıklanmıştır.

3.1. Bilgisayar Ağ Kavramları

Ağdaki her bilgisayar ya da çevre birimi birer düğüm, ağ üzerinde paylaşılan kaynakları bulduran bilgisayarlar ise sunucu olarak adlandırılmaktadır.

Ağ üzerindeki bilgisayarların karşılıklı veri aktarımında bulunabilmesi, birlikte çalışabilmesi için verici ve alıcı arasında kullanılacak işaretler, veri biçimleri ve veri değerlendirme yöntemlerinin uyumunu sağlayan kurallar kümesi protokol olarak adlandırılmaktadır. Protokol, ağdaki tüm cihazların birbirleriyle nasıl iletişimde bulunacaklarını belirlemektedir [13].

Ağ üzerindeki bilgisayarların coğrafi konumlarını ve birbirleri ile iletişimde kullanacakları sıra düzenli yapıyı belirleyen bağlantı şekilleri mimari (topoloji) olarak adlandırılmaktadır.

3.1.1. OSI başvuru modeli

Tüm ağ cihazları, protokol mimarileri OSI başvuru modeli temel alınarak açıklanmaktadır. OSI modeli 1984 yılında ISO (International Standards Organization – Uluslararası Standart Kuruluşu) tarafından yayımlanmıştır. OSI modelinin geliştirilmesinin sebebi, farklı düzlemlerde çalışan uygulamaların ortak bir alanda da çalışabilmelerini sağlamaktır.

OSI modelinde 7 katman bulunmaktadır: Uygulama (Application), Sunum (Presentation), Oturum (Session), Taşıma (Transport), Ağ (Network), Veri Bağı (Data Link) ve Fiziksel (Physical) katman. OSI modelindeki her katman üç farklı katman ile iletişim kurar. Bir alt katmanıyla, bir üst katmanıyla ve iletişim kurduğu bilgisayar veya ağdaki uygulamada bulunan kendisiyle aynı olan katman ile iletişim kurar [13].

Uygulama, Sunum ve Oturum katmanları üst katmanlardır. Taşıma, Ağ, Veri Bağı ve Fiziksel katmanlar ise alt katmanlar olarak adlandırılmaktadır.

Fiziksel Katman: Verinin fiziksel olarak hat üzerinden aktarılması için gerekli olan işlevleri kapsamaktadır. Kablo ve konnektör standartları, fiziksel iletim ortamları bu katmanda kontrol edilmektedir.

Veri Bağı Katmanı: Fiziksel bağlantıyı gerçekleştirir. Hata kontrolü, algılama ve baştan mesaj yollama gibi görevleri üstlenmektedir. Data Link katmanı iki alt katmana ayrılır.

a- *Logical Link Control (LLC)* : Üst katmanlarla olan iletişimi sağlar. Bilginin paketlenmesi sırasında ağ katmanlarından gelen bilgiye hedef ve kaynak protokollerini ekler.

b- *Media Access Control (MAC)* : Adresleme sistemi kullanılarak çerçeve yapısına dönüştürülen bilgilerin karşı tarafa ulaşmasını sağlar. Bilgisayarın ağ ortamına giriş sistemini de organize eder.

Ağ Katmanı: Verileri paketler halinde içeriklerine bakmadan değiş tokuş eder. Hattı açmak ve ulaşılmak istenen bilgisayara giden yolu bulmakla görevlidir. Yönlendirme ve adresleme işlemlerinin yapılmasını sağlar.

Taşıma Katmanı: Ağ katmanı üzerinden bilgilerin aktarımını mümkün kılmaktadır. Gönderilecek bilginin güvenli bir şekilde ulaştırılmasını sağlar. Hata bulma ve hataları düzeltme görevi vardır. Hata düzeltmeden kasıt, bilgi hatalı gönderilmiş ise bilgi tekrar gönderilir ve hata telafi edilmiş olur. Akış kontrolü sağlar.

Oturum Katmanı: Veri haberleşmelerini organize eder ve senkronizasyonu sağlar. Uygulamalar arasındaki oturumu kurar, yönetir ve sona erdirir. Uygulama ve Sunum katmanlarına hata bildirimini sağlar.

Sunum Katmanı: Burada alt katmandan gelen bilgiler uygulama programlarının beklentilerine göre hazırlanır. : Gönderilecek bilginin ortak biçime dönüştürülmesini sağlar. Kodlama ve dönüştürme işlevlerini tanımlar.

Uygulama Katmanı: İletişim programının kendisinden ibarettir. Kullanıcı ile birebir iletişimin kurulduğu katmandır. Kullanıcının çalıştıracağı uygulamalara ağ hizmetlerini sağlar. Kullanıcıya en yakın olan katmandır. Veri iletir.

3.1.2. Mimariler (Topolojiler)

Topoloji, ağ üzerindeki bilgisayarların kablolama şekli, veri iletişimde uyulacak sıra düzenli yapıyı belirlemektedir.

Ortak yol (Bus) topolojisi

Bu topolojide tüm bilgisayarlar tek bir iletim hattı üzerinde yer almaktadır. Her düğüme bir adres verilir ve her biri birbiri ile haberleşebilir. Her düğüm mesaj göndermeye başlamadan önce hattı dinleyerek yolun kullanımda olup olmadığını kontrol eder. Yol tüm düğümlerce paylaşıldığından mesajlar gönderildiği terminalin adresine bakılarak iletilir. Veri ve denetim işaretleri aynı anda tüm terminallere gönderilir. Terminaller tüm veri paketlerini okurlar ancak sadece kendi adreslerini içeren verileri işlerler. İki düğümün birbiri ile iletişim kurmasını esnasında diğer tüm düğümler verilerini göndermek için bu iletişimin bitmesini ve kanalın boşalmasını beklemek zorundadırlar. Bu özellikler nedeniyle güvenlik açısından ve veri gönderim zamanı açısından dezavantajlı bir mimaridir. Tek bir hattın kullanılması kablolama masraflarını azaltmaktadır. Aynı zamanda yeni bir düğümün eklenmesi kolaydır ve bir düğümün devre dışı kalması diğer düğümlerin iletişimini etkilememektedir. Ancak her bir yeni düğüm eklenmesiyle yolu kullanmak için beklenecek süre de artmaktadır.

Bağlantılarda koaksiyel kablo kullanılmaktadır. Hattın her iki ucunda meydana gelebilecek yansımaları engellemek amacıyla sonlandırıcı dirençler bulunur (Şekil 3.1).



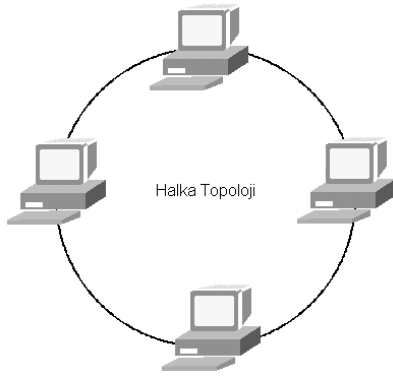
Şekil 3.1. Ortak yol (bus) topolojisi

Halka (Ring) topolojisi

Bilgisayarların tek bir halka üzerine dizildiği kapalı döngü bağlantı topolojisidir. Veri iletişimi, halkada dolaşan jeton (token) adı verilen sinyal sayesinde sağlanmaktadır. İletişimde bulunmak isteyen düğüm öncelikle jetonun kendisine ulaşmasını beklemek zorundadır. Jeton kendisine geldiğinde jetonu alır ve verisini

gönderir. Jeton serbest dolaşımdan kullanıma geçmiş olur. Veri gönderimi sona erdiğinde jetonu yeniden serbest bırakır. Tekrar veri gönderiminde bulunabilmesi için jetonun yeniden kendisine gelmesini beklemek zorundadır [14].

Hataların saptanması ve ağ yönetimi açısından dezavantajlı bir topoloji olması ve karmaşık protokol kümelerini kullanma ihtiyacına rağmen iletişimin yoğun olduğu durumlarda dahi başarımla fazla düşmemektedir.



Şekil 3.2. Halka (ring) topoloji

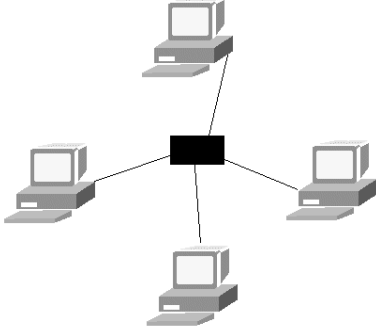
Yıldız (Star) topolojisi

Tüm düğümler merkezi tek bir cihaza (hub ya da anahtar) doğrudan kablo ile bağlanmaktadır. Tüm ağ trafiği bu cihaz üzerinden geçmek zorundadır. Cihaza gelen tüm sinyaller güçlendirilerek aktarılır. Eğer kullanılan cihaz hub ise gelen sinyaller hedef adresine bakılmaksızın ağdaki tüm terminallere aktarılır. Anahtar ise paketin hedef adres kontrol ettikten sonra sadece ilgili terminale aktarımda bulunur.

Yıldız topolojisi kablolamadan kaynaklanan hataların denetimini kolaylaştırmaktadır. Bir terminalin bağlantısının devre dışı kalması diğer terminalleri etkilemez. Ağın yönetimi ve güvenlik açısından avantajlıdır.

Kablosuz bilgisayar ağlarında desteklenen mimarilerden biri olan yapısal ağ modeli ile çalışma mantığı benzeşmektedir. Ancak bu durumda hub ya da anahtarın yerini

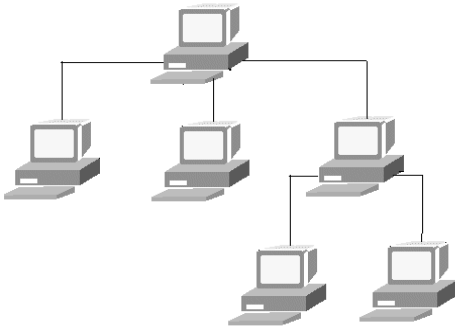
erişim noktaları (Access Point - AP) almaktadır. Ağdaki tüm bilgisayarlar AP üzerinden haberleşmektedir [15].



şekil 3.3. Yıldız (star) topolojisi

Ağaç (Tree) topolojisi

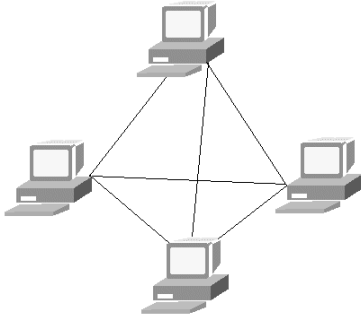
Ağdaki terminallerin sıra düzenli olarak yerleşimiyle meydana gelmektedir. Yönetim ve veri işleme seviyesinde farklı sorumluluklara sahip düğümler sorumluluk düzeyine göre sıralanmaktadır. Fonksiyon gruplarının oluşturulmasında kolaylık sağlar. Genellikle farklı ağların birleştirilmesinde kullanılır.



şekil 3.4. Ağaç (tree) topolojisi

Örgü (Mesh) topolojisi

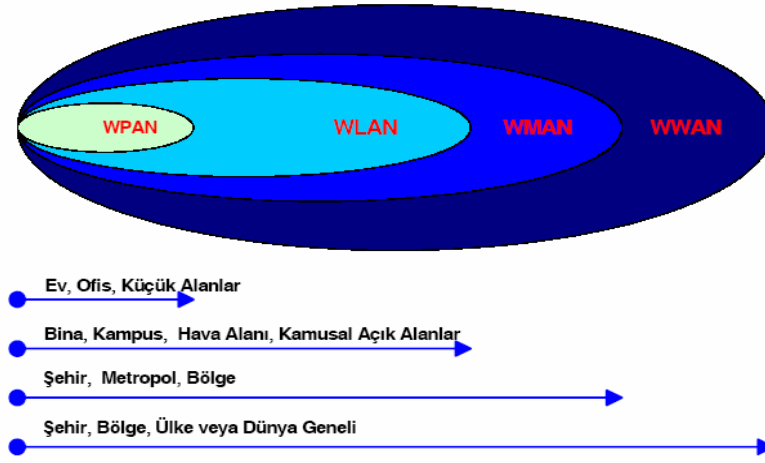
Tüm düğümler arasında noktadan-noktaya bağlantıyı içerir. Her terminal ağdaki diğer terminaller ile doğrudan haberleşebilmektedir. Her terminal arasında kablolama gereksinimi nedeniyle maliyet açısından tercih edilmeyen bir yapıdır. Ancak gelişen kablosuz teknolojilerde kullanılan Ad-hoc topolojisi bu temellere dayanmaktadır. Her bir kablosuz terminalin bir ağ yöneticisine veya AP' ye ihtiyaç duymadan birbiri ile doğrudan haberleşmesini sağlamaktadır [15].



Şekil 3.5. Örgü (mesh) topolojisi

3.1.3. Coğrafi konumlarına göre ağ çeşitleri

Bilgisayar ağları, hizmet verdikleri coğrafi alanın genişliğine göre de sınıflandırılmaktadır. Genel yaklaşıma göre kablosuz iletişim ağları hizmet verdikleri fiziksel alanların büyüklüklerine göre dört sınıfta toplanmıştır: Kablosuz Geniş Alan Ağları (Wireless Wide Area Networks, WWAN), Kablosuz Metropol Alan Ağları (Wireless Metropolitan Area Networks, WMAN), Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks, WLAN) ve Kablosuz Kişisel Alan Ağları (Wireless Personal Area Networks, WPAN) olarak sıralanabilir[16]. Bu gruplandırma ve her bir grubun hizmet alanları Şekil 3.6'da verilmiştir [17].



Şekil 3.6. Büyüklüklerine göre kablosuz ağlar

Kişisel alan ağı (Personal Area Network – PAN)

Bir bilgisayar, cep bilgisayarı ya da cep telefonu gibi bir cihazı ve bunlara bağlı çevre birimlerini kapsayan ağ yapısı kişisel alan ağı (PAN) olarak adlandırılmaktadır. Bağlantı, kablo üzerinden (USB gibi) ya da kablosuz olarak Bluetooth, WLAN ya da kızıl ötesi standartlarıyla gerçekleştirilebilir. Erişim mesafesi 10 ile 30 metre arasında değişmektedir.

Ev ya da küçük iş yerlerinde birkaç bilgisayar ve çevre biriminden oluşan ağlara Kişisel Alan Ağları (Personal Area Networks, PAN) denmektedir. Kablo yerine kablosuz iletişim teknolojisi kullanılması durumunda ise Kablosuz Kişisel Alan Ağları (Wireless Personal Area Networks, WPAN) olarak adlandırılmaktadır. Bir başka ifadeyle WPAN'lar yakın mesafedeki elektronik cihazları kablosuz olarak birbirine bağlayan ağlardır. Bu tür sistemler diğer ağlara kıyasla daha düşük veri hızına ve daha kısa iletişim mesafesine sahiptirler. WPAN'ların hızları 1 Mbps ve menzilleri 10 metre civarındadır. WPAN'ların en yaygın uygulamaları Bluetooth ve HomeRF'dir. Bluetooth daha ziyade kişinin etrafındaki sayısal cihazlar arasında kablosuz bağlantı kurmak için geliştirilmiştir. HomeRF ise ev veya küçük işyerlerinde bir kablosuz ağ oluşturmak üzere tasarlanmıştır. Her iki sistemde de veri iletişim hızını artırmak ve kapsama alanını genişletmek gibi özelliklerinde geliştirme

ve yeni özellikler ilave edilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. WPAN uygulamalarına örnek olarak klavye, fare, yazıcı, kulaklık, sayısal kameralar, tarayıcı gibi cihazların bilgisayarlara kablosuz olarak bağlanabilmesi için kullanılmakta olan Bluetooth standardı ya da kontrol devrelerini bilgisayarlara bağlamakta kullanılan ZigBee standardı verilebilir.

Yerel alan ağları (Local Area Network – LAN)

İki ya da daha çok bilgisayar ile bunlara bağlı çevre birimlerinin fiziksel bir bağlantı ile bağlanması ile meydana gelen genelde bir bina ya da binalar grubu ile sınırlı alanda bulunan ağlara yerel alan ağları denmektedir. Yerel alan ağlarında iletişim, genellikle bir bina veya binalar grubu, hastane, fabrika, üniversite kampüsü ve benzeri alanlar ile sınırlıdır. Fiziksel iletim ortamı kablolu veya kablosuz olabilir. LAN'larda bilgisayarlar ve ağ içerisindeki diğer cihazlar arasında iletişimi sağlamak üzere kablo yerine RF veya kızılötesi teknolojisi kullanılması durumunda, Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks, WLAN) olarak adlandırılmaktadır. En kısa tanımıyla WLAN sistemi bir kablosuz LAN'dır. Bu nedenle kablolu LAN'ların tüm özelliklerine sahiptir. WLAN sistemleri; kullanıcılarına kablosuz geniş bant internet erişimi, sunucu üzerindeki uygulamalara (programlara) ulaşım, aynı ağa bağlı kullanıcılar arasında elektronik posta hizmeti ve dosya paylaşımı gibi çeşitli imkanlar sağlamaktadır. Ayrıca kablosuz bir sistem olması nedeniyle cadde, sokak, park, bahçe ve benzeri açık alanlarda WLAN sistemleri başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak yerel (lokal) kullanım amacıyla geliştirilmiş olduklarından WLAN sistemlerinin mesafesi 25-100 metre civarındadır.

WLAN sistemleri standartlaşma ile birlikte yaygınlaşmıştır. Çünkü belirli standartların kabulü sonucunda ürün fiyatlarında önemli ölçüde düşmeler olmuştur. Ayrıca dizüstü bilgisayarlarda kablosuz bağlantı özelliğinin standart hale geldiği görülmektedir [18]. Dünyada yaygın olarak kullanılan 2 tür WLAN teknolojisi mevcuttur. Bunlardan birisi Amerika tabanlı IEEE 802.11x ve diğeri ise Avrupa tabanlı HiperLAN sistemleridir.

Kablosuz yerel alan ağıları iki farklı temel bağlantı şekli ile ele alınmaktadır: Baz istasyonuna sahip erişim noktalı yapısal ağ topolojileri ya da baz istasyonu olmadan eşe eş ağ haberleşmesi gerçekleştiren Ad-Hoc ağ yapısını destekler [2].

Şehirsel alan ağıları (Metropolitan Area Network – MAN)

Bir şehri kapsayacak şekilde yapılandırılmış iletişim ağlarına veya birbirinden uzak yerlerdeki yerel bilgisayar ağlarının (LAN) birbirleri ile bağlanmasıyla oluşturulan ağlara Metropol Alan Ağları (Metropolitan Area Networks, MAN) denilmektedir [19]. MAN'larda da WAN'larda olduğu gibi genellikle kiralık hatlar veya telefon hatları kullanılmaktadır. Bu tür ağlarda kablo yerine uydu veya RF iletişimi teknolojileri kullanılması durumunda Kablosuz Metropol Alan Ağları (Wireless Metropolitan Area Networks, WMAN) olarak isimlendirilmektedir. WMAN'lar çok sayıda şubesi bulunan kurum ve büyük şirketler ile dağınık yerleşime sahip üniversiteler gibi yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. WMAN'lar kablolu ağlardan çok daha ucuz, esnek ve kolay kurulum özelliklerine sahiptir. Ancak, bu tür uygulamalar oldukça yenidir ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir [20]. Bu alanda Wimax adı altında uygulamalar yapılmaktadır. IEEE 802.16 geniş band kablosuz standardı WMAN için geliştirilmektedir.

Bir MAN geniş bant, fiber optik teknolojisi kullanan, halka yapısındaki ve büyük bir şehirdeki ofis merkezlerini birbirlerine bağlayan telekomünikasyon ağlarıdır. Bir Metropolitan Area Network 100 kilometre erişim mesafesine sahip olabilir.

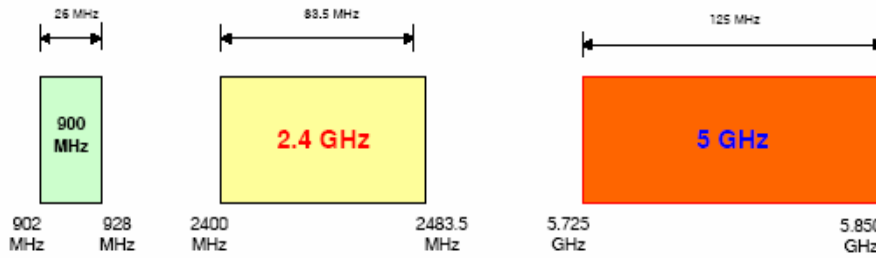
Geniş alan ağıları (Wide Area Network – WAN)

WAN'lar çok sayıda LAN'ı uzun mesafelerde birbirine bağlayan geniş alanlı ağlardır. Bir ülkede çok sayıda bölgede ofisi bulunan bir firma ağı WAN'a iyi bir örnek oluşturur. Bir ülke ya da dünya çapında yüzlerce veya binlerce kilometre mesafeler arasında iletişimi sağlayan ağlara Geniş Alan Ağları (WAN, Wide Area Networks) denilmektedir [15]. WAN'larda genellikle kiralık hatlar veya telefon hatları

kullanılmaktadır. Bu tür ağlarda kablo yerine uydu veya telsiz iletişimi kullanılması durumunda Kablosuz Geniş Alan Ağları (WWAN, Wireless Wide Area Networks) olarak isimlendirilmektedir. Uzak yerleşim birimleriyle iletişimin kurulduğu bu ağlarda çok sayıda bilgisayar çalışabilir [20]. WWAN'larda trafik yükünün büyük kısmı ses iletişimi ile ilgilidir. Ancak son yıllarda yoğun olarak veri iletişimi ve internet erişimi talepleri yaşanmaktadır.

3.1.4. Elektromanyetik spektrum

Bir elektrik devresi tarafından üretilen sinyaller anten vasıtasıyla havada ya da boşlukta iletilebilir. Yayılan elektromanyetik dalgalar, belli bir mesafedeki alıcılara ulaşır. Bu prensip kablosuz iletişimin temelini oluşturmaktadır. Elektromanyetik spektrum, dalgaların frekans sınırlarını belirlemektedir. Dalgaların genlik, frekans veya faz modülasyonları ile veri transferi için kullanılabilecek sınır değerleri Şekil 3.7'de verilmiştir. Radyo, kızıl ötesi ve görünür ışık dalgaları ile transfer gerçekleştirmek mümkündür [21].



Şekil 3.7. ISM bantları

ISM (International Science and Medicine – Uluslararası Bilim ve Medikal) frekans bandı endüstriyel, bilimsel ve medikal uygulamaların gerçekleştirilmesi için 1985 yılında Amerika Birleşik Devletleri tarafından belirlenmiştir ve FCC tarafından lisans gerektirmeden kullanıma açıktır. Pek çok kablosuz ağ cihazı bu frekanslar dahilinde çalışmaktadır [22].

LMDS ve Kablosuz ATM gibi teknolojiler ise daha geniş alanlara yayın yapabilen yüksek frekanslarda çalışan haberleşme sistemleridir. LMDS 20 GHz ve üzeri frekanslarda çalışmaktadır [13].

3.1.5. Modülasyon teknikleri

Kablosuz ağlar verinin taşınmasında radyo dalgalarını kullanmaktadır. Kablosuz LAN uygulamaları için kullanılan dört çeşit gönderim şeması kullanılmaktadır: Düz sıralı yayılım spektrumu (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum), Frekans atlamalı yayılım spektrumu (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum), tek taşıyıcı modülasyon (single-carrier modulation) ve çoklu taşıyıcı modülasyon (multi-subcarrier modulation) [23].

Düz sıralı yayılım spektrumu (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum)

DSSS’de aktarım sinyali izin verilen bir frekans bandı üzerinde yayılır. Sinyali modüle etmek için yayılım kodu (spreading code) olarak adlandırılan rasgele bir binary string kullanılmaktadır. Veri bitleri ‘chip’ olarak adlandırılan bir desen içine haritalanır. Bir biti temsil eden chip sayısı yayılım oranını verir. yayılım oranının yüksek olması sinyalin parazite karşı daha dirençli olması anlamına gelmektedir. Düşük yayılım oranı ise kullanıcıya daha büyük bant genişliği sunmaktadır. FFC’ye göre yayılım oranı 10’dan fazla olmalıdır. IEEE 802.11 standardı yayılım oranının 11 olmasını gerektirir. Gönderici ve alıcı aynı yayılım kodu ile eş zamanlı hale getirilmelidir. DSSS sistemlerin geniş alt kanallar kullanması yüzünden konumlandırılacak LAN sayısı bu alt kanalların boyutu ile sınırlıdır. Sinyalin geniş bir bant üzerinden aktarılmasının avantajı ise sistemde kurtarmanın daha hızlı yapılabilmesidir [24].

Frekans atlamalı yayılım spektrumu (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum)

Bu teknik, iletim bandını 1 MHz’ lik küçük alt kanallara ayırmaktadır. Sinyal her kanalda belli zaman aralığında kısa veri paketleri göndererek bir alt kanaldan

diğerine atlamaktadır. Bu atlama hem alıcı hem de gönderici tarafından eş zamanlı yapılmalıdır. Aksi takdirde bilgi kayıpları meydana gelecektir.

Frekans atlama, frekansın sabit olarak kayması nedeniyle parazite karşı daha az hassasiyet göstermektedir. Bu sayede frekans atlamalı sistemlerin kesintiye uğraması zor olup yüksek güvenlik özelliği sağlamaktadır. Frekans atlamalı bir sistemdeki bilgiyi ele geçirmek için tüm bant kontrol edilmelidir. Bu özellik, sistemi güvenlik güçleri ve askeri amaçlar için kullanışlı hale getirmektedir.

Sinyallerin duvar ya da başka engellerden yansiyarak alıcıya farklı zamanlarda ulaşmalarından kaynaklanan bozulma ve karışıklık ‘çoklu yol etkisi’ olarak bilinmektedir. FHSS bu problemi diğer frekanslara atlamak suretiyle çözmektedir. Diğer sistemler ise bozulmayı engellemek için özel algoritmaları kullanmaktadır. Bir diğer bozulma nedeni de Rayleigh sönümü olarak adlandırılan yol uzunluğundaki fark nedeniyle sinyalin değişik yollardan ulaşması ve engeller nedeniyle dalga boyunun ikiye bölünmesidir. Bunun sonucu olarak sinyal tamamen iptal edilmektedir [25].

Tek taşıyıcı modülasyon (single-carrier modulation)

Bu yaklaşımda, taşınacak veri ayrılan frekans bandının merkezine tek bir frekans taşıyıcı sinyal olarak gönderilmektedir. Genellikle analog anahtarlamalı telefon ağlarında tercih edilen bir yöntemdir. Daha yüksek bant genişliği ve yüksek veri oranı gerektiren kablosuz LAN’larda kullanımı ancak güç amplifikatörleri ile mümkün olmaktadır. Bu da maliyet ve güç tüketiminde artışa sebep olduğundan tercih edilmeyen bir yöntemdir [26].

Çoklu taşıyıcı modülasyon (multi-subcarrier modulation)

Temel prensibi, taşınacak yüksek veri oranlı binary sinyali belli sayıdaki daha düşük veri oranına sahip alt kanallara bölmektir. Yöntemin dikey frekans bölmeli çoğullama (Orthogonally Frequency Division Multiplexing – OFDM) olarak da

bilinmektedir. Sinyali pek çok dar banda bölmenin tek bir geniş bant kullanmaya göre avantajları vardır. Tek bir geniş bant kullanımı sinyalin dar bant parazitleri ile daha fazla karışmasına neden olmaktadır.

Her bir alt kanal, ayrılmış olan frekans bandında tek taşıyıcılı modülasyonda olduğu gibi birer alt taşıyıcı sinyalle işlem yapar. Gönderimden önce bağımsız olarak modüle edilmiş alt taşıyıcı sinyaller FFT (Fast Fourier Transform – Hızlı Fourier Dönüşümü) tekniği kullanılarak tek bir bileşke sinyale dönüştürülür. Sinyal alıcıya tek taşıyıcılı modülasyonda olduğu gibi ulaştıktan sonra alıcıda ters FFT yöntemi ile alt taşıyıcı sinyallere yeniden ayrıştırılır. Bu alt sinyaller demodüle edilerek veriler ilk haline getirilir.

3.1.6. Kablosuz ortam fiziksel bileşenleri

Kablosuz ağ sistemlerini anlamak için sisteme dahil olan bileşenler tanınmalıdır. Kablosuz bir ağ; istasyonlar, bu istasyonlara hizmet veren sunucular, haberleşmenin yönetiminden sorumlu erişim noktaları, fiziksel iletişim ortamı ve bu iletişim ortamına veri gönderimini sağlayan anten sistemleri ile standartlardan oluşmaktadır. Ortam, kablolu bilgisayar ağlarının omurgasını oluşturmaktadır. Verinin iletileceği ortam, koaksiyel kablo, çift burgulu kablo, fiber optik kablolardan oluşabilir. Kablosuz ağ sistemlerinde ise iletim ortamı olarak hava kullanılmaktadır.

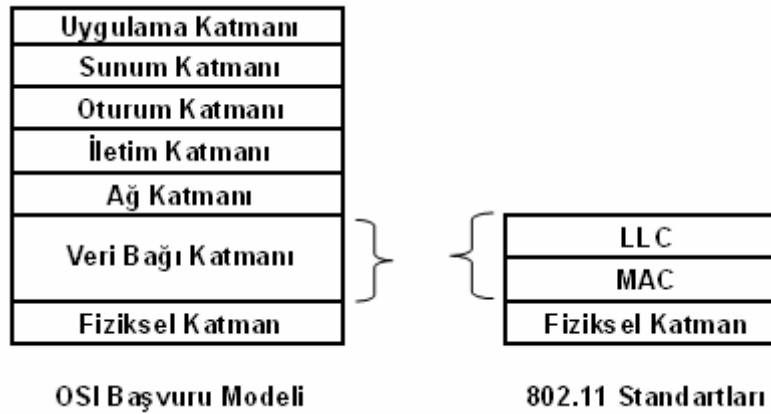
Erişim noktaları, kablosuz ortamda bilgisayarların haberleşmesini sağlayan bağlantı noktasıdır. Aynı zamanda kablolu ortam ile kablosuz ortam arasında geçiş AP'ler sayesinde sağlanmaktadır. Mobil cihazların ağ servislerinden kesintisiz olarak yararlanabilmesi için bir ağda birden fazla AP bulunabilir [26].

Antenler, modüle edilmiş sinyalin iletim ortamı boyunca gönderilmesini sağlayan fiziksel cihazlardır. Anten tipleri gönderim gücü ve kazançta göre farklılık göstermektedir.

İstemciler, kablosuz ortamdan hizmet talebinde bulunan her türlü cihazı kapsamaktadır. Kablosuz istasyon, kablosuz sistemin kullanıcı arabirimini teşkil etmektedir. Örnek olarak kablosuz ağ arabirim kartına sahip diz üstü bilgisayarlar, masaüstü bilgisayarlar, cep bilgisayarları, kablosuz barkod okuyucuları, kablosuz hublar veya kablosuz çevre birimleri verilebilir. Kablosuz bilgisayar ağlarına doğrudan bağlı olmasalar da sunucular, istasyonların çeşitli servislere ulaşmak amacıyla başvuracağı kaynaklardır. Dosya paylaşımı, e-posta hizmetleri, uygulamalara erişim için kablosuz istasyonların ağdaki sunuculara bağlantısı sağlanmalıdır.

3.1.7. Kablosuz bilgisayar ağlarında kullanılan standartlar

OSI başvuru modeline göre üst katman protokolleri, ağ mimarisinden bağımsızdır ve LAN, MAN ve WAN'larda uygulanabilir. Bu nedenle, bir yerel alan ağ protokolleri ilk iki katmanla ilgilidir [23].



Şekil 3.8. OSI başvuru modeline göre IEEE 802.11 katmanları

IEEE 802 standardının ilk katmanı olan Fiziksel Katman, OSI Başvuru Modelinin ilk katmanı olan Fiziksel katmana denk gelmektedir ve aynı fonksiyonları içermektedir. Bunların yanında, gönderim ortamı ve mimari ile ilgili tanımlamaları da içermektedir. Fiziksel katmanın üzerinde, LAN kullanıcılarına servis sağlamaya ilgili işlevleri içeren katman vardır. Bu katman, OSI Başvuru Modelindeki Veri Bağı

(Data-Link) katmanına denk gelmektedir, fakat IEEE 802 Başvuru Modelinde Mantıksal Bağ Kontrol (Logical Link Control - LLC) Katmanı ve Ortama Erişim Kontrol (Medium Access Control - MAC) katmanı olmak üzere 2 ayrı katmana ayrılmıştır (Şekil-3.8).

Çizelge 3.1. IEEE yerel alan ağı standartları

Protokol Adı	Açıklama
802.1	Ağlar ve sistem yönetimi hakkında genel tanımlamalar
802.2	LLC alt katmanını tanımlar
802.3	Ethernet – CSMA/CD yol erişim yönetimi
802.3u	100Base-T
802.3z	Gigabit Ethernet
802.4	Token Bus tanımlaması
802.5	Token Ring Tanımlaması
802.11	Kablosuz LAN
802.13	100VG-anyLAN
802.15.1	2,4 GHz ISM bandında Bluetooth'a dayanarak kablosuz kişisel ağ (PAN)
802.16	Wi-max Geniş alan kablosuz erişim

Kablosuz ağlar ile Ethernet standardı arasında OSI başvuru modeline göre fiziksel katman ve veri bağı katmanı düzeylerinde farklılıklar görülmektedir (Şekil-3.8). Kablosuz ağların çalıştığı fiziksel ortam kablo içermediğinden fiziksel katman kablosuz haberleşme standartlarını ve modülasyon tekniklerini içermektedir.

Veri bağı katmanı ise yine OSI başvuru modelinde olduğu gibi iki alt katmana ayrılmıştır: MAC (Media Access Kontrol- Ortam Erişim Kontrolü) ve LLC (Logical Link Control- Mantıksal Bağlantı Kontrolü). MAC alt katmanı iletişim kanalının nasıl ayrılacağını belirlerken, LLC alt katmanının görevi farklı protokoller arasındaki değişiklikleri ağ katmanına belli etmemektir.

Kablosuz ağları üç ana sınıfta değerlendirmek mümkündür:

1. Sistemler arası bağlantılar ve da kişisel alan ağları (WPAN)
2. Kablosuz yerel alan ağları (Wireless LAN)

3. Kablosuz geniş alan ağları (Wireless WAN)

Bir bilgisayara çeşitli çevre birimlerinin bağlanmasıyla meydana gelen kısa mesafeli kablosuz ağlar , sistemler arası bağlantı olarak adlandırılmaktadır [25].

Kablosuz yerel alan ağları ise her bilgisayarın diğer bilgisayarlarla haberleşebileceği bir kablosuz modemi ya da anten sistemi bulunmaktadır. Bu tür bağlantılar ofis uygulamalarında, özellikle taşınabilen bilgisayarların kullanıldığı ortamlarda Ethernet'in yerini almaktadır. Kablosuz LAN uygulamalarında kullanılan IEEE 802.11 ve HiperLan standartları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Kablosuz geniş alan ağları, daha geniş alanlara yayın yapabilen, kapsama alanı kilometreler ile ifade edilen, yüksek oranlı veri gönderme hızına sahip LMDS ve WATM standartlarını içermektedir [25].

Kablosuz ağ standartları kapsama alanları kısa olanlardan geniş olanlara doğru sıralanarak incelenmiştir.

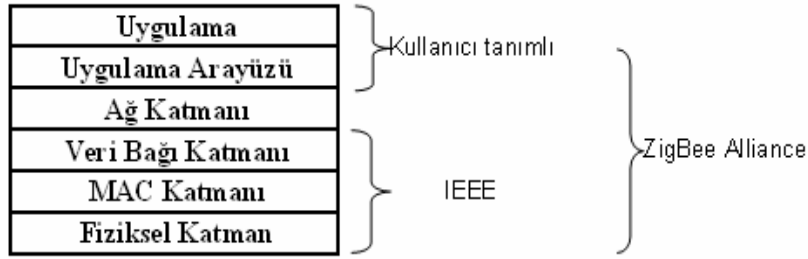
3.2. ZigBee Kablosuz Haberleşme Teknolojisi

ZigBee teknolojisi IEEE 802.15.4 ve ZigBee Alliance gruplarının ortak bir çalışması olarak ortaya çıkmıştır. IEEE 802.15.4, IEEE'nin düşük veri iletim hızlı kablosuz kişisel alan ağı (Personal Area Network, PAN) standardını geliştirmektedir. Bu standart, ZigBee protokol yığınının Fiziksel ve Veri Bağı Kontrol katmanlarını tanımlamaktadır [27].

Kablosuz uygulamalarda veri iletim oranı yükseldikçe, uygulamanın karmaşıklığını ve güç tüketimini artmaktadır. Pek çok alanda duyulan düşük güç tüketimi ve düşük maliyet gereksinimi düşük veri iletim oranlı kablosuz kontrole ve algılayıcı tabanlı bilgisayar ağlarına ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur. Bu tür kablosuz uygulamalar için IEEE 802.15.4 görev grubu tarafından uzun pil ömrüne sahip, basit, düşük veri iletim oranlı ve ISM bandında çalışabilecek bir çözüm geliştirilmiştir [28,29].

3.2.1. ZigBee protokol mimarisi

IEEE 802.15.4 standardı için potansiyel uygulamalar: Ev otomasyonu, kablosuz algılayıcılar, etkileşimli oyuncaklar, uzaktan kumandalar ve özel amaçlı kontrol sistemleri olarak özetlenebilir. Çalışma grubu, bu uygulamalar için fiziksel ve MAC katmanını kapsayan özellikleri standardize etmiştir. Şekil-3.9, ZigBee protokolü için tanımlanan katmanları göstermektedir [27].

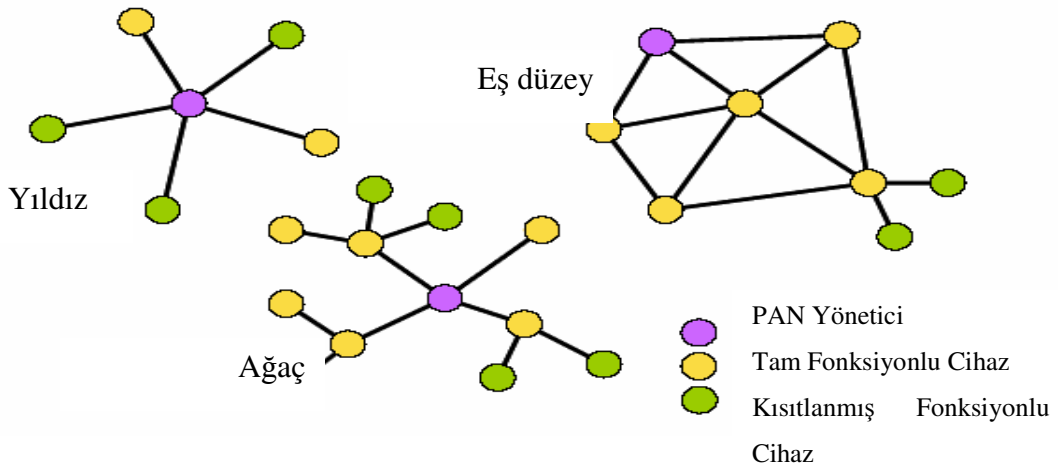


Şekil 3.9. ZigBee katmanları

Ağ Güvenlik katmanı ve Uygulama çerçeve katmanları ZigBee Alliance tarafından belirlenmiştir. ZigBee, IEEE 802.15 standardı ile tanımlanan fiziksel katman ve veri bağı katmanı özelliklerini kullanmaktadır. Ağ katmanı bir ağa giriş yapma, ağdan ayrılma, yeni bir ağ oluşturma, ağa yeni bir cihaz dahil edilmesi, ağ ile eş uyumunun sağlanması, adresleme, güvenlik ve yönlendirme protokollerini kapsamaktadır [28].

3.2.2. ZigBee ağ topolojileri

ZigBee, IEEE 802.15.4 tabanlı sistemler için ağ, güvenlik ve uygulama katmanlarını tanımlamaktadır. ZigBee'nin ağ katmanı üç farklı ağ topolojisini desteklemektedir. Bunlar: Yıldız (Star), Eş düzey(Mesh) ve bunların birlikte kullanımından meydana gelen Ağaç (Cluster Tree) yerleşimleridir ve Şekil 3.10' da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. ZigBee ağ topolojileri

ZigBee’ de kullanılan farklı topolojilerin çeşitli avantajları vardır. Yıldız topolojisi pil ömrünün verimli kullanımı sağlarken, eş düzey yani peer-to-peer topolojisinde bir düğüme (terminale) ulaşmak için birden fazla yol sunmaktadır. Ağaç topolojisi ise hem yıldız hem de eş düzey topolojilerinin avantajlarını bir arada bulundurmaktadır.

ZigBEE’de en düşük sistem maliyetini sağlamak için iki çeşit fiziksel cihaz tipi tanımlanmıştır [28].

FFD (Full Function Device - Tam Fonksiyonlu Cihaz) : Her tür topolojide çalışabilir. Ağ koordinatörü olabilir. İstedığı her cihaz ile iletişim kurabilir. (PAN koordinatör: Ağın yönetiminden sorumlu cihazdır.)

RFD (Reduced function Device – Kısıtlanmış Fonksiyonlu Cihaz) : Ağ koordinatörü olması mümkün değildir. Sadece ağ koordinatörü ile iletişim kurma yetkisi vardır.

3.2.3. ZigBee çerçeve yapısı

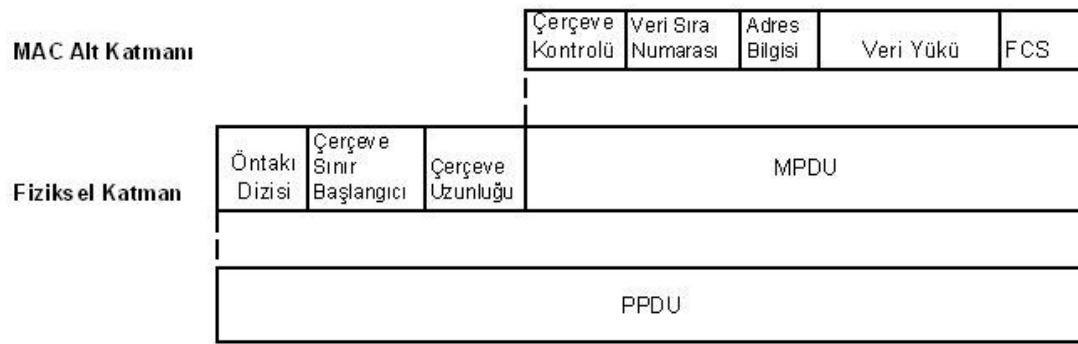
Çerçeve yapısı olabildiğince basit tutulmaya çalışılmıştır. Başarı ile geçilen her katman veri paketine kendi başlığını eklemektedir. ZigBee çerçeve yapısı Şekil 3.11’de gösterilmiştir. IEEE 802.15.4 MAC katmanını 4 farklı çerçeve yapısı tanımlar:

İşaret çerçevesi: Koordinatör tarafından trafiği yönlendirecek işaretleri yollamak amacıyla kullanılır.

Veri çerçevesi: Tüm veri transferleri için kullanılır.

Onay çerçevesi: Başarılı çerçeve transferlerini bildirmek için kullanılır.

MAC komut çerçevesi: Diğer düğümlerin varlığını kontrol etmek için kullanılır.



Şekil 3.11. ZigBee veri çerçevesi

3.3. Bluetooth Kablosuz Haberleşme Teknolojisi

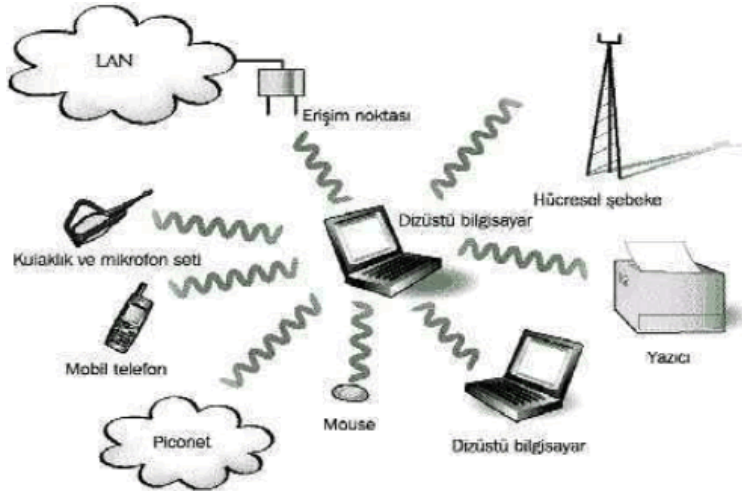
Bluetooth™; Ericsson, Nokia, IBM, Intel ve Toshiba gibi firmaların bir araya gelerek kurmuş olduğu Bluetooth SIG (Special Interest Group – Özel ilgi grubu) tarafından IrDA ve kablolu bağlantılara alternatif olarak geliştirilen kısa mesafede yüksek hızda veri aktarımı sağlayan güvenli bir kablosuz iletişim yöntemidir.

1994 yılında Ericsson, cep telefonları ve cep telefonu aksesuarları arasında kablosuz iletişim kurabilecek düşük güç tüketimli, düşük maliyetli bir radyo arabirimi üzerinde araştırma yapmaya karar vermiştir. Benzer şekilde bir cep telefonu ve bir taşınabilir bilgisayar arasında kablosuz iletişim kurmak için de her iki cihaza küçük bir radyo alıcısı yerleştirilmesiyle Bluetooth teknolojisinin gerçek potansiyeli daha net bir şekilde görülebilmektedir. Bluetooth uygulamaları; mevcut veri ağlarına uzanan evrensel bir köprü, çevre birimleri için bir arabirim ve küçük çaplı cihaz ağları oluşturmak için bir araç olarak da kullanılabilir. SIG'nin başlangıçtaki görevi,

teknolojinin sadece tek bir şirket tarafından sahiplenilmesini önlemek amacıyla, kısa menzilli radyo iletişimi sahasında yaşanan teknik gelişmeleri izlemek ve açık, küresel bir standardın oluşmasını sağlamaktır. Yapılan çalışmaların neticesinde 1999 Temmuz ayında ilk Bluetooth standardı çıkarılmıştır. SIG'nin önemli çalışmaları arasında bu spesifikasyonun geliştirilmesi yer almaktadır. Kuruluşun önde gelen diğer görevleri ise birlikte çalışabilirlik gereksinimleri, frekans bandı harmonizasyonu ve teknolojinin kitlelere tanıtılmasıdır.

Bluetooth ile diğer çözümler arasındaki en belirgin fark, Bluetooth ile birden çok cihazın birbirleri ile aynı anda iletişim kurabilmesidir. Bluetooth sisteminde radyo bağlantısı ile bir çok aracı bağlamak mümkün olmaktadır. Bluetooth 2,45 GHz ISM bandını kullanmaktadır. Parazitleri büyük ölçüde önleyebilmek için FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) yöntemine başvurulmaktadır. Yöntemde 2,402 GHz ile 2,480 GHz frekans aralığı 1 MHz'lik aralıklarla 79 kanala bölünmektedir. Bölünme sonucu, saniyede 1600 frekans atlama gerçekleşmekte, bu sayede de Bluetooth bağlantılar diğerlerine oranla yüksek kararlılık göstermektedir.

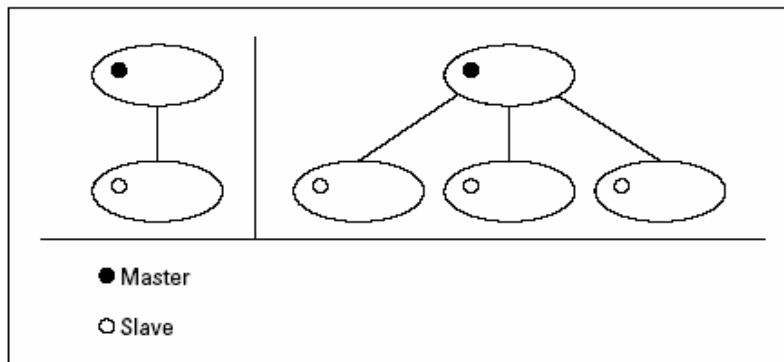
Bluetooth ile birbirinden ayrı çalışan ve iletişim kanalları olarak kullanılan masaüstü ve taşınabilir bilgisayarlar, mobil telefon, fotoğraf makinesi, video kamera gibi çeşitli cihazlar, belirli bir frekans üzerinden birbirleriyle kablosuz haberleştirilerek, aralarında bilgilerin eş zamanlı gönderimi sağlanabilmektedir. Şekil 3.12' de çeşitli Bluetooth uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Bluetooth uygulamaları

3.3.2. Bluetooth'da kullanılan topolojiler

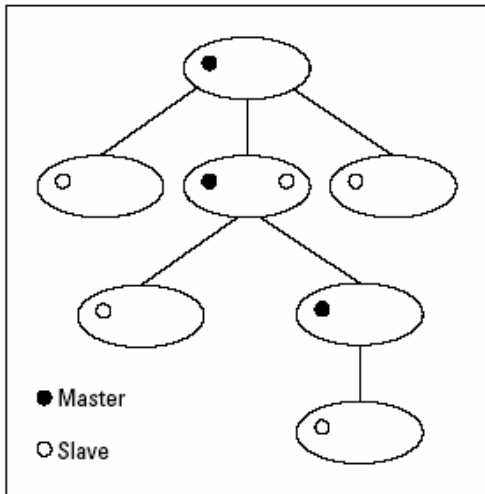
Bluetooth araçları Piconet ve Scatternet adı verilen ağlar içerisinde yer alırlar ve haberleşirler. Bluetooth ile hem noktadan noktaya hem de tek noktadan çok noktaya kurulabilmektedir. Karşılıklı olarak yarıçapı içinde olan iki araç birbirleri ile bağlantı kurabilirler. Birbirleri ile haberleşen en az iki, en çok sekiz adet Bluetooth elemanının yerel olarak birbirine bağlanması ile oluşan en küçük ağ birimi Piconet olarak adlandırılmaktadır. Bir Piconet'te bulunan araçlardan birisi yönetici (master) rolü üstlenir. Yönetici araç, yarıçapı içindeki bütün diğer araçların köleler (slave) listesini tutar. Her Piconet'de sadece bir yönetici bulunur.



Şekil 3.13. Piconet

Köleler ise aktif olup olmadıklarına göre sınıflandırılabilirler. Aktif bir köle, o anda yönetici ile veri aktarımı yapmakta demektir. Bir Piconet'de 255 pasif, 7 tane de aktif köle bulunabilir. Bir köle, sadece yönetici ile iletişim kurabilir.

Kesişen alanları olan Piconet'ler grubuna Scatternet adı verilmektedir (Şekil 3.14). Örneğin bir yönetici tarafından görülen bir köle, diğer kölelerin uzağında bulunduğu için onlar tarafından görülemeyebilir. Bu durumda bu köle ile yönetici ayrı bir Piconet sayılır. Bu iki Piconet'in frekans atlama sıralamalarının farklı olması sayesinde yönetici her iki Piconetde bulunan aktif köleler ile sorunsuz haberleşebilir. Birden fazla Piconetde bulunan bir Bluetooth aracı, aynı anda ancak birisinde aktif durumda olabilir. Aynı zamanda, bir Piconetde yönetici olan bir araç, diğerinde köle de olabilmektedir.



Şekil 3.14. Scatternet

3.3.3. Bluetooth protokol kümesi

Bluetooth protokol yığını ve karşılık gelen OSI başvuru modeli Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Fiziksel katman, iletişim ortamına elektriksel arayüz teşkil eden modülasyon ve kanal kodlamasını içeren radyo ve temel banttan oluşmaktadır. Veri

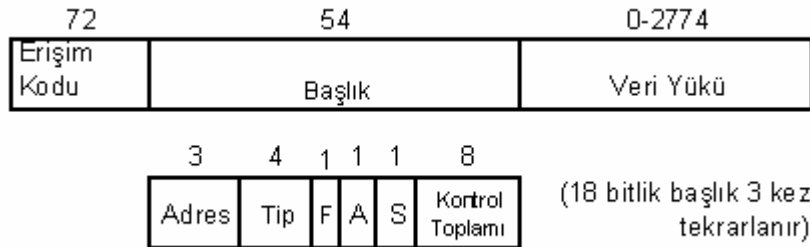
bağı katmanı, hata kontrolü ve düzeltmesi ve bağ kontrolü fonksiyonunu içeren temel bandın kontrolünü sağlamaktadır. Veri bağı katmanı belirli bir bağlantı için gönderim, çerçeveleme ve hata denetimine cevap verebilir durumdadır [30].



Şekil 3.15. Bluetooth protokol kümesi ve OSI referans modeli

3.3.5. Bluetooth çerçeve yapısı

Bluetooth standardında kullanılan çeşitli çerçeve biçimleri vardır. Bunlardan en önemlisi Şekil-3.16’da gösterilmiştir. Çerçeve yönetici cihazın adresini tanımlayan 72 bitlik erişim kodu ile başlar. Böylece birden fazla yönetici cihazın kapsama alanında bulunan köleler verinin kendileri için olup olmadığını anlarlar. Ardından veri alanı gelir. Veri alanı 5 yuvalı gönderim için 2744 bit, tek bir zaman yuvası için 240 bitten oluşur.



Şekil 3.16. Bluetooth çerçeve yapısı

MAC başlığı adres, tip, F,A, S ve kontrol toplamı alanlarından oluşmaktadır. 3 bitlik adres çerçevenin aktif olan 8 cihazdan hangisine gönderilmek istendiğini belirtir. 64 bitlik tip alanı veri alanında kullanılan hata düzeltme türünü ve çerçevenin kaç adet slottan oluştuğu bilgisini içerir. F(Flow - akış) biti, slave tarafından bufferının dolu olduğunu ve daha fazla veri alamayacağını belirtmek için kullanılır. A(Acknowledgement-bildirim) biti, çerçeveye ACK ile geri bildirim verilip verilmeyeceğini belirtir. S (Sequence-Sıra) biti, gönderim tekrarlarını saptayabilmek için çerçeveyi numaralandırmak amacıyla kullanılır. 18 bitlik Mac başlığı 3 kez ard arda tekrarlanır. Alıcı tarafta basit bir devre bu üç kopyayı kontrol eder. Eğer aynı ise verinin doğru iletilmiş kabul edilir.

3.4. IEEE 802.11 Standartları

Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN) için geliştirilen standart IEEE 802.11 standardıdır. Her bir standart için ayrı bir çalışma grubu vardır. Ayrıca bu çalışma grupları da çalışma alanlarına (örneğin fiziksel katman, MAC katmanı, QoS, vb.) göre alt gruplara ayrılmıştır. Çizelge 3.2’de IEEE 802.11 çalışma gruplarının geliştirdikleri standartlar görülmektedir[1].

Çizelge 3.2. 802.11 standartları

Standart	Açıklama
802.11	2,4 GHz ISM bandından 2 Mbps’e kadar hız/band genişliği
802.11a	5 GHz UNII bandında 54 Mbps’e kadar hız/band genişliği
802.11b	2,4 GHz ISM bandından 11 Mbps’e kadar hız/band genişliği
802.11g	2,4 GHz ‘de 802.11b’nin yüksek hızlar için (54 Mbps) genişletilmiş hali
802.11i	802.11 MAC için artırılmış güvenlik ve doğrulama mekanizması
802.11e	802.11 MAC katmanının QoS’ini arttırmak ve yönetmek için
802.11f	AP’lerarası iletişimin kotarılması(IAPP) ve farklı üreticilerin AP’lerinin karşılıklı çalışmaları için
802.11h	5 Ghz’de 802.11 MAC ve 802.11a için yüksek hızlı fiziksel katman
802.11n	İletişim hızını 100Mbps’nin üzerine çıkarmak için Fiziksel ve MAC katmanı düzenlemeleri

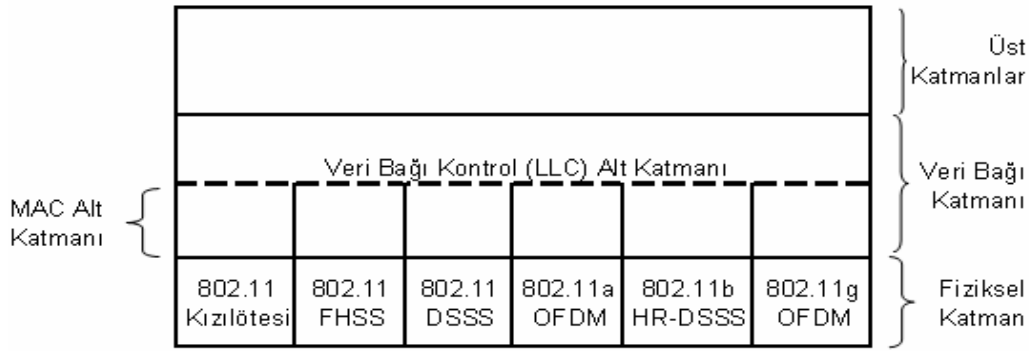
Geliştirilen ilk standart 1999 yılında yayınlanan IEEE 802.11 standardıdır. 2.4 GHz band genişliğinde 2Mbps veri hızını desteklemektedir. FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) ve DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) modülasyon tekniklerinin ikisini de desteklemektedir. Yukarıda belirtildiği gibi, IEEE 802.11 çalışma grupları, bu standardı geliştirmekte ve yeni standartlar “a” dan “i” ye kadar yeniden adlandırılarak yayınlanmaktadır. IEEE 802.11’den sonra çıkarılan ilk standart olan IEEE 802.11b standardı, sadece DSSS modülasyon tekniğini kullanarak 11Mbps seviyesinde veri hızını sağlamıştır. IEEE 802.11b’den sonra geliştirilen IEEE 802.11a standardında ise, 5GHz band genişliğinde OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) modülasyon yöntemini kullanarak 54 Mbps veri hızı sağlanmıştır [25].

3.4.1. 802.11 protokol kümesi

Ethernet’ i içeren 802.11 standartlarının hepsinde yapısal bir benzerlik vardır. Şekil-3.17’de 802.11 kümesinin kısımları verilmiştir. Fiziksel katman, OSI fiziksel katmanı ile aynıdır. Ancak veri bağı katmanı tüm 802 protokollerinde iki ya da daha fazla alt katmana ayrılmıştır. 802.11 protokolünde MAC katmanı kanalın nasıl ayrılacağını ve sonraki transferin kimin tarafından yapılacağını belirler. Üstteki LLC katmanının görevi farklı protokoller arasındaki değişiklikleri ağ katmanına belli etmemektir [31].

1997 de tanıtılan 802.11 standardı fiziksel katmanda üç ayrı iletim tekniği tanımlar. Kızılötesi (infrared) metodu, çoğunlukla bir TV uzaktan kumandasının kullandığı teknolojiyi kullanır. Diğer ikisi ise FHSS ve DSSS olarak adlandırılan ve kısa alan radyo frekanslarının kullanan tekniklerdir. Her ikisi de lisans gerektirmeyen 2.4 GHz’ lik ISM bandını kullanır. Radyo kontrollü diğer kontrol cihazları da bu frekansı kullanmaktadır. Dolayısıyla kontrol cihazları ile kablosuz ağ cihazları arasında etkileşim meydana gelebilir. 1999 yılında daha yüksek bant genişliğine ulaşmak için iki yeni teknik tanıtılmıştır. Bunlar: OFDM ve HR-DSSS’ dir. Sırasıyla 54 Mbps ve 11 Mbps bant genişliğine kadar işlem yapabilmektedir. 2001 yılında ikinci bir

OFDM modülasyon tekniği tanıtılmıştır, ancak bu modülasyon birincisinden farklı bir frekans bandında çalışmaktadır [25].



Şekil 3.17. 802.11 protokol kümesinin bölümleri

802.11 fiziksel katmanı

İzin verilen beş transfer tekniği de MAC çerçevesinin bir istasyondan diğerine gönderilmesini sağlamaktadır. Birbirlerinden farkları kullandıkları teknolojiler ve ulaşabildikleri hızlardır.

Kızılötesi opsiyonu 0,85 ya da 0,95 mikronda yayılmış transfer kullanır. Desteklenen iki hız vardır: 1 Mbps ve 2 Mbps. 1 Mbps hızda her 4 bitlik grup için 16 bitlik 15 adet 0 ve 1 adet 1' den oluşan kod kelimesi (Gray kodu) kodlama işlemi için kullanılır. Bu kodun zaman eş uyumunda çok düşük bir hata verme özelliği vardır. 2 Mbps hızda kod çözme işlemi 2 bit alır ve 4 bitlik kod kelimesi oluşturur. Bu kelime tek 1' den oluşur. Örneğin; 0001, 0010, 0100 ya da 1000. Kızılötesi sinyaller duvarlardan geçemez, böylelikle farklı odalardaki hücreler birbirinden izole edilmiş olur. Buna rağmen, düşük bant genişliği yüzünden sık kullanılan bir seçenek değildir [15].

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) : Her biri 1 MHz genişliğinde ve 2,4 GHz ISM bandının düşük sınırından başlayan 79 adet kanal vardır. Atlanacak frekansın sırasını üreten bir rasgele sayı üretici kullanılır. Bütün istasyonlar aynı sayı

üreticiden bilgi aldığı sürece zamana göre eş uyumlu çalışacak ve eş zamanlı olarak aynı frekansa atlama yapacaklardır. Her frekansta harcanan zaman dilimi yaşam zamanı olarak adlandırılır. Bu ayarlanabilir bir büyüklüktür, ancak 400 milisaniyeden az olmamalıdır. FHSS'nin rasgele sıra belirleme yöntemi ISM bandında yer ayırmak için uygun bir yoldur. Bu aynı zamandan güvenlik sağlar. Bu sayede atlama sonrasında ya da yaşam zamanını bilmeyen bir istasyon gönderimi dinleyemez. Daha uzun mesafelerde çoklu yol sönümü (multipath fading) bir ipucu olabilir ve FHSS buna karşı iyi direnç gösterir. Bu bağlı olarak bu teknik radyo parazitleri ile karışmaz. Bu sayede binalar arası bağlantıda popüler hale gelmiştir. Ana dezavantajı ise düşük bant genişliğidir [25].

Üçüncü modülasyon metodu, DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 1 ya da 2 Mbps hız ile sınırlıdır. CDMA sisteminin kullandığı şema ile bazı benzerlikleri bulunmaktadır. Her bit, Barker dizisi olarak adlandırılan 11 çipi kullanarak transfer edilir. 1 Mbaud'da faz kaydırma modülasyonunu kullanır. 1 Mbps hızda çalışırken baud başına 2 bit transfer eder.

Yüksek hızlı kablosuz LAN'ların ilki OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) yöntemini kullanarak daha geniş (5 GHz'lik) ISM bandında 54 Mbps hızına kadar ulaşabilen 802.11 a standardıdır. Aktarımların aynı zamanda birden fazla frekansta olmasından, bu teknik spread spektrum (yayıma tayfının) bir formu olarak düşünülmüştür. Ancak bu, CDMA ve FHSS'nin her ikisinden de farklıdır. Sinyali pek çok dar banda bölmenin, tek bir geniş bant kullanmaya göre bazı anahtar avantajları vardır. Tek bir geniş bant kullanımı sinyalin dar bant parazitleri ile daha fazla karışmasına neden olmaktadır ve komşu olmayan bantların kullanılma olasılığı vardır.

HR-DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum), 2.4 GHz'lik bantta 11 Mbps hıza ulaşmak için saniyede 11 milyon çip kullanan bir tekniktir. Bu teknik 802.11 b adı ile standartlaştırılmıştır ancak 802.11 a'nın bir devamı değildir. Aslında bu standart 802.11a'dan önce onaylanmış ve piyasaya sürülmüştür. 802.11b tarafından desteklenen veri oranları: 1, 2, 5,5 ve 11 Mbps'dir. 1 ve 2 Mbps'lik veri

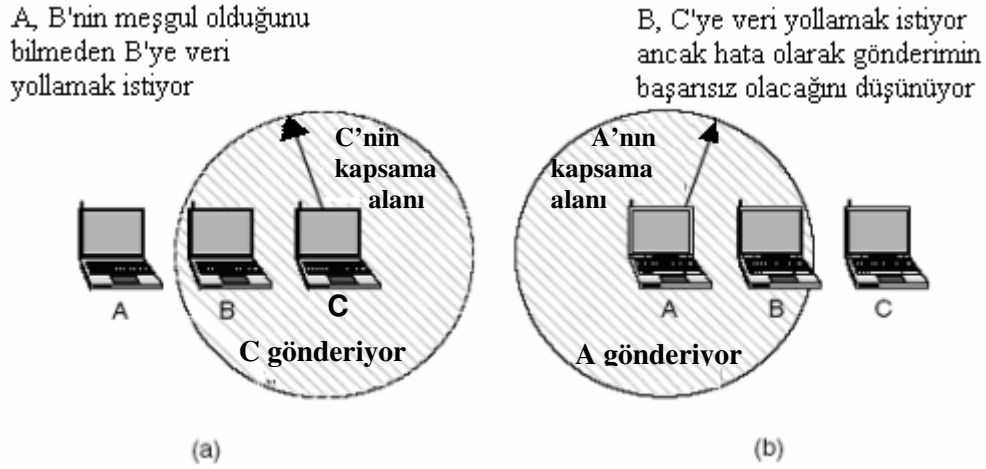
oranları 1 Mbaud'da, baud başına 1 ve 2 bit ile faz kaydırma modülasyonu ile çalışmaktadır. Bu sayede DSSS ile uyumluluğu sağlanmıştır.

5,5 ve 11 Mbps'lık oranlar 1,375 Mbaud'da baud başına 4 ve 8 bit ile Walsh/Hadamard kodlarını kullanarak çalışır. Varolan yük ve gürültü şartlarında mümkün olan en iyi hıza ulaşmak için veri oranı işlem sırasında dinamik olarak uyarlanmalıdır. Uygulamada, 802.11 b' nin işlem hızı yaklaşık olarak her zaman 11 Mbps' dır. 802.11 b, 802.11 a' dan daha yavaş olmasına rağmen erişim sahası 7 kat daha geniştir ve bu bazı durumlarda büyük önem taşır.

802.11b' nin genişletilmiş uyarlaması olarak IEEE tarafından Kasım 2001'de 802.11g onaylanmıştır. Bu standart 802.11a'nın OFDM modülasyon metodunu kullanmakta ancak 802.11b gibi 2,4 GHz ISM bandında işlem yapmaktadır. Teorik olarak 54 Mbps hız ile çalışabilmektedir.

802.11 MAC alt katmanı protokolü

802.11 MAC alt katman protokolü kablolu bir sisteminki ile karşılaştırıldığında kablosuz çevrenin doğal karmaşıklığı nedeni ile Ethernet'ten oldukça farklıdır. Ethernet ile, bir istasyon sadece hat boşalana kadar bekler ve ardından verisini gönderir. İlk 64 byte içinde bir geri bildirim almazsa çerçeve doğru şekilde teslim edilmiş demektir. Kablosuz iletişimde bu durum tutarlılık göstermez [25].



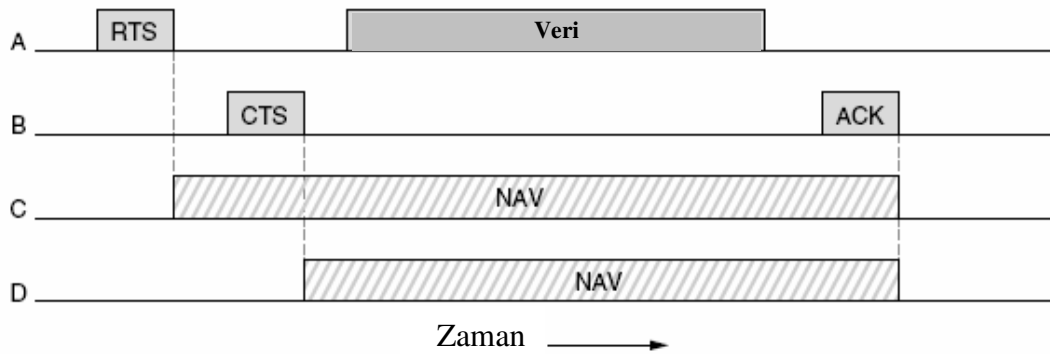
Şekil 3.18. (a) Gizli istasyon sorunu (b) Açığa çıkmış istasyon sorunu

Bütün istasyonlar birbirinin radyo alanında bulunmadığından hücrenin bir bölümünde devam eden aktarımlar, hücrede bulunan başka bir yerde alınamayabilir. Şekil 3.18' deki örnekte C istasyonu B istasyonuna aktarımda bulunuyor. Eğer A, kanalı dinlerse hiç bir şey duyamayacak ve yanlışlıkla aktarımı sonlandıracak, B' ye aktarımda bulunmaya başlayabilecektir. Buna ek olarak tam tersi açığa çıkmış istasyon problemidir. Burada B, C' ye veri göndermek ister ve kanalı dinler. Bir aktarım duyduğundan C' ye gönderimde bulunmaz halbuki o anda A istasyonu D gibi bir başka istasyona da gönderimde bulunuyor olabilir. Buna ek olarak, çoğu radyo, tek bir frekans üzerinde hem gönderim hem de alım yapamaz. Bu problemlerin bir sonucu olarak, 802.11 Ethernet' in kullandığı CSMA/CD protokolünü kullanmaz. Bunun yerine iki farklı işlem modunu destekler. Birincisi, DCF (Distributed Coordination Function)'dır. Herhangi bir merkezi kontrol kullanmaz ve bu yönüyle Ethernet'e benzer. Diğeri ise PCF'dir (Point Coordination Function). Bu modda, baz istasyonu bulunduğu hücredeki tüm eylemleri denetlemektedir. Tüm uygulamalar DCF'yi desteklemelidir. Ancak PCF seçimlidir.

DCF çalıştırıldığında, 802.11 CSMA/CA (CSMA with Collision Avoidance) adlı bir protokol kullanır. Bu protokolda, hem fiziksel kanal algılama hem de asıl kanal algılama kullanılır. Bu iki işlem modu CMA/CA tarafından desteklenir. İlk methoda bir istasyon aktarımda bulunmak istediği zaman kanalı algılar. Eğer kanal boşsa

aktarıma başlar. Aktarım esnasında kanalı algılamaz ancak giriş çerçevesini yayınlar. Eğer kanal meşgulse, gönderici kanalın boşalmasını bekler ve bundan sonra aktarıma başlar. Eğer çarpışma meydana gelirse çarpışan istasyonlar rasgele bir zaman dilimi beklerler (Ethernet binary üssel geri dönüş algoritmasını kullanarak) ve yeniden dener.

CSMA/CA protokolünün diğer modu MACAW tabanlıdır ve sanal kanal algılama metodunu kullanır (Şekil 3.19). Bu örnekte A, B' ye gönderimde bulunmak istiyor. C de A'nın kapsama alanında bulunan bir istasyondur. Aynı zamanda B'nin de kapsama alanındadır. D ise B' nin kapsama alanında ancak A'nın kapsama alanında bulunmayan bir istasyondur.



Şekil 3.19. Kanal kullanımı ile ilgili örnek

Protokol A, B'ye veri göndermeye karar verdiğinde başlar. A ilk olarak B'ye gönderimde bulunmak için izin istemek üzere bir RTS çerçevesi gönderir. B bu isteği aldığı anda, hangi durumlarda cevap olarak CTS çerçevesini göndermeye izin verip verilmeyeceğine karar verebilir. CTS'nin alınması üzerine A veri çerçevesini gönderir ve bir ACK zamanlayıcı başlatır. Veri çerçevesi doğru ve tam olarak alınırsa B istasyonu alışverişi sonlandırmak için bir ACK çerçevesi ile karşılık verir. eğer A'nın ACK zamanı, ACK çerçevesinin geri dönmesinden önce sona ererse bütün protokol baştan itibaren tekrarlanır [25].

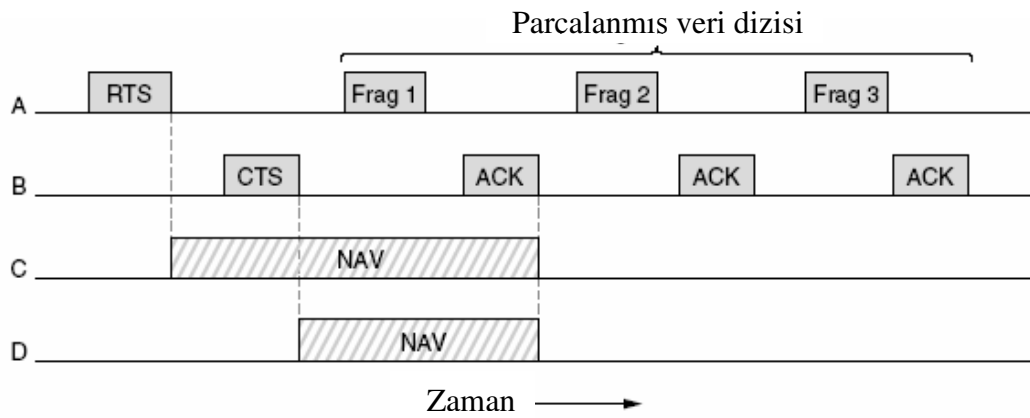
Bu veri alışverişi C ve D noktaları açısından incelenecek olursa; C istasyonu A'nın kapsama alanındadır, bu yüzden RTS çerçevesini alabilir. Eğer alırsa yakın bir zamanda kendisine veri gönderileceği sonucunu çıkarır, dolayısıyla alışveriş tamamlanana kadar tüm gönderim işlemlerinden vazgeçer. RTS isteğinden elde ettiği bilgiden işlemin ne kadar süreceğini anlar ve kanalın kendisi için meşgul olduğunu bilir ve bu süre içinde veri gönderimi için teşebbüste bulunmaz ve Şekil 3.19'da görüldüğü gibi dahili NAV (Network Allocation Vector) sinyali yayınlarlar. D noktası ise RTS'yi duyamaz, ancak CTS'yi duyar. Böylece o da kendisi için NAV sinyali gönderir. NAV sinyalleri gönderilmeyen sinyallerdir, sadece bir süre gönderimde bulunulmaması için dahili hatırlatıcılardır [25].

Kablolu ağların tersine kablosuz ağlar ISM bantlarının diğer cihazlar tarafından da kullanıldığından gürültülüdür ve güvenilirliği düşüktür. Sonuç olarak çerçevenin başarılı olarak hedefine ulaşması çerçeve uzunluğunun kısaltılmasıyla sağlanabilir. Eğer herhangi bir bitin hatalı olma olasılığı p ise, n bit uzunluğundaki bir çerçevenin hatasız varma olasılığı $(1-p)^n$ 'dir. Örneğin $p=10^{-4}$ için bir tam Ethernet çerçevesinin (12144 bit) doğru olarak alınma olasılığı %30'dan azdır. Eğer $p=10^{-5}$ ise, çerçevenin $1/9$ 'u hasar görecektir. $p=10^{-6}$ olsa bile, çerçevelerin %1'den fazlası hasar görür. Bu da saniyede bir düzine bitin hatalı ulaşması demektir. Özet olarak eğer çerçeve çok uzunsa hasar görmeden hedefe ulaşma şansı çok azdır ve muhtemelen yeniden gönderilmesi gerekecektir.

Kanalların gürültülü olma problemini çözmek için 802.11 protokolü çerçevelerin her biri kendi kontrol bitini barındıran küçük parçalara bölünmesine izin vermektedir. Bu parçalar bağımsız olarak numaralanır ve dur-bekle (stop-wait) protokolü kullanılarak tanınır (örneğin gönderici k parçası için tanınma-ACK sinyalini almadan $k+1$ parçasını gönderemez).

Bir defaya mahsus olarak RTS ve CTS kullanarak kanal ele geçirilir. Bir sütunda pek çok parça yollanabilir. Şekil 3.20'de gösterildiği gibi parçaların sırası parçalanmış veri dizisi olarak adlandırılır.

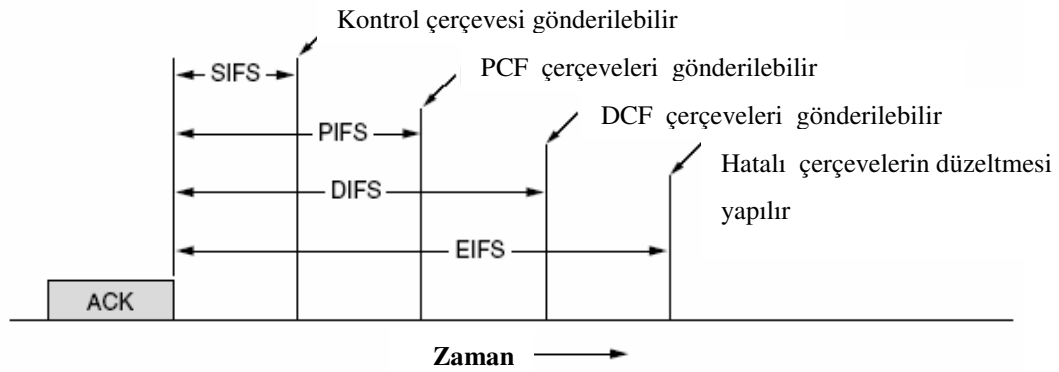
Bozulmalarda tam çerçevelerden ziyade parçaların yeniden gönderilmesiyle işlem hacmi artar. Parça boyutu standart olarak sabitlenmemiştir. Ancak her hücre için bir parametredir ve baz istasyonu tarafından ayarlanabilir. NAV mekanizması diğer istasyonlardan sadece ACK bilgisi gelen kadar sessiz kalmasını sağlar. Tüm parçaların karışmadan gönderilebilmesi için başka bir mekanizma kullanılır. Tüm bunlar 802.11 protokolünün DCF modunda uygulanır. Bu moda merkezi kontrol yoktur. İstasyonlar Ethernet'te olduğu gibi gönderimde bulunmak için birbirleriyle yarışır. Diğer moda ise baz istasyonu diğer istasyonlar arasında oylama yapar gönderilecek verilerin olup olmadığını sorar. PCF modunda gönderim sırası tamamen kontrol edildiğinden çarpışma oluşmaz.



Şekil 3.20. PCF modu kanal kullanım örneği

802.11 standardı gönderim sırasının oluşmasında kullanılacak oylama mekanizmasını tanımlar ancak bunun frekansı, sırası ya da istasyonlar eşit servisler alma ihtiyacında olduğunda ne yapılacağını belirtmez. Baz istasyonu için temel mekanizma, periyodik olarak (saniyede 10 ile 100 arası) işaret çerçevesi yayınlamaktadır. İşaret çerçevesi, atlama sıraları ve yaşam süreleri (FHSS için), eş zamanlama bilgileri gibi parametreleri içerir. Aynı zamanda yeni istasyonların oylama servisine katılmaları için davette bulunur. Bir istasyon oylama servisi için bir kez katılımda bulunduğu anda, QoS garantisi verilmesini de mümkün kılan , bant genişliğinin bir bölümünü etkin olarak kullanmayı kesin oranda garanti eder.

Bir hücrede DCF ve PCF aynı anda bulunabilir. İlk anda merkezi kontrol ve dağıtık kontrol ile aynı zamanda işlem yapmak imkansız görünebilir. Ancak 802.11 bunu mümkün kılmaktadır. Bunu zaman aralıklarını dikkatli tanımlayarak sağlayabilmektedir. Bir çerçeve gönderildikten sonra başka bir istasyon çerçeve göndermeden önce belli bir zaman aralığı olmalıdır. Her biri özel amaçlar için kullanılmak üzere dört farklı zaman aralığı tanımlanmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. 802.11' de çerçeveler arası zaman aralıkları

En kısa aralık SIFS (Short InterFrame Spacing), çerçeveler arası kısa boşluklandırmadır. Tek bir seferde gidebilecek diyalogların ilk olarak gitmesine izin vermek için kullanılır. Bunlar: Alıcının RTS' ye cevap olarak CTS göndermesi, alıcının bir parça ya da çerçevenin tamamı için ACK göndermesi, sıralı parçalar gönderen bir istasyonun tekrar bir RTS gönderilmesini gerektirmeyen bir sonraki parçayı göndermesi gibi tekli diyaloglardır.

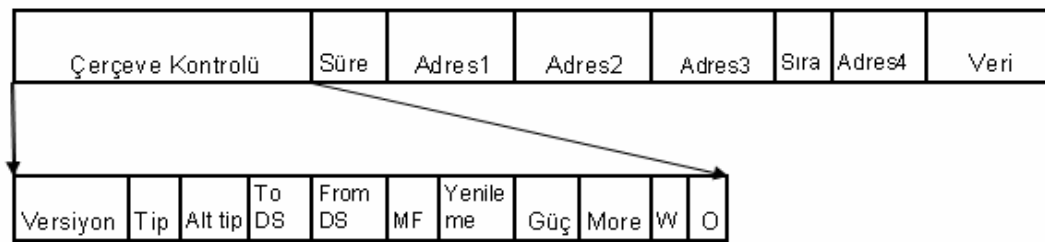
Bir SIFS aralığından sonra yanıt vermek için adlandırılmış bir istasyon her zaman vardır. Eğer bu şansı kullanmada başarısız olursa ve PIFS (PCF InterFrame Spacing) zamanı geçerse, baz istasyonu oylama çerçevesi ya da işaret çerçevesi gönderebilir. Bu mekanizma, veri çerçevesi ya da bölünmüş sıralı parçalar şeklinde veri göndermekte olan bir istasyonun çerçevesini bitirmesine izin verir. Başka istasyonların araya girmesini engeller ancak baz istasyonu önceki göndericinin işi bittiğinde istekte bulunan diğer kullanıcılar ile yarışmasına gerek kalmadan kanalı ele geçirebilir.

Eğer baz istasyonu devreye girmezse DIFS (DCF InterFrame Spacing) zamanı geçer. Bu zaman süresince her istasyon yeni bir çerçeve göndermek üzere kanalı ele geçirmek için hamlede bulunabilir. Genel çekişme kuralları uygulanır ve çarpışma meydana gelirse ikili üssel geri dönüş gerekebilir.

Son zaman aralığı ise EIFS (Extended InterFrame Spacing)' dir. Sadece bozuk ya da bilinmeyen bir çerçeve almış olan biri istasyonun bunu rapor etmesi için kullanılır. Buna en düşük önceliğin verilmesi fikri alıcının ne olup bittiğinden haberdar olmaması anlamına gelir. İki istasyon arasında devam etmekte olan bir diyalog ile karışmasını önlemek için önemli bir süre beklenmelidir.

3.4.2. 802.11 çerçeve yapısı

802.11 standardı üç farklı çerçeve sınıfı tanımlar. Bunlar; veri, kontrol ve yönetimdir. MAC alt katmanında bunlardan her birinin farklı bir başlığı vardır ve bu başlıkların alan uzunlukları farklı değerlerdedir. Veri çerçevesinin formatı Şekil 3.22' de verilmiştir. İlk olarak çerçeve kontrol alanı bulunur. 11 adet alt alanı vardır [30].



Şekil 3.22. 802.11 veri çerçevesi

Veri çerçevesinin ikinci alanı süredir. Çerçevenin ve ACK bilgisinin kanalı ne kadar süre işgal edeceğini belirler. Bu alan aynı zamanda kontrol çerçevelerinde de mevcuttur. Diğer istasyonlar buna göre NAV mekanizmasını yönetir.

Çerçeve başlığı dört adet adres içermektedir. Bu adresler IEEE 802 biçimindedir. Kaynak ve hedef adresi ile birlikte hücreler arası trafik için gerekli kaynak ve hedef baz istasyonu adreslerini içerir. Sıra alanı bölünmüş çerçeve gönderimlerinde parçaların numaralandırılması için kullanılır. 16 bitten oluşmaktadır. 12 tanesi çerçeveyi tanımlarken, 4 tanesi parçayı tanımlar. Veri alanı 2312 byte' a kadar veri içerebilir. Ardında genel kontrol toplamı gelir [31].

Denetim çerçeveleri de veri çerçevelerine benzer biçimdedir. Sadece bir baz istasyonu adresi eksiktir. Çünkü yönetim çerçeveleri tek bir hücreye yönlendirilir. Kontrol çerçeveleri sadece bir ya da iki adres içerdiğinden, veri ve sıra alanı bulunmadığından daha kısadır. Burada anahtar bilgi Alt tip alanındadır [30].

3.5. ETSI HiperLAN Standartları

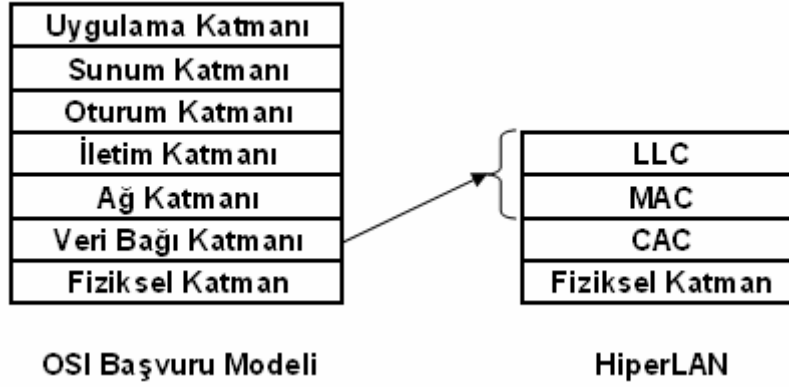
ETSI, Dünya'nın tanınan standart belirleyicilerindendir. HiperLAN, 1991–1996 yıllarında ETSI tarafından geliştirilmiştir. HiperLAN, dört standarttan oluşan bir aileyi içermektedir [5,30]:

Çizelge 3.3. HiperLAN standartları

	HiperLAN Type1	HiperLAN Type2	HiperLAN Type3	HiperLAN Type4
Uygulama	Kablosuz Ethernet	Wireless ATM	Kablosuz Yerel Döngü	Kablosuz noktadan noktaya
Frekans	5 GHz	5 GHz	5 GHz	17 GHz
Veri iletim oranı	23,5 Mbps	54 Mbps	20 Mbps	155 Mbps

3.5.1. HiperLAN protokol kümesi

HiperLAN veri bağı ve fiziksel katmanla ilgili tanımlar içerir. Yerel ağlar için veri bağı katmanı LLC ve MAC olmak üzere iki alt katmana bölünmüştür. HiperLAN sadece MAC ve fiziksel katmanla alakalıdır.



Şekil 3.23. HiperLAN katmanları

HiperLAN/1 mimarisinde, kanal erişim sinyalleme ve paket önceliğinin belirlenmesi için gerekli protokol işlemleri ile ilgilenmek üzere ortada CAC (Channel Access Control-Kanal Erişim ve Kontrol Katmanı) adıyla bir alt katman tanımlanmıştır [5].

Fiziksel katman

HiperLAN 5,150 – 5,300 MHZ arası radyo frekans bandını kullanır. Bütün HiperLAN ekipmanı 5 kanalda işlem görmektedir. HiperLAN için GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying - Gaussian Minimum Kayma Anahtarlama) yüksek oranda aktarım modüle etmek için yüksek bit oranlı modülasyon şeması olarak kullanılır. GMSK sabit paket modülasyon şemasıdır. Anlamı: ‘ Aktarılan sinyalin genliği sabittir. ‘ Bu önemlidir, çünkü RF yükselticinin daha az şiddette doğrusallıkta olması istenebilir. Bu da radyonun zararının daha az olması, daha da önemlisi güç yükselticinin verimliliğinin artması anlamına gelir. Aktarılan gerçek RF enerjisinin oranı tüketilen elektrik enerjisi ile karşılaştırılır. FSK (Frequency Shift Keying) , düşük bit oranlı aktarımları modüle etmek için kullanılan şemadır [30].

CAC (Channel Access and Control) Kanal Erişim ve Kontrolü

CAC katmanı, kanalın meşgul ya da boş durumda olup olmamasına göre, kanalın erişim girişiminin nasıl yapılacağını ve girişimin hangi öncelik seviyesinde değerlendirileceğini tanımlamaktadır. Aktarım 3 aşamalıdır. Bunlar: Öncelik, İçerik, Aktarım aşamalarıdır..

Öncelik aşamasında, en yüksek kanal erişim önceliğine sahip veri aktarımları seçilir. Kanal erişim önceliği, paket yaşam zamanı ve kullanıcı özelliğine sahiptir.

İçerik aşamasında, CAC diğer HiperLAN CAC'ları ile aynı öncelikle yarış halindedir. CAC bir sinyal gönderir. (Sinyalin uzunluğu, geometrik olasılık dağılıma göre hesaplanır). Gönderim sonunda CAC, kanalı dinler. Eğer başka bir cihaz halen gönderim yapmakta ise kendi gönderimini bir sonraki kanal erişim saykılına kadar erteler. Aksi takdirde kanalı kullanım hakkını kazanır ve gönderime başlar.

Aktarım aşamasında ise veri gönderilmektedir. Veri gönderimi için önceden kanalın boş olduğunun bilinmesinin gerekmemesine rağmen bir veri aktarım isteğinin kanala erişebilmesi için kanal erişim saykılıının başında hazır olması gerekir. Aksi takdirde bir sonraki kanal erişim saykılına kadar beklemelidir [32].

Media Access Control (MAC) Ortam Erişim Kontrol Katmanı

HiperLAN'ın güç koruma, güvenlik, çoklu yol yönlendirme, üst katman protokollerine veri transfer edilmesi gibi özelliklerini sağlayan çeşitli protokolleri HiperLAN MAC katmanı tanımlamaktadır.

HiperLAN/1 hem yapısal hem de Ad-Hoc topolojileri destekler. Yapısal mimaride her HiperLAN cihazı komşularından sadece birini aktarıcı olarak seçer ve tüm trafiği aktarıcıya gönderir. Ad-Hoc topolojisinde böyle bir denetimci yoktur. Her cihaz ağdaki diğer cihazlarla doğrudan haberleşir.

3.5.2. HIPERLAN/2 referans modeli

HiperLan/2, ETSI'nin Broadband Radio Access Networks (BRAN) birimi tarafından projelendirilen ve ETSI tarafından kabul edilen, Avrupa'da geçerli olan bir standarttır. 5 GHz frekans bandında (5,15-5,35 ve 5,470-5,725 Ghz) çalışmakta ve maksimum 54 Mbps veri transfer hızını desteklemektedir. Bu frekans bandı Avrupa'nın büyük bir bölümünde lisanssız olarak kullanılabilir. HiperLan/2 standardını desteklemek amacı ile HiperLan/2 Global Forum (H2GF) adı altında bir forum oluşturulmuştur. Bu forum HiperLan/2 standardının yaygınlaştırılması için çalışmaktadır. Kurum aynı zamanda farklı firmalar tarafından üretilen donanımların birbirleri ile uyumlu çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır [32].

3.5.3. HiperLAN/2 ve 802.11 arasındaki temel farklar

HiperLan/2'nin 802.11a'dan en temel farkı, güvenliğe (içsel kimlik denetimi ve kriptolama) ve trafik önceliklendirmesine destek vermesidir - ki bu da gerçek zamanlı veri iletişimi olan video konferans ve ses iletimi için büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra HiperLan/2 Ethernet, ATM gibi farklı birçok omurga ağını desteklemektedir.

802.11a CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) ile paket transferini gerçekleştirirken, HiperLAN/2 TDMA (Time Division Multiple Access) kullanır. CSMA/CA ile tüm istasyonlar erişim için aynı radyo kanalını kullanırlar. Örneğin; bir 802.11 istasyonu bir paket yollama ihtiyacı duyduğunda, önce diğer aktarımları dinler ve başka bir istasyon aktarımda bulunmadığı anda paketini göndermeye teşebbüs eder. Eğer başka bir istasyon ilettime başlayacak olursa, diğer tüm istasyonlar kanal boşalana kadar bekleyecektir.

CSMA/CA' nın yol açtığı bir başka sorun da eş uyumsuz erişim kullanıldığından istasyonların bekleme süresinin belirsiz olmasıdır. Bu işlem modu ile ortama erişim, düzenli bir zamana bağlı değildir. Sonuç olarak, bir istasyonun paketini ne zaman

gönderebileceğinin garantisi yoktur. Bu da düzenli erişim gerektiren transferlerde – ses ve video gibi verimliliği düşürmektedir [5,30].

HiperLAN/2’ de TDMA’ nın kullanılması ağa erişimde belli bir zamanlama sağlar. TDMA sistemler dinamik olarak her istasyona gönderim için ihtiyaç duyacağı belli bir zaman dilimi ayırır. İstasyonlar kendilerine ayrılan zaman dilimleri içerisinde gönderimlerini gerçekleştirirler. Bu da ortam kullanımını daha verimli hale getirmekte ve ses- video uygulamalarında etkin destek sağlamaktadır [5,30].

HiperLAN/2 ve 802.11 teknolojilerinin her ikisinde de veri aktarım hızı 54 Mbps’ dir. Ancak bu oran istasyon ile AP (erişim noktası) arasındaki gerçek veri transfer hızını vermez. Kullanılabilen gerçek maksimum aktarım hızı HiperLAN/2’ de 42 Mbps’ dir. 802.11a’ da ise 18 Mbps civarındadır [5].

3.6. Kablosuz ATM

ATM (Asynchronous Transfer Mode) protokolü, bağlantı temelli çalışan özellikle ses, video ve veri iletişimi için kullanılan bir protokoldür. ATM’nin verileri sabit uzunluklu hücreler halinde taşınması hız kazancı sağlamaktadır. Kablosuz ATM ise ATM’ nin kablolu ortamda sağladığı yüksek veri iletim hızı ve hizmet kalitesi özelliklerini kablosuz ortamlar için gerçekleştirmektedir. Wireless ATM yeni nesil PAN’ların çözümü ya da QoS garantisi sağlayan dahili veri yayını (veri, ses, görüntü) destekleyecek B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network – Geniş bant birleşik servis sayısal ağları) kablosuz uzantısı olarak görülmektedir [33].

3.6.1. Kablosuz ATM bileşenleri

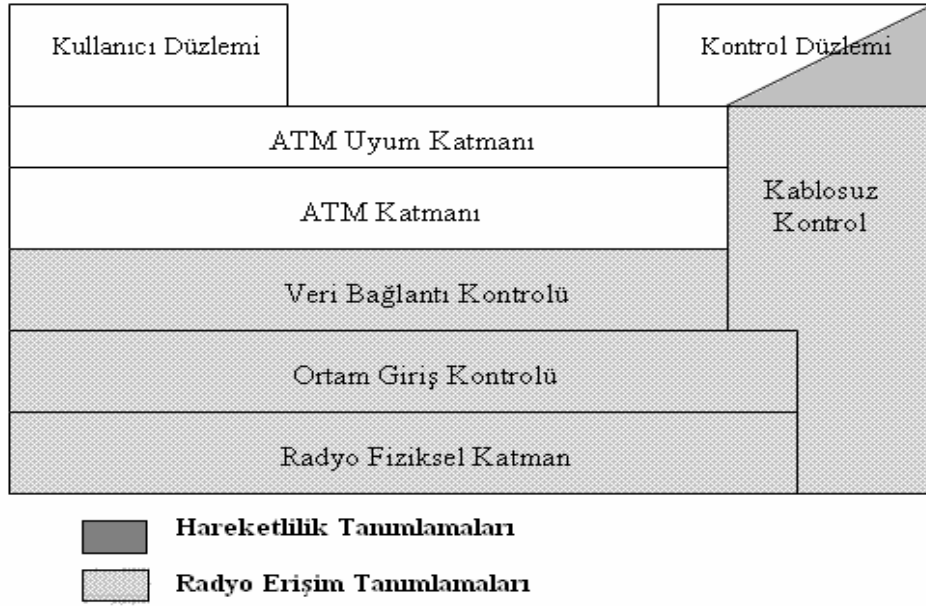
Kablosuz ATM, sabit ya da hareketli baz istasyonlarının kullanıldığı karmaşık sistemlere uygulanabileceği gibi baz istasyonu kullanmayan basit sistemlere de uygulanabilir. Bir kablosuz ATM sistemi genel olarak gezgin terminallerden ve sabit baz istasyonlarından oluşmaktadır. Buna ek olarak diğer ATM ağlarla haberleşmeyi sağlayan hareketlilik desteği yazılımı eklenmiş ATM anahtarları bulunur.

Gezgin terminallerde kablosuz ATM radyo ağ arayüz kartı (NIC – Network Interface Card) ile hareketlilik özelliği eklenmiş kullanıcı ağ arayüzü (UNI – User Network Interface) yazılımı bulunmaktadır. Baz istasyonları ise hücre içerisindeki, gezgin terminallerin haberleşmesini kontrol eden radyo arayüzüne sahip ve hareketlilik desteği eklenmiş UNI/NNI (Network to Network Interface) yazılımını içermektedir.

3.6.2. Kablosuz ATM protokol kümesi

Kablosuz ATM sistem, birbirinden bağımsız Mobil ATM altyapı sistemi ve radyo erişim kısımlarından oluşmuştur. Bu sayede sistemin mobil ağ yapısı değiştirilmeden radyo erişim teknolojilerine uyum sağlanması mümkün hale gelmektedir. Şekil 3.24'te KATM protokol katmanları görülmektedir.

Mobil ATM, hareketliliği desteklemeleri gereken işlevleri işaretleyerek daha yüksek katman kontrolleri ile uğraşmaktadır. Bu kontrol sinyalleri; el değiştirme, konum yönetimi, yönlendirme, adresleme ve trafik yönetimini içermektedir. Radyo Giriş Katmanı, kablosuz ATM girişinin radyo bağlantı protokollerinden sorumludur. Radyo giriş katmanı; fiziksel katman, MAC, veri bağı katmanı ve RRC (Radio Resource Control-Radyo Kaynak Kontrol) alt katmanlarından oluşmaktadır [33,34].



Şekil 3.24. KATM protokol katmanları

Mobil ATM ağ katmanı protokolleri

El değiştirme İşaretleşmesi (Handover): Gezici terminallerin yer değişikliği esnasında bir baz istasyonunun kapsama alanından çıkıp diğerine geçmesi durumunda ağ bağlantısının etkin olarak sürdürülmesini sağlar.

Konum Yönetimi : Gezici terminalin konumunu izler ve yeri hakkındaki işaretleri işler. Her terminal bir ad ve yerel adres sahibidir. Bu şekilde konum yönetimi ağın bir haritasını çıkarabilir.

Gezgin Yönlendirme: Mobil ATM terminaller için yönlendirme tablosu dinamik olarak yenilenmelidir. Mobil terminallerin yer değişiminden dolayı ağ haritası da sürekli olarak değişeceğinden ek yönlendirme algoritmaları gerektirir.

Servis Kalitesi (QoS) Kontrolü : KATM' de servis kalitesini garanti edebilmek için terminalin yerini ve hareketliliğini ölçecek bazı kriterler belirlenmiştir.

Radyo Erişim Katmanı Protokolleri

Fiziksel Katman (Radio Physical Layer): Veri gönderme ve alma için kullanılan gerçek modülasyon metodunun tanımlandığı radyo fiziksel ortam katmanı ile radyo kanalları üzerinde senkronizasyon ve çerçeveleme gerektiren ve MAC katmanı ile bağlantı kuran radyo iletim birleştirme katmanlarından oluşur [33].

Çizelge 3.4. Fiziksel katman için spesifik gereksinimler

	Düşük hız kablosuz PHY	Yüksek hız kablosuz PHY
Frekans Bandı	5,15 – 5,35 GHz, 5,725 – 5,875 GHz	59 GHz – 64 GHz
Hücre Çapı	80 m	10 – 15 m
Yayın Gücü	100 mW	10 – 20 mW
Frekansı tekrar kullanma faktörü	12'ye kadar	7
Kanal band genişliği	30 MHz	150 / 700 MHz
Veri Oranı	25 Mbit/s	155/622 Mbit/s
Modülasyon	16 tonlu DQPSK	32 tonlu DQPSK
MAC arabirim	Paralel, transfer hızı 3,127 Mbyte/s	Paralel, transfer hızı 87,5 Mbyte/s
Sabit paket uzunluğu	PHY başlığı + MAC başlığı + 4 adet ATM hücresi	

Ortam Erişim Kontrol (MAC, Medium Access Control) Katmanı : Sınırlı bant genişliğine sahip kablosuz iletim ortamını kullanıcılar arasında etkin olarak paylaşmayı amaçlayan kurallar bütünüdür. Bağımsız haberleşme kanallarının terminaller arsında verimli bir şekilde paylaşımını sağlar. MAC protokolleri kullandıkları çoklu erişim tekniklerine göre TDMA ve CDMA temelli olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Kablosuz Veri Bağlantı Kontrol (WDLC, Wireless Data Link Control): ATM katmanına sağlanan servisi kontrol etmekle görevlidir. ATM hücresi ATM katmanına gönderilmeden önce radyo kanalında hatalar meydana gelebilir. Bu hataları kontrol etmek için veri bağı katmanı devreye girer.

Kablosuz Kontrol (Wireless Control) : Radyo kaynaklarının gezgin terminallere ayrılmasından ve el değiştirme sırasında yönetiminden sorumludur.

3.7. Genişbant Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve LMDS

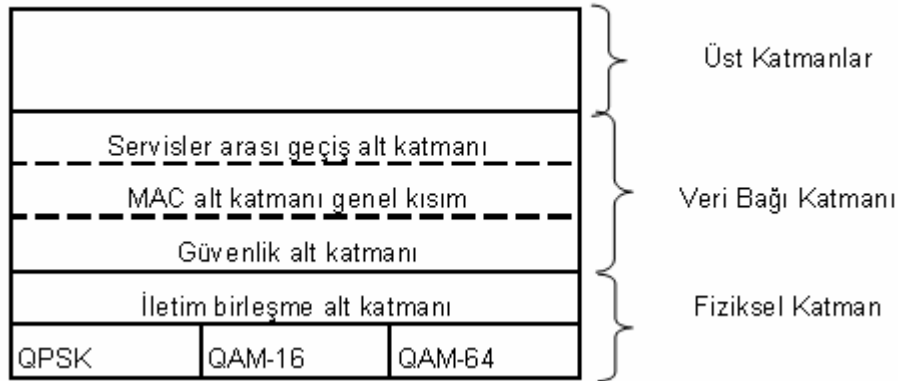
Telekomünikasyon şirketlerinin sunmuş olduğu yerel ses iletimi ve yüksek hızlı internet servisleri için kullanılan fiber, koaksiyel ya da Cat5 UTP kablolama maliyeti artırmaktadır. Buna çözüm olarak kablosuz geniş bant yayın sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Örneğin LMDS (Local Multipoint Distribution System – Yerel çok noktalı dağıtım sistemi), bu amaçla geliştirilmiştir. Bu tür teknolojileri standartlaştırmak amacıyla IEEE, Temmuz 1999’da 802.16 adı altında bir çalışma grubu oluşturmuştur. Sabit geniş bant kablosuz erişim sistemleri olarak Nisan 2002’de onaylanan bu standart WMAN olarak da bilinmektedir [35].

IEEE 802.16 standardı, binalara hizmet vermek amacı ile geliştirilmiştir. Dolayısıyla 802.11’de olduğu gibi hareketlilik ve hücre değişimleri ile ilgilenmez. 802.16 iki yönlü iletişim kullanır, birkaç kilometrelik alanlarda yayın yapması nedeniyle güvenlik açısından ilave önlemler gerektirmektedir [25,35].

10 – 66 GHz frekans aralığında çalışmaktadır. Dalga boyu mm seviyesindedir. Bu nedenle yağmur, kar, yoğun sis gibi hava şartlarından etkilenmektedir. Dolayısıyla farklı fiziksel katman gereksinimleri vardır.

3.7.1. 802.16 protokol kümesi

Protokol kümesi OSI başvuru modeline göre tanımlanmıştır. Ancak katmanlar daha fazla alt katmana bölünmüştür (şekil 3.25) [25].



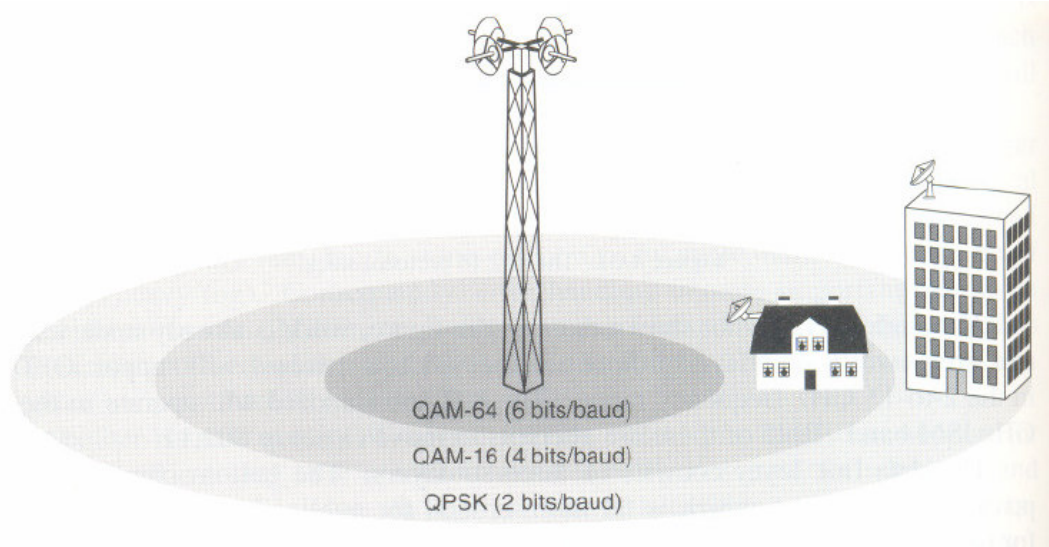
Şekil 3.25. 802.16 protokol kümesi

Fiziksel katman fiziksel gönderim alt katmanı ve gönderim yakınsama alt katmanı olmak üzere iki alt katmandan oluşur. Gönderim yakınsama alt katmanının görevi farklı teknolojilerin kullanımından kaynaklanan çeşitliliği veri bağı katmanına belli etmemektir. 802.16 standardının iki alt versiyonu geliştirilmiştir. 802.16a standardı 2-11 GHz frekans aralığında OFDM' yi desteklemektedir. 802.16b standardı 5 GHz ISM bandında işlem yapmaktadır.

Veri bağı katmanı 3 alt katmandan oluşmuştur. Güvenlik alt katmanı şifreleme, şifre çözme ve anahtar yönetimini gerçekleştirir. MAC alt katmanı kanal yönetimi gibi protokolleri içerir. Telefon ve çoklu ortam haberleşmesi için QoS garantisi sağlayabilmek için tamamen bağlantı odaklıdır. Özel servis yakınsama alt katmanı diğer 802 protokollerinde bulunan LLC alt katmanının yerini almıştır. 802.16 paket tabanlı protokoller ile bağlantı tabanlı bir protokol olan ATM'yi birleştirmeyi amaçlamaktadır [25,35].

802.16 fiziksel katman

Geniş bant kablosuz iletişimin ihtiyaç duyduğu geniş tayf ancak 11 – 66 GHz frekans aralığında sağlanmaktadır. Bu milimetrik dalgalar ışığa benzer şekilde düz hatlar boyunca ilerlemektedir. Bunun bir sonucu olarak baz istasyonu Şekil 3.26'da görüldüğü gibi farklı açılarda birden fazla antene sahip olabilir. Her antenin hizmet verdiği kullanıcı grubu komşu hücrelerden tamamen bağımsızdır [25].



Şekil 3.26. 802.16 gönderim alanı

Milimetrik bantta baz istasyonundan uzaklaştıkça sinyal gücünde keskin bir düşüş meydana gelmesi sebebiyle 802.16, alıcı istasyonların bulunduğu mesafeye göre 3 farklı modülasyon şeması kullanmaktadır. Yakın kullanıcılar için QAM(Quadrature Amplitude Modulation– 4 evreli genlik modülasyonu) – 64 (6 bits/baud), orta mesafe için QAM–16 (4 bits/baud), uzak mesafedeki kullanıcılar içinse QPSK(Quadrature Phase Shift Keying – 4 evreli faz kayma anahtarlama) (2 bits/baud) modülasyonları tanımlanmıştır. Örnek olarak 25 MHz’lik bir spektrum için QAM–64 150 Mbps, QAM–16 100 Mbps, QPSK 50 Mbps’lik bir veri oranı vermektedir. Mesafe arttıkça daha düşük veri oranları elde edilmektedir.

Varolan spektrumun verimli bir şekilde kullanılabilmesi için çeşitli metotlar üzerinde çalışılmıştır. Ses veya çoklu ortam uygulamaları için yukarı yöndeki ve aşağı yöndeki trafik bantları eşit olarak kullanılmalıdır. Ancak internet erişiminde aşağı yöndeki trafik yukarı yöndeki trafikten daha yoğun olacaktır. Aşağı yöndeki trafik baz istasyonunda kullanıcıya gelen trafiği, yukarı yöndeki trafik kullanıcıdan baz istasyonuna gönderilen trafiği ifade etmektedir.

802.16 standardı bant genişliğini daha kararlı bir şekilde kullanmak için iki farklı şema tanımlamıştır: FDD (Frequency Division Duplexing–Frekans bölmeli çiftleme) ve TDD (Time Division Duplexing–Zaman bölmeli çiftleme). Her çerçeve zaman boşlukları içermektedir. İlk olarak aşağı yönde trafik gelmektedir. Ardından da istasyonun talep ve komutlarını göndermesi için tanınan zaman boşluğu bulunmaktadır. Zaman boşluklarının sayısı gelen komutlara göre dinamik olarak ayarlanmaktadır. Aşağı yöndeki trafik baz istasyonu tarafından zaman boşluklarına haritalanır [25,35].

802.16 MAC katmanı

Veri bağı katmanı 3 alt katmana bölünmüştür. Güvenlik alt katmanı, veri transferini gizli tutmak için şifreleme yöntemlerinden sorumludur. MAC alt katmanında MAC çerçeveleri fiziksel katmandaki zaman boşluklarının numaralarını içerir. Her çerçeve alt çerçevelerden oluşmuştur. Bunlardan ikisi yukarı ve aşağı yöndeki trafik haritalarıdır. Bu haritalar hangi zaman boşluğunda ne olduğunu ve hangi zaman boşluklarının serbest olduğunu gösterir. Aşağı yöndeki trafik haritası ayrıca sisteme yeni bağlanan istasyonları bilgilendirmek için sistem parametrelerini içerir. Aşağı yöndeki kanalın çalışması basittir. Hangi alt çerçeveye neyin koyulacağını baz istasyonu belirler. Yukarı yöndeki kanal, kanala erişme ihtiyacı olan koordine edilmemiş istemcilerin rekabeti sonucu daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Kanalın yerleşimi QoS ile yakından ilgilidir. Servisler 4 sınıfta incelenmektedir: Sabit veri oranlı servis,

Gerçek zamanlı değişken veri oranlı servis, Gerçek zamanlı olmayan değişken veri oranlı servis, Best Effort (En iyi çaba) servisi. 802.16'daki tüm servisler bağlantı tabanlıdır ve her bağlantı yukarıdaki servis sınıflarından birini alır.

Sabit bit oranlı servis, sıkıştırılmamış ses iletimi için tasarlanmıştır. Bu servis önceden tanımlı zaman aralıklarında önceden tanımlı veri miktarlarını gönderme ihtiyacındadır [25,35].

Gerçek zamanlı değişken bit oranlı servis bant genişliğine duyulan ihtiyacın sürekli olarak değiştiği sıkıştırılmış çoklu ortam ya da yazılımsal gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılır. Baz istasyonu, istemciye sabit bir zaman aralığında gereksinim duyduğu bant genişliğini sorar [25,35].

Gerçek zamanlı olmayan değişken bit oranlı servis büyük boyutlardaki dosyalar gibi gerçek zamanlı olmayan ağır gönderimler için kullanılır. Bu servis için baz istasyonu istemciyi belirli olmayan zaman aralıklarında dinler. Bu esnada sabit bit oranına sahip bir istemci, çerçevelerinden birine 1 bit ekleyerek servis talebinde bulunabilir [25,35].

Best effort servisi geriye kalan işlemler içindir. Bu serviste sorgulama yapılmaz. İstemciler servis alabilmek için diğerleri ile yarışmak zorundadır. İstek başarılı olursa bir sonraki aşağı yönde trafik için haritalanır. Çarpışmaları engellemek için Ethernet ikili üssel geri dönüş algoritması kullanılır [25].

3.7.2. LMDS ağ mimarisi

Ses, veri, internet ve video iletimi için 25 GHz ya da daha yüksek frekanslarda çalışan kablosuz açık yayın teknolojisidir. Binalar arasında oluşturulan bir LAN olarak da düşünülebilir. LMDS hücresel ağ mimarisini kullanmaktadır. 1,3 GHz bant genişliği sağlar. ABD’de 28-31 GHz arasında, Avrupa’ da 40 GHz üzerinde çalışmaktadır [35].

LMDS ağ yapısı dört temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar: NOC (Ağ İşlem Merkezi –Network Operation Center), Fiber Tabanlı Omurga, Baz istasyonları ve CPE (Kullanıcı Cihazları–Customer Premises Equipment)’dir.

Ağ işlem merkezi, ağdaki yönetim yazılımlarının çalıştığı sunucuları bulundurur. Birden fazla ağ işlem merkezi kendi içerisinde bağlanmış olabilir. Baz istasyon, fiber altyapı sisteminden kablosuz alt yapı sistemine erişimde kullanılır. Yani omurga yapısının sonlandırıldığı ve kablunun altyapıya geçiş yapıldığı yerlerde kullanılır.

Baz istasyon, fiber sonlandırıcı için ağ ara birimi, modülasyon / demodülasyon fonksiyonları ve mikrodalga iletim birimi içerir. Baz istasyonlar ile oluşturulan hücrelerde erişim yoğunluğunu arttırmak için sektörel antenler kullanılmaktadır. Her baz istasyonunun tek bir antene sahip olduğu veya bir baz istasyonuna fiber ara bağlantılarla bir çok antenin bağlı olduğu yapılar mevcuttur.

Kablosuz sistem tasarımlarında genel olarak TDMA (Time Division Multiple Access), FDMA (Frequency Division Multiple Access) ve CDMA (Code Division Multiple Access) olmak üzere üç adet erişim metodu kullanılır.

FDMA metodu kullanıcıların aynı anda farklı frekans bantlarından baz istasyonuna erişmesini sağlar. Yani erişim frekansı bölümlendirilmiştir. TDMA metodunda ise terminaller veri gönderiminde aynı frekans bandını belli zaman aralıkları ile kullanırlar. Bu metot ile erişim zamanı bölümlendirilmiştir.

4. BENZETİM YÖNTEMİ İLE KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARININ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMASI

Bu bölümde kablosuz yerel alan ağlarının farklı standartlardaki uygulamaları simülasyon programı yardımıyla modellenerek çeşitli bağlantı biçimlerinde ve farklı servis hizmetlerinde performansları karşılaştırılmıştır. Ağ sistemlerinin modellenmesi genelde analitik matematiksel modelinin çıkarılmasıyla yapılmaktadır. Ancak matematiksel modelin çıkarılması güç olan karmaşık sistemlerde benzetim yöntemi kullanılmaktadır.

4.1. Kullanılan Benzetim Programı

Kablosuz ağların modellenmesinde gelişmiş nesne tabanlı özellikleri ve uygulama destekleri nedeniyle OPNET programı tercih edilmiştir. OPNET programı ile sistemin davranışı ve ayrık olay benzetimi gerçekleştirilerek analiz edilebilir. Her biri değiştirilebilir özelliklere sahip nesnelere oluşur. Düğüm modeli ve süreç modeli oluşturma amaçlı editörler yardımıyla kullanıcı tanımlı düğümler ve protokoller oluşturulabilmektedir. Profil tanımlamaları ve uygulama tanımlamaları editörler yardımı ile değiştirilebilmektedir [36].

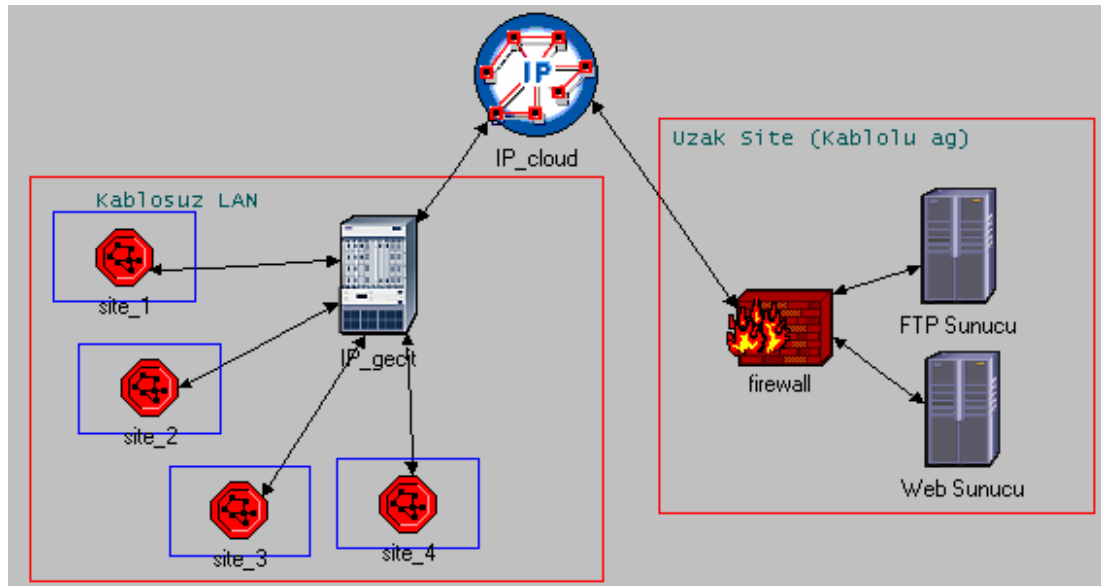
OPNET benzetim programında üç seviye bulunmaktadır; ağ, düğüm ve süreç. Bu seviyeler görsel düzenleyiciler kullanılarak geliştirilebilmektedir. Her bir seviye için düzenleyici editörler bulunmaktadır. Program aynı zamanda benzetim parametrelerini düzenlemek ve veri analizi yaparak grafik oluşturmak için de araçlar içermektedir [10,11].

Ağ yapısı, düğüm ve süreç modelleri bir proje dosyasına dahil olan senaryolar halinde oluşturulmaktadır. Tasarım tamamlandığında benzetim aracı yardımıyla toplanacak istatistikler belirlenerek çalıştırılır. Program dahilindeki analiz aracı sayesinde elde edilen veriler, istenen grafik türünde görüntülenebilmektedir. Birden fazla senaryoya ait verilerin aynı grafik üzerinde gösterilerek karşılaştırılması da mümkündür [36].

4.2. Sistemin Modellenmesi

Ağ modelleri OPNET kullanılarak oluşturulmuştur. Benzetimler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada uzaktaki bir kablolu ağa FTP ve HTTP hizmetleri almak için bağlanan Site-1, Site-2, Site-3 ve Site-4 adıyla 4 adet alt ağ modeli oluşturulmuştur. Her bir sitede birer adet erişim noktası ve 20 adet kablosuz istemci bulunmaktadır. İstemciler IP geçit üzerinden uzaktaki kablolu ağa bağlanarak HTTP ve FTP sunuculardan servis taleplerinde bulunmaktadır. Aynı topolojik yapıdaki alt ağlar farklı standartlardaki düğüm modelleri tanımlanarak her birinin http, ftp, video ve ses trafiğindeki performansları karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada ise kablolu bir dağıtım sistemi üzerinden birbiri ile haberleşen 4 farklı binayı içeren bir kampus ağı tasarlanmıştır.

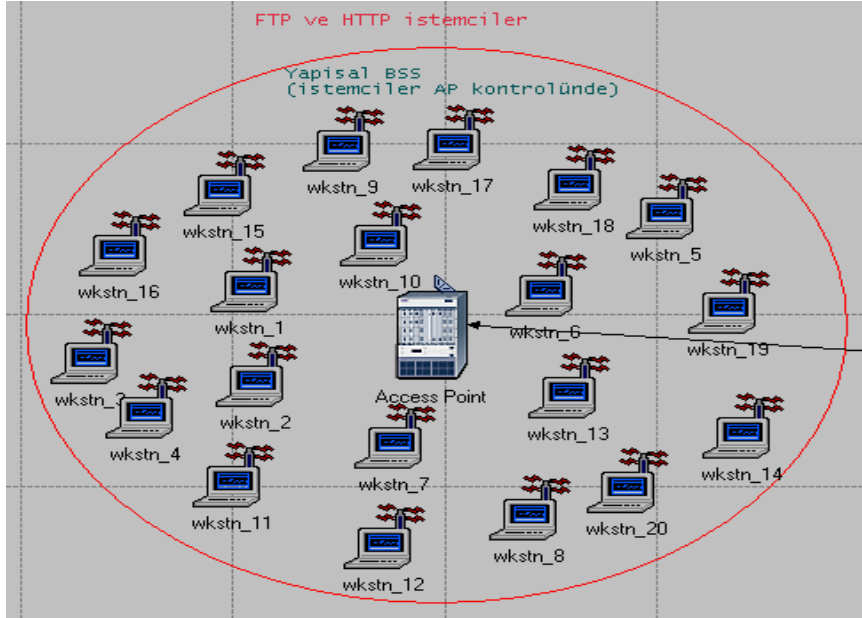
4.2.1. Uzak site bağlantı uygulaması



Şekil 4.1. Uzak site bağlantı benzetim modeli

Şekil 4.1' de gösterilen ağ modeli, benzetimin birinci aşamasını teşkil etmektedir. Birbirine IP geçit ile bağlanmış 4 ayrı sitedeki kablosuz bağlantıların elemanları

802.11a, 802.11b, 802.11g ve HiperLAN olmak üzere 4 farklı kablosuz ağ standardını kullanacak biçimde belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Site-1 ağ şeması

Şekil 4.2’ de Site-1 dahilinde bulunan ağ yapısı gösterilmiştir. Diğer sitelerin de bileşenleri ve topolojik yapıları Site-1 ile aynı tanımlanmıştır. Her bir sitenin farklılık gösteren özellikleri Çizelge 4.1’de benzetim parametreleri olarak verilmiştir.

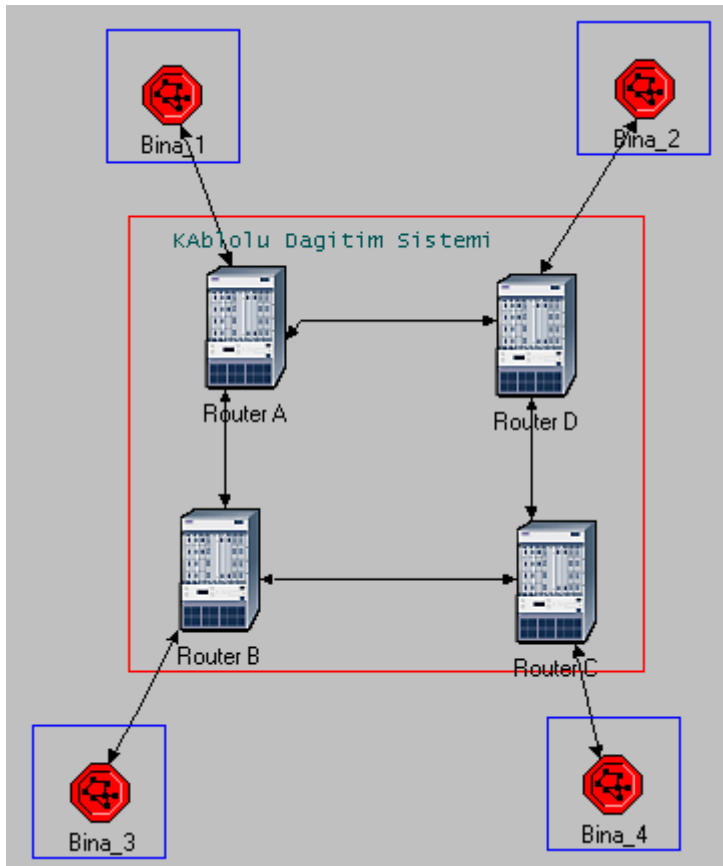
Performans sonuçlarını etkileyen pek çok parametre bulunmaktadır. Benzetimlerde bu parametrelerden bazılarının etkisiz olduğu kabul edilerek göz ardı edilmiştir. Kablosuz iletişimde kullanılacak anten modeli, antenin fiziksel konumu gibi özellikler dikkate alınmamıştır. Fiziksel ortamın çizgisel görüş alanına sahip olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 4.1. Benzetim değerleri

	802.11a	802.11b	802.11g	HiperLAN/2
	Site-1	Site-2	Site-3	Site-4
Fiziksel karakteristik	FHSS	DSSS	OFDM	OFDM
Modülasyon	DPSK	GMSK	DPSK	GMSK
Minimum frekans	2,4 GHz	5 GHz	2,4 GHz	5 GHz
Bant genişliği	5 MHz	1 MHz	1 MHz	1 MHz

4.2.2. Yerleşke ağı uygulaması

Farklı binalardaki kablosuz alt ağların yönlendiriciler yardımıyla birbiriyle haberleşmesini sağlayan ağ modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Her binada birer erişim noktası ve kablosuz iş istasyonları mevcuttur. Her binada kullanılan kablosuz ağ standartları farklı seçilerek performans karşılaştırması sağlanmıştır.

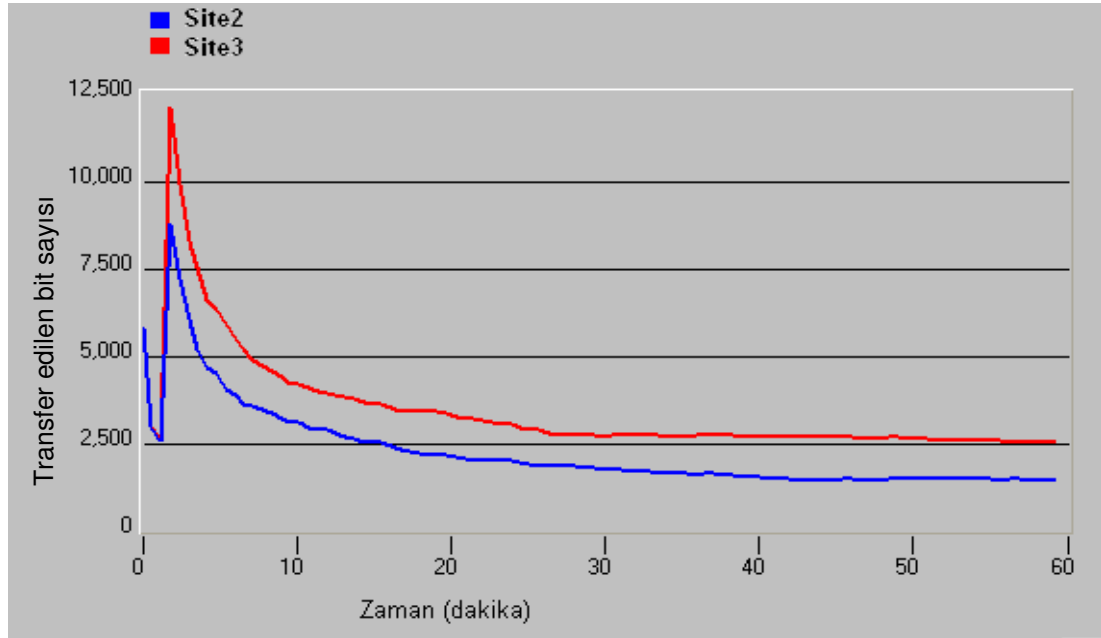


Şekil 4.3. Kablolu dağıtım sistemi ile oluşturulmuş yerleşke ağı

4.3. Sistemin Çalışması ve Analizi

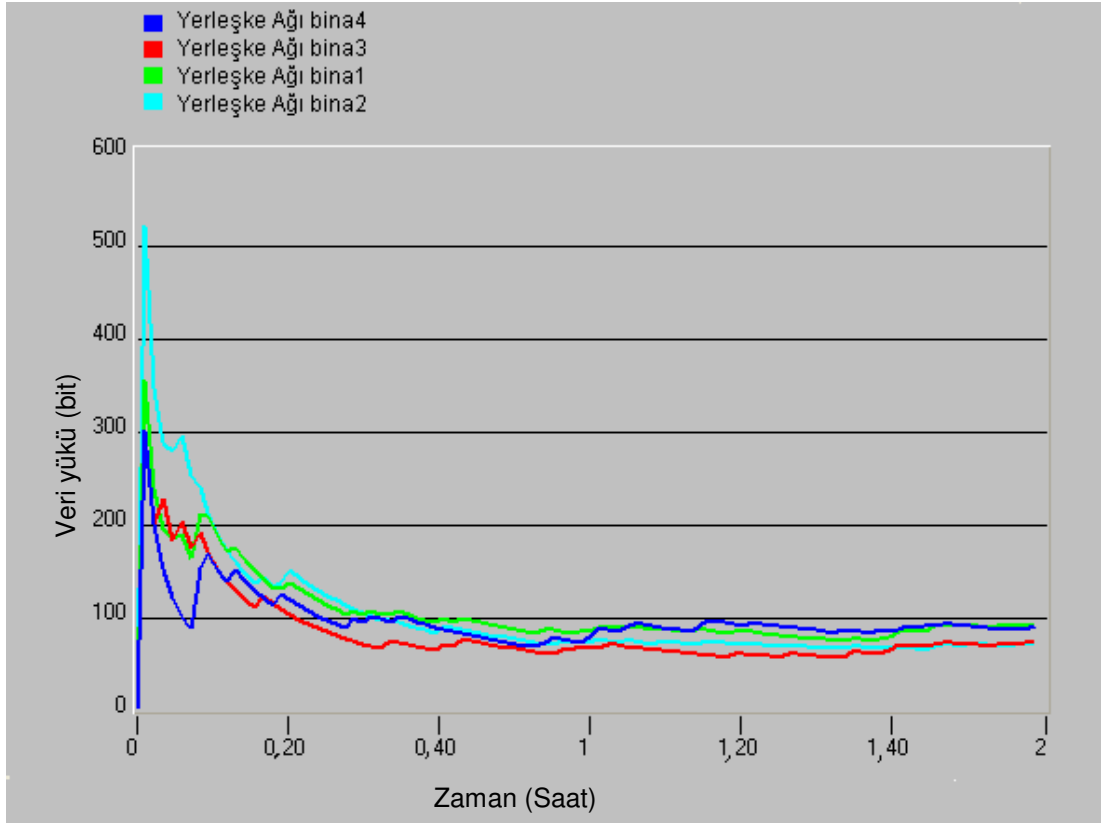
Sonuçların güvenilirliğinin sağlanması için benzetimlerin çalışma süresi 1 saat olarak belirlenmiştir. Performans değerlendirmesi için kullanılan ölçütler; gecikme, MAC katmanı gecikmesi, veri yükü, veri aktarım miktarı olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.4'te ilk ağ uygulamasındaki IEEE 802.11a ve 802.11b standartlarına ait benzetim sonuçları gösterilmiştir. Veri aktarım oranları açısından karşılaştırıldığında 802.11a standardının daha yüksek kapasiteye sahip olduğu görülmektedir. Zamana bağlı olarak iki standart arasındaki fark azalmaktadır. Bu ise sistemin çalışmasıyla birlikte meydana gelen yük miktarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. İlk anda sistem boş iken yani veri aktarımı yeni başlamışken sistem yükü sıfırdır. Sonrasında sistem yükünün artışıyla birlikte veri aktarım oranında zamana bağlı bir düşüş gözlemlenmiştir.



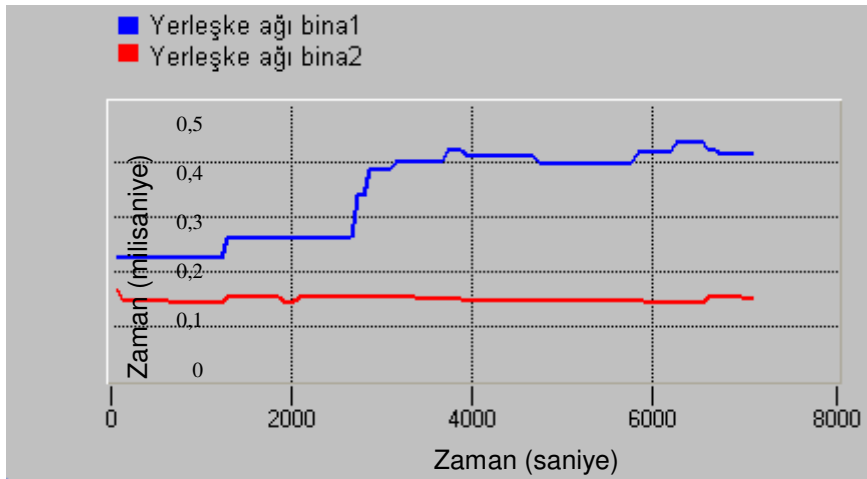
Şekil 4.4. IEEE 802.11a ve 802.11b standartlarının veri aktarım oranları

MAC katmanı gecikmeleri bakımından karşılaştırıldığında 802.11b'nin daha fazla gecikme gösterdiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.5).



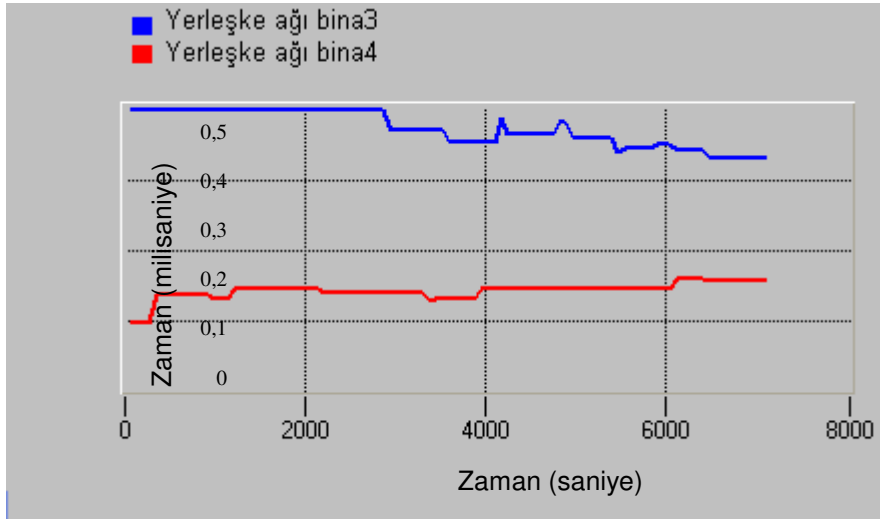
Şekil 4.5. Kampüs ağının erişim noktası veri yükleri

Yerleşke ağında ortalama ortam erişim gecikmeleri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de görülmektedir. Şekil 4.6 802.11a ve 802.11b’ nin gecikmelerini karşılaştırmaktadır. 802.11b’nin daha yüksek gecikmeye sahip olduğu görülmektedir.



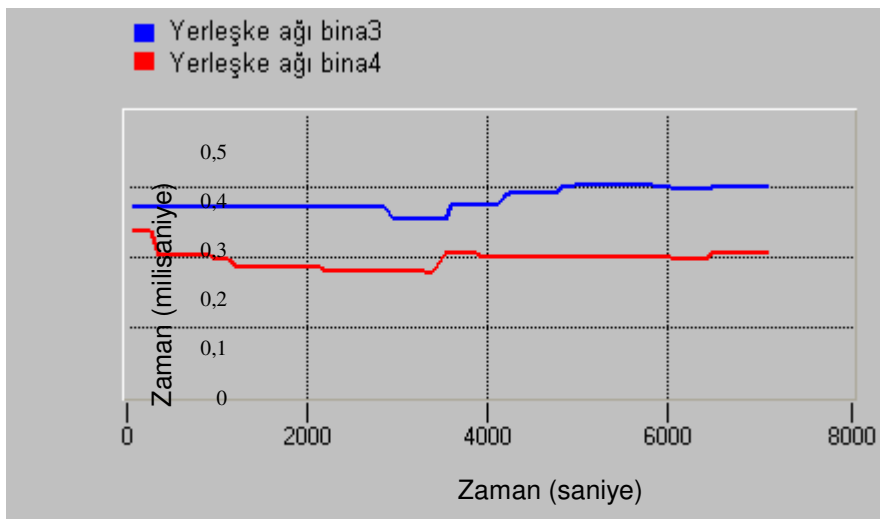
Şekil 4.6. Ortalama ortam erişim gecikmeleri (802.11b- 802.11a)

802.11g ve HiperLAN standartları karşılaştırıldığında 802.11g standardının ortalama gecikmesinin daha az olduğu görülmüştür(Şekil 4.6).

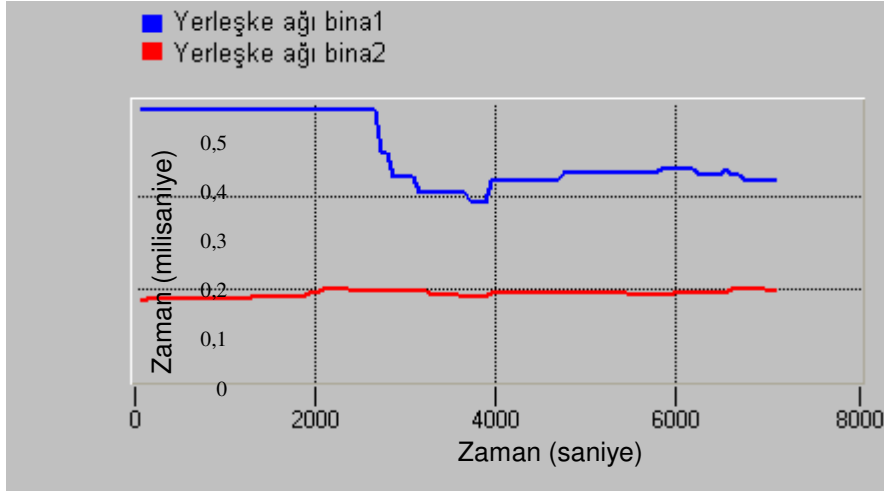


Şekil 4.7. Ortalama ortam erişim gecikmeleri (802.11g- HiperLAN/2)

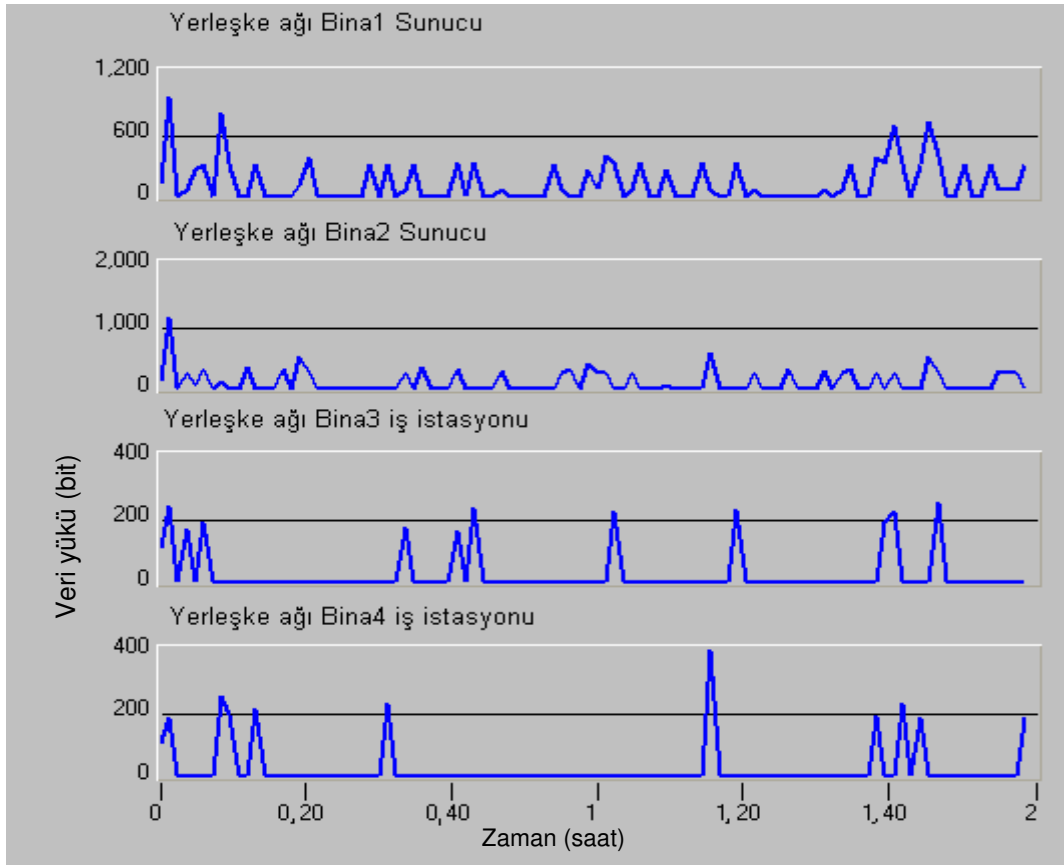
Düğümelerin http yanıt zamanları karşılaştırıldığında 802.11a standardının 802.11b'ye göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.8), 802.11g standardının yanıt zamanının ise HiperLAN/2'ye göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.9).



Şekil 4.8. Ortalama Http yanıt zamanı (802.11g - HiperLAN)



Şekil 4.9. Ortalama Http yanıt zamanı (802.11a – 802.11b)



Şekil 4.10. Yerleşke ağı bina içi kablosuz ağ veri aktarım miktarları

Ortama erişim gecikme değerlerinin 802.11b standardına göre düzenlenmiş olan Bina-3 istasyon1 ve istasyon2 için en yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.10). En iyi gecikme değerine sahip istasyonlar Bina-1 içinde 802.11g' ye göre tanımlanmış olanlardır.

Çizelge 4. 2 Ortam erişim gecikme değerleri

Terminal	Minimum(ms)	Ortalama(ms)	Maksimum(ms)
Bina_3.wkstn1	0,0382	0,0759	0,122
Bina_3.wkstn2	0,0386	0,0590	0,103
Bina_3.AP	0	0,0414	0,098
Bina_4.wkstn2	0,0191	0,0355	0,061
Bina_4.wkstn1	0,0145	0,0321	0,063
Bina_2.wkstn1	0,0154	0,0317	0,056
Bina_2.wkstn2	0,0198	0,0305	0,039
Bina_4.AP	0	0,0195	0,042
Bina_2.server	0,0031	0,0124	0,034
Bina_2.AP	0	0,0106	0,048
Bina_1.server	0,0019	0,0083	0,030
Bina_1.AP	0	0,0020	0,025
Bina_1.wkstn2	0,0018	0,0079	0,015
Bina_1.wkstn1	0,0017	0,0068	0,015

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kablosuz bilgisayar ağlarının sağladığı kolaylıklar sayesinde kullanım alanlarının yaygınlaşması ile paralel olarak her geçen gün yeni ve farklı teknolojiler geliştirilmektedir. Bu gelişim farklı ihtiyaçlara cevap veren standartların oluşmasına neden olmuştur. Kullanım amaçlarına, ihtiyaca ve verinin taşınacağı mesafeye göre farklı frekansların ve standartların kullanılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Gelişen yeni teknolojiler birbirinin yerini almak yerine birlikte gelişmekte ve birbirini tamamlayıcı hale gelmektedir.

Bilgisayar sistemlerinde kullanılan kablosuz haberleşme standartlarından Kablosuz ATM, LMDS, IEEE 802.16 gibi bazıları geniş alan ağlarına hizmet verirken, IEEE 802.11, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, ETSI HiperLAN standartları kablosuz yerel alan ağlarında kullanılmaktadır. Bunların dışında bilgisayarların çevre birimleri ya da kontrol sistemleri ile haberleşmesini sağlayan ZigBee, Bluetooth ve 802.14.5 standartları mevcuttur. Bu tez çalışmasında tüm bu standartlar kullanım alanlarına göre sınıflandırılarak, yerel alan ağlarında kullanılan standartlar bilgisayar ortamında modellenerek performansları açısından incelenmiştir.

Tez çalışmasının 4. bölümünde OPNET programı yardımıyla yerel alan ağlarında kullanılan IEEE 802.11, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, ETSI HiperLAN standartları modellenerek veri trafiğindeki performansları karşılaştırılmıştır.

OPNET yardımı ile yapılan benzetim sonuçlarına göre IEEE 802.11g ve ETSI HiperLAN/2 standartlarının daha yüksek veri oranlarına ulaştığı görülmüştür. Gecikme açısından karşılaştırıldığında 802.11b standardının maksimum gecikmeyi verdiği görülmüştür. En iyi gecikme oranı 802.11g standardında gözlenmiştir.

Veri aktarım oranları açısından karşılaştırıldığında zamana bağlı olarak standartlar arasındaki farklar azalmaktadır. Bu durum sistemin çalışmasıyla birlikte meydana gelen yük miktarındaki artıştan kaynaklanmaktadır.

Kararlılık sağlanması için benzetim zamanının sistemin durağan veya durağan duruma gelinceye kadar sürdürülmesi gerekmektedir. Yapılacak çalışmalarda 1 ya da 2 saatlik çalışma zamanları tavsiye edilmektedir.

Düğümün http yanıt zamanları karşılaştırıldığında 802.11a standardının 802.11b'ye göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. 802.11g standardının yanıt zamanının ise HiperLAN/2'ye göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

ETSI HiperLAN/2 ve IEEE 802.11g standartları farklı frekanslarda çalışmalarına rağmen benzetimler sonucunda birbirine yakın değerler verdikleri görülmüştür.

IEEE 802.11a standardının 802.11b'ye göre yüksek veri oranı sağladığı tespit edilmiştir.

Çalışma frekansının yüksek olması veri aktarım hızını artırmaktadır. 5 GHz frekansta çalışan sistemler, 2,4 GHz'de çalışanlara göre daha etkili olmuştur.

Modülasyon teknikleri ve fiziksel iletimin karakteristiği de veri iletim oranları ve gecikme değerleri üzerinde etkili olmaktadır. Sonuçlara göre OFDM modülasyonu ile çalışan sistemlerin diğerlerine göre daha yüksek performans sergilediği gözlenmiştir.

Benzetimlerde göz önünde bulundurulması mümkün olmayan bazı parametreler gerçek uygulamada bu sonucu değiştirebilmektedir. 802.11b'nin avantajı da 802.11a standardına göre daha geniş kapsama alanına sahip olmasıdır.

Kullanılacak ağ standartlarının seçiminde uygulamanın ve taşınacak verinin özellikleri önem taşımaktadır.

Benzetim sırasında uygulaması mümkün olmayan bazı dış etkenler bulunmaktadır. Buna fiziki ortamın özellikleri ve ortam içinde bulunan diğer kablosuz iletişim cihazlarının parazit etkisi örnek olarak verilebilir. 802.11a ve 802.11g standartlarının

dezavantajı olarak çalışma frekansları gösterilebilir. Her ikisi de 2,4 GHz ISM bandında haberleşme yapmaktadır. Özellikle Bluetooth cihazların kullanıldığı ortamlarda aynı frekanslarda işlem yapmaları sebebi ile etkileşim söz konusu olmakta ve pratikte veri kayıpları yaşanmaktadır.

Bu tez çalışmasında tüm bu standartlar kullanım alanlarına göre sınıflandırılarak, yerel alan ağlarında kullanılan standartlar bilgisayar ortamında modellenerek performansları açısından incelenmiştir. Bununla gerçekleştirilecek uygulamalarda kullanılacak standartların seçiminin kolaylaştırılması hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: IEEE, About the IEEE, What is the IEEE?, http://www.ieee.org/portal/index.jsp?pageID=corp_level1&path=about&file=index.xml&xsl=generic.xsl (2005).
2. İnternet: ETSI, ETSI portal, BRAN, ETSI HIPERLAN/2 Standard, Overview <http://portal.etsi.org/bran/kta/Hiperlan/hiperlan2.asp>, (2004).
3. Eshghi, F., Elhakeem, A.K., “Performance Analysis of Ad Hoc Wireless LANs for Real-Time Traffic”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 21 (2): 204 – 215 (2003).
4. Calì, F., Conti, M., Gregori, E., “IEEE 802.11 Wireless Lan: Capacity Analysis and Protocol Enhancement”, *IEEE INFOCOM 1998 - The Conference on Computer Communications*, 1, 142 – 149 (1998).
5. Doufexi, A., Armour, S., Butler, M., Nix, A., Bull, D., McGeehan, J., Karlsson, P., “A Comparison of the HIPERLAN/2 and IEEE 802.11a Wireless LAN Standards”, *IEEE Communications Magazine*, 40 (5) : 172 – 180 (2002).
6. Rollet, R., Mangin, C., “IEEE 802.11a, 802.11e and HiperLAN/2 Goodput Performance Comparison in Real Radio Conditions”, *GLOBECOM 2003, IEEE Global Telecommunications Conference*, New York, 724 – 728 (2003).
7. Doufexi, A., Armour, S., Lee, B., Nix, A., Bull, D., “An Evaluation of the Performance of IEEE 802.11a and 802.11g Wireless Local Area Networks in a Corporate Office Environment”, *ICC 2003 - IEEE International Conference on Communications*, New York, 1196 – 1200 (2003).
8. Bayılmış, C., Ertürk, İ., Çeken, C., “Kablosuz Bilgisayar Ağlarının Karşılaştırılması” *Journal of Polytechnic Faculty of Technical Education Gazi University*, 7 (3): 201-210 (2004).
9. Çelebi, E., “Telsiz Çok Sekmeli Plansız Ağlar İçin Yönlendirme Protokollerinin Başarım Değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 125 (2001).
10. Wisely, D., R., Eardley, P., L., ”Modelling the HIPERLAN Standard Using OPNET”, *British Telecommunications plc, BT Laboratories*, İngiltere,1-6, (2004).
11. Baldwin, R., O., Davis, N., J., Midkiff, S., F., “Implementation of an IEEE 802.11 Wireless LAN Model Using OPNET™”, *Bradley Department of Electrical and Computer Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University*, Virginia, (2004).

12. İnternet: IEEE Communications Society Digital Library, <http://doi.ieee.org/doi/10.1109/MASCOT.1999.805038> (2006).
13. Çölkesen, R., “Network TCP/IP Unix El Kitabı”, *Papatya Yayıncılık*, 15, 20-25, (2001).
14. Erdem,A.,O., “Bilgisayar Haberleşme Teknolojisi”, *Gazi Üniversitesi Yayınları*, Ankara, 30-35, (1999).
15. Flickenger, R., “Building Wireless Community Networks, Second Edition”, *O'Reilly*, 120-150, (2003).
16. Minoli, D., “Telecommunications Technology Handbook Wireless Technologies: WPAN, WLAN, and WWAN, Second Edition”, *Artech House*, İngiltere, 245-35, (2003).
17. Öztürk, E., “Wlan Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks) Teknolojisinin İncelenmesi, Mevcut Düzenlemelerin Değerlendirilmesi ve Ülkemize Yönelik Düzenleme Önerisi”, *Telekomünikasyon Kurumu Uzmanlık Tezi*, İstanbul, 8-21, (2004).
18. İnternet: Intel, Built for Wireless, http://www.intel.com/products/mobiletechnology/wireless.htm?iid=ipp_note+mobiletech_wireless& (2005).
19. Özdemir, M., “Wireless LAN Technology & Security Update”, *Cisco Systems Inc.*, 3 (2003)
20. İnternet: Jose S., “Intel Outlines Broadband Wireless Vision”, *Intel Press Release*, <http://www.intel.com/pressroom/archive/releases/20040121corp.htm>, (2004).
21. Seçki,A., “Genişband Uygulamaları Ve Genişband Pazarında Çok Genişband (Uwb) Teknolojisinin Yeri Ve Türkiye Düzenlemeleri”, *Telekomünikasyon Kurumu Uzmanlık Tezi*, İstanbul, 52-58,92-97, (2005).
22. İnternet: Ohio State University Wireless Tutorials, <http://www.cse.ohio-state.edu/~jain/> (2005).
23. Stallings, W., “Data & Computer Communications 6th Ed.”, *Prentice Hall*, 250-300, (2000).
24. Halsal, Fred, “Data Communications, Computer Networks and Open Systems”, *Addison-Wesley*, Fourth Edition, 245-260, (1996).
25. Tanenbaum, A. S., “Computer Networks, Fourth Edition”, *Prentice Hall*, Chapter 4, (2003).

26. Fuller, R., Blankenship, T., “Building a Cisco Wireless LAN”, *Syngress Publishing Inc.*, Amerika Birleşik Devletleri, 2-20, 50-65, (2002).
27. İnternet: Homepage of ZigBee™ Alliance, <http://www.zigbee.org/>(2006).
28. Kinney, P., “ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works”, *Communications Design Conference*, Amerika Birleşik Devletleri, 20-35, (2003).
29. İnternet: Homepage of IEEE 802.15 WPAN Task Group 4 (TG4), <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG4.html> (2006).
30. Anna Ha’c, “Mobile Telecommunications Protocols For Data Networks”, *John Wiley & Sons Ltd.*, Amerika Birleşik Devletleri, 150-200, (2003).
31. Frank Ohrtman, Konrad Roeder, “Wi-Fi Handbook: Building 802.11b Wireless Networks”, *McGraw-Hill*, İngiltere, 363-380, (2003).
32. İnternet: ETSI Homepage, <http://www.etsi.org> (2005).
33. İnternet: Ohio State University Wireless Tutorials, <http://www.cse.ohio-state.edu/~jain/> (2005).
34. İnternet: Berkeley University Wireless Research Center, <http://bwrc.eecs.berkeley.edu> (2005).
35. İnternet: International Engineering Consortium, “Local Multipoint Distribution System (LMDS)”, <http://www.iec.prg/online/tutorials/lmds> (2005).
36. İnternet: OPNET Modeler Homepage, <http://www.opnet.com/products/modeler/home.html> (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TUĞRAL, Neslihan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.02.1981 Bursa
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (224) 247 77 18
 e-mail : ntugral@gmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Teknik Eğitim Fak. Elektronik- Bilgisayar Eğitimi Bilgisayar Sistemleri Öğr. Bölümü	2003
Lise	Tophane Anadolu Teknik Lisesi Bilgisayar Bölümü	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2006	Bursa Mimar Sinan Endüstri Meslek Lisesi	Öğretmen
2004-2006	Bursa Mimar Sinan Endüstri Meslek Lisesi	Atelye şefi

Yabancı Dil

İngilizce