

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK BİLGİSAYAR ANA BİLİM DALI
BİLGİ TEKNOLOJİLERİ BİLİM DALI

**ÇOKLU KANAL KULLANIMLI KABLOSUZ AĞ STANDARDI
802.11N' NİN ÖZELLİKLERİ VE PERFORMANS ANALİZLERİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Tezi Hazırlayan : **Halit AYDIN**

Öğrenci No : 080862002

Danışman :

Yrd.Doç.Dr. Turhan KARAGÜLER

İstanbul, 2010

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çoklu Kanal Kullanımlı Kablosuz Ağ Standardı 802.11n’ in Özellikleri ve Performans Analizleri” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullandıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.
07/06/2010

Aday: Halit AYDIN

TEŐEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında bana her türlü konuda destek olan, anlayış ve yol gösteren Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Turhan KARAGÜLER'e, yardımlarını esirgemeyen meslektaşım ve silah arkadaşım Yusuf BOLAT'a, beni büyüten, yetiştiren, her zaman yanımda ve destek olan sevgili aileme katkılarından dolayı teşekkürlerimi bildiririm.

Halit AYDIN

ÇOKLU KANAL KULLANIMLI KABLOSUZ AĞ STANDARDI 802.11N' NİN ÖZELLİKLERİ VE PERFORMANS ANALİZLERİ

Tezi Hazırlayan: **Halit AYDIN**

Özet

Bu çalışmada; 2003 tarihinde geliştirilmesine başlanan kablosuz yerel alan ağı standartlarından en son yayımlanan 802.11n kablosuz ağ standardının genel özelliklerini incelemek ve bu özelliklerin gerçek ortamda ne tür avantaj veya dezavantaj sağladığının ortaya konulması hedeflenmiştir. Halihazırda kullanılan 802.11a/b/g standartlarından farklı olarak Çoklu Giriş-Çoklu Çıkış teknolojisinin kullanımı ile teoride 600Mbps, cihaz test ortamlarında 300Mbps sağlayan bahse konu standardın simülasyon veya özel ortamlar dışında, gerçek ortamda özellikle Türkiye şartlarında son kullanıcıya azami olarak ne kadar hızlı ve stabil veri aktarım imkanı sunduğu, elde edilen grafiklerin analiz edilmesi koşuluyla irdelenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Yerel Alan Ağı, 802.11n, MIMO-OFDM, Performans, Analiz

PERFORMANCE ANALYSIS AND PROPERTIES OF WIRELESS NETWORK STANDARD 802.11N WHICH USED MULTI CHANNEL

Presented by: **Halit AYDIN**

Abstract

In this thesis, the main aim is to investigate the general features of the latest release of 802.11n Wireless Networking Standard which was initiated in 2003. Additionally, the advantages and disadvantages of the standard in the real application are also included. Differently from currently used 802.11a/b/g standards, in theory, it is claimed that 600 Mbps can be acquired by using Multiple Input-Multiple Output (MIMO) technology but in fact 300 Mbps can be seen in wireless devices. By using graphical display and histogram in the real environment, it is also tested and analyzed that how fast and stable data transfer would be achieved to the end user.

Key Words: Wireless Local Area Network, 802.11n, MIMO-OFDM, Performance, Analysis

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARI	3
2.1. Elektromanyetik Dalgalar ve Radyo Frekansı.....	3
2.1.1. Infrared Direct Access (IRDA).....	4
2.1.2. Bluetooth.....	4
2.1.3. Radyo Frekansları.....	4
2.2. Kablosuz Ağ Haberleşme Yöntemleri.....	5
2.3. Sinyal Modülasyon Yöntemleri.....	10
2.3.1. Frekans Atlamalı Yayılım Spektrumu.....	10
2.3.2. Doğrudan Ardışık Yayılım Spektrumu.....	11
2.3.3. Dik Frekans Bölmeli Çoğullama.....	12
2.4. Kablosuz Ağ Çeşitleri.....	13
2.4.1. Wirelees Personel Area Network (WPAN).....	13
2.4.2. Wirelees Local Area Network (WLAN).....	14
2.4.3. Wireless Wide Area Network (WWAN).....	14
2.5. IEEE 802.11 Kablosuz Ağ Standartları.....	15
2.5.1. 802.11a Standardı.....	16
2.5.2. 802.11b Standardı.....	17
2.5.3. 802.11g Standardı.....	17
3. IEEE 802.11N KABLOSUZ AĞ STANDARDI	18
3.1. Geçiş Süreci.....	18

3.1.1. IEEE 802.11a/b/g Standartlarına Geçiş Süreci.....	19
3.1.2. IEEE 802.11n Standardına Geçiş Süreci.....	19
3.1.2.1. World Wide Spectrum Efficiency.....	20
3.1.2.2. TGn Sync Task Group.....	20
3.2. IEEE 802.11n Mimari Yapısı.....	20
3.2.1. Fiziksel Katmanda Yapılan Düzenlemeler.....	21
3.2.1.1. Kanal Genişletme.....	22
3.2.1.2. MIMO – OFDM Teknolojisinin Kullanımı.....	23
3.2.2. MAC Katmanında Yapılan Düzenlemeler.....	25
3.2.2.1. Çerçeve Düzenlemesi.....	26
3.2.2.2. Koruyucu Aralığın Düşürülmesi.....	27
3.2.2.3. Tek Çerçeve Tek Sinyal.....	28
3.2.2.4. Onay Paketinin Engellenmesi.....	29
4. IEEE 802.11N PERFORMANS ANALİZLERİ	
4.1. Amaç.....	31
4.2. Kullanılan Donanımlar/Yazılımlar ve Özellikleri.....	32
4.2.1. Kablosuz Erişim Noktası.....	32
4.2.2. Kablosuz Ağ Kartı.....	32
4.2.3. Kullanılan Yazılımlar.....	35
4.3. Performans Ölçümleri	35
4.3.1 Alıcıda ve Vericide İki Anten Durumunda(2x2).....	36
4.3.1.1 2.4GHz Frekansında Yapılan Performans Ölçümleri..	36
4.3.1.2 5GHz Frekansında Yapılan Performans Ölçümleri.....	39
4.3.2. Alıcıda İki Vericide Üç Anten Durumunda(3X2).....	41
4.3.2.1. 2.4GHZ Frekansında Yapılan Performans Ölçümleri..	42
4.3.2.2. 5GHZ Frekansında Yapılan Performans Ölçümleri ..	42
4.4. Sinyal Gücü Performans Ölçümleri	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	52

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Kablosuz Ağ Standartlarında Kullanılan Modülasyon Çeşitleri	10
Tablo 2.2. Kablosuz Ağ Çeşitleri	15
Tablo 2.3. IEEE Kablosuz Ağ Standartları ve Özellikleri	16
Tablo 3.1. Fiziksel Katmanda Yapılan İyileştirmeler	21
Tablo 3.2. MAC Katmanında Yapılan İyileştirmeler	26
Tablo 4.1. Kablosuz Erişim Noktası Özellikleri	33
Tablo 4.2. Kablosuz Ağ Adaptörü Özellikleri	34

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Elektromanyetik Dalgalar	3
Şekil 2.2. Elektromanyetik Dalgalar Frekans Aralıkları	5
Şekil 2.3. Kablosuz Ağ Haberleşme Katmanları	6
Şekil 2.4. Çerçeve Gönderim Katmanları	7
Şekil 2.5. BSS ve ESS İlişkisi	8
Şekil 2.6. 2.4GHz Frekans Aralığı Üzerinde Kanal Dağılımı	8
Şekil 2.7. FHSS Kanal İlişkisi	11
Şekil 2.8. DSSS Kanal İlişkisi	12
Şekil 2.9. OFDM Verici Blok Diyagramı	13
Şekil 2.10. Kablosuz Ağ Çeşitleri	14
Şekil 3.1. Fiziksel Katmanda Yapılan İyileştirmeler	22
Şekil 3.2. MIMO Çalışma Mantiği	24
Şekil 3.3. Koruyucu Aralık (Guard Interval - GI)	27
Şekil 3.4. Başlangıç Paket Alanları	28
Şekil. 3.5. Çerçeve Bütünleştirilmesi	29
Şekil. 4.1. Kablosuz Erişim Noktası	33
Şekil. 4.2. Kablosuz Ağ Adaptörü	34
Şekil. 4.3. Performans Ölçüm Çizelgesi	35
Şekil. 4.4. 2 x 2 Anten Ağ Topolojisi	36
Şekil. 4.5. 2.4GHz, 20MHz, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Değil	37

Şekil. 4.6.	2.4GHz, 20MHz, Çerçeve Düzenlemesi Etkin	38
Şekil. 4.7.	2.4GHz, 40MHz, Çerçeve Düzenlemesi Etkin	38
Şekil. 4.8.	5GHz, 20MHz, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Değil	39
Şekil. 4.9.	5GHz, 20MHz, Çerçeve Düzenlemesi Etkin	40
Şekil. 4.10.	5GHz, 40MHz, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Değil	40
Şekil. 4.11.	3 x 2 Anten Ağ Topolojisi	41
Şekil. 4.12.	2.4GHz, 40MHz, Çerçeve Düzenlemesi Etkin	42
Şekil. 4.13.	5GHz, 40MHz, Çerçeve Düzenlemesi Etkin	43
Şekil. 4.14.	Cam Bölmeli Kablosuz İletişim Topolojisi	44
Şekil. 4.15.	Cam Bölmeli Sinyal Şiddeti	44
Şekil. 4.16.	Ahşap Bölmeli Kablosuz İletişim Topolojisi	45
Şekil. 4.17.	Ahşap Bölmeli Sinyal Şiddeti	45
Şekil. 4.18.	Beton Duvar Bölmeli Kablosuz İletişim Topolojisi	46
Şekil. 4.19.	Beton Duvar Bölmeli Sinyal Şiddeti	46
Şekil. 4.20.	Sinyal Şiddeti Karşılaştırmalı Performans Ölçümü	47

KISALTMALAR

ACK	:	Acknowledgment
AKKO	:	Açık Kaynak Kod
A-MPDU	:	Aggregate MAC Protocol Data Unit
AP	:	Access Pointer
BSS	:	Basic Service Set
CDMA	:	Code Division Multiple Access
CSMA/CD	:	Carrier-Sense Multiple Access/Collision Detection
DCF	:	Distributed Coordination Function
DSSS	:	Direct Sequence Spread Spectrum
ESS	:	Extended Service Set
FCS	:	Frame Check Squence
FHSS	:	Frequence Hopping Spread Spectrum
FK	:	Fiziksel Katman
GSM	:	Global System for Mobile Communication
HC	:	Hybrid Coordinastor
IEEE	:	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IRDA	:	Infrared Direct Access
ISM	:	Industrial Scientific and Medical
MAC	:	Media Access Control
MIMO	:	Multiple-Input Multiple-Output
MPDU	:	Message Protocol Data Unit

MSDU	:	Mac Service Data Units
NAV	:	Network Allocation Vectors
OFDM	:	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	:	Open System Interconnect
PCF	:	Point Coordination Function
QAM	:	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	:	Quality Of Services
RF	:	Radyo Frekans
RTS/CTS	:	Request To Send and Clear To Send
SNR	:	Signal Noise Rate
TG	:	Task Group
UNII	:	Universal National Information Infrastructure
WLAN	:	Wireless Local Area Network
WPAN	:	Wireless Personel Area Network
WWAN	:	Wireless Wide Area
WWISE	:	World Wide Spectrum Efficency

1. GİRİŞ

İki nokta arasında aynı anda veri paylaşımı 19.yy' da telgrafın icadı ile ortaya çıkmıştır. Bu bilgi ağları, bilgisayar ve diğer haberleşme cihazlarının da katılımı ile çok hızlı bir şekilde genişlemiş, bugün ağların ağı olarak adlandırılan internet ağına kadar gelmiştir. Günümüz itibari ile haberleşme sistemleri askeri amaçlı, havacılık, denizcilik ve günlük yaşamımız da yoğun olarak kullanılmaktadır. Elinizdeki telefon, masanızdaki bilgisayar, duvarınızdaki televizyon veya cebinizdeki arabanıza ait uzaktan kumanda, ağların yani veri paylaşım ortamlarının ne kadar hayatımızla iç içe olduğunu anlatmak için birkaç örnektir.

Bilgisayarlar ise mevcut haberleşme ortamlarını kullanan en işlevsel cihazlardır. Sürekli gelişmekte olan günümüz teknolojisinde, çoğulcu ve katılımcı yaklaşımla kişisel bilgisayar kullanımlarından katılımcı bilgisayar kullanımına doğru hızlı bir geçiş söz konusudur. 20.yy' dan 21.yy' a geçerken bu kayma gittikçe belirginleşmiş ve artık hiçbir ağla irtibatlandırılmayan kişisel amaçlı bilgisayar kullanımı neredeyse kalmamıştır. Örneğin; kullanıcı en büyük ağ olan internet üzerinden veri paylaşımı yapabilmekte, aradığı bilgiye en hızlı şekilde ulaşabilmekte, sesli ve görsel haberleşebilmekte, mevcut telefon ücretlendirmelerinden çok ucuza telefon görüşmeleri yapabilmektedir. Tüm bu faydalar göz önüne alındığında bilgisayar ağlarının popülerliğinin neden arttığı kolayca anlaşılmaktadır.

Çalışmanın ana unsurunu, yukarıda bahsedilen ihtiyaçların karşılanması noktasında Ekim 2009 tarihinde Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers –IEEE) tarafından yayımlanan IEEE 802.11n' standardının incelenmesi ve performans analizlerinin gerçekleştirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda yazılan tez, beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm Giriş olup bu tezin amacını özetlemektedir. İkinci bölümde kablosuz bilgisayar ağlarının temel altyapısında kullanılan elektromanyetik dalgaların çeşitleri, halihazırda kullanılan kablosuz ağ standartları ve sağladıkları azami veri aktarım hızı ile kullandıkları sinyal işleme yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde tezin ana unsurunu oluşturan IEEE 802.11n standardının geliştirme ve standartlaşma aşamaları özetlenmiş, IEEE 802.11n' in genel yapısı, veri aktarım hızının yükseltilmesine yönelik iyileştirme faaliyetleri detaylı olarak irdelenmiştir.

Dördüncü bölümde; üçüncü bölümde bahsedilen özellik ve iyileştirme çalışmalarının veri aktarım hızında ve çekim mesafesinde ne gibi artışlar sağladığı yapılan inceleme ve performans analizleri ile gösterilmiş, sonuç bölümü olan beşinci bölümünde ise performans analizlerinde ortaya çıkan değerler ve grafiklerin sebep ve neden ilişkileri üzerinde durulmuş ve genel değerlendirme yapılmıştır.

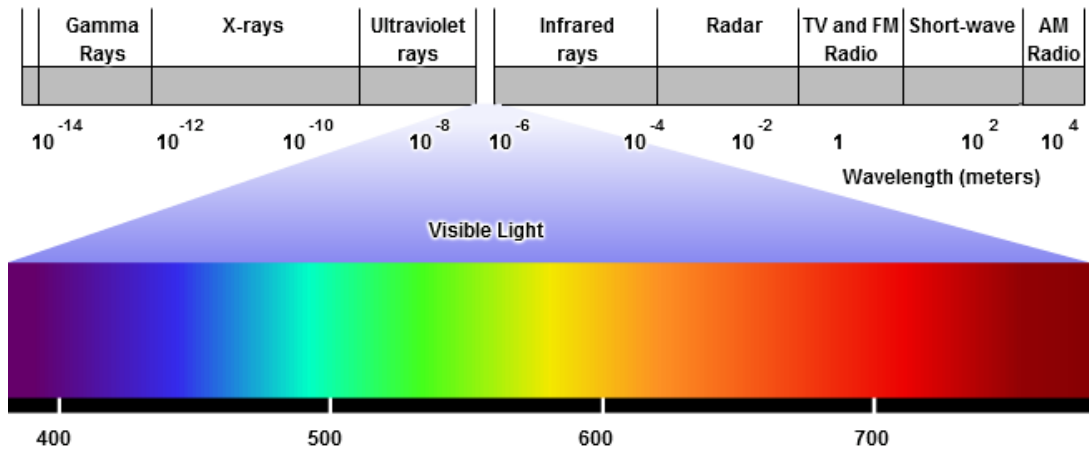
Tez yazım esnasında 802.11n standardını inceleyen akademik Türkçe bir kaynağa rastlanmamış olup, 802.11n standardını kapsayan bundan sonraki akademik çalışmalarda bu tezin kaynak olabileceği değerlendirilmiştir.

2. KABLOSUZ BİLGİSAYAR AĞLARI

Kablolu ağlara ek olarak gelişmekte olan kablosuz ağ teknolojileri genel anlamda; iki cihaz arasında bilginin taşınması maksadıyla elektromanyetik dalgaların kullanılması olarak tanımlayabiliriz. Kablolu bilgisayar ağlarında kablodan kaynaklanan birçok dezavantaj, örneğin esnek hareket edememe, kablo maliyetinin yüksek olması, görüntü kirliliğine sebebiyet vermesi, ağın genişletilmesinde sıkıntılarla karşılaşılması kablosuz ağ teknolojisinin popülerliğini hızla artırmıştır.

2.1. Elektromanyetik Dalgalar ve Radyo Frekansı

Elektromanyetik dalgaların en yaygın kullanılanları; radyo ve televizyon yayın bantları, gamma ray ve x-ray dır (**Şekil 2.1**). Her gelişmiş kablosuz sistemler belirli bir frekans bantları aracılığı ile haberleşirler. Örneğin 105MHz’ de müzik ve haberleri almamızı sağlayan Radyo Frekans (RF) aralığı, televizyon yayımlarının yapıldığı 50-800MHz frekans aralığı, cep telefonlarının haberleşmesinde ve kablosuz bilgisayar ağlarında kullanılan 2.4 GHz frekans bantları bunlardan birkaçıdır.



Şekil 2.1. Elektromanyetik Dalgalar [1]

Her bir dalganın farklı enerji ve değeri mevcuttur. Günümüzde en yaygın kullanılan frekanslar kızıl ötesi ve RF'ı nı kapsayan veri aktarımına imkan veren frekans aralıklarıdır.

2.1.1. Infrared Direct Access (IRDA)

Kızılötesi frekansın kullanıldığı kızıl ötesi teknolojisi Infrared Direct Access (IRDA) olarak adlandırılmaktadır. IRDA düşük enerji kullanmakta ve bu nedenle duvarlardan veya diğer engellerden geçememektedir. IRDA teknolojisinde antenlerin birbirini karşılıklı görmesi gerektiğinden, bilgi aktarımı yapacak olan cihazların birbirine yakın ve karşılıklı olması gerekmektedir. Günümüzde kablosuz fare, kablosuz klavye, telefon ve bazı eski teknoloji dizüstü bilgisayarlarda bu teknoloji hala kullanılmaktadır.

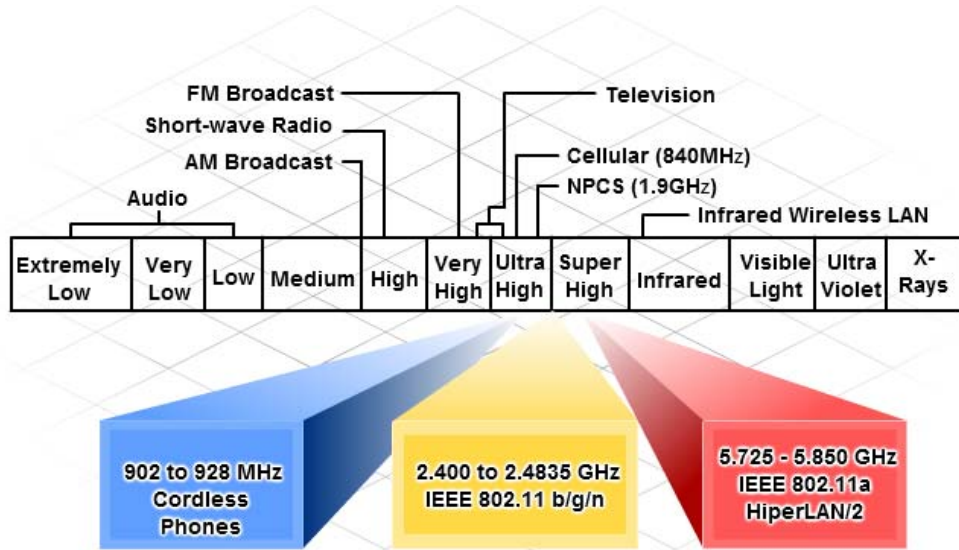
2.1.2. Bluetooth

Frekanslar kullanılarak geliştirilen iletişim teknolojilerinden bir diğeri 2.4 GHz frekansında, düşük veri aktarım hızı ve kısa mesafelerde kullanılan Mavidiş (Bluetooth) teknolojisidir. Bu teknoloji IRDA' ın yerine kullanılmaya başlanmış, bluetooth fare, bluetooth klavye v.b bilgisayar çevre birimlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojinin IRDA' dan farkı aynı anda birçok cihazın birbiri ile iletişim kurabilmesi ve bu cihazların birbirini görmesine gerek duymamasıdır.

2.1.3. Radyo Frekansları

IRDA ve bluetooth teknolojisinin kullandığı kızıl ötesi dalgaların aksine, radyo frekansları duvar veya benzer diğer engellerden rahatlıkla geçebilmekte ve kızıl ötesi dalgalardan daha uzak mesafelere gidebilmektedir. İşte bu özellik RF' ı nın kullanımını yaygınlaştırmakta ve kullanım alanlarını genişletmektedir. RF teknolojisi kablosuz telefonlar başta olmak üzere, kablosuz bilgisayar ağları ve bilgisayar çevre birimlerinin bağlanmasında kullanılmaktadır. RF sinyali boşlukta ışık hızına yakın değerdedir.

RF sinyali suya düşen bir taşın oluşturduğu dalgalar gibi yayılmaktadır. Bu nedenle veri kaybı ve güvenlik hususlarında sorunlarla karşılaşmaktadır. Bunları aşmak için farklı algoritmalar ve güvenlik protokolleri geliştirilmiş olmasına rağmen kablosuz ağlara güvenilirlik henüz istenilen seviyede değildir [1].

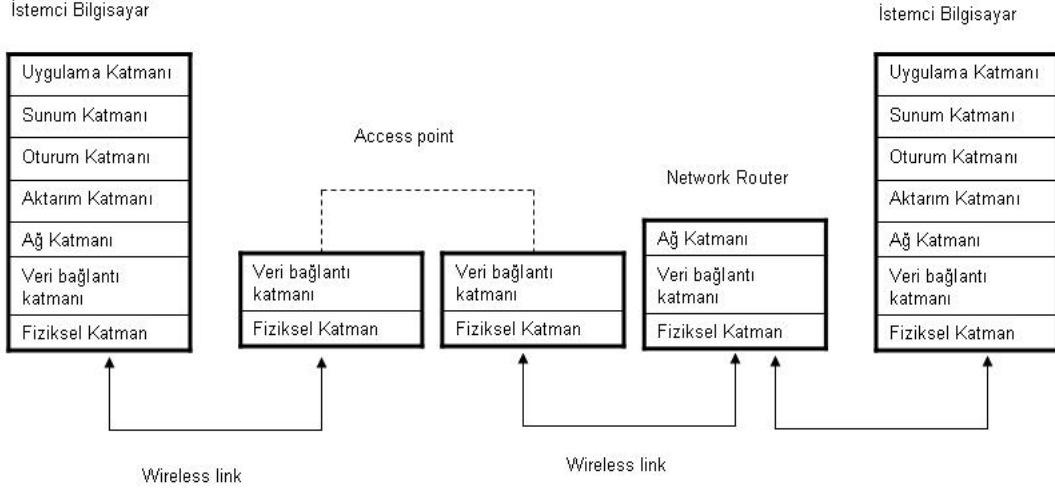


Şekil 2.2. Elektromanyetik Dalgalar Frekans Aralıkları [1]

RF; 900MHz, 2.4GHz, 5GHz frekans aralıklarını kullanmaktadır (Şekil 2.2.). Bu frekanslar Industrial Scientific and Medical (ISM) kanal olarak da bilinmektedir.

2.2. Kablosuz Ağ Haberleşme Yöntemleri

Bilgisayarlar birbiri ile haberleşmede Açık Sistemler Arabağlaşımı (Open System Interconnect - OSI) katmanlar sırasını kullanmaktadır (Şekil 2.3.). Bilgisayar ağlarında kullanılan Erişim Noktaları (Access Pointer – AP) bu yapının birinci ve ikinci katmanlarını kullanmaktadır [2].

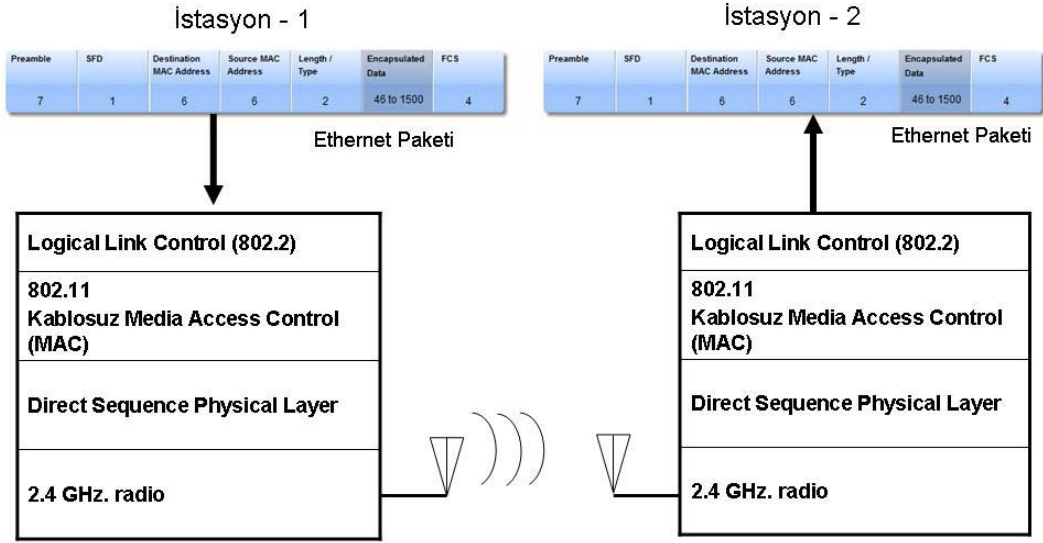


Şekil 2.3. Kablosuz Ağ Haberleşme Katmanları

Kablosuz ağlar, 1973 yılında Xerox Palo Alto Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen günümüzde en popüler haberleşme teknolojisi olan Ethernet teknolojisini kullanmaktadır.

Ethernet bir asenkron teknolojisidir; İstemci bilgisayarlara atanmış bir zaman dilimi yoktur ve iletişim ortamında herhangi bir iletişim yetkisi kontrol merkezine ihtiyaç duymaz. Bunun yerine ortamda veri aktarımının olup olmadığını anlamak amacıyla bir mesaj gönderilerek veri aktarımı sıraya sokulmaktadır. Bu mesajın genel adı Carrier-Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD) dır. Ethernet paketinde 4 byte olan Çerçeve Kontrol Sıklığı (Frame Check Sequence - FCS) bölümünde yer almaktadır.

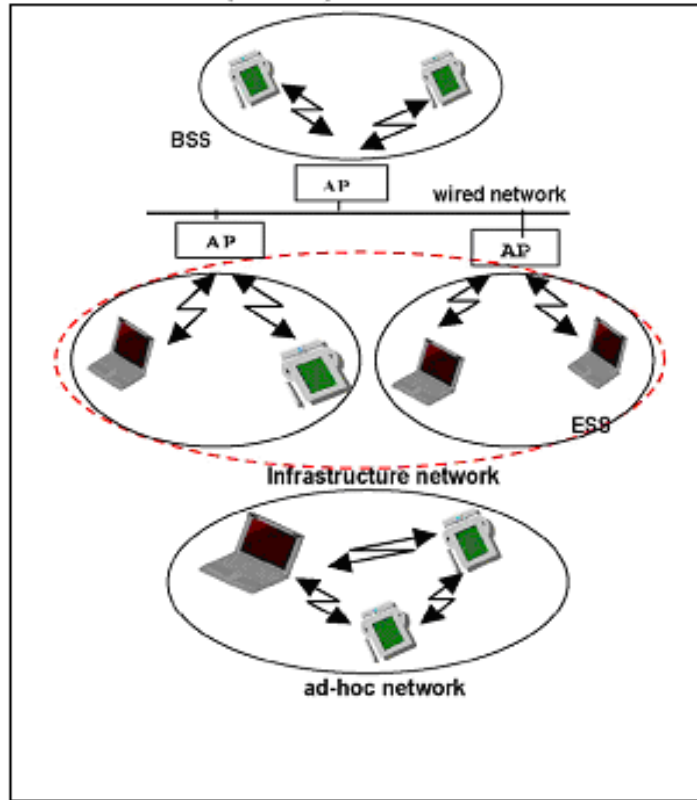
Ethernet teknolojisinde veriler paketlere bölünerek belli aralıklardaki bit sayısına uygun olarak gönderilirler. Kablolu ağlarda 802.3 standardı olarak adlandırılan bu çerçeve yapısı, kablosuz ağlarda 802.11 olarak adlandırılmakta olup, gönderilecek ethernet çerçevesi elektromanyetik dalgalar ile bir istasyondan diğer bir istasyona taşınmaktadır (Şekil 2.4.) .



Şekil 2.4. Çerçeve Gönderim Katmanları [2]

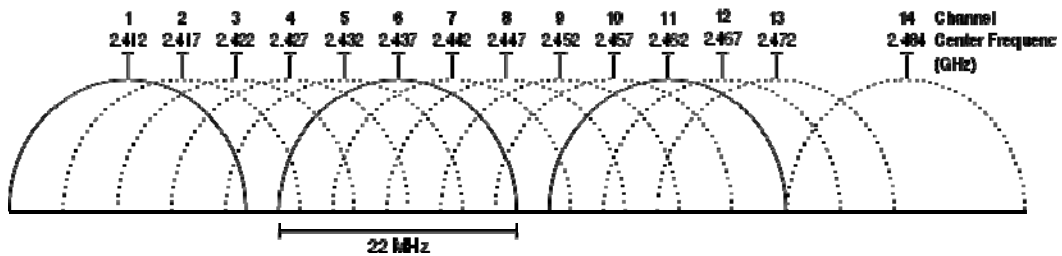
IEEE 802.11 standartları OSI katmanlarından Veri Bağlantı Katmanı (Media Access Control - MAC) katmanı ve Fiziksel Katmanı kapsamaktadır. IEEE 802.11 standardı **Şekil 2.5'** de görüldüğü gibi tek bir AP olan Basic Service Set (BSS) ve Extended Service Set (ESS)' i tanımlamaktadır. ESS ;birbirine kablo ile bağlı BSS' lerden oluşmaktadır [4].

Genel anlamda kablosuz ağ cihazları iki şekilde konfigüre edilebilirler. Bağlantı alanında en az bir adet AP olan ağlara infrastructure mod, herhangi bir erişim merkezi ve yönlendirmeye ihtiyaç duyulmadan ortamdaki tüm kablosuz cihazların birbiri ile doğrudan haberleşebildikleri ağ çeşidine ise ad-hoc mod denmektedir.



Şekil 2.5. BSS ve ESS İlişkisi [15]

802.11 standardı kısıtlı frekans aralığına sahip ISM frekans bandını yönetmektedir. Bu bant 2.412 - 2.472GHz aralığında olup, 5MHz bant genişliklerinde toplam 13 kanala bölünmüştür. Frekans karışmasından kaçınmak için tek bir AP'ın kullanıldığı BSS'ler beşli kanallara ayrılmaktadır. Bu nedenle iki veya daha fazla BSS içeren bir ESS sistemi kurmak için sadece 3 kanal kalmaktadır (Şekil 2.6.) [4].



Şekil 2.6. 2.4GHz Frekans Aralığı Üzerinde Kanal Dağılımı

IEEE 802.11 MAC katmanında iki farklı ortam erişim fonksiyonu söz konusudur; Dağıtılmış Eşgüdüm Fonksiyonu (Distributed Coordination Function - DCF) ve Nokta Eşgüdüm Fonksiyonu (Point Coordination Function - PCF).

DCF, Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) çoklu erişim metodu üzerine kurulmuştur. Bir gönderici aynı anda hem gönderme hem alma işlemini gerçekleştiremez. Bu nedenle verinin eksiksiz ve tam olarak gönderildiğini veya çakışma olmaması için ortamdaki başka bir istemci tarafından veri aktarımı yapılmadığına dair bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. İşte tüm bu bilgilerin elde edilmesi için CSMA/CA protokolü kullanılmaktadır. DCF çarpışmayı önlemek veya bir diğer problem olan gizli terminal problemini önlemek için RTS/CTS (Request To Send and Clear To Send) sinyallerini kullanmaktadır. Ağdaki tüm kablosuz cihazlar RTS veya CTS sinyalini duyduğu zaman Ağ Tahsis Vektörleri (Network Allocation Vectors- NAV) listelerini güncellerler.

Diğer taraftan PCF protokolünde; ortamda bulunan erişim merkezi AP, kendisine bağlı istasyonlara veri gönderme noktasında kontrollü olarak izin verir.

IEEE 802.11 standardı alt standartlarından birisi ise 802.11e standardı olup, Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network- WLAN) uygulamaları için Servis Kalitesi (Quality Of Services – QoS) sağlamaktadır. QoS sistemi IP üzerinden ses iletimi gibi uygulamalarda önemli görevler üstlenmektedir. QoS sağlanması için Extended DCF (EDCF) protokolü kullanılmaktadır. Bu protokol sayesinde sınıflandırılmış sekiz farklı trafiği belirlenen önceliklerine göre alma ve gönderme işlemi sağlanmaktadır.

İkinci QoS sağlama mekanizması Extended PCF (EPCF) olup, PCF' nin genişletilmiş halidir. Bu metot Hybrid Coordinator (HC) olarak adlandırılan genellikle bir AP' in yaptığı merkezi QoS koordinatörlüğüdür. AP kendisine bağlı tüm istasyonlara QoS sinyali göndererek hangi tür verilerin öncelikli olduğuna dair bilgileri kendisine bağlı istasyonlara aktarmaktadır.

2.3. Sinyal Modülasyon Yöntemleri :

Yayılm Spektrumu (Spread Spectrum) metodu kullanılarak, aynı frekans da birden çok kullanıcıya aynı ortamda gönderme yapılabilmektedir. Bu teknoloji kullanılarak geliştirilen modülasyon çeşitleri ve kullanıldıkları standartlar **Tablo 2.1.**' de verilmiştir. İncelediğimiz standart olan 802.11n' teknolojisinde Dik Frekans Bölmeli Çoğullama - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) kullanılmakta, ancak gerçek veri aktarım hızının artırılması Çoklu Giriş- Çoklu Çıkış (Multiple-Input Multiple-Output MIMO) ve OFDM ikilisinin beraber kullanımı ile gerçekleştirilmektedir.

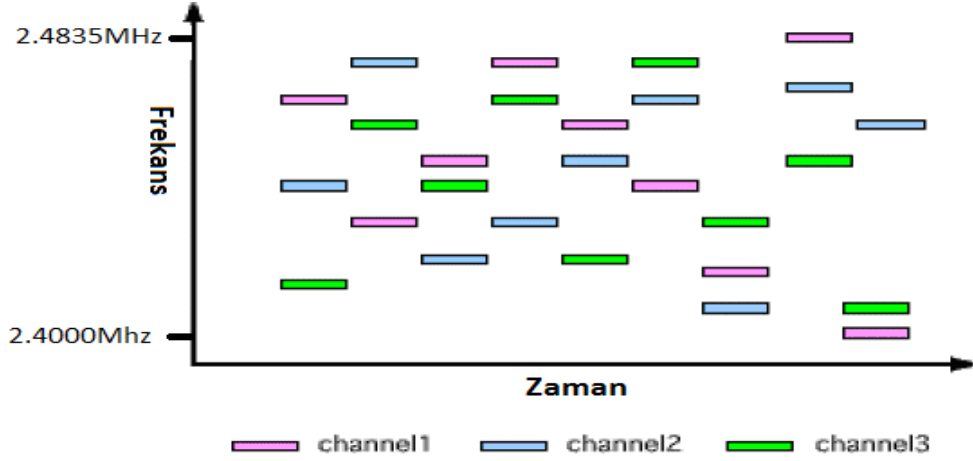
Tablo 2.1. Kablosuz Ağ Standartlarında Kullanılan Modülasyon Çeşitleri [5]

Standart	Frekans Aralığı	Maksimum Veri Aktarım Hızı	Kanal Genişliği	Modülasyon Çeşidi
802.11a	5 – 5.825 GHz	54 Mbps	20 MHz	52-OFDM, 64-QAM
802.11b	2.4 – 2.485 GHz	11 Mbps	20 MHz	DSSS/CCK QPSK
802.11g	2.4 – 2.485 GHz	54 Mbps	20 MHz	OFDM, 64-QAM
802.11n	2.4 – 2.485 GHz, 5 – 5.825 GHz	>500 Mbps	40 MHz	114OFDM, 256-QAM

2.3.1. Frekans Atlamalı Yayılm Spektrumu (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS)

FHSS ISM bandında çalışan 2.4GHz frekansında sunulan 83MHz frekans aralığında, sadece 802.11 standardında kullanılan bir modülasyon yöntemidir. Kablosuz ağ teknolojisinde güvenlik öncelikli konular arasında yer almaktadır. Bu nedenle FHSS yöntemi kullanılarak karşılıklı eş zamanlı olarak veri aktarım esnasında frekans değişikliklerine gidilerek güvenlik seviyesi yükseltilmektedir.

Bu teknolojiye 6MHz taşıyıcı frekansı kullanılmaktadır. FHSS modülasyon tekniği kullanan cihazlar maksimum 2Mbps veri aktarım hızı sunabilmektedir [5].

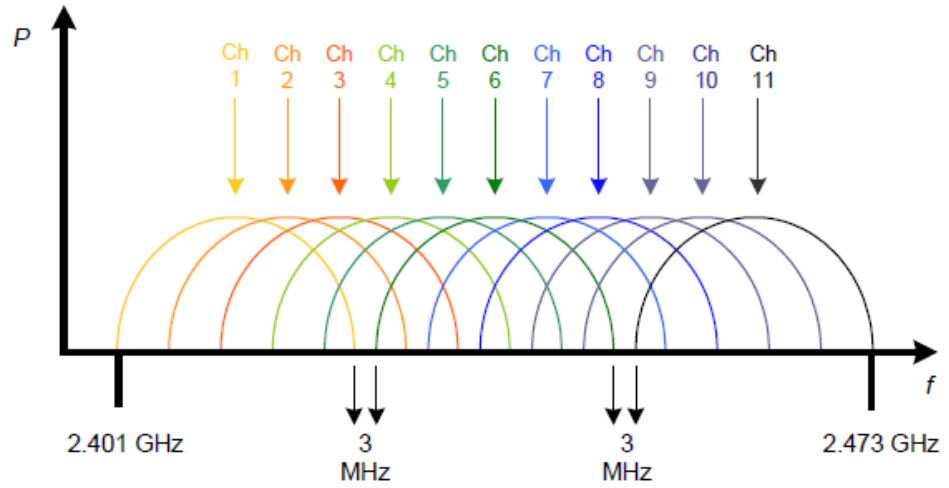


Şekil 2.7. FHSS Kanal İlişkisi [7]

2.3.2. Doğrudan Ardışık Yayılım Spektrumu (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS)

Bu teknolojiye her kanal 22MHz genişliğinde bir alanı yönetmekte olup, taşıyıcı frekans sadece 1MHz dir. 2.4GHz frekansı; 2401-2473 MHz frekans aralığını kapsamaktadır. Bu frekans aralığında toplam 11 kanal mevcuttur. Örneğin kanal 1; 2401 ile 2423MHz aralığının da ($2412 \pm 11\text{MHz}$), kanal 2 2406-2429MHz aralığında ($2417 \pm 11\text{MHz}$) yer almaktadır.

20MHz bant genişliğinde sadece gönderme yapılabilen FHSS' nin aksine DSSS teknolojisi ile 20MHz bant genişliğinde hem gönderme hem de alma işlemi yapılmaktadır. FHSS modülasyon çeşidine göre daha güvenli olmakta olup, halihazırda 802.11b' de kullanılmaktadır [6].



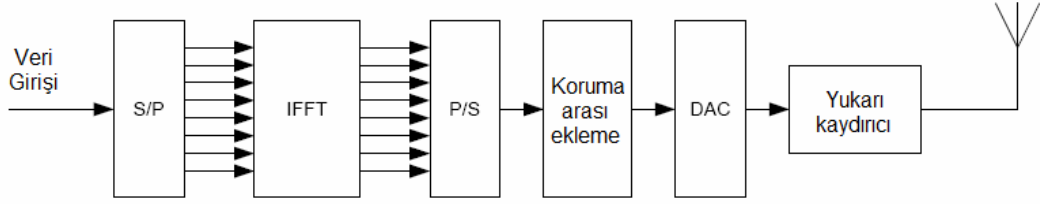
Şekil 2.8. DSSS Kanal İlişkisi [7]

2.3.3. Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM).

OFDM; mevcut geniş bant kanalını eşit dar bant kanallara bölen ve her bir dar bant kanal için taşıyıcı sinyal tahsis eden bir iletişim teknolojisidir.

OFDM teknolojisini kullanan 802.11a ve 802.11g de bir sembol, 800ns koruyucu aralık ile birlikte toplam 4 μ s sürede gönderilmekte olup, bir semboldeki veri biti 72 adet hata doğrulama biti ile birlikte toplam 288 bit dir. Buna denk gelen en yüksek veri aktarım hızı 54Mbps dir. Bu veri bitleri 48 adet sinyal alt taşıyıcısı üzerinden taşınmaktadır. OFDM teknolojisi her bir sinyal alt taşıyıcısındaki bu kadar biti sıkıştırmak için, 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) tekniği kullanarak her bir sinyal alt taşıyıcısının taşıdığı veri bitini 6 bit' e düşürür [8].

Bu teknolojiye seri aktarım yöntemi ile tek bir taşıyıcı sinyal ile aktarılan 288 veri biti, Ayırık Ters Fourier Donusumu (IFFT) yöntemi ile 48 adet alt taşıyıcıya bölünerek paralel şekilde her biri 6 bit taşıyan sinyaller şeklinde modüle edilir ve gönderilir [7].



Şekil 2.9 OFDM Verici Blok Diyagramı [8]

Alıcı tarafında modülasyonun tam tersi demodülasyon yapılarak antenden alınan veri tekrar birleştirilir ve 288 bit' e tamamlanır. Böylece istenilen veri farklı sinyal alt taşıyıcılar ile alıcı tarafına aktarılmış olur. Bu bize sinyalin yolculuğu esnasında karşısına çıkabilecek engel ve engellemelere karşı tek bir sinyal taşıyıcının güvenilirliğini 48 adet sinyal taşıyıcıya aktarır, çıkacak herhangi bir sorun bu 48 taşıyıcıdan birini veya bir kaçını etkiler ancak buna rağmen veri, karşı tarafa kalan diğer sinyal alt taşıyıcıları ile doğru şekilde aktarılmış olur.

2.4. Kablosuz Ağ Çeşitleri :

Kablosuz ağ teknolojileri, kurulan ağdaki kablosuz istemci, sunumcu ve erişim cihazları ile oluşturulan topoloji ve bu cihazların kullanım amacına bağlı olarak Kablosuz Kişisel Alan Ağı (Wireless Personal Area Network - WPAN), Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network - WLAN) ve Kablosuz Geniş Alan Ağı (Wireless Wide Area Network - WWAN) olarak üç ana sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 2.10.).

2.4.1. Kablosuz Kişisel Alan Ağı (Wireless Personal Area Network-WPAN) :

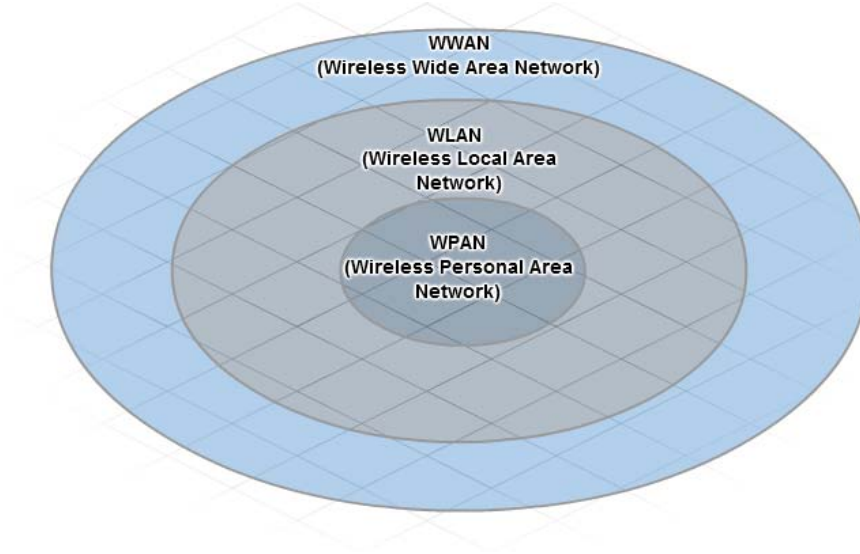
Bu tür bağlantılarda genel olarak bilgisayar çevre birimleri kullanılmaktadır. Teknoloji olarak IRDA ve Bluetooth teknolojileri örnek verilebilir.

2.4.2. Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network-WLAN) :

WLAN, kablolu ağların tipik olarak kullanıldığı yerlerde kullanılır. WLAN RF frekanslarını kullanmakta olup, IEEE 802.11 standartlarına uygundur. Bu ağ topolojisinde; AP olarak bilinen kablosuz ağ cihazı sayesinde birden çok kablosuz istemci birbiri ile bilgi alışverişi yapmakta ve kablolu ağlar ile de irtibatlandırılarak ağ kolayca genişletilebilmektedir.

2.4.3. Kablosuz Geniş Alan Ağı (Wireless Wide Area Network-WWAN) :

WWAN, genişleyebilir WLAN' lar dan oluşan ağ çeşididir. Buna en iyi örnek kablosuz telefon ağlarıdır. Bu ağ teknolojisi Code Division Multiple Access (CDMA) veya Global System for Mobile Communication (GSM) sistemlerini kullanmakta olup, çoğunlukla devlet kurumları tarafından denetleme ve düzenlemesi yapılmaktadır.



Şekil 2.10. Kablosuz Ağ Çeşitleri [1]

Ağ çeşitlerinin hız, mesafe ve uygulama alanlarını **Tablo 2.2.** ' de gösterildiği gibi özetleyebiliriz.

Tablo 2.2. Kablosuz Ağ Çeşitleri

<i>Ağ Çeşidi</i>	WPAN	WLAN	WWAN
<i>Standart</i>	Bluetooth, EDR	IEEE 802.11 a/b/g/n, HiberLAN, HiberLAN2	GPRS,GSM,CDMA
<i>Hız</i>	3Mbps ve altı	1-540Mbps	10-384 Kbps
<i>Mesafe</i>	Kısa	Orta	Uzun
<i>Uygulama</i>	Cihazdan cihaza	Ev ağları ve küçük işletme ağları	PDA' lar ve cep telefonları

2.5. IEEE 802.11 Kablosuz Ağ Standartları

İletişim standartlarını belirleyen IEEE, elektrik mühendisliği, elektronik, biomedikal, telekomünikasyon ve bilgisayar alanlarında teori ve uygulama geliştirmek amacıyla 1884'de kurulmuştur. IEEE 802 LAN/MAN standart komitesi 802.x adı altında bir seri standart yayınlamış olup, 802.11 standardı Haziran 1997'de yayınlamıştır. Bu standardın amacı var olan kablolu LAN'lerin, kablosuz olarak genişlemesini sağlamaktır [9].

Kablosuz ağlar lisans gerektirmeyen RF frekans aralıklarında kullanılmaktadır. Kullanılan frekansların neler olacağı ve hangi protokolleri kullanacağı önceden belirlenmiş ve bir standarda oturtulmuştur. Bu nedenle kablosuz cihazların kullanacakları frekans aralıkları, veri kapasiteleri ve nasıl bilgi alıp göndereceklerine dair ana hususlar IEEE tarafından belirlenmiştir. IEEE 802.11 standardı WLAN standartlarını kapsamaktadır. 802.11a, 802.11b, 802.11g ve geliştirilmesi 2009 sonuna doğru tamamlanan 802.11n standartları şuana kadar belirlenmiş iletişim protokolleri standartlarıdır.

Diğer bir standart belirleme organizasyonu ise Wi-Fi Alliance olup, Wi-Fi cihazlarının testlerinden ve birbiri ile haberleşebilmesinden sorumlu kuruluştur.

Son dönemlerde 802.11 WLAN kablosuz iletişim standardı yüksek iletişim kapasiteleri sunması nedeniyle hızlı bir şekilde gelişmektedir. Örneğin 802.11n 2.4/5 GHz ISM bandında teorik olarak 600Mbps hızına kadar veri aktarım hızı sunabilmektedir. **Tablo 2.3.** ' de IEEE tarafından geliştirilen kablosuz ağ standartlar listelenmiştir.

Tablo 2.3. IEEE Kablosuz Ağ Standartları ve Özellikleri [10]

Standart	Tarih	Frekans	Mesafe	Hız
802.11	Temmuz 1997	2.4 GHz	50 Metre	2Mbps
802.11a	Ekim 1999	5 GHz	35 Metre	54Mbps
802.11b	Ekim 1999	2.4 GHz	30 Metre	11Mbps
802.11g	Haziran 2003	2.4 GHz	100 Metre	54Mbps
802.11n	Ekim 2009	2.4 GHz veya 5 GHz	300 Metre	600Mbps

2.5.1. 802.11a Standardı

Standart isimlerde kullanılan 802.11x teriminde yer alan x' in yerine gelen harf standartlaşma önceliğini göstermektedir. Bu nedenle 802.11' de geliştirilen ilk standart bilinenin aksine 802.11b değil 802.11a' dır. 5GHz frekansında 54Mbps hız sağlayan bu standardın en önemli özelliği OFDM teknolojisini kullanmasıdır. Bu teknoloji sayesinde; multipath denilen çok yönlü sinyal sorunundaki veri kaybını asgari seviyeye çekerek daha efektif ve doğru veri alışverişine imkan sağlamıştır [11].

OFDM teknolojisinin getirdiği avantajlar bir yana, 802.11a' nın 2.4GHz yerine 5.15-5.825GHz bant aralığını kapsayan Universal National Information Infrastructure (UNII) bandını kullanması bu standardın kullanımının yaygınlaşmasına engel olmuştur. Çünkü kullanılan birçok kablosuz ađ cihazı 2,4 GHz frekansında çalışmakta ve 5GHz kullanan 802.11a standardı cihazlar ile haberleşememektedir. Yaygınlaşmamasındaki diğer bir neden ise bu standardı destekleyen kablosuz ađ cihazlarının pahalı olmasıdır.

2.5.2. 802.11b Standardı

1999 yılında standartlaşan bu teknoloji DSSS modülasyon yöntemini kullanarak 2,4GHz frekansında maksimum 11Mbps veri aktarım hızı sağlamaktadır. DSSS modülasyon tekniği sayesinde 22MHz gibi geniş bir frekans aralığında toplam 3 kanal üzerinden daha fazla veri aktarımını mümkün kılmaktadır.

2.5.3. 802.11g Standardı

802.11a'nın en büyük dezavantajı 802.11b gibi 2,4GHz frekansında çalışan cihazlar ile uyumsuzluk göstermesiydi. Bu uyumsuzluğu ortadan kaldıracak standart 802.11g, 2003 yılında 802.11a ile benzer özelliklere sahip ancak 2,4GHz frekansında çalışarak azami 54Mbps veri aktarım hızı sunacak şekilde geliştirilmiş ve standart olarak yayınlanmıştır.

802.11g; 2,4GHz frekansını kullanması nedeniyle daha ucuz cihazlar üretilebilmekte, RF sinyalindeki zayıflıklar daha az olmakta ve sinyal mesafesi uzamaktadır. Ancak tüm bu avantajlara rağmen 2,4GHz bandının yaygın olarak kullanılması nedeniyle 802.11g'nin kullanımında problemlerle karşılaşılmaktadır. 2010 tarihi itibari ile Türkiye' de şuanda en yaygın kullanılan standart söz konusu standarttır.

3. IEEE 802.11N KABLOSUZ AĞ STANDARDI

Halihazırda kullanılan IEEE 802.11a/b/g standartlarından sonra geliştirilen standart teorik olarak azami 600Mbps veri aktarma hızına sahip IEEE 802.11n standardı olmuştur. En az iki anten kullanımı ile sağlanan Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (Multiple-Input Multiple-Output-MIMO) teknolojisi bahse konu standardın ana unsurudur. İki adet 20MHz kanalı birleştirerek 40MHz kanal genişliği sunması, 2,4GHz ve 5GHz frekans bantlarında çalışabilmesi bu standardın diğer ana özellikleridir. Türkiye de 5GHz frekans bandının kullanımının Ulaştırma Bakanlığı tarafından yasaklanması nedeniyle, yakın zamandan önce piyasaya sürülen 802.11n Draft 2.0 destekli modemler sadece 2,4GHz frekans bandında çalışmaktadır. Ancak bu yasağa rağmen bazı üretici firmalar örneğin Cisco firmasının alt kuruluşu olan Linksys, Türkiye pazarına sunduğu bazı kablosuz ağ erişim cihazlarında hem 2,4GHz hem de 5GHz frekans desteği sunmaktadır.

29 Ekim 2009 tarihinde IEEE ‘ ye üye 53 üyeden 46 üye uygundur oyu vererek “802.11n Standardı” yayımlanmış ve böylece Draft 11.0 geliştirici versiyonu son hazırlık versiyonu olmuştur. IEEE 802.11n standardı yayımlanmasına rağmen gerek üretici firmaların hazırlık versiyonlu kablosuz ağ cihazlarının üretimine devam etmesi gerekse pazar stratejisi nedeniyle henüz Türkiye ye IEEE 802.11n standardına sahip kablosuz erişim cihazları ulaşmamıştır. Mayıs 2010 itibari ile MIMO teknolojisini kullanan kablosuz ağ cihazlarında en güncel 802.11n Draft 2.0 desteği bulunmaktadır.

3.1. Geçiş Süreci

2009 yılının sonlarına doğru bir önceki standart olan 802.11g’ nin sunduğu veri aktarım hızından altı kat daha fazla veri aktarım hızı sunan 802.11n’ in yayımlanmasına kadar arada birçok standart yayımlanmıştır. 802.11n bu standartlarda yapılan iyileştirme faaliyetleri sonucunda bahse konu hızına ulaşmıştır. Bu nedenle 802.11n öncesi geliştirilen standartlarında iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

3.1.1. IEEE 802.11a/b/g Standartlarına Geçiş Süreci

1999 yılında IEEE 802.11 standardına yeni iki standart daha eklenmiştir; IEEE 802.11b Fiziksel Katman' da DSSS teknolojisi ile birlikte gelmiştir. Bu teknoloji azami 11Mbps veri aktarım hızına çıkılabilmektedir. Diğer standart IEEE 802.11a, 5GHz' de fiziksel katmanda OFDM kullanarak azami 54Mbps hıza kadar çıkmıştır. Teorik olarak belirlenen azami hızların aksine uygulamada örneğin 802.11b standardı 11Mbps yerine normal şartlarda azami 5Mbps hız sağladığı yapılan performans analizlerinde de doğrulanarak gösterilmiştir [12].

Teorik olarak 54Mbps veri aktarma hızına sahip olan 802.11a standardı normal şartlarda azami 20Mbps' e ulaşabilmektedir. 802.11a'nın kullandığı frekans bandının diğer standartlardan farklı olması nedeniyle üretilen cihazların pahalı ve uyumsuz olmasına sebep olmuştur. Ayrıca 5GHz frekansını kullanan 802.11a standardındaki kablosuz ağ cihazlarını Avrupa'nın geneli kısıtlamış ve sadece Kuzey Amerika da marketlerde popülerliğini devam ettirebilmiştir. Ancak dünyanın yüksek hızlı 802.11n teknolojisi ile tanışmasından sonra 5GHz frekans bandının kullanımının giderek yaygınlaşması öngörülmektedir.

Bir diğer standart olan IEEE 802.11g iyi bir performans sunması ve en çok tercih edilen standart olmasına rağmen bazı yüksek veri aktarım gerektiren uygulamalarda yetersiz kalmıştır. Örneğin yüksek kalitede video aktarım, video konferans uygulamaları ve kablosuz ağlarda ulaşılması hedeflenen gigabite teknolojisine geçiş çalışmaları. İşte tam bu noktada 802.11n bizi bu hedefe doğru yaklaştıran son teknoloji olarak önümüze çıkmaktadır.

3.1.2. IEEE 802.11n Standardına Geçiş Süreci

IEEE, Task Group (TG)' a yeni bir standart geliştirme görevini vermesi ile 802.11n standardının geliştirilmesine ilk adım 2003 yılında atılmış oldu. Başlangıçta hedef en az 100Mbps veri aktarım hızına ulaşabilmektir. Aslında bu hedefe ulaşmak 802.11a/g için belirlenen azami 54Mbps hızının iki katına çıkartılması ile mümkün olabilecektir. İlk çalışmalarda birçok donanım ve ağ üretici firmaları bu yeni

düzenleme için birçok tavsiye ve destekte bulundular. Ancak 2005 Şubat ayına gelindiğinde sadece bir kaç değerli firma bu çalışmalara destek olmuştur.

2003 Aralık ayında Singapur’ da yapılan toplantıda standardın Mart 2007 de yayımlanacağı öngörülmüş olmasına rağmen Ekim 2009’ da tam bir standart olarak yayımlanabilmiştir.

3.1.2.1 . World Wide Spectrum Efficiency (WWISE)

Airgo Networks, Broadcom, Motorola firmalarının oluşturduğu World Wide Spectrum Efficiency (WWISE) 802.11n standardının geliştirme sürecinde görev yapan bir çalışma grubudur. Genel olarak bu çalışma grubunun önerisi; 11b/g’nin kullandığı 20MHz bant genişliğini MIMO teknolojisini OFDM ile beraber daha efektif kullanmak ve uygulamada veri aktarma hızının azami 135Mbps’ e ulaşılabilmesi hedefi üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır.

3.1.2.2 . TGn Sync Task Group

Diğer çalışma grubu Atheros Communications, Intel, Philips, Sony gibi büyük üretici firmalarının oluşturduğu TGn Sync çalışma grubudur. Bu çalışma grubu ise band genişliğinin 40MHz’ e çıkartılarak iki katı hıza ulaşılabilineceği (20MHz x 2) ve yapılacak diğer düzenlemeler ile veri aktarım hızının azami 315Mbps’ e çıkartılabileceği önerisinde bulunmuşlardır [12, 13].

3.2. IEEE 802.11n’in Mimari Yapısı;

Halihazırda kullanıma devam edilen 802.11a/b/g standartlarında yapılan geliştirme ve eklemeler ile 802.11n hazırlanmıştır. Yapılan bu geliştirmeler Fiziksel Katmanda yapılan geliştirmeler ve MAC Katmanında yapılan geliştirmeler olarak iki ayrılmış ve incelenmiştir.

3.2.1. Fiziksel Katmanda Yapılan Düzenlemeler:

Fiziksel katmanda yapılan iyileştirmeler genel olarak frekans, modülasyon, sinyal işleme ve kanal üzerinde yapılan iyileştirmelerdir. Yapılan bu düzenlemelerin veri aktarım hızı ve mesafede ne gibi artılar sağladığı ileriki maddelerde normal şartlarda ölçülerek analiz edilecek olup, bir önceki standartlara göre artış miktarı **Tablo 3.1.**'de özetle verilmiştir.

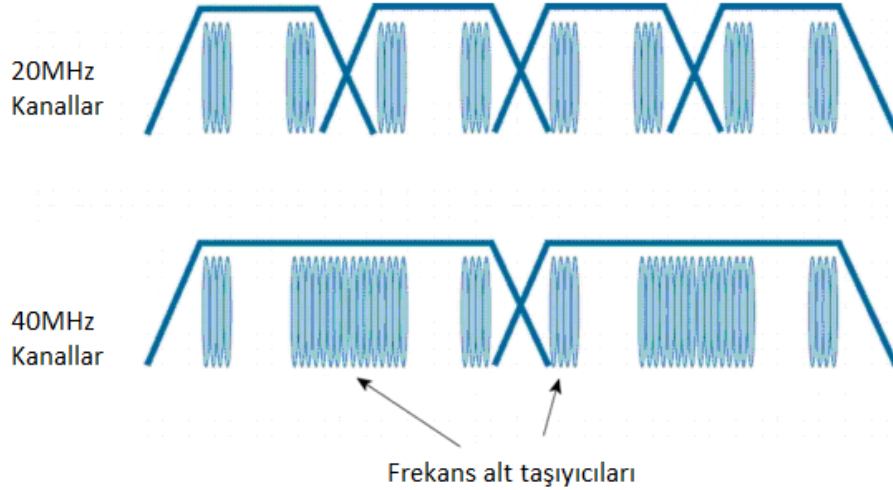
Tablo 3.1. Fiziksel Katmanda Yapılan İyileştirmeler [15]

802.11n Veri Aktarım Hızı Artırma Çalışmaları	Açıklama	Teorik Olarak 802.11 a/b/g Üzerine Artış Miktarı
MIMO Teknolojisinin Kullanılması	Tek olan sinyal akım miktarını en az 2 uzaysal sinyal akımına çıkartarak veri aktarma hızını artırmak.	100%
40 MHz Kanal Genişliği	Halihazırda kullanılan 20MHz bant genişliğini iki katına çıkartarak veri aktarma hızını artırmak.	100%
OFDM Teknolojisinin Kullanılması	802.11a/b/g de olan 48 adet frekans alt taşıyıcı sayısını 52 frekans alt taşıyıcı sayısına çıkartarak her sinyal akımı başına en yüksek hız olan 65Mbps veri aktarım hızına çıkartmak.	20%

3.2.1.1 . Kanal Genişletme:

802.11n standardını hızlı yapan düzenlemelerden birisi uzaysal sinyal akımının çoklanması ve kanal genişliğinin artırılmasıdır. Geleneksel IEEE 802.11b,a,g standartları halihazırda 20MHz bant genişliğini kullanmaktadır. 802.11n ise hem 20MHz hem de 40MHz bant genişliği ve her kanal için 4 adet uzaysal sinyal akımı sunmaktadır. 5GHz frekansında 40MHz bant genişliğinde kullanılan 802.11n kablosuz cihazın maksimum 600Mbps veri aktarım hızı sunacağı teorik olarak öngörülmektedir. 40MHz' de 2 adet uzaysal sinyal akımı kullanılmasında ise maksimum 300Mbps veri aktarım hızına ulaşılacağı değerlendirilmektedir.

40MHz bant genişliği sadece 5GHz frekansında desteklenmektedir. Çünkü ISM 2.4GHz bandının içine 40MHz bant genişliklerini sıkıştırmak kullanım açısından efektif değildir. 20MHz bant genişliği mevcut standartlarda zorunlu kullanılması gereken genişliktir. Ancak 802.11n standardında 40MHz bant genişliğini kullanmak opsiyonlu olarak sunulmaktadır.



Şekil 3.1. Fiziksel Katmanda Yapılan İyileştirmeler [9]

802.11n teknolojisinde mevcut iki kanalı bir kanal olarak birleştirerek 40MHz bant genişliği sağlanmakta ancak bu belirli frekans aralığında daha az kanal, dolayısı ile daha az BSS kullanımı demektir.. Bu nedenle 802.11n kablosuz cihazlarda 20MHz zorunlu, 40MHz seçenekli olarak kullanılabilir.

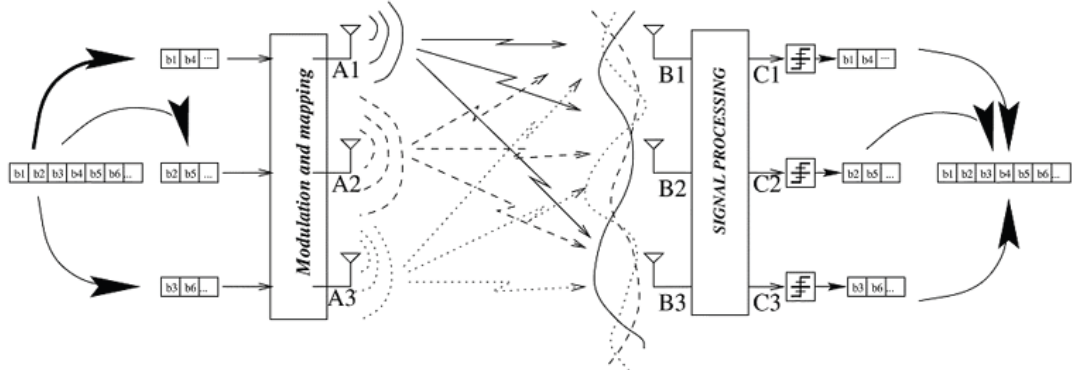
Basitçe veri aktarım hızı $R = E_s \times B_w$ ile formüle edilebilmektedir. R veri aktarım hızı (bit per second, bps), E_s frekans verim oranı (bit per second/hz, bps/hz.), B_w iletişim bant genişliği' ni temsil etmektedir. Örneğin $E_s = 2.7$ bps/Hz.(2.4GHz için) $B_w = 20$ MHz iken $R = 54$ Mbps (802.11a/g) olarak hesaplanacaktır. Yine bu formüle dayanarak 40MHz için $E_s = 3.7$ Bps/Hz (5GHz için), $B_w = 40$ MHz, $R = 144$ Mbps sonucu elde edilecektir. Uzaysal sinyal akımınının 4' e çıkartılması ile $R ; 144 \times 4 = 600$ Mbps olacaktır [16].

3.2.1.2. MIMO – OFDM Teknolojisinin Kullanımı

MIMO teknolojisini; 802.11n in veri aktarım hızında yakaladığı başarımın gerçek sırrı olarak değerlendirmemiz hatalı olmaz. Özellikle OFDM teknoloji ile beraber kullanımı ile MIMO-OFDM sistemleri hayal edilen ve hedeflenen gigabite seviyesinde kablosuz veri aktarım hızına ulaşmada önemli görevler üstleneceği değerlendirilmektedir.

802.11a/b/g standartlarını destekleyen kablosuz erişim noktalarında veri göndermek için bir, almak için de bir adet anten kullanılmaktaydı. 802.11n ise kanal kapasitesini artırmak için iki veya daha fazla anten kullanmaktadır. Antenlerden saçılan sinyal birbirine karışmadan bağımsız iletim yolları oluşturmakta ve böylece geniş kanal verimliliği ortaya çıkmaktadır.

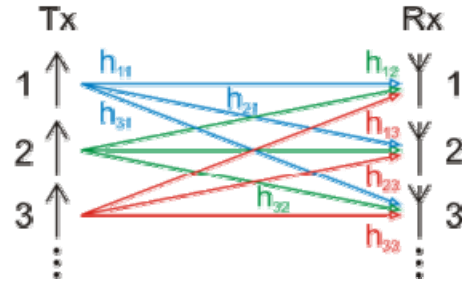
OFDM teknolojisi ile çok sayıda sinyal alt taşıyıcısı kullanılarak farklı antenlere yönlendirilen veri, burada birbirine karışmayan farklı yollarla gönderilir ve alıcıda matematiksel hesaplarla oluşturulmuş algoritma ile birleştirilerek gönderilen sinyale en yakın iz elde edilmiş olur.



Şekil 3.2. MIMO Çalışma Mantığı [14]

MIMO sisteminde çoklu anten yardımı ile çoklu iletim yolları oluşmaktadır. Gönderilen sinyal n_t kadar anten ve alma için kullanılan n_r kadar anten ile oluşan kanal matrisi H,

$$H = \begin{pmatrix} h_{1,2} & \cdot & \cdot & h_{1,n_t} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ h_{n_r,2} & \cdot & \cdot & h_{n_r,n_t} \end{pmatrix}$$



iletileen işaret vektörü

$x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n_t}]'$ in devriği,

Gauss gürültü oranı vektörü

$v = [v_1, v_2, v_3, \dots, v_{n_t}]'$ nün devriği

ve

alınan işaret vektörü

$y = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_{n_t}]'$ in devriği

$y = Hx + v$ ile formüle edilmektedir.

(3.1)

Burada veri aktarım hızını etkileyen diğer bir değer ise harcanan güçtür. Sinyal Gürültü Oranı (Signal Noise Rate - SNR) ile doğru orantılı olarak artan harcanan güç $\rho = \text{SNR} \cdot \sigma^2$ ile ifade edilir. Tüm bu hesaplamaları kattığımızda alıcı tarafında alınan işaret vektörünü aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$y = \sqrt{\frac{\rho}{n_t}} Hx + v \quad (3.2)$$

Kablosuz ağlarda veri kaybına neden olan çoklu yol sorununun (multipath) MIMO-OFDM teknolojisi ile dezavantajdan avantaja çevrilmesi 802.11n teknolojisindeki en önemli yeniliktir.

3.2.2. MAC Katmanında Yapılan Düzenlemeler:

Mac katmanında yapılan iyileştirmeler genellikle vericiden alıcıya gönderilen çerçeve içerisinde yapılan düzenlemeler ve kısaltmaları içermekte olup, bir önceki standartlara göre bu düzenlemelerin veri aktarma hızına ne kadar katkı sağlayacağı **Tablo 3.2.** 'de özetle verilmiştir.

Yapılacak performans ölçümlerinde çerçeve düzenlemesinin (frame aggregation) etkin kılınması veya devre dışı bırakılması durumunda 802.11n' in veri aktarım hızında ne türlü değişikliklerin meydana geldiği görülecek ve analiz edilecektir.

Tablo 3.2. MAC Katmanında Yapılan İyileştirmeler [15]

802.11n Veri Aktarım Hızı Artırma Çalışmaları	Açıklama	Teorik Olarak 802.11 a/b/g Üzerine Artış Miktarı
802.11 Koruyucu Aralık Zamanının Kısaltılması	Frekans karışımını önlemek için frekanslar arası verilen koruyucu aralık süresi olan 800ns, 802.11n' de 400ns kadar düşürülmektedir. Bu da bit başına harcanan 4µs yi 3.6 µs ye çekmektedir.	10%
Çerçeve Düzenlemesi ve Onay Paketinin Engellenmesi	A-MPDU(Aggregate MAC Protocol Data Unit /Ortam Erişim Kontrol Protokolü Düzenlemesi) uygulaması iki kablosuz cihaz arasındaki sinyal akımı ile gönderilen çerçeve genişliğini 2.3Kb den 64Kb' e kadar çıkarmaktadır.	Trafik yoğunluğuna göre %100 artış sağlayabilmektedir.

3.2.2.1. Çerçeve Düzenlemesi:

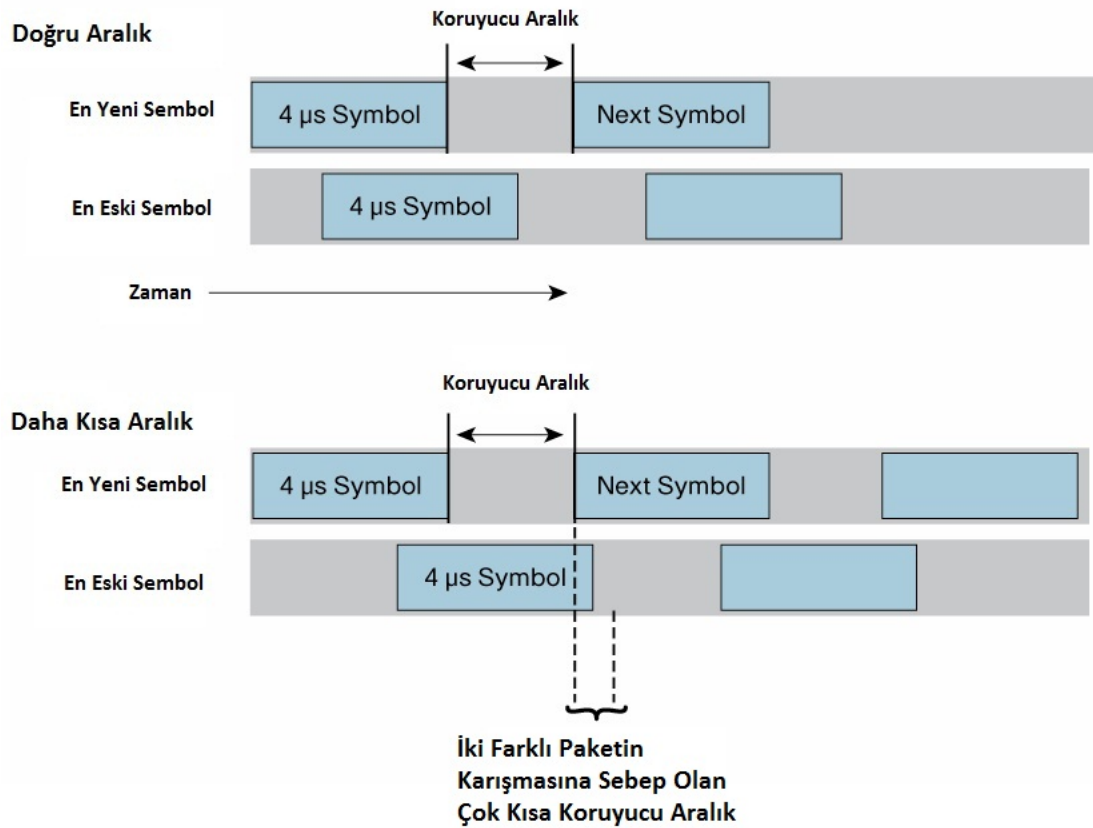
Çerçeve düzenlemesi Media Access Control (MAC)' ü içeren Veri Bağlantı Katmanında yapılmaktadır. 802.11n veri aktarım paketlerinde yapılacak düzenlemeler ile geleneksel kablosuz ağ standartlarından daha yüksek veri aktarım hızı elde edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda müteakip maddelerde belirtilen iyileştirme çalışmalarına gidilmiştir.

3.2.2.2. Koruyucu Aralığın (Guard Interval - GI) Düşürülmesi:

Koruyucu aralık frekans karışımını asgari seviyeye indirmek için her bir OFDM işareti arasında bulunan aralıktır.

Bir verici noktasından alıcı noktasına gönderilen bir paket iki farklı yol üzerinden alıcı tarafına ulaşması durumunda, daha uzun yol kat eden eski paket henüz alıcı tarafına sağlıklı bir şekilde ulaşmamışken, ondan daha kısa bir yol üzerinden alıcıya giden yeni paket çok yol sorununa (multipath) neden olmaktadır. Böyle bir durumun meydana gelmesi kablosuz iletişimde etkinliğin azalmasına neden olmaktadır.

Koruyucu aralık; uzun yol üzerinden gelen geç kalmış sinyal üzerindeki veri paketinin bir sonraki veri paketinden daha önce varışını sağlayan semboller arası sessiz bir zaman periyodudur. Koruyucu aralığın zamanı 800feet (244 metre) lik mesafe farkı için $802.11a/g'$ de 800ns olarak belirlenmiştir [8].



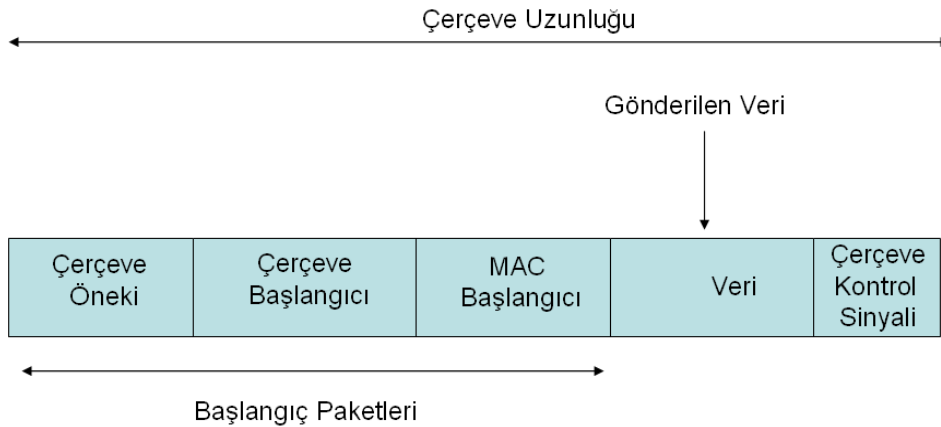
Şekil 3.3 Koruyucu Aralık (Guard Interval - GI) [8]

802.11n teknolojisi de 800ns koruyucu aralık kullanmaktadır. Ancak eğer gönderme ve alma istasyonu arasında 800 feet' lik bir mesafe kesin olarak yoksa, 802.11n 800ns koruyucu aralığı 400ns ye indirmektedir. Bu iyileştirme, 4µs olan sembol gönderim süresini 3.6 µs' ye indirmektedir.

3.2.2.3. Tek Çerçeve Tek Sinyal:

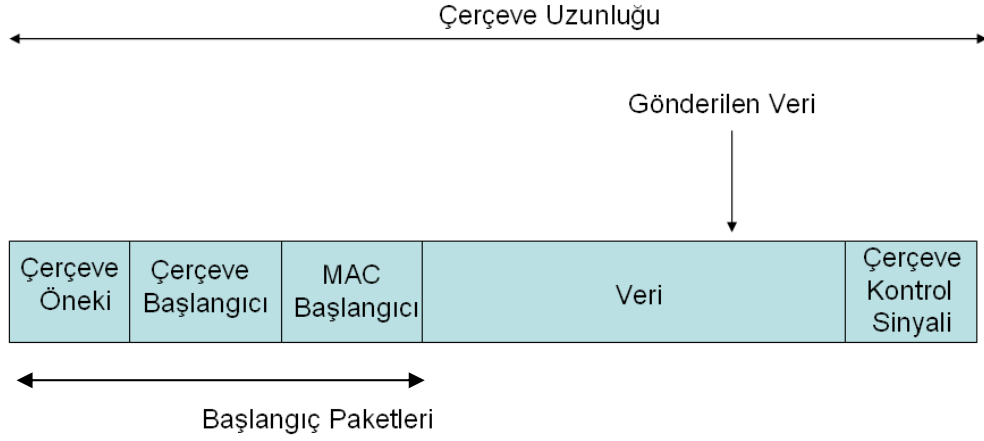
Veri aktarım hızının artırılması için yapılan iyileştirmelerden diğeri MAC katmanında çerçeve içerisinde, ve onay sinyali üzerinde düzenlemelere gidilmesidir.

Bir çerçeve gönderimde gönderilen gerçek veri paketinin önüne ve arkasına birçok başlangıç ve bitiş paketleri eklenmektedir. Bazen başlangıç ve bitiş paketleri gerçek veri paketinden daha fazla yer kaplayabilmekte ve bu nedenle bazen iki farklı sinyal ile ancak gönderilebilmektedir. 802.11n geliştiricileri aşırı yer kaplayan bu başlangıç paketlerinin düşürülmesi ile veri aktarım hızında önemli bir artış olacağını değerlendirerek Çerçeve Bütünleştirmesine (Frame Aggregation) gitmişlerdir.



Şekil. 3.4. Başlangıç Paket Alanları

Aslında çerçeve bütünleştirme; birden fazla çerçevenin tek bir sinyal aracılığıyla gönderilmesi olup, 802.11n bu maksatla iki farklı çerçeve bütünleştirme tekniği kullanmaktadır. Mac Service Data Units (MSDU) aggregation ve Message Protocol Data Unit (MPDU) aggregation. Her iki teknikte başlangıç paketlerinin düşürülmesini sağlamak ve her bir çerçeve için tek bir sinyal kullanılmaktadır.



Şekil. 3.5. Çerçeve Bütünleştirilmesi

Böylelikle hem fazladan zaman kaybı hem de fazla çerçeve gönderimi nedeniyle ortaya çıkan çakışmalar düşürülmüş olmaktadır. Ayrıca tek bir sinyal ile gönderilen çerçevenin uzunluğu da artırılmış olmaktadır. 802.11a/b/g standartların da 4Kb olan çerçeve uzunluğu 802.11n ile 64Kb' e kadar çıkartılmıştır.

3.2.2.4. Onay Paketinin Engellenmesi

IEEE 802.11n' in MAC katmanında yaptığı diğer bir düzenleme onay paketi engelleme Block Acknowledgement (Block ACK) işlemidir.

802.11n öncesi standartlarda her bir çerçevenin verici istasyonundan alıcı istasyonuna eksiksiz olarak ulaştığını kontrol eden Onay (Acknowledgment - ACK) paketi eklenmektedir. Bu paket alıcı istasyonundan verici istasyonuna paketin eksiksiz olarak alındığını bildirmek için gönderilmektedir. Eğer verici ACK paketini almaz ise, ACK paketini alana kadar aynı çerçeveyi sürekli göndermeye başlar. ACK paketi veri aktarım hızının ayarlanmasında da kullanılmaktadır. Eğer alınabilecek çerçeveden fazla gönderim yapılırsa, verici istasyonu gönderim hızını düşürmektedir. Kablolu bilgisayar ağlarında kullanılan bu metot kablosuz ağlarda da kullanılmakta ancak her bir çerçeve için onay paketinin gönderilmesi etkinlik açısından veri aktarım hızını düşürmektedir.

802.11n, eksiksiz alınan birçok çerçeve için tek bir ACK paketinin alıcıdan vericiye göndermekte ve önceki standartlarda ACK paketi için harcanan 128 byte lık alanı dış etkenlerin durumuna bağlı olarak 8 byte' a kadar düşürmektedir.

4. IEEE 802.11N PERFORMANS ANALİZLERİ

Günümüz teknolojisinin bize sağladığı imkanlardan birisi olan kablosuz bilgisayar ağlarındaki sürekli gelişim, bizi daha kaliteli ve hızlı kablosuz iletişim kullanılması noktasında ümitlendirmektedir. Yapılan bu araştırma ve geliştirme faaliyetleri, sunulan ürünler, pazar stratejisi olarak son kullanıcıların beklentileri ve istekleri doğrultusunda ilerlemektedir. Firmalar veya son kullanıcı; ürünün taahhüt ettikleri ile normal şartlarda sundukları arasındaki farkı iyi analiz etmeli ve oluşturacağı ağı, gerçek ortamda yaşayan bir organizma gibi sürekli faal ve genişleyerek hizmet vereceğinin farkında olarak projelendirmeli ve hayata geçirmelidir.

4.1. Amaç

IEEE tarafından sertifikalandırılmış kablolu veya kablosuz yerel alan ağlarındaki veri aktarım hızlarının teorik, benzetim veya özel test ortamlarında elde edilen ile normal şartlarda elde edilen arasındaki fark net olarak ortaya koyulamamaktadır. Çünkü veri aktarım hızı sadece bu işlevi yerine getiren en önemli parça olan ağ bağlantı adaptörü ile değil, kullanılan kablo, mesafe, kullanılan istemci bilgisayarın işlemci hızı, ana bellek kapasitesi, veri depolama aygıtının yazma ve okuma hızı, ana kart veri yolu hızı gibi birçok yan etkenler ile ilintilidir.

Üretici firmaların pazara sunduğu 802.11n standardını destekleyen cihazlarının tanıtım ve kurulum dokümanlarında veri aktarım hızı olarak 144Mbps, 300Mbps gibi değerler içermektedir. Oysaki son kullanıcı bu değerleri hiçbir zaman görememektedir. Yapılan bu performans ölçümleri tamda bu noktada 802.11n standardını destekleyen cihazların normal şartlarda taahhüt ettiği hızın ne kadarına ulaşabildiğini göstermek ve önceki maddelerde belirtilen düzenlemelerin gerçekte veri aktarım hızına katkılarının ne kadar olduğunu ortaya koymaktır. Bahse konu performans analizleri gerçek ortamda yapılarak gerçek verilere ulaşılması hedeflenmiştir.

4.2. Kullanılan Donanımlar/Yazılımlar ve Özellikleri

2010 Mayıs itibari ile Türkiye piyasasına tam sürüm IEEE 802.11n standardını destekleyen kablosuz ağ cihazı henüz ulaşmamıştır. Ancak 802.11n standardının hazırlık sürümlerini destekleyen kablosuz ağ modemleri ve erişim noktaları mevcuttur. Bu modellerden birisi, ağ cihazları üreticilerinin önde gelenlerinden birisi olan Cisco firmasının Linksys markası adı altında piyasaya sürdüğü 802.11n destekli ürünlerdir.

Türkiye de ve bir çok Avrupa ülkelerinde 2.4GHz frekans bandı yoğun olarak kullanılmaktadır. Günümüzde yaşam mahallerinde çoğunlukla birden fazla kablosuz modem, istemciler tarafından otomatik olarak tespit edilmekte olup, tespit edilen kablosuz ağ cihazları ve istemciler aynı frekansı kullanmak zorunda kalmaktadırlar. Kablosuz ağ cihazları iletişim yöntemleri başlığı altında da irdelediğimiz gibi mevcut kanalı sırası ile kullanabilmekte aynı anda birden fazla cihaz birbirine mesaj gönderememektedir. Bu nedenle performans ölçümleri için oluşturulan ağ altyapısında sadece bir adet BSS (WAG320N) yapısının kullanılmasına dikkat edilmiştir.

4.2.1. Kablosuz Erişim Noktası

Kablosuz erişim noktası olarak kullandığımız cihaz Cisco firmasının üretimi olan Linksys WAG320N modelidir. Bahse konu kablosuz ağ cihazının özellikleri **Tablo 4.1.** de detaylı olarak verilmiştir. Çalışmamızda bu modelin seçilmesinde etken olan önemli hususlar;

- a) Hem 2.4GHz hem de 5GHz frekans bantlarında çalışabilmesi,
- b) MIMO-OFDM modülasyon tekniğini kullanması,
- c) Çift bant (Dual Band) şeklinde kullanılabilmesi,
- d) İki'den fazla antenin bulunması (üç anten),
- e) Kablolu gigabite ethernet portlarına sahip olmasıdır.



Şekil 4.1. Kablosuz Erişim Noktası

Kaynak: Kablosuz Modemler , Cisco Üretici Firması, <http://www.linksysbycisco.com/SA/en/products/WAG320N> adresinden 24.03.2010 tarihinde alınmıştır.

Tablo 4.1. Kablosuz Erişim Noktası Özellikleri

Başlık	Özellikler
Marka/Model	Cisco Linksys WAG320N
Desteklediği Standartlar	WLAN: 802.11n draft 2.0, 802.11g, 802.11b, 802.11a Ethernet: 802.3, 802.3u, 802.3ab ADSL: T1.413i2, G.992.1 (G.DMT), G.992.2 (G.Lite), G.992.3 (ADSL2), G.992.5 (ADSL2+) for Annex A, M, L,
Anten Sayısı	3 adet dahili anten
Anten Kazancı	2,4 GHz:RIFA 1 & RIFA 2 & RIFA 3 \leq 4 dBi 5 GHz:RIFA 1 & RIFA 2 & RIFA 3 \leq 3,5 dBi
Modülasyon Çeşitleri	802.11a: OFDM/BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM 802.11b: CCK/QPSK, BPSK 802.11g: OFDM/BPSK, QPSK, 16-QAM,64-QAM 802.11n: OFDM/BPSK, QPSK, 16-QAM,64-QAM
Aktarım Gücü	2,4 GHz: 802.11b: 17,5 dBm 802.11g: 17,5 dBm Wireless-N 20 MHz: 13,5 dBm Wireless-N 40 MHz: 13,5 dBm 5 GHz: 802.11a: 13,5 dBm Wireless-N 20 MHz: 13,5 dBm Wireless-N 40 MHz: 13,5 dBm

Kaynak : Wireles ADSL2 + Modem Router USER GUIDE
(<http://www.linksysbycisco.com/AE/en/support/WAG320N/download>)

4.2.2. Kablosuz Ağ Kartı

Kablosuz ağ kartını seçerken mevcut kablosuz erişim noktası ile uyumlu ve sorunsuz çalışabilecek bir kart geçmeye çalışılmıştır. Bu nedenle yine Cisco firmasının bir ürünü olan WMP600N modeli PCI kablosuz ağ kartı seçilmiştir. Kartın özellikleri **Tablo 4.2.** de verilmiştir.



Şekil. 4.2. Kablosuz Ağ Adaptörü

Kaynak: Kablosuz Adaptörler, Cisco Üretici Firması, <http://www.linksysbycisco.com/SA/en/products/WMP600N> adresinden 24.03.2010 tarihinde alınmıştır.

Tablo 4.2. Kablosuz Ağ Adaptörü Özellikleri

Başlık	Özellikler
Marka/Model	Cisco Linksys WMP600N
Desteklediği Standartlar	IEEE 802.11a/b/g, IEEE 802.11n Draft 2.0
Anten Sayısı	2 adet harici anten
Anten Kazancı	802.11g 2.4 GHz: 2 dBi 802.11a 5 GHz: 2 dBi
Modülasyon Çeşitleri	802.11a: OFDM/BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM 802.11b: CCK/QPSK, BPSK 802.11g: OFDM/BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM 802.11n: OFDM/BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Aktarım Gücü	802.11n 2.4 GHz: 13.5 dBm 802.11n 5 GHz: 12 dBm 802.11g: 13.5 dBm 802.11a: 2 dBm

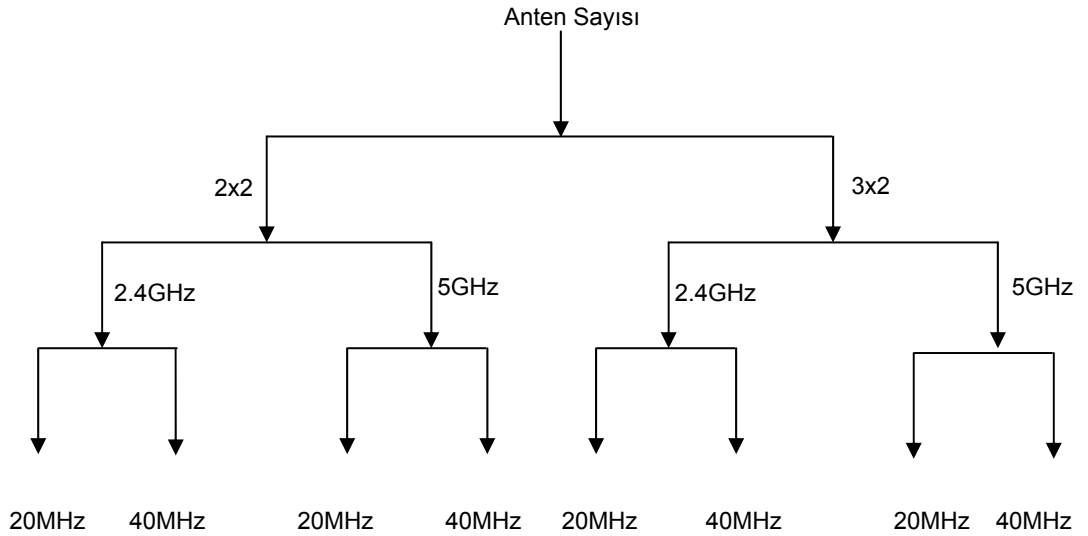
Kaynak : Wireless-N PCI Adapter with Dual-Band User Guide (<http://homesupport.cisco.com/en-us/wireless/lbc/> web sitesinden alınmıştır.

4.2.3. Kullanılan Yazılımlar

Performans ölçüm yazılımı olarak Açık Kaynak Kod (AKKO) bir yazılım olan PRTG Network Monitoring yazılımı kullanılmıştır. Yazılımın SNMP protokolü desteği sayesinde ölçümlerde kullanılan ağ kartları üzerindeki trafik yoğunlukları ve bant genişlikleri incelenmiştir. Topolojilerin çizimi ise Microsoft Visio 2003 programı ile yapılmıştır.

4.3. Performans Ölçümleri

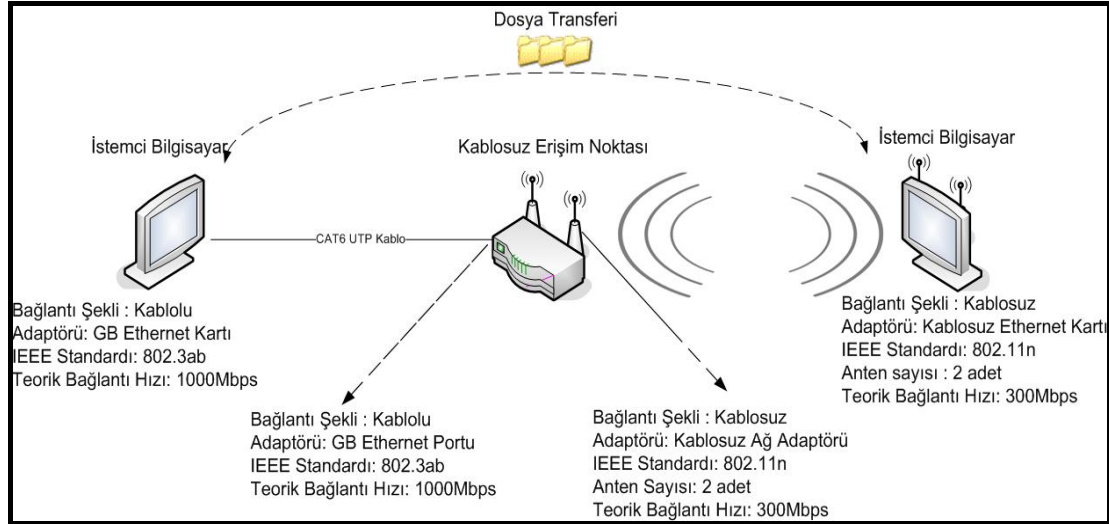
Microsoft Visio 2003 ile tasarlanmış Şekil. 4.4. ve Şekil. 4.11. ağ topolojileri gerçek ortama birebir aktarılmıştır. Yapılan ölçümler Şekil. 4.3. deki şemaya uygun olarak sırasıyla yapılmıştır.



Şekil. 4.3. Performans Ölçüm Çizelgesi

4.3.1 Alıcıda ve Vericide İki Anten Durumunda (2x2)

Bu durumda aşağıdaki topolojiye uygun ağ alt yapısı kurulmuş ve yardımcı yazılım ile ölçümler grafik arayüzüne dökülmüştür.

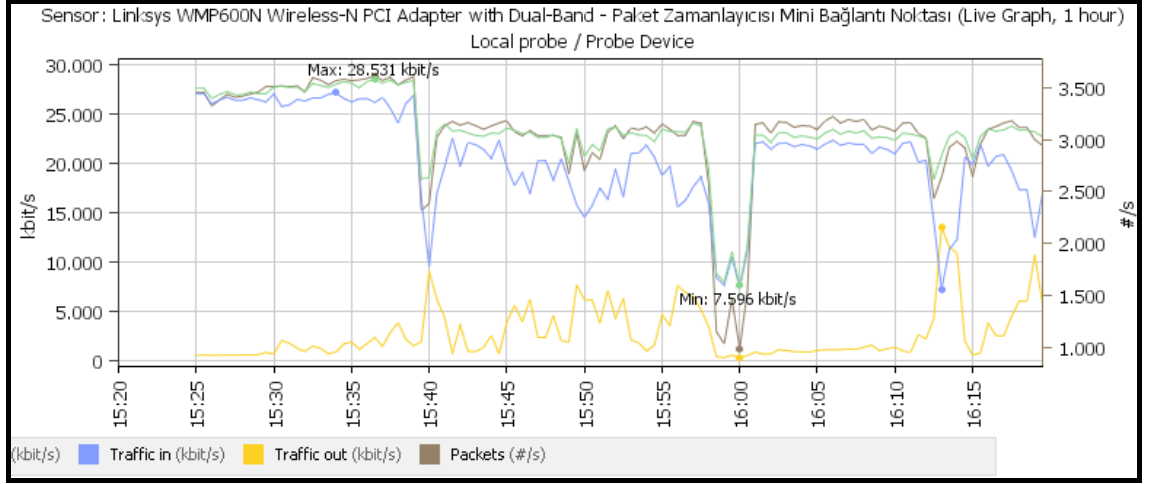


Şekil. 4.4. 2 x 2 Anten Ağ Topolojisi

4.3.1.1 2.4GHz Frekansında Yapılan Performans Ölçümleri

Şekil. 4.4.' deki ağ topolojisine uygun olarak oluşturulan ağ altyapısında öncelikle çerçeve düzenlemesini de kapsayan MAC katmanında yapılan iyileştirmeler alıcı tarafında aktif edilmemiştir. Bunlar üretici firmanın kablosuz ağ kartı için geliştirdiği sürücü özelliklerinde "Frame Aggregation" başlığı altında etkin edilebilmektedir. Etkin edilmeyen bu özellik; koruyucu aralığın düşürülmesi, onay paketinin iptal edilmesi ve tek sinyal tek çerçeve özellikleri de etkin kılınmamış olmaktadır. Frekans bandı olarak 2.4 GHz, frekans aralığı olarak 20MHz kullanılmıştır.

Bu ayarlar altında yapılan ölçümlerde Şekil. 4.5. performans ölçüm grafiği elde edilmiştir.

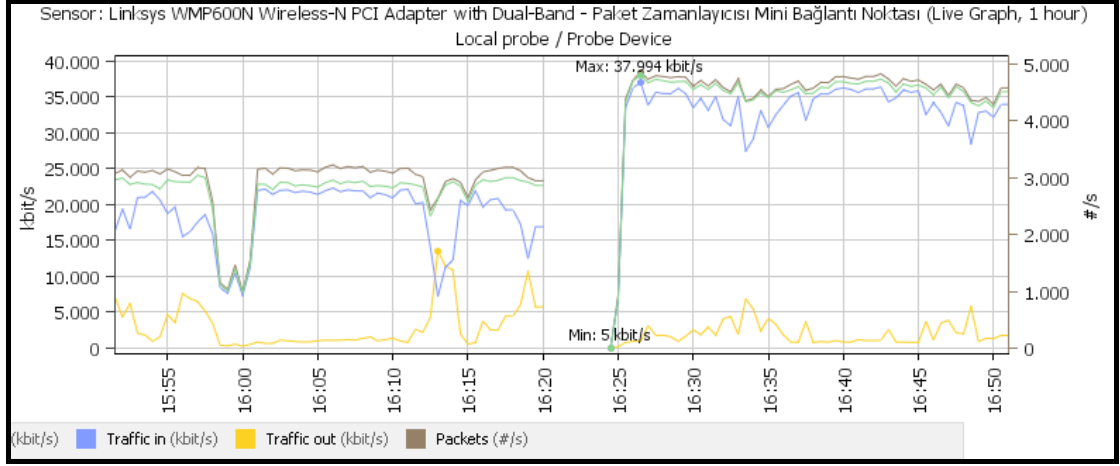


Şekil. 4.5. 2.4GHz Frekansında, 20MHz Bant Genişliğinde, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Olmayan Durumda Veri Aktarım Hız Ölçümü

Grafikten de anlaşılacağı gibi IEEE 802.11n standardının taahhüt ettiği azami 300Mbps veri aktarma hızının çok uzaklarında bir azami veri aktarım hızı elde edilmiştir. Azami hız olan 28.5Mbps değerinin ortalama değere yakın bir değer olması azami hızın anlık ölçülen bir hız değeri olmadığını göstermektedir. Buna rağmen 54 Mbps veri aktarım hızı sunan 802.11g standardının gerçekte sunduğu azami hız olan 20Mbps daha ilk baştan geçilmiştir.

Yaklaşık 60 dakika süresince izlenen bu trafik akışında ortalama değer 23.3Mbps olmuştur. Asgari değer olarak 7.6Mbps görülmesine rağmen, bu değer hızı etki eden diğer faktörlerdeki değişimden kaynaklandığı ve geçici olduğu değerlendirilmiştir.

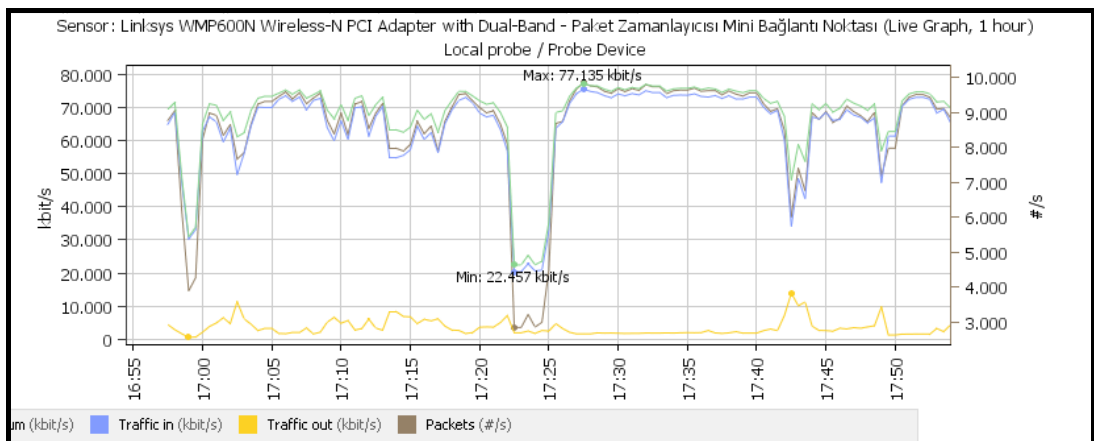
Verici tarafında tüm ayarlar sabit kalmak şartıyla, daha önceki başlıklarda da detaylı olarak incelediğimiz çerçeve düzenlemesinin alıcı tarafında aktif edilmesi ile **Şekil. 4.6** grafiği elde edilmiştir.



Şekil. 4.6. 2.4GHz Frekansında, 20MHz Bant Genişliğinde, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Olan Durumda Veri Aktarım Hız Ölçümü

Grafikten de açıkça görüleceği gibi çerçeve düzenlemesinin aktif edilmesi hızda önemli bir artışa sebep olmuştur. Veri aktarım hızı kısa bir kesintiden sonra azami 37.9Mbps' a kadar çıkmıştır. Yaklaşık 30 dakikalık sürede ortalama 35.6Mbps veri aktarım hızı ölçülmüştür.

Frekans bant darlığının dezavantajlarından kurtulmak için bu sefer vericideki frekans 2.4GHz, kanal genişliği 40MHz olarak ayarlanmış ve **Şekil. 4.7'**deki sonuç elde edilmiştir.



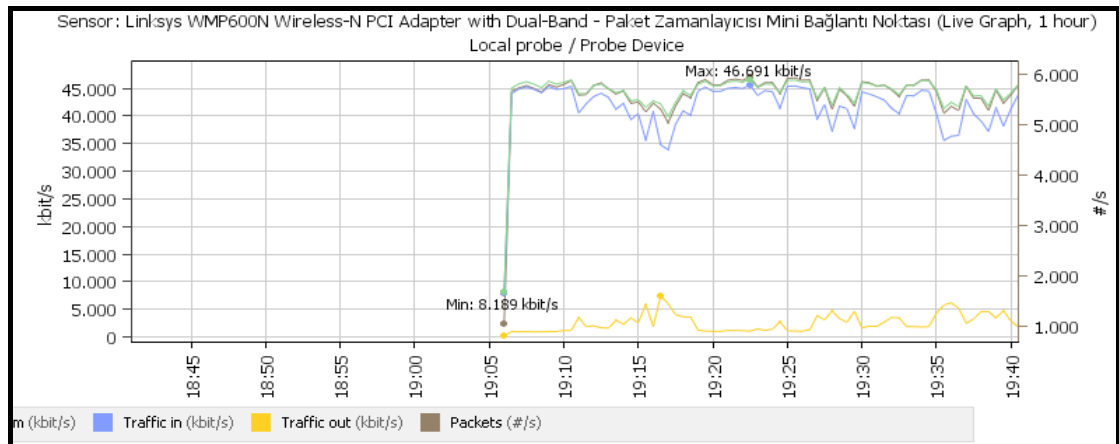
Şekil. 4.7. 2.4GHz Frekansında, 40MHz Bant Genişliğinde, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Olmayan Durumda Veri Aktarım Hız Ölçümü

20 MHz lik kanal genişliği ile elde edilen azami veri aktarım hızı 46,9Mbps iken, kanal genişliğinin 40MHz' e çıkartılması ile birlikte azami 77,1Mbps' e varan veri aktarım hızı elde edilmiş ve uzun bir süre bu aktarım hızı korunmuştur. Dosya aktarımı ile yapılan bu denemede ağ trafik yoğunluğunun artırılması maksadıyla birden çok dosya aktarım işlemi aynı anda karşılıklı olarak başlatılmıştır.

4.3.1.2 5GHz Frekansında Yapılan Performans Ölçümleri

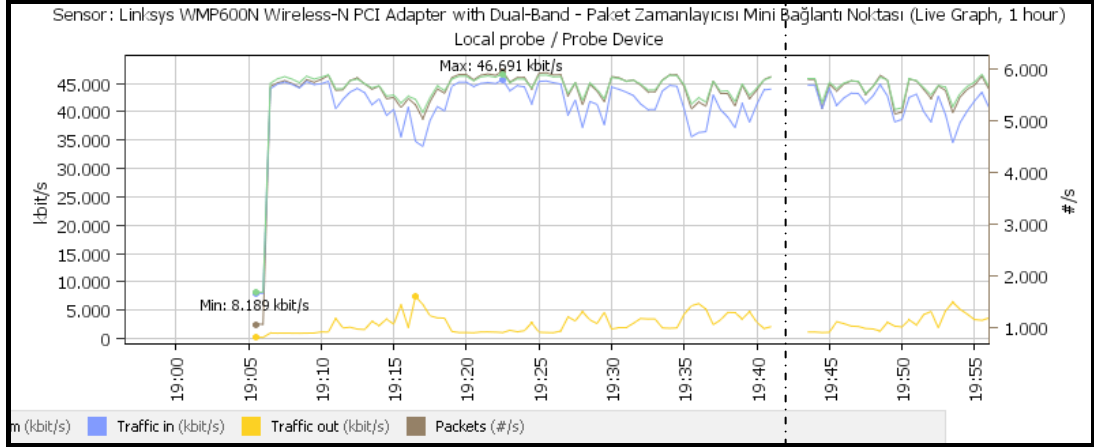
2.4GHz frekans bandının kullanımının giderek yaygınlaşması 5GHz frekans bandını cazip kılmaktadır. Verici cihazımız üzerinde web arayüzü aracılığı ile çalışma frekansını 5GHz frekans bandına ayarladığımızda, istemci tarafındaki adaptörde otomatik olarak bağlantıyı kesmiş ve 5GHz frekans bandında dinlemeye geçmiştir.

Performans ölçümünün başlatılması ile birlikte ilk veri aktarım hızı 46Mbps, azami ise 46.6Mbps olarak ölçülmüştür (**Şekil. 4.8.**). Bu hız ölçümü 802.11g nin gerçekte sunduğu veri aktarım hızının iki katından fazladır. Ancak yinede 802.11n in taahhüt ettiği veri aktarım hızının hala çok uzaklarında değerler okunmuştur. Düşük veri aktarım hızının çerçeve düzenlemesinin etkin olmamasından da kaynaklanabileceği düşünülmüş, ancak çerçeve düzenlemesinin etkin edilmesinden sonra da veri aktarım hızında fark edilir bir değişiklik olmadığı görülmüştür (**Şekil. 4.9.**).



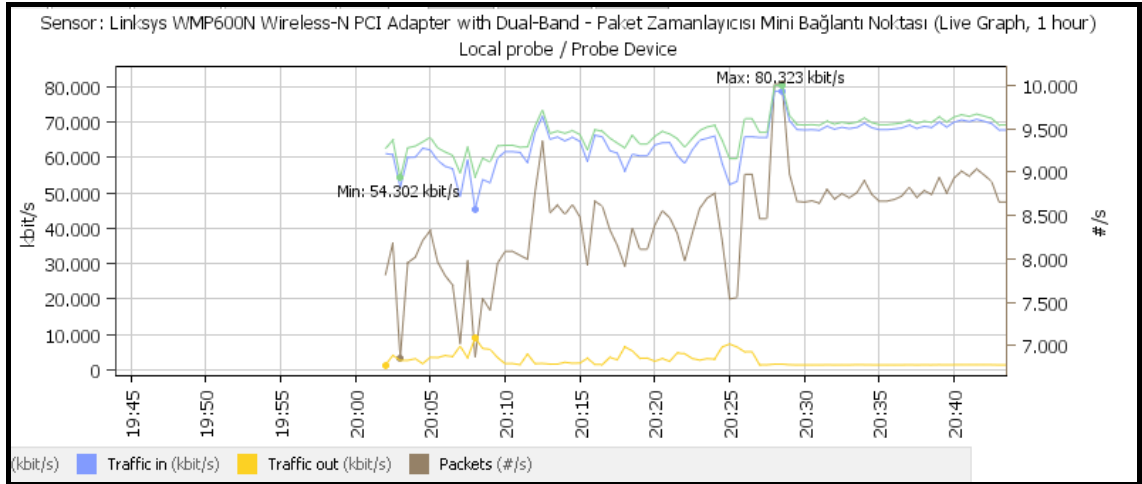
Şekil. 4.8. 5GHz Frekansında, 20MHz Bant Genişliğinde Veri Aktarım Hız Ölçümü Sonucu

Çerçeve Düzenlemesi Etkin



Şekil. 4.9. 5GHz Frekansında, 20MHz Bant Genişliğinde, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Olmayan Durumda Veri Aktarım Hız Ölçümü Sonucu

Şekil 4.10’ da yapılan ölçümde çerçeve düzenlemesi etkin kılınmamış, kullanılacak frekans 5GHz, bant genişliği olarak 40MHz olarak ayarlanmıştır.



Şekil. 4.10. 5GHz Frekansında, 40MHz Bant Genişliğinde, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Olmayan Durumda Veri Aktarım Hız Ölçümü Sonucu

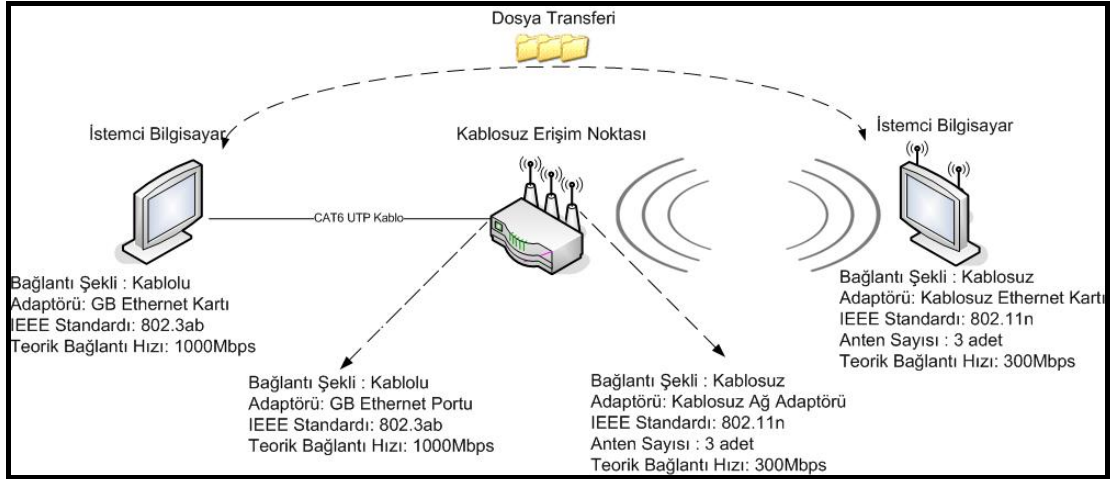
Yapılan bu ayarlarla 802.11n' in dayandığı sınırları görmeyi beklerken azami 80.3Mbps hızına çıkarak beklentilerin ve taahhüt ettiklerinin uzağında kalmıştır.

Ancak yinede bir önceki standart olan 802.11g standardının yakaladığı 20Mbps' in dört katı değer elde edilmiştir.

Çerçeve düzenlemesinin etkin edilmesi sonucu mevcut veri aktarım hızında gözle görülür bir değişiklik meydana gelmemiştir.

4.3.2 Alıcıda İki Vericide Üç Anten Durumunda (3x2)

Bu durumda Şekil 4.11' deki ağ topolojisine uygun ağ alt yapısı kurulmuş ve yardımcı yazılım ile ölçümler grafik arayüzüne dökülmüştür.

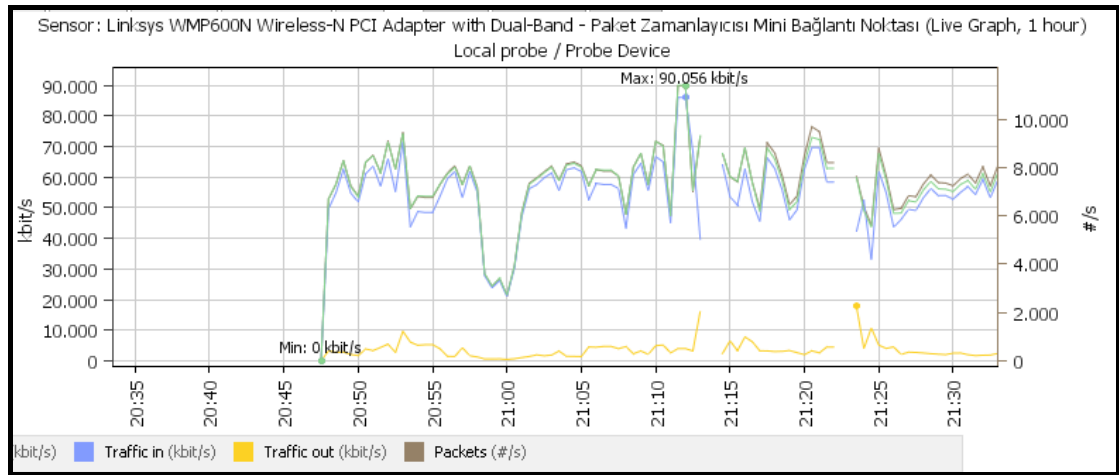


Şekil. 4.11. 3 x 2 Anten Ağ Topolojisi

Vericideki antenlerden birisi daha devreye alınarak iki olan anten sayısı üç' e çıkartılmıştır. Yapılan bu eklenti ile H matrisinde satır ve sütun sayıları artacak, dolayısı ile MIMO teknolojisinin sağladığı çoklu yol mantığı ile daha fazla veri aktarım yolu elde edilerek alıcı tarafında gönderilen sembole daha yakın bir sembol elde edilecektir .

4.3.2.1 2.4GHZ Frekansında Yapılan Performans Ölçümleri

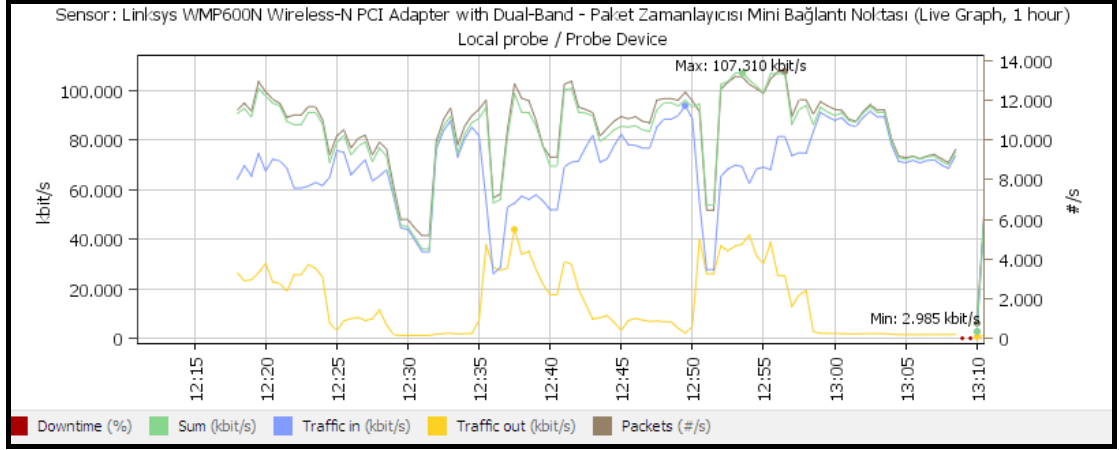
Vericinin web arayüzüne giriş yaparak kullanılan frekans 2.4GHz frekans bandına getirilmiştir. Anten sayısında yapılan artış ile Şekil. 4.12.' deki grafik elde edilmiştir. Ortalama veri aktarma hızının düşük olmasına rağmen gerek çift kanal kullanımı gerek çerçeve düzenlemesinin etkin olması nedeniyle azami 90Mbps veri aktarma hızına kadar çıkmıştır.



Şekil. 4.12. 2.4GHz Frekansında, 40MHz Bant Genişliğinde, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Durumda Veri Aktarım Hız Ölçümü Sonucu

4.3.2.2 5GHZ Frekansında Yapılan Performans Ölçümleri

Bu zamana kadar yapılan performans ölçümlerden farklı olarak, bu performans ölçümünde 802.11n' in mevcut donanımlar ile maksimum ne kadar veri aktarım hızı sunduğunu ölçme şansı bulunmuştur. 5GHz frekans bandında, çift kanal kullanarak, çerçeve düzenlemesi etkin şekilde performans ölçümü yapılmıştır.



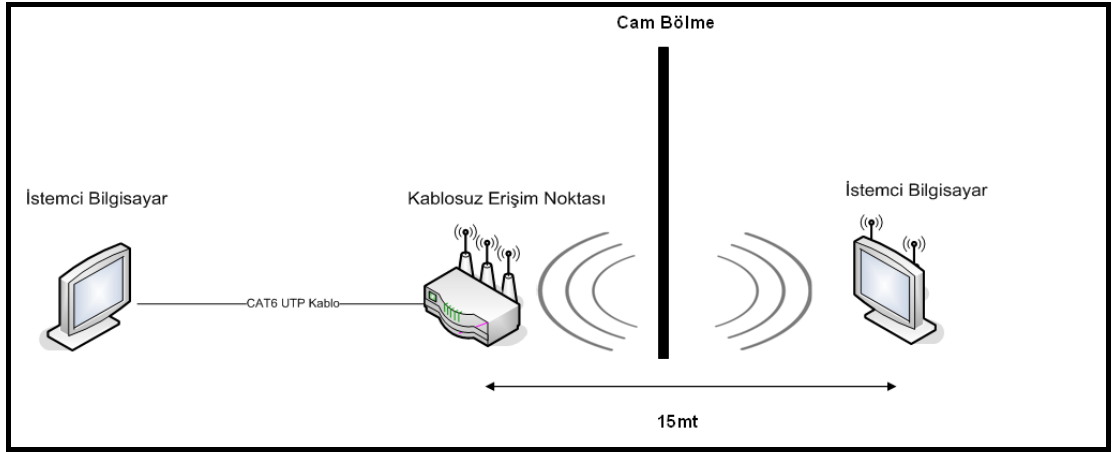
Şekil. 4.13. 5GHz Frekansında, 40MHz Bant Genişliğinde, Çerçeve Düzenlemesi Etkin Durumda Veri Aktarım Hız Ölçümü Sonucu

Şekil 4.13.' de 12:50-12:55 arası ölçülen 107,3Mbps yapılan performans ölçümlerinde elde edilen en yüksek veri aktarım hızı olmuştur. 100Mbps olan Fast Ethernet teknolojisinin üstünde gerçek ortamda bir veri ölçülmüştür.

Yapılan bu ölçümde ilk olarak verici ve alıcı arasındaki mesafe minimum yapılmış ve bu durumda 35Mbps veri aktarım hızı görülmüştür, alıcı vericiden 2m uzaklaştırdıktan sonra veri aktarım hızı 80 Mbps olmuştur. Mesafe bir metre daha artırıldığında 107,3Mbps verisi görülmüştür. Alıcı ve verici arasındaki maksimum mesafenin dışında minimum mesafenin de olduğu, iyi bir veri aktarım hızı için alıcı ve verici arasında en az 2mt mesafe olması gerektiği değerlendirilmiştir.

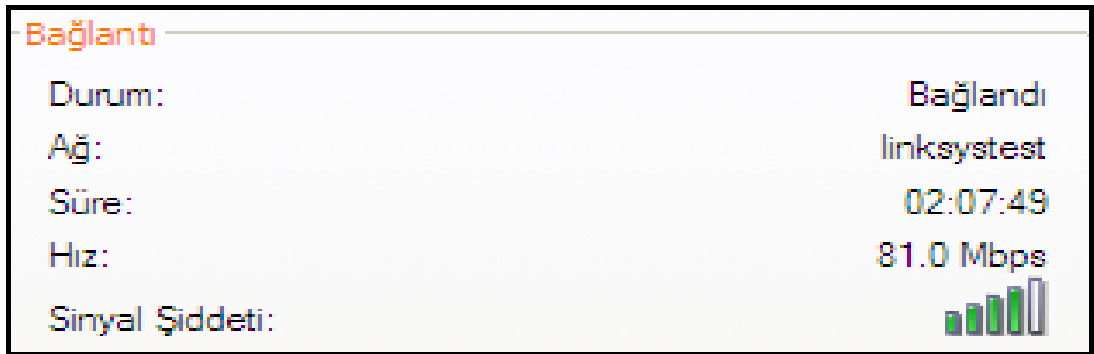
4.4. Sinyal Şiddeti Performans Ölçümleri

802.11n standardının özelliklerinden birisi de MIMO-OFDM teknolojisi sayesinde bina içi mesafelerde daha etkin olmasıdır. Bu özelliğin analiz edilmesi maksadıyla; mevcut kablosuz ağ cihazları üzerinde bulunan anten sayısı (3x2 anten) ile 5GHz frekansında, 40MHz kanal genişliği ile Şekil. 4.14.' deki topoloji oluşturulmuştur.



Şekil. 4.14. Cam Bölmeli Kablosuz İletişim Topolojisi

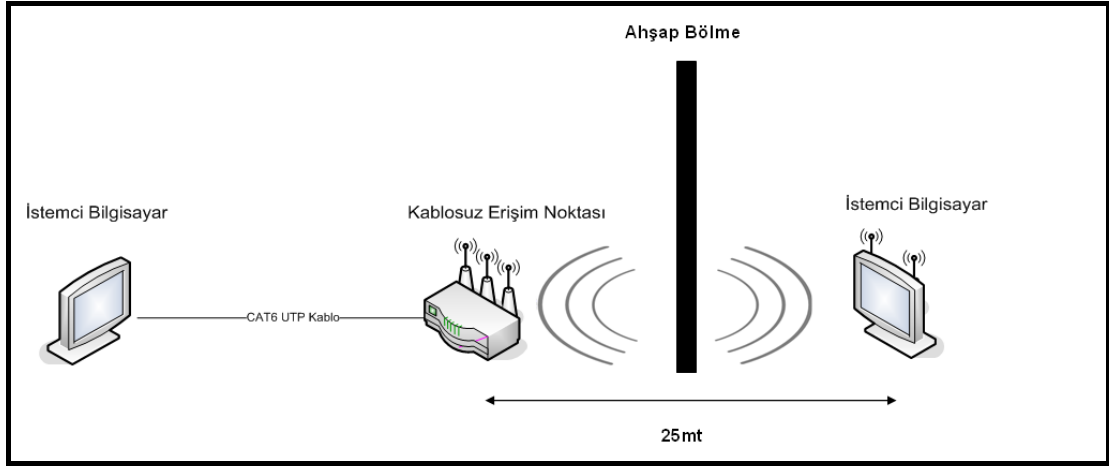
Öncelikle verici görevi gören kablosuz erişim noktası ile kablosuz ağ kartı takılı olan istemci bilgisayar cam ve alüminyumdan oluşan bir bölme ile ayrılmıştır. Verici ve alıcı arasındaki mesafe 15mt olarak ayarlanmıştır. İstemci bilgisayarda görülen sinyal şiddeti Şekil 4.15' de olduğu gibi görülmüştür.



Şekil. 4.15. Cam Bölmeli Sinyal Şiddeti

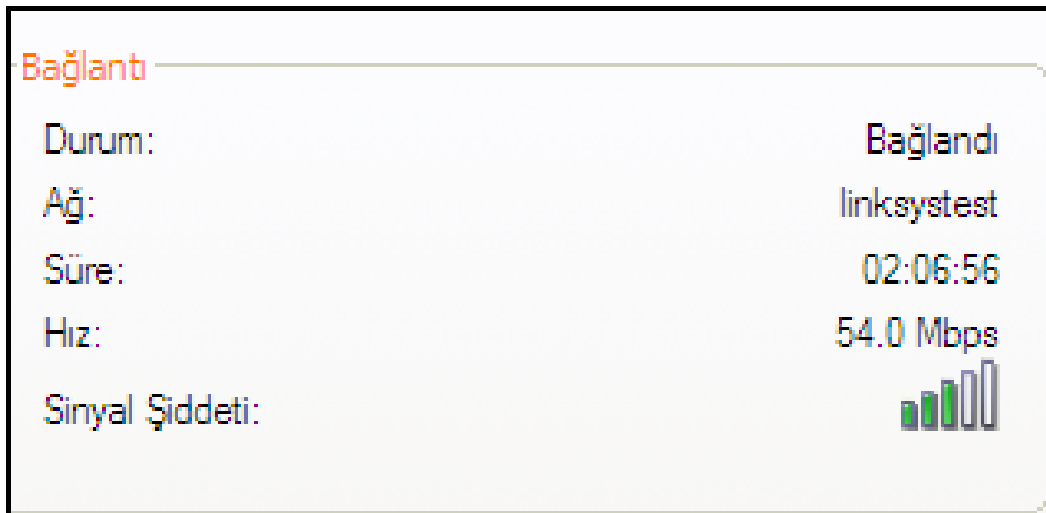
Sinyal şiddeti bu durumda iken veri aktarım hızı **Şekil. 4.20.**'deki 18:30-18:35 saatleri arasındaki değerle ölçülmüştür.

Sinyal geçirme katsayısı daha düşük olan ahşap bölme verici ve alıcı arasında iken mesafe 25mt' ye kadar çıkartılmıştır (**Şekil. 4.16.**).



Şekil. 4.16. Ahşap Bölmeli Kablosuz İletişim Topolojisi

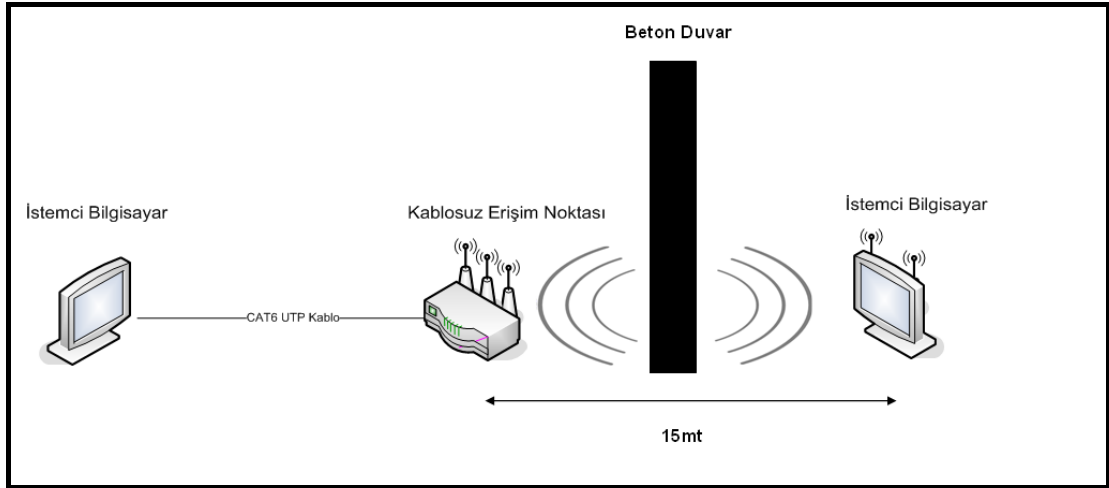
Bina içinde yapılan bu performans analizinde **Şekil 4.17.** de olduğu gibi sinyal şiddeti görülmüştür.



Şekil. 4.17. Ahşap Bölmeli Sinyal Şiddeti

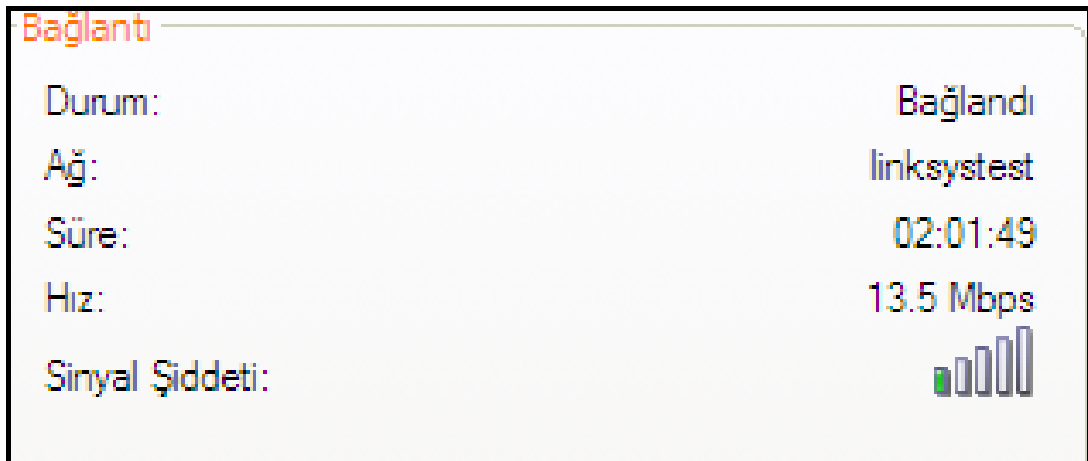
Sinyal şiddeti bu durumda iken veri aktarım hızı **Şekil. 4.20.**'deki 18:40-19:00 saatleri arasındaki değerle ölçülmüştür.

Sinyal geçirme katsayısı cam ve ahşaptan çok daha düşük olan beton duvar bölme verici ve alıcı arasında iken mesafe 15m' ye çekilmiştir (**Şekil. 4.18.**).



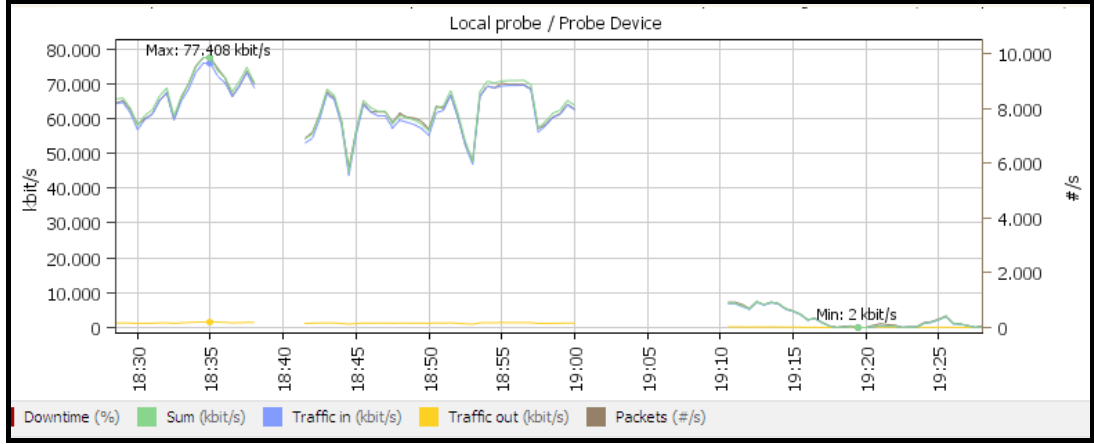
Şekil. 4.18. Beton Duvar Bölmeli Kablosuz İletişim Topolojisi

Bina içinde yapılan bu performans analizinde **Şekil 4.19.** olduğu gibi sinyal şiddeti görülmüştür.



Şekil. 4.19. Beton Duvar Bölmeli Sinyal Şiddeti

Sinyal şiddeti bu durumda iken veri aktarım hızı Şekil. 4.20.'deki 19:10-19:30 saatleri arasındaki değerle ölçülmüştür.



Şekil. 4.20. Sinyal Şiddeti Karşılaştırmalı Performans Ölçümü

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

İletişim teknolojisinin insanoğluna sunduğu imkanlar günümüzde hayatı kolaylaştırmak ve daha hızlı veri paylaşımı imkanı sağlamak üzerine kurulmuştur. Bu nedenle hız; üretim ve talep grafiğinde önemli bir faktördür. Kablolü bilgisayar ağlarında fiber optik kablo üzerinden yaklaşık 300Gbps veri aktarım hızının sunulduğu 2009 yılında kablosuz bilgisayar ağlarında da çok önemli gelişmeler olmuştur. İlk kullanımında 1/2Mbps veri aktarım hızı sunan kablosuz bilgisayar ağları günümüzde teorik olarak 600Mbps' e kadar çıkmaktadır. Bu hızın kablolu bilgisayar ağlarının sunduğu veri aktarım hızından çok düşük olmasına rağmen, kablosuz iletişimin sunduğu diğer avantajlar, Yerel Alan Ağlarında kablosuz iletişime geçilmesini cazip kılmaktadır.

802.11n henüz tam bir standart olarak kabul edilmeden önce, standardın geliştirme süreçlerinde bile taslak aşamalarının Wi-Fi tarafından Draft x.0 olarak duyurması ve bu standardın zaman geçirmeksizin üretici firmalar tarafından benimsenerek 802.11n Draft standardını destekleyen kablosuz cihazların üretilmesi kablosuz ağ pazarının bu standarda ne kadar çok ihtiyaç duyduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte gerek üreticilerin yoğun baskısı gerekse bazı bilim adamlarının (Wi-Fi üyesi) 802.11n hazırlık serisine evet oyu kullanması 802.11n in mağazalarda modemler üzerinde beklenenden daha erken görülmeye başlamasına sebep olmuştur.

Piyasada satılmakta olan 802.11n hazırlık sürümü destekli kablosuz erişim noktaları veya kablosuz ağ adaptörleri kullanıcı dokümanlarında veya kutularında 144Mbps, 300Mbps gibi hızlar yer almaktadır. Bu hız son kullanıcı için oldukça yüksek ve caziptir. Ancak son kullanıcı gerçekte bu hızın ne kadarını kullanabilecektir? Yapılan performans ölçümlerinde 802.11n' in veri aktarım hızının bir önceki standartların sunduğu veri aktarım hızından yaklaşık 5 kat daha fazla olduğu normal şartlarda ölçülerek görülmüştür. Azami 107Mbps olarak görülen veri aktarım hızı şuanda en yoğun kullanılan ve 100Mbps veri aktarım hızı sunan kablolu bilgisayar ağlarındaki Fast Ethernet teknolojisinden yüksektir.

802.11n' in verimli kullanılması için, tek bir AP nin kullanıldığı 2,4GHz frekansı veya 5GHz frekansının kullanılması, imkan vermesi durumunda çift bant (40Mhz) kullanılması, çerçeve düzenlemesinin aktif edilmesi ve sunumcu ve istemci ağ cihazı/bilgisayarlarında yer alan ağ adaptörlerinin en az 1000Mps hızını destekler olması önerilmektedir.

Kablolu iletişim üzerinde yapılan incelemelerde iki bilgisayar arası 1000Mbps veri aktarım hızı sunan gigabite teknolojisinin kullanıldığı ağ adaptörlerinde, birden çok ağ trafiğini kullanan uygulama çalıştırılmış ve bu bant genişliğinin gerçek koşullarda azami %15' (150Mbps) inin kullanılabildiği görülmüştür. Dolayısı ile ağ trafiğinin çok yoğun ve kritik olmadığı küçük firmalarda, kampüslerde, genişletilmesinin kablolu iletişime göre çok daha kolay ve esnek olması nedeniyle, 802.11n kablosuz ağ standardını destekler kablosuz ağ cihazlarının kullanılarak ağ altyapısının oluşturulabileceği değerlendirilmiştir.

Mesafe ölçümlerinde 802.11n standardı bekleneni verememiştir. Bu nedenle özellikle beton duvar engelinin çok olduğu bina içi ağlarda kullanımında bir önceki standartlar gibi sıkıntılarla karşılaşılabilir. Ancak engel olmayan veya cam/ahşap engellerde sinyal şiddetinde gözle görülür bir zayıflık görülmemiş olup, bu durumlarda verimli bir bağlantı kalitesi yakalanabilir.

Gelecekte kullanımının yoğun olacağı değerlendirilen bu standardın ip üzerinden HD TV ve video konferans gibi yüksek bağlantı hızı gerektiren teknolojilerin bu standart ile üretilen kablosuz cihazlar sayesinde mümkün olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Cisco Network Academy Networking Home and Small Business CCNA Certification Program
- [2] Dobkin, M. “RF Engineering for Wireless Networks Hardware, Antennas, and Propagation”, *Elsevier*, USA, 2005
- [3] Stallings, W. “Data & Computer Communications 6th Ed.”, Prentice Hall PTR, USA, 2000.
- [4] Hneiti, W., Ajlouni, N. “Dependability Analysis of Wireless Local Area Networks”, Amman Arab University, 2006.
- [5] Garuda C., Ismail M. “A Multi-Standard OFDM-MIMO Transceiver for WLAN Applications”, *IEEE Analog VLSI Lab*, The Ohio State University Columbus, OH, USA, 2005.
- [6] “Certificated Wireless Network Administrator Official Studies Guide”, Planet3 Wireless, USA, 2002.
- [7] OZDEMİR G., TASPINAR N., “OFDM ile MC-CDMA Sistemlerinin Karşılaştırılması”, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Kayseri, 2003.
- [8] “802.11n: The Next Generation of Wireless Performance”, Cisco Public Information, USA, 2009.
- [9] Paul T., Ogunfunmi T., “Wireless LAN Comes of Age: Understanding the IEEE 802.11n Amendment”, *IEEE Circuits and System Magazine*, (2008).
- [10] Ortiz S., Garber L., “IEEE 802.11n: The Road Ahead”, *Technology News*, 0018-9162/09/\$25.00 © 2009 IEEE, Haziran 2009.
- [11] Dornan A., Cullen-Dolce D., Franz M., Regina N., “The Essential Guide to Wireless Communications Applications”, Prentice Hall PTR, USA, 2002.

- [12] Perahia E. “ IEEE 802.11n Development: History, Process, and Technology”, Intel Corporation, 0163-6804/08/\$25.00 © 2008 IEEE, IEEE Communications Magazine , 2008
- [13] XIAO Y, “IEEE 802.11n: Enhancements For Higher Throughput in Wireless LANs” , 1536-1284/05/\$20.00 © 2005 IEEE, IEEE Wireless Communications, 2005
- [14] Kljujić J.S, Radivojević M.R “ Testing of Multimedia Content Transmission in Wireless 802.11n Network”, TELSIKS, 978-1-4244-4383-3/09©2009 IEEE, 2009
- [15] “Wi-Fi CERTIFIED™ 802.11n draft 2.0: Longer-Range, Faster-Throughput, Multimedia-Grade Wi-Fi® Networks”, Wi-Fi Alliance, 2007.
- [16] Gilbert J. M., Cho W.J., Sun Q., “MIMO Technology for Advanced Wireless Local Area Networks”, Atheros Communications, *DAC*, , Anaheim, California, USA, 2005.
- [17] Pajouhi Z., Fakhraie S., Jamali S. “ Hardware Implementation of a 802.11n MIMO OFDM Transceiver”, University of Tehran,Tehran Iran, University of Waterloo, Waterloo Canada, 978-1-4244-2751-2/08@2008 IEEE,

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : AYDIN, Halit

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 15.11.1981 Gümüşhane

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (262) 653 93 61

e-posta : halitaydin81@dho.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Anadolu Üniversitesi/ İşletme Fak.. İşletme Bölümü	2008
Lise	Deniz Astsb. Hazırlama Okulu Deniz Elektroniği Bölümü	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-2003	Donanma K.lığı/Kocaeli	Sistem İşletme Astsb.
2003-2008	Kdz.Bölge K.lığı/Zonguldak	Ağ İşletme Astsb.
2008-2010	Dz.Harp Okulu K.lığı/İstanbul	Ağ İşletme Astsb.

Yabancı Dil

İngilizce