

**2.4 GHz FREKANS BANDINDA SİNYAL YAYIMLAYAN VERİCİLERİN  
KONUMUNUN TESPİT EDİLMESİ**

**Ömer Emre YETGİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2011  
ANKARA**

Ömer Emre YETGİN tarafından hazırlanan 2.4 GHZ FREKANS BANDINDA SİNYAL YAYIMLAYAN VERİCİLERİN KONUMUNUN TESPİT EDİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Tez Yöneticisi

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

Başkan : Prof.Dr.İnan GÜLER

Üye : Prof.Dr.Ömer Faruk BAY (Danışman)

Üye : Prof.Dr.Şeref SAĞIROĞLU

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

Bu tez, Gazi Üniversitesi Bilişim 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.

Ömer Emre YETGİN

**2.4 GHz FREKANS BANDINDA SİNYAL YAYIMLAYAN VERİCİLERİN  
KONUMUNUN TESPİT EDİLMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Ömer Emre YETGİN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ  
Haziran 2011**

**ÖZET**

Sinyal kestirme, çeşitli sinyal parametrelerinden yola çıkılarak o sinyalin yerinin tespit edilmesidir. Bir kestirme sisteminde, kestirme işleminden önce istenilen frekans aralığındaki sinyallerin analiz edilmesi ve bu analiz sonucunda belirli parametrelerin elde edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, 2.4 GHz frekans bandındaki sinyaller analiz edilmiş ve bu analiz sonucunda elde edilen parametrelerden hareketle bu frekans aralığında sinyal yayımlayan vericilerin konumları tespit edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda kablosuz ağlar, bu ağlarla ilgili standartlar ve düzenlemeler ile elektromanyetik spektrum, radyo frekansı, görüş hattı iletişimi vb. konular hakkında bilgi verilmiştir.

Haberleşme teknolojilerinin hızla geliştiği ve yaygınlaştığı günümüzde, kullanmasından zarar göreceğimiz kişilerin konumunun tespiti büyük önem taşımaktadır. Teknik olarak ise yüksek frekanslarda konum tespitinin zorluk derecesi, gelişen teknoloji, nüfus ve şehirleşmeyle paralel olarak bir kat daha artmış ve kompleks bir vaziyet almıştır. Bu nedenlerden dolayı, 2.4 GHz frekans bandında sinyal yayımlayan vericilerin konum tespiti için geliştirilecek ucuz, kurulumu kolay, pasif ve etkin bir sistem geliştirilmesi ön plana çıkmaktadır.

**Bilim Kodu** : 704.1.053  
**Anahtar Kelime** : sinyal analizi, sinyal kestirme, sinyal işleme, sinyal kestirme, doğrultu bulma, kablosuz erişim.  
**Sayfa Adedi** : 186  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

**LOCATION DETERMINATION OF SIGNAL BROADCAST TRANSMITTER  
IN THE 2.4 GHZ FREQUENCY BAND  
(M.Sc. Thesis)**

**Ömer Emre YETGİN**

**GAZI UNIVERSITY  
INFORMATICS INSTITUTE**

**June 2011**

**ABSTRACT**

**Signal estimation, based on various signal parameters to determine the location of the signal. In the system of estimation before process of estimation, to analyze the signals which are desired frequency range and a result of this analysis is of great importance to obtain certain parameters.**

**In this study, signals of 2.4 GHz frequency band are analyzed and as a result of this analysis, obtained according to the parameters, in this frequency range, published by the signal transmitter locations were determined. At the same time, wireless networks, these networks with standards and arrangements related to the electromagnetic spectrum, radio frequency, the line of sight communication and e.t.c. were informed about the issues.**

**Technically difficulty degree of position estimation at high frequencies, developing technology, population and urbanization has increased twice as much in parallel with was a complex situation. Therefore, 2.4 GHz frequency band will be developed for the detection of the signal that issued cheap, easy to install, passive and active development of a system come to the fore.**

**Science Code : 704.1.053**

**Key Words : signal estimation, signal detection, signal processing, directional finding, wireless access points.**

**Page Number : 186**

**Adviser : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca çok değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Ömer Faruk BAY'a, çalıőtıęım kurumda maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan Komutanlarım Bkm.Albay Bülent ÖZER'e, Müh.Yb.Murat KAYRAKLIK'a ve Müh.Bnb.Alper AKÇA ile sevgili eőim Melike YETGİN'e teőekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KABLOSUZ AĞLAR VE KONUM KESTİRİMİ.....	7
2.1. Radyo Frekans (RF) Spektrumu ve Düzenlemeleri .....	7
2.2. Kablosuz İletişim Ağları ve WLAN Teknolojileri .....	12
2.2.1. Kablosuz ağların avantajları .....	15
2.2.2. Kablosuz ağların dezavantajları.....	16
2.2.3. Kablosuz ağlarda veri hızı .....	16
2.2.4. Kablosuz ağlarda güvenlik.....	17
2.2.5. Bluetooth .....	17
2.2.6. Kızılötesi .....	21
2.2.7. HomeRF .....	23
2.3. WLAN Sistemleri .....	24
2.3.1. WLAN sistemlerinin çalışma prensipleri.....	26
2.3.2. WLAN teknolojileri .....	27
2.3.3. HiperLAN .....	30
2.4. Kablosuz Ağlarda Kullanılan Frekanslar.....	32
2.5. Görüş Hattı İletişimi (LOS).....	36
2.5.1. Görüş hattı iletiminde iletim ortamından kaynaklanan bozucu etkenler .....	37
2.6. RF Teknolojileri .....	45

**Sayfa**

2.6.1. Dar bant tekniği .....	46
2.7. Kablosuz Ağlar İçin Link Planlaması .....	52
2.7.1. İletilen güç .....	52
2.7.2. Alıcı hassasiyeti.....	54
2.7.3. Sinyal/Gürültü (SNR) oranı.....	56
2.8. Antenler .....	56
2.8.1. Yönlü ve yönsüz antenler .....	58
2.8.2. Anten etkin çıkış gücü ve kazancı .....	59
2.8.3. Anten etkin alanı.....	61
2.9. Konum Belirleme Algoritmaları ve Hesaplamalar .....	63
2.10. Konum Tahmini .....	73
2.10.1. Geometrik ve istatistiksel teknikler .....	73
2.10.2. Haritalama teknikleri.....	79
2.10.3. Dik koordinat sistemi .....	82
2.10.4. Trigonometrik ve jeodezik daire .....	83
2.10.5. Açıklık açısı ve semt açısı .....	83
2.10.6. Koordinat Hesaplanması .....	84
2.11. Kablosuz Ağ Standartları ve Düzenlemeleri .....	87
2.11.1. Standartizasyon kuruluşları ve çalışmaları .....	91
2.11.2. Bağımsız organizasyonlar .....	104
2.11.3. Düzenleyici kuruluşlar ve çalışmaları .....	106
3. SİSTEMİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ .....	110
3.1. Koordinat Hesabı.....	110
3.2. Mesafe Hesabı .....	112
3.3. Kestirim Algoritması .....	114
3.4. Kullanılan Donanımlar ve Yazılımlar .....	115
3.4.1. Kablosuz usb adaptör (ALFA) .....	115

**Sayfa**

3.4.2. 24 dBi, 2.4 GHz grid yönlü anten.....	117
3.4.3. Kablosuz erişim noktası tespit programı.....	119
3.4.4. Haritalama programı.....	120
3.5. Sistem Entegrasyonu .....	121
3.5.1. Sistemin çalışma prensibi .....	121
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	124
KAYNAKLAR .....	127
ÖZGEÇMİŞ.....	140

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. RF spektrumu .....	7
Çizelge 2.2. 2.4 GHz ISM bantı etrafında izin verilen spektrum .....	9
Çizelge 2.3. Kablosuz ağlarda kullanılan radyo frekans bantları .....	10
Çizelge 2.4. Uluslararası regülasyon otoriteleri .....	10
Çizelge 2.5. Regülasyon otoriteleri ile özellikleri .....	11
Çizelge 2.6. Kablosuz iletişim teknolojileri .....	15
Çizelge 2.7. Standartlar ve veri hızları .....	17
Çizelge 2.8. Bluetooth ürün sınıfları .....	19
Çizelge 2.9. Bluetooth'un genel özellikleri .....	21
Çizelge 2.10. Kızılötesi teknolojisinin avantaj ve dezavantajları .....	22
Çizelge 2.11. HomeRF'in genel teknik özellikleri .....	24
Çizelge 2.12. HiperLAN2 ile 802.11a standardının karşılaştırması .....	31
Çizelge 2.13. Kanallar ve merkez frekans değerleri .....	34
Çizelge 2.14. Standartlar ve frekanslar .....	36
Çizelge 2.15. Engeller ve zayıflatma oranları .....	42
Çizelge 2.16. 2.4 GHz frekansındaki kablo kayıpları .....	43
Çizelge 2.17. Watt-dBm dönüşümü .....	52
Çizelge 2.18. Alıcı duyarlılık değerleri .....	54
Çizelge 2.19. Temel kablosuz ağ sistemleri standartları .....	90
Çizelge 2.20. Diğer IEEE 802.11x standartları ve genel özellikleri .....	96
Çizelge 2.21. Kablosuz ağ sertifikasyon laboratuvarları .....	104
Çizelge 3.1. Kablosuz usb adaptör özellikleri .....	116
Çizelge 3.2. 24 dBi 2.4 GHz grid yönlü anten .....	118
Çizelge 3.3. Koordinat Veritabanı .....	122
Çizelge 4.1. Konum tahmin methodları, teknolojileri ve doğrulukları .....	125

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. ISM bant planı .....	34
Şekil 2.2. Dar bant ve dağınık spektrum işaretleri.....	47
Şekil 2.3. FHSS tekniğinde zaman – frekans ilişkisi.....	48
Şekil 2.4. DSSS tekniğinde kodlanmış veri .....	50
Şekil 2.5. DSSS tekniğinde gerçek veri ve kodlanmış veri.....	50
Şekil 2.6. DSSS tekniğinde spektrum görünümü .....	51
Şekil 2.7. Anten örnekleri .....	57
Şekil 2.8. Yönlü anten için ışınma örüntüleri (yatay ve dikey) .....	59
Şekil 2.9. Yönsüz anten için ışınma örüntüsü .....	59
Şekil 2.10. Örnek anten paternleri.....	60
Şekil 2.11. Dipol ve yönlü antenlerin yayım paternleri.....	60
Şekil 2.12. Anten etkin alanı hesaplaması .....	62
Şekil 2.13. (a) Doğrusal konumlama (b) İki adımlı konumlama .....	64
Şekil 2.14. İki düğüm arasındaki RSS ölçümü .....	66
Şekil 2.15. İki düğüm arasındaki AOA ölçümü .....	67
Şekil 2.16. İki düğüm arasındaki TDOA ölçümü.....	70
Şekil 2.17. Hedef düğümün üçlü mesafe kestirmesi ile belirlenmesi.....	74
Şekil 2.18. Hedef düğümün üçlü açı kestirmesi ile belirlenmesi.....	74
Şekil 2.19. TDOA ölçümleri ile konumlandırma.....	75
Şekil 2.20. Hibrid TOA/AOA konumlandırma .....	75
Şekil 2.21. Gürültülü AOA parametrelerin varlığında konum belirsizliği .....	76
Şekil 2.22. Koordinat eksenini .....	82
Şekil 2.23. Trigonometrik ve jeodezik daire .....	83
Şekil 2.24. Birinci temel ödev çözümü .....	85
Şekil 3.1. Jeodezik daire .....	110
Şekil 3.2. Kestirim algoritması.....	114

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.3. Kablosuz usb adaptör.....	115
Şekil 3.4. 24 dBi 2.4 GHz grid yönlü anten .....	117
Şekil 3.5. Yönlü anten için ışınma örüntüleri (Yatay ve Dikey).....	118
Şekil 3.6. Geliştirilen kablosuz erişim noktası tespit programı .....	119
Şekil 3.7. Haritalama programı (Google Earth) .....	120
Şekil 3.8. Sistem entegrasyonu.....	121
Şekil 3.9. Google Earth programı üzerine konumu işlenmiş AP'ler .....	123

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$P_t$	Verici antene uygulanan sinyal gücü (watt)
$P_r$	Alıcı antene ulaşan sinyal gücü (watt)
$f$	Taşıyıcı sinyalin frekansı (Hz)
$\lambda$	Taşıyıcı sinyalin dalgaboyu (m)
$d$	Antenler arasındaki yayılma uzaklığı (m)
$c$	Işık hızı ( $3 \times 10^8$ m/s)
$G$	Anten kazancı
$A_e$	Antenin etkin alanı ( $m^2$ )
$G_t$	Verici antenin kazancı
$G_r$	Alıcı antenin kazancı
$A_t$	Verici antenin etkin alanı
$A_r$	Alıcı antenin etkin alanı

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ABD</b>	Amerika Birleşik Devletleri
<b>AOA</b>	Angle Of Arrival (Varış Açısı)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AP</b>	Access Point (Erişim Noktası)
<b>ARIB</b>	Association of Radio Industries and Businesses (Radyo endüstricileri ve sanayicileri birliği)
<b>A-GPS</b>	Assisted GPS (Yardımcı GPS)
<b>CDMA</b>	Code Division Multiplex Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
<b>DFS</b>	Dynamic Frequency Select (Dinamik Frekans Seçimi)
<b>KHz</b>	Kilo Hertz
<b>SNR</b>	Signal Of Noise Ratio (Sinyal/Gürültü Oranı)
<b>DOA</b>	Directional Of Arrival (Varış Yönü)
<b>ETSI</b>	European Telecommunication Standart Institute (Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü)



<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>FCC</b>	Federal Communication Comission (Federal İletişim Komisyonu)
<b>FER</b>	Frame Error Ratio (Çerçeve Hata Oranı)
<b>GPS</b>	Global Position System (Küresel Konumlama Sistemi)
<b>GSM</b>	Global System Of Mobile (Global Mobil Haberleşme Sistemi)
<b>Hz</b>	Hertz
<b>IEEE</b>	Institute Of Electric-Electronic Engineering (Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
<b>IR</b>	Infrared
<b>ISM</b>	Industrial, Scientific and Medical Radio Band (Endüstriyel, Bilimsel ve Medikal Radyo Bandları)
<b>LAN</b>	Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
<b>LOS</b>	Line Of Side (Görüş Hattı)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>m</b>	Metre
<b>NLOS</b>	Non-Line Of Side (Görüş Hattı Dışı)
<b>RF</b>	Radio Frequency (Radyo Frekansı)
<b>RSS</b>	Received Signal Strenght (Alınan sinyal gücü)
<b>TDMA</b>	Time Division Multiplex Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
<b>TDOA</b>	Time Difference Of Arrive (Varış zamanlarındaki fark)
<b>THz</b>	Tera Hertz
<b>TIA</b>	Telecommunication Industrial Association (Telekomünikasyon Endüstri Birliği)
<b>TOA</b>	Time Of Arrival (Varış Zamanı)
<b>TPC</b>	Time Power Control (Otomatik Güç Kontrolü)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>WEP</b>	Wired Equivalent Privacy (Kablolu Eşdeğer Gizlilik)
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)
<b>WPA</b>	Wi-Fi Protected Access (Kablosuz Korunmalı Erişim)
<b>WPAN</b>	Wireless Personal Area Network (Kablosuz Kişisel Alan Ağı)
<b>WWAN</b>	Wireless Wide Area Network (Kablosuz Geniş Alan Ağı)
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlılık)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, kablosuz ağların konumlarının tespiti konusu kablosuz haberleşme teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte büyük önem arz etmektedir. Doğru konum tahmini ile çeşitli uygulamalar ve servisler geliştirilmekte, akıllı ulaşım sistemleri ve gelişmiş trafik yönetimi gibi uygulamalar yapılabilmektedir [1]. Konum tahmini, kısa menzilli ağlar için, stok takibi, yangın izleme sistemleri, ev otomasyonu ve hasta izleme gibi uygulamaları kolaylaştırmakla birlikte, acil servisler ve yol bulma gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [2, 3]. Kablosuz konumlandırmanın bu potansiyel uygulamaları, aynı zamanda düşük veri hızı iletişim yetenekleri ile birlikte yeni bir fiziksel katman tasarımı için 802.15.4a adında bir standartizasyon getiren IEEE tarafından da kabul görmektedir [4]. Aynı zamanda, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) bulunan Federal İletişim Komisyonu (FCC), kısa mesafe içerisinde (birkaç 10 metre) acil 911 arama yapan mobil kullanıcıların yerini tespit etmek için kablosuz servis sağlayıcılarını gerekli görmüştür [5].

AP'lerin konumunu tespit etmek için kentsel bölgelerde kaotik bir görünüm sergileyen ve geniş bir skalada yer alan kablosuz ağları (Wireless Fidelity-WiFi) ve topolojilerini anlamakla birlikte, radyo tabanlı bilgilerin kullanıldığı WiFi (802.11) şebekedeki bir düğümün konumunun tespiti için gerekli sinyal gücü, varış açısı (AOA) vb. parametreleri elde etmek de önemli bir problemdir [6, 7].

AP'lerin konumunun tespit edilmesinde çeşitli methodlar kullanılmaktadır. Her ne kadar kablosuz ağdaki bir düğümün konumu, doğrudan sinyallerin düğümler arasındaki hareketinden tahmin edilebilse de uygulamalarda, öncelikle bir dizi sinyal parametresini tahmin ederek elde edilen bu parametrelerden konum tahmini yapılması yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır [8].

Birçok konumlama tekniği, RSS, TDOA, TOA, AOA ve DOA gibi geleneksel radyo konumlama methodlarını temel alır. Sinyal yayılımında çok yolluluğun sebep olduğu problemler ile oluşan enterferans ve görüş hattında olmayan sinyal durumları için TDOA ve TOA teknikleri geliştirilmiştir [26]. Sonuç olarak TOA ya da TDOA, bir mobil birim için doğruluğun önemli olduğu durumlarda kullanılırlar. Doğruluğun çok önemli olmadığı durumlarda ise konum veya hücre tahmini için sinyal gücü (RSS), geliş açısı (AOA) veya geliş yönü (DOA) tekniği kullanılabilir.

Bir ağın kapsama alan haritası çeşitli noktalardan elde edilen sinyal gücü (RSS) ile bilinir. Sinyal gücünün, frekansın karesi ile ters orantılı olması ve yüksek frekans değişimlerinin sinyal yayılımını negatif olarak etkilemesi, bir ağın kapsama alanını etkileyen önemli faktörlerdir [16].

Kablosuz ağlardaki radyo tabanlı konumlandırma yaklaşımları incelendiğinde, kapalı alanlarda bulunan kablosuz erişim noktalarının konumunun tespiti ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Düğümler arasındaki sinyallerin kullandığı parmak izine dayalı konumlandırma sistemleri de bu çalışmalara verilebilecek örneklerden biridir. Bu yöntemle konum bilgileri bağımsız bir şekilde tespit edilebilmektedir. Kapalı alanlardaki kablosuz ağ kullanıcılarının konumunun tespit edildiği ilk sistem ise RADAR'dır [9]. Bu sistem, konum bilgisi ile etiketlenmiş farklı AP'lerden toplanan sinyal gücü değerlerine göre radyo frekanslı (RF) parmak izini kullanır. Kablosuz bir kullanıcının konum bilgisine ihtiyaç olduğunda, farklı AP'lerden alınan sinyal güçleri kullanılarak RF parmak izinin olup olmadığına bakılır. Bu kapsamda birçok benzer RADAR uygulaması vardır [10]. Özellikle, geliştirilmiş olan çeşitli sistemlerin kapalı alanlardaki konumların doğruluğu 10 m iken, sinyal bilgilerindeki olasılıksal konum girişimi kullanılarak bu doğruluk değerleri RADAR sistemlerinde 1 m'ye kadar düşebilmektedir [11].

Active Badge, kapalı alanlardaki AP'lerin konumlarının tespiti için infrared (IR) sistemlerin kullanıldığı diğer bir yöntemdir [12, 13]. Her bir kullanıcı, bir kızılötesi işaret yayar ve bu işaretlerin okunduğu IR istasyonlar tarafından konum tespiti gerçekleştirilir. Bu sistemde ultrason işareti kullanılarak santimetre mertebesinde doğruluk elde edilir.

VORBA adı verilen farklı bir yaklaşımda ise hareketli yönlü antenler kullanılarak, kapalı alanlarda bulunan AP'lerin konumunu tespit etmek için AOA bilgisi ve sinyal gücü kullanılır [17]. VORBA, kapalı alanlardaki AP konumlamasının AOA tabanlı yönlü anten ve üçlü kestirmeyle birlikte kullanıldığı bir yöntemdir.

Kapalı alanlardaki ana problem sinyal yayılımı ile ilgilidir. Kapalı ortamlarda birçok engel olduğundan dolayı oluşan gölgeleme nedeniyle, meydana gelen sinyaldeki yüksek güç kaybı kritiktir. Genellikle alan küçük olduğu için çoğu zaman çokyolluluk da meydana gelir. Kapalı alanlardaki konum tahminlerinde kullanılan teknolojiler, dış ortam ya da hücrel ortamlardakiyle temel olarak aynıdır.

Hücrel sistemlerde ise alan tabanlı konum tahmin algoritmaları kullanılır. Bu sistemlerdeki konum tahmini, AOA, TOA ve TDOA gibi methodlarla yapılır. Bu sistemlerde merkezi bir birim, farklı baz istasyonlarından elde edilen bilgileri işler ve konum hesaplamasını yapar. Bu sistemde son konumun tahmin edilmesi için belirli eşitlikler kullanılır. Bu eşitlikler, bazen geometrik şekillerle ifade edilirler (çemberler, elipsler ve hiperboller gibi). GSM'de, konumlama yapabilmek için hem mobil hem de baz istasyonları gibi ek donanımlar gerekir. GSM uygulamalarında kullanılan TOA tekniği ile zaman avantajının (TA) da kullanılmasıyla birlikte, problemler yüksek doğrulukla çözülebilir ve sinyal yayılımda meydana gelen kanal zayıflaması ise kanal ya da çevrenin bir işareti olarak kullanılır [23, 24].

Açık alanlarda sinyal yayımlayan vericilerin konumlarının tespiti ile ilgili ise çalışmaların yeni yeni yaygınlaştığı görülmektedir. Intel'in Place Laboratuvarı, dış ortamlar için benzer yaklaşımlar üzerinde çalışmalar yapmaktadır [20]. Son çalışmalardan birinde kullanılan MOBISTEER, yönlendirilebilir bir yönlü anten ile bir WiFi (802.11b/g) kullanıcılarından meydana gelir ve bu sistem bir araç üzerine montelidir [21]. Anten ile uygun protokoller kullanılarak, yol kenarında bulunan AP'ler ile bağlantı kurulmaya çalışılır [22]. MOBISTEER kullanarak farklı yönlerden gelen sinyaller elde edilir ve bu sinyaller kullanarak sinyallerin varış açısı (AOA) tahmin edilmeye çalışılır. Daha net sonuçlar elde etmek amacıyla, farklı konumlardan toplanan birçok AOA bilgisi gereklidir. Bu nedenle hareketli bir araba ile söz konusu bilgiler toplanır. Sistem yönlendirilmiş antene gelen sinyal gücünden hareketle hedef konumlarının tespit edilmesi prensibiyle çalışır. Bu yaklaşım, oldukça pasif ve sadece dinlemeye dayalı bir yaklaşımdır ve dolayısıyla AP'ler bu sistemlerin farkına varamazlar.

Kötü niyetli kişilerin ve bilgi güvenliğinin öneminin oldukça arttığı günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte, yeni kablosuz haberleşme teknolojileri de hızla yaygınlaşmaktadır. Yakın gelecekte, özellikle kötü niyetli kişilerin çok daha hızlı bir şekilde konumlarının tespit edilebildikleri telsiz, GSM ve uydu telefonu gibi haberleşme cihazlarını kullanmaktan daha ziyade son zamanlarda yaygınlaşan kablosuz haberleşme teknolojilerini (Wi-Fi, 3G vb.) kullanmaya başlayacakları tahmin edilmektedir.

Kırsal bölgelerde bulunan köy ve mezra benzeri meskun mahallerde bulunan birçok evde AP bulunmaktadır. Özellikle konumlarının tespit edilmesini istemeyen kötü niyetli kişilerin söz konusu meskun mahallerde bulunan AP'leri kullanarak haberleşme ihtiyaçlarını giderebilecekleri değerlendirilmektedir.

Askeri alan, kışla vb. yerlerde bulunan bilgilerin yüksek önem derecesine sahip olmasından dolayı gelişen haberleşme teknolojileriyle birlikte bilgi güvenliği önemini bir kat daha artırmış bulunmaktadır. Bilgi sızdırılmasında birçok insana ulaşmanın en kısa ve kolay yolu olan internetin ise kötü niyetli kişiler tarafından yaygın bir haberleşme aracı olarak kullanılacağı öngörülmektedir.

Bu kapsamda, kırsal bölgelerde konumlanan AP'lerin konumunun anlık olarak tespit edilebilmesini sağlayan maliyeti etkin, kurulumu kolay ve kötü niyetli kişiler tarafından tespit edilemeyecek (pasif) bir sisteme ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir.

Literatür taramalarında, benzer konum tespit sistemlerinin ağırlıklı olarak kapalı alanlar için geliştirildiği, açık alanlarda 2.4 GHz frekans bandında sinyal yayımlayan AP'lerin konumunun tespiti ile ilgili çalışmaların yeni yeni başladığı tespit edilmiştir.

Tüm bu sebeplerden dolayı, kablosuz haberleşme araçlarını kullanan kişilerin konumlarının gizli bir şekilde tespit edilmesi amacıyla, literatürde yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak açık alanlarda sinyal yayımlayan vericilerin konumlarının ortalama 5-200 m doğrulukla tespit edilebildiği bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, 2.4 GHz frekans bandında açık alanlarda sinyal yayımlayan vericilerin konumunu 5-200 m doğrulukla tek ve sabit bir noktadan, pasif bir şekilde tespit edebilmesiyle birlikte ve yapılan bu çalışma ile açık alanlarda 2.1 GHz (3G) ve 2.4 GHz frekans bandında sinyal yayımlayan vericilerin konum tespiti konusunda yapılacak çalışmalara ışık tutacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, konumlama sistemlerinin ana unsurlarından sinyal kestirme sistemleri üzerinde durulmakta ve 2.4 GHz frekans bandında sinyal yayımlayan vericilerin konumlarının kestirilmesi problemi ile ilgili



maliyeti etkin, kurulumu kolay, pasif ve etkin bir sistem geliştirilmiştir. Çalışmanın 2. bölümünde kablosuz ağlardan, görüş hattı iletişiminden (LOS), yönlü ve yönsüz antenler ile kablosuz ağ standartları ve düzenlemelerinden, 3. bölümünde ise geliştirilen yeni sistemin tasarımından ve özelliklerinden bahsedilmektedir. Çalışmanın son bölümünde ise yapılan uygulama sonucu ve sonuca bağlı öneriler sunulmaktadır.

## 2. KABLOSUZ AĞLAR VE KONUM KESTİRİMİ

Kablosuz yerel ağ, kablolu iletişime alternatif olarak uygulanan, RF (Radyo Frekansı) teknolojisini kullanarak havadan bilgi alışverişi yapan esnek bir iletişim sistemidir. Özellikle arazi koşullarının zor olduğu, telekom altyapısının olmadığı veya yeterli kablo mesafesinin olmadığı durumlarda, binalar arasında kablosuz cihazlarla (Wireless Bridge) ve ekipmanlarla oluşturulan bağlantı şeklidir. Konum kestirimi ise bir sinyalin analizi sonucunda elde edilen çeşitli parametrelerden faydalanarak o sinyalin konumunun belirlenmesidir.

### 2.1. Radyo Frekans (RF) Spektrumu ve Düzenlemeleri

Radyo frekansı ya da RF, radyo ve TV sinyalleriyle aynı temel prensiplerde çalışan birçok kablosuz ağ iletişiminin kalbidir. Elektromanyetik spektrumun RF bölümü çizelge 2.1'de görüldüğü üzere 9 kHz ile 300 GHz arasında yer alır ve değişik uygulamalar için değişik frekans aralıkları kullanılır.

Çizelge 2.1. RF spektrumu

YAYILIM TİPİ	FREKANS	DALGABOYU
Very low frequency (VLF)	9–30 kHz	33–10 km
Low frequency (LF)	30–300 kHz	10–1 km
Medium frequency (MF)	300–3000 kHz	1000–100 m
High frequency (HF)	3–30 MHz	100–10 m
Very high frequency (VHF)	30–300 MHz	10–1 m
Ultra high frequency (UHF)	300–3000 MHz	1000–100 mm
Super high frequency (SHF)	3–30 GHz	100–10 mm
Extremely high frequency (EHF)	30–300 GHz	10–1 mm

Elektromanyetik radyasyondaki frekans ve dalgaboyu, ışık hızı ile ilgilidir. Bu nedenle dalgaboyu,  $\lambda = \text{ışık hızı (c)} / \text{frekans (f)}$  şeklinde ya da metre cinsinden dalgaboyu  $\lambda = 300 / f \text{ (MHz)}$  şeklinde ifade edilir.

RF spektrumdan sonra aşırı yüksek frekans (EHF)'lar başlar ve bu bölgeye kızılötesi bölge adı verilir. Bu bölgedeki dalga boyu mikrometrenin onda birine kadar düşer. Frekansı 30 THz (30000 GHz) civarındadır. RF spektrumun her Hz'i, orman korumasından astromiye kadar çizelge 2.2'de görüldüğü üzere bir uygulamanın kullanımına açıktır ve bazı RF bandları ise lisanslanmamış iletişim için ayrılmıştır.

Çizelge 2.2. 2.4 GHz ISM bantı etrafında izin verilen spektrum

GHz

Sabit	Mobil	Uzay Araştırmaları	Uzay Uygulamaları	Dünya Araştırmaları	2.2
Uzay Araştırmaları		Sabit		Mobil	2.3
Amatör					
Uydu Yayınları					2.4
Mobil			Yer Tespiti		
Amatör					
Sabit			Mobil		2.5
Uydudan Yer Tespiti			Mobil Uydu		
Uydu Yayını			Sabit		
Radio Astronomi	Uzay Araştırmaları			Dünya Araştırmaları Uydusu	2.6
Havacılıkta Yol Gösterme	Meteorolojik Yardımlar			Radio Konumlama	

Birçok kablosuz ağda kullanılan RF bantları, lisanslanmamış ISM (endüstriyel, bilimsel ve medikal) bantından meydana gelir ve bunların en önemlileri 915 MHz (Avrupa'da 868 MHz), 2.4 GHz ve 5.8 GHz frekans bantlarıdır.

Çizelge 2.3. Kablosuz ağlarda kullanılan radyo frekans bandları

RF BAND	KABLOSUZ AĞ ÖZELLİĞİ
915/868 MHz ISM	ZigBee
2.4 GHz ISM	IEEE 802.11b, g, Bluetooth, ZigBee
5.8 GHz	IEEE 802.11a

Radyo frekans spektrumunun kullanımı, frekans bantlarının bir özelliğine bağlı olarak farklı lisanslı ve lisanssız servisler tarafından düzenlenirler. Herbir sinyal türü için izin verilen belirli bir yayım gücü vardır ve bu yayım güçleri, ilgili ülkede ya da bölgede bulunan çizelge 2.4'de belirtilen regülasyon otoriteleri tarafından kontrol edilir.

Çizelge 2.4. Uluslararası regülasyon otoriteleri

ÜLKE / BÖLGE	REGÜLASYON OTORİTESİ	
AMERİKA	FCC	Federal Communications Commission
KANADA	IC	Industry Canada
AVRUPA	ETSI	European Telecommunications Standarts Institute
JAPONYA	ARIB	Association of Radio Industries and Businesses

Uluslararası Telekomünikasyon Birliğinin Dünya Radyo İletişim Konferansı tarafından yürütülen ülkelere ve bölgelere karşı spektrum düzenlemelerinde bir uyum sağlanması konusunda çalışmaları olmasına rağmen, spektrum izinleri ve güç yayımlama seviyelerinde önemli farklılıklar olabilmektedir.

Örneğin, IEEE 802.11a ağlarında kullanılan 5.8 GHz ISM bandında, Amerika'da bulunan regülasyon otoritesi FCC, maksimum çıkış gücü olarak 1 W'a izin verirken, Avrupa'da bulunan regülasyon otoritesi ETSI'nın verdiği maksimum EIRP (eşit izotropik yayılan güç) 100 mW ya da band genişliğinde MHz başına 10 mW'dır.

Çizelge 2.5'de IEEE 802.b/g ağlarında 2.4 GHz ISM bandında kullanılan diğer regülasyon otoritelerinin izin verdikleri maksimum güç seviyeleri görülmektedir.

Çizelge 2.5. Regülasyon otoriteleri ile özellikleri

DÜZENLEYİCİ	2.4 GHz ISM ÖZELLİĞİ
FCC (Amerika)	1 W maksimum iletilen güç, 2.402–2.472 GHz, 11-22 MHz kanallar
ETSI (Avrupa)	100 mW maksimum EIRP, 2.402–2.483 GHz, 13-22 MHz kanallar
ARIB (Japonya)	100 mW maksimum EIRP, 2.402–2.497 GHz, 14-22 MHz kanallar

Bölgeden bölgeye düzenleyici kurallarında farklılıklar olabilmektedir. Örneğin, FCC 2002 yılında ultra geniş bant radyo uygulamaları konusunda düzenlemeler geliştirmişken, Avrupa'da 2006 yılında benzer düzenlemelerle ilgili 31 ETSI Çalışma Grubu oluşturulmuştur.

Regülasyon otoriteleri, RF spektrumun lisanslı bazı bölümleri için belirli şartlar koyarak, interferans problemlerinin çözümünde önemli roller üstlenirler fakat lisanssız bantlarda meydana gelen interferans problemlerine müdahil olmazlar. Lisanslı olmama, bantın bütün uygulamalar için serbest olduğunu ve herhangi bir interferans problemini kullanıcıların kendisinin çözmesi gerektiği anlamına gelmektedir.

## 2.2. Kablosuz İletişim Ağları ve WLAN Teknolojileri

Wi-Fi (Wi-fi, WiFi, Wifi, wifi), "Wireles Fidelity" kelimelerinin kısaltması olup kablosuz bağlılık veya kablosuz bağlantı anlamına gelir. Wi-Fi, ürünlerin kablosuz bağlantı sağlayabildiğini gösteren bir uyumluluk göstergesidir ve IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g ve IEEE 802.11n standartlarıyla belirlenir.

Kablosuz bağlantı, dizüstü bilgisayarlar, PDA'lar ve diğer taşınabilir cihazların yakınlardaki kablosuz erişim noktaları aracılığıyla yerel alan ağına bağlanabilmesini sağlayan teknolojiye verilen isimdir. Bağlantı, kablosuz erişim noktaları ve cihazın ortak desteklediği, IEEE 802.11 protokolüne bağlı olarak 2.4 GHz veya 5 GHz radyo frekans bandında gerçekleştirilir.

Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks, WLAN), iki yönlü geniş bant veri iletişimi sağlayan, iletim ortamı olarak fiber optik veya bakır kablo yerine telsiz frekansı (Radio Frequency, RF) veya kızılötesi ışınları kullanan salon, bina veya kampus gibi sınırlı bir alanda çalışan iletişim ağlarıdır [29]. Kurulum kolaylığı ve hareket serbestliği gibi önemli avantajlar sağlayan WLAN sistemleri kablolu ağların yerini alabilmekte hatta bu ağlara göre daha fazla fonksiyonlar içerebilmektedir. Kablosuz Yerel Alan Ağları Avrupa düzenlemelerinde Telsiz Yerel Alan Ağları, Radio Local Area Networks, Radio LAN, RLAN olarak adlandırılmasına karşın başta ABD olmak üzere bir çok ülkede Wi-Fi, Wireless Local Area Networks, Wireless LAN, WLAN olarak adlandırılmaktadır.

WLAN sistemlerinde RF haricinde çok az miktarda kızılötesi (Infrared, Irda) teknolojisi de kullanılmaktadır. Kızılötesi sistemler, görünür ışığın hemen altındaki kızılötesi ışınları kullanarak veri iletişimi gerçekleştiren teknolojiye sahiptir [30]. Ancak bu sistemler toz, nem, ışık, yağmur ve sis gibi fiziksel etkilere karşı aşırı duyarlıdır.

Kızılötesi sistemler kullanıldığında kablosuz ağda yer alan cihazların mutlaka görüş hattında bulunması gerekmektedir. Ayrıca iletişim mesafesi de yaklaşık 10 metre olduğundan oldukça kısadır. Bu tür sorunları nedeniyle kızılötesi sistemler yaygın olarak kullanılmamaktadır.

WLAN sistemleri iş adamları, yöneticiler, çalışanlar, küçük işletmeler, orta ölçekli işletmeler ve bireysel kullanıcılar gibi büyük bir kesime internet ve üyesi oldukları kurumsal ağa (Intranet) mobil olarak bağlanma imkanı sağlamaktadır. Ayrıca, WLAN sistemleri kullanıcılara mekandan bağımsız olarak kolay bir kablosuz ağ kurulumu ve geniş bant veri iletimi imkanı sunmaktadır [29, 31, 33]. Kablolu LAN'ların tüm özelliklerine sahip olan WLAN sistemleri bu ağların devamı ya da alternatifi olarak kullanılmaktadırlar. Kurumsal ve kişisel kullanımın dışında restoranlar, otobüs terminalleri, oteller, büyük alışveriş merkezleri, tren istasyonları, hava alanları cadde ve sokaklar gibi kamuya açık alanlarda AP'ler vasıtasıyla verilen kablosuz internet hizmetinin de hızla artmakta olduğu görülmektedir [34].

Dünyadaki mevcut Erişim Alanı sayılarına bakıldığında Mayıs 2004 tarihi itibarıyla 11.741 adedi Avrupa'da olmak üzere Dünya genelinde toplam 41.111 adet Erişim Alanı bulunduğu görülmektedir [35]. WLAN kullanımındaki bu artışın telekomünikasyon sektöründe göreceli bir değişim sağlayacağı tahmin edilmektedir. WLAN sistemleri, endüstri kuruluşları veya bu kuruluşların katkıları ile oluşturulan organizasyonlar tarafından yürütülen çalışmalar sonucu lisans gerektirmeyen frekans bantlarında geliştirilmektedir [31]. Bu çalışmalar WLAN sistemlerinin öngörülemez düzeyde yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

Bu durum devletleri ve düzenleyici otoriteleri yeni düzenlemeler yapmaya veya mevcut düzenlemeleri revize etmeye zorlamaktadır. Kablolu iletişim teknolojilerine kıyasla birçok üstünlüğü bulunan kablosuz iletişim teknolojileri 1990'lı yıllarda büyük gelişmelere sahne olmuştur [32].



RF'nin yeniden keşfi olarak adlandırılan bu gelişmeler hem GSM gibi ses iletişimde hem de veri iletişimde yaşanmıştır. Özellikle veri iletişimde yüksek veri hızlarına ulaşılması, kablosuz teknolojiyi yaygın kullanılabilir hale getirmiştir. Kablosuz iletişim ağları, iki veya daha fazla bilgisayar veya sayısal cihazın birbirleriyle kablosuz veri iletişimi sağlamalarıyla oluşan yapıdır [31]. Bu ağlar, özel amaçlı, eğitim amaçlı, ulusal veya halka açık olarak kurulabilirler. Kablosuz iletişim ağlarını hizmet yapısı, çalışma prensipleri, büyüklük veya mimarisine (topoloji) göre olmak üzere farklı şekillerde gruplandırmak mümkündür [36]. Ancak teknolojiye hızlı gelişme ve sistemlerdeki yakınsama bu gruplandırmada kesin çizgilerin çizilmesini zorlaştırmaktadır. Çeşitli kaynakların bu gruplandırmayı farklı şekilde yaptıkları görülmektedir [37-40]. Genel yaklaşıma göre kablosuz iletişim ağları, 4 sınıf altında toplanabilir. Bunlar, 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.

Bazı kablosuz iletişim teknolojilerinin özellikleri itibariyle birden fazla grupta yer alması söz konusudur. Ancak yaygın kullanımları dikkate alınarak kablosuz iletişim teknolojilerini Çizelge 2.6'da belirtildiği şekilde sınıflandırmak mümkündür [37, 22].

Çizelge 2.6. Kablosuz iletişim teknolojileri

	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
Standart	Bluetooth HomeRF	IEEE 802.11 HiperLAN	IEEE 802.16 HiperMAN	GSM, GPRS, CDMA ve 3G
Hız	< 1 Mbps	11-54 Mbps	11-100 Mbps	10-384 Kbps
Mesafe	Kısa	Orta	Orta-Uzun	Uzun
Uygulama	Cihazlar arası bağlantı/Piconet	Cihazdan cihaza/Ağ kurulumu	Kablo yerine/Son kullanıcı erişimi	Mobil Telefon/ Mobil Veri

### 2.2.1. Kablosuz ağların avantajları

- \* Lisans gerektirmeyen frekanslarda çalışırlar.
- \* Ağ için kablolama gereksinimi yoktur. Böylece kablo çekilemeyecek binalarda veya binalar arası bağlantılarda kolaylık sağlarlar.
- \* Diğer kablosuz çözümlere göre çok daha ucuz ve kolay alınıp kurulabilirler.
- \* Birden çok kablosuz erişim noktası kullanılan ağlarda kablosuz dolaşım ile kablosuz iletişim kesilmeden bir erişim noktasından diğerine geçiş yapılabilirler.
- \* WEP, WPA ve benzeri kablosuz şifreleme yöntemleri veya IEEE 802.1x gibi yetkilendirme yöntemleriyle çeşitli güvenlik seçenekleri sunarlar.
- \* Global bir standartlar kümesidir ve kablosuz bağlantı özelliğine sahip bir ürün dünyanın her yerinde aynı şekilde çalışabilir.

### 2.2.2. Kablosuz ağların dezavantajları

\* Lisans gerektirmeyen frekans aralıklarında çalıştığı için, kablosuz cihazlar diğer kablosuz cihazlarla çakışabilir veya birbirlerinin iletişimini engelleyebilirler.

\* 2.4 GHz frekans bandında çalışan 802.11b ve 802.11g uyumlu cihazların iletişim kalitesi ve hızı, diğer kablosuz cihazlar dışında, Bluetooth, mikrodalga fırın, telsiz telefon, bazı telsizler ve benzeri radyo sinyalleriyle çalışan cihazlar tarafından düşürülebilir veya tamamen engellenebilir.

\* Kablosuz ağlar için yapılan uluslararası düzenlemelerin tümü aynı olmadığı için değişik ülkeler için üretilen cihazların bazı kanallarda uyumsuzluk çıkarması olasıdır.

\* Diğer standartlara göre güç tüketimi oldukça yüksektir.

### 2.2.3. Kablosuz ağlarda veri hızı

Veri hızında dikkat edilecek unsur, Upload ve Download için paylaştırılıyor olmasıdır. Sadece Download için bu maksimum hızı beklememek gerekir. Ayrıca alıcı ile verici cihaz arasındaki mesafe ve cihazların arasında bir engel olup olmaması, hızı o oranda olumsuz yönde etkilemektedir.

Çizelge 2.7. Standartlar ve veri hızları

STANDARTLAR	VERİ HIZLARI
IEEE 802.11	Maksimum 2 Mbps
IEEE 802.11a	Maksimum 54 Mbps (40 MHz'de 108 Mbps)
IEEE 802.11b	Maksimum 11 Mbps (40 MHz'de 22 Mbps, 60 MHz'de 44 Mbps)
IEEE 802.11g	Maksimum 54 Mbps (g+ =108 Mbps, 125 Mbps'a kadar mümkün; 2 Mbps Karma (g+b) IEEE 802.11b)
IEEE 802.11h	Maksimum 54 Mbps (40 MHz'de 108 Mbps)
IEEE 802.11n	Maksimum 300 Mbps (Kullanılan teknik MIMO; 20 Ocak 2006'da tasarılandı. Versiyon 2.0 19 Mart 2007'de geliştirildi)

#### 2.2.4. Kablosuz ağlarda güvenlik

Kablosuz iletişimde radyo sinyalleri kullanıldığı için, kullanıcı ile kablosuz erişim noktası arasındaki iletişim dinlenebilir. Bunu engellemek için WEP, WPA ve WPA2 gibi şifreleme yöntemleri kullanılsa da, bu şifreleme yöntemleri halen yeterince güvenli görülmemektedir. Yeterli sayıda şifrelenmiş paket toplandıktan sonra birçok şifreli kablosuz iletişim çözülebilir. Bu yüzden, çeşitli şirketlerde, okullarda vb. yerlerde kablosuz bağlantı yapan kullanıcıların ağa erişimleri için VPN ve benzeri üst katmanlarda çalışan şifreli iletişim yöntemleri kullanılmaktadır.

#### 2.2.5. Bluetooth

Bluetooth, dizüstü bilgisayarlar, cep bilgisayarları, modemler, LAN erişim noktaları ve telefonlar (cep, ev ve işyeri telefonları) gibi sayısal cihazlar arasında veri iletişimini sağlamak üzere oluşturulan endüstri

konsorsiyumunun adıdır [41]. Bluetooth teknolojisi 2.4 GHz frekans bandında ilk olarak Ericsson Mobile Com. tarafından 1994 yılında geliştirilmiştir. Bluetooth, kısa mesafede bilgisayar, fare, klavye, yazıcı, sayısal kamera ve telefon gibi cihazlar arasında kablosuz iletişimi sağlayan teknolojidir. Bluetooth aynı zamanda ağ bağlantısının çeşitli cihazlara dağıtılmasını da sağlar. Bluetooth ses iletimine de olanak tanımaktadır. Kısa mesafede ve kişisel kullanım esas alındığı için düşük ücret, düşük güç ve düşük profilli teknoloji hedeflenmiştir [42]. Ericsson, IBM ve Toshiba gibi şirketlerin oluşturduğu Bluetooth sp. İnt. Gr. (SIG) ilk Bluetooth özelliklerini Temmuz 1999'da açıklamışlardır. IEEE 802.11b ve Bluetooth teknolojisine birlikte bakıldığında her ikisinin de veri iletimini 2.4 GHz ISM bandında ve RF yoluyla gerçekleştirdikleri, ancak Bluetooth'un FHSS modülasyon tekniğini ile 1 Mbps, 802.11b'nin ise DSSS modülasyon tekniği ile 11 Mbps veri iletişim hızına ulaştıkları görülmektedir. Her iki teknolojinin amacı da cihazlar arasında RF yoluyla veri iletimi olmasına rağmen, fonksiyonları açıkça birbirinden farklıdır.

Bu nedenle bu iki teknolojiyi rakip olarak görmek veya kıyaslamak mümkün değildir. WLAN teknolojileri orta güç ve orta iletişim mesafeleri için uygundur. WPAN teknolojisi ise düşük güç, kısa iletişim mesafeleri için uygundur. Bu özelliği nedeniyle Bluetooth, uygun mesafedeki herhangi bir cihazı kablosuz olarak bir başka cihaza bağlayabilir. WLAN sistemleri 100 metre iletişim mesafesine sahip iken Bluetooth'un mesafesi yaklaşık 10 metredir [43]. Ayrıca Bluetooth, kullanıcılara kablosuz ağ bağlantısı veya internet erişimi sağlamak için de tasarlanmamıştır.

Bu sınırlamalar nedeniyle WLAN sistemleri ile kıyaslandığında Bluetooth'un ev ve işyerlerindeki kullanım imkanlarının oldukça sınırlandığı görülmektedir. Bluetooth teknolojisinde güç ve mesafeleri farklı 3 sınıf ürün tanımlanmıştır. Bu sınıflar Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Bluetooth ürün sınıfları

ÜRÜN TİPİ	GÜÇ SEVİYESİ	İLETİŞİM MESAFESİ	AMAÇ
Sınıf 1	100 mW/20 dBm	100 m'ye kadar	Azami iletişim mesafesi
Sınıf 2	2.5 mW/4 dBm	10 m'ye kadar	Orta iletişim mesafesi
Sınıf 3	1 mW/0 dBm	0.1 m'ye kadar	Kısa iletişim mesafesi

Bluetooth, 2.4 GHz ISM bandında 2.402 GHz'den başlayarak 2.480 GHz'e kadar 1 MHz atlayarak 79 atlama frekansı kullanır. Bluetooth ağları sekiz cihaza kadar birlikte "master-slave" durumunda bir ağ oluşturabilirler ki buna "pikonet" denilmektedir.

WLAN sistemleri gibi Bluetooth'da kullanıcıya birçok fayda sağlar. Örneğin, cihazlar arasındaki kablonun görevini üstlenerek kablosuz çalışmaya imkan sağlar. Bluetooth uygun cihazlar arasında dosya paylaşımına imkan verir. Bluetooth, dizüstü bilgisayarlar, cep bilgisayarları, masa üstü bilgisayarlar ve diğer tip uygun cihazlarda kullanılabilir. Bluetooth'un ofis ve ev cihazlarında kullanılması ve kablosuz konferans odası veya kablosuz internet bankacılığı dahil birçok uygulamaya imkan tanınması beklenmektedir. Bluetooth kullanmanın birçok mahsuru da vardır. Yukarıda belirtildiği gibi mesafesi WLAN cihazlarından oldukça düşüktür.

Bu açıdan Bluetooth'un WLAN sistemlerine tehdit oluşturması imkansız görülmektedir. Ayrıca Bluetooth chip'leri ve diğer parçaları hala yüksek fiyatlıdır. Güvenlik açısından bakıldığında, gizliliğin korunması ve garanti edildiğinin ispatlanması gibi temel konularda güvenliğin sağlandığı söylenmemiştir.

Bu nedenle kullanıcı güvenini kazanmak için gizliliğin garanti edilmesi gerekmektedir. Bluetooth kullanmanın en kritik noktalarından birisi de 802.11b tarafından enterfere edilmesidir. Eğer aynı frekans ve zaman kullanılırsa her iki sistem arasında karşılıklı enterferans oluşmaktadır. Dahası her iki sistemde de paket anahtarlama tekniği kullanıldığından enterferans durumunda veri hızı oldukça düşmekte hatta kesilebilmektedir. Ancak her iki sistemde yoğun hata kontrolü ve hata oluşması durumunda yeniden gönderme özelliğine sahip olması nedeniyle enterferans durumunda veri kaybı olmamaktadır. 802.11b'nin en kötü durumda en düşük hız olan 1 Mbps'ye düştüğü, Bluetooth'un ise 1 Mbps olan maksimum hızının % 22 azaldığı belirtilmektedir. Ancak büyük hız düşmeleri bazı uygulamalar için çok önemli olabilir ve sistemin durmasına neden olabilir. Aynı zamanda bazı çalışmalar göstermiştir ki Bluetooth ile 802.11b arasında yalnızca kısmi kanal girişimleri olmaktadır. Pazar perspektifinden bakıldığında bu iki teknoloji ve hatta UMTS ile bu teknolojiler rakip olmaktan ziyade büyük ölçüde birbirlerini tamamlamaktadır. Bluetooth kablo yerine kullanılacak noktadan noktaya bir ara yüz olarak düşünülebilir. Bluetooth'un genel özellikleri çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Bluetooth'un genel özellikleri

Frekans Aralığı	2402-2480 MHz
Veri Oranı	1 Mbps (fiziksel)
Kanal Bant Genişliği	1 MHz
Kanal Sayısı	79
Mesafe	10 metre
RF Atlama	1600 kez/s
Şifreleme	Cihaz ID ve 0/40/64 bitlik anahtar uzunlukları
TX Çıkış Gücü	Azami 20 dBm (0.1 W)

### 2.2.6. Kızılötesi

Kızılötesi teknolojisi elektromanyetik spektrumda gözle görülebilen ışığın altındaki frekansları ( $3 \times 10^{14}$  kHz / 850-950 nm) veri iletiminde kullanan bir teknolojidir. Alıcı ile verici cihaz arasında açık görüş hattının bulunduğu ortamlarda ve kısa mesafeler için çok uygundur. Kızılötesi teknolojisini iki şekilde kullanmak mümkündür. Birincisi görüş hattı (direct beam, line of sight), ikincisi ise yansıma (diffused beam) yöntemidir [30, 44].

Doğal olarak görüş hattı yöntemi diğerine oranla daha fazla veri iletişimi sağlamaktadır. Ancak uygulamada geniş alan kaplamak ya da çok kullanıcıya ulaşabilmek için yansıma yöntemi tercih edilmektedir. Kızılötesi teknolojisi büyük oranda uzaktan kumanda cihazlarında kullanılmaktadır. Profesyonel olarak kızılötesi teknolojisi geçici ağ kurma ihtiyacı duyulan toplantılarda veya gezici satış elemanları tarafından kullanılmaktadır. Bu tür kullanımda yerel kablolu ağ ile bağlantı kurarak bilgi alış verişinde bulunmak ve sunucuya bağlı faks ve yazıcı gibi cihazlardan faydalanmak mümkündür. Aynı ortamda çalışan bir grubun yazıcı, faks ve benzeri donanımları ortaklaşa kullanabilmeleri için bir ağ oluşturmaları da mümkündür. Benzer şekilde kullanım örneklerini artırmak mümkündür. Kısa mesafe iletişim için uygun olan kızılötesi teknolojisinin avantaj ve dezavantajları çizelge 2.10'da verilmiştir.



Çizelge 2.10. Kızılötesi teknolojinin avantaj ve dezavantajları

KIZILÖTESİ	
AVANTAJLARI	Serbest kullanıma açıktır. Bir lisans veya ücret gerekmez.
	RF sinyallerinden etkilenmez.
	Güç tüketimi düşüktür.
	Kapalı ortamlarda yetkisiz dinlemeye ve bozucu etkilere karşı tam bir güvenlik sağlar.
DEZAVANTAJLARI	İletişim mesafesi kısadır. İdeal şartlarda 10-15 m'dir.
	Sinyaller katı cisimleri geçemez. Bu nedenle kapalı alanlarda duvar, kapı ve büro malzemeleri tarafından kullanım alanı kısıtlanır.
	Sinyaller kar, sis, toz ve ışık gibi hava şartlarından etkilenir. Bu nedenle açık alanlarda kullanım için uygun değildir.
	Kirlilikten kolay etkilenirler.

İletişim mesafesinin kısıllığı ve fiziksel engellerin ötesine ulaşamaması nedeniyle kablosuz yerel ağlarda çok az kullanılmaktadır. WLAN pazarında % 14 oranında kullanıldığı ve bu oranının giderek azaldığı belirtilmektedir [45]. Kızılötesi teknolojisi kısa mesafe (10 m) kablosuz iletişim için uygun ve ucuzdur. Ancak mobil kullanım için uygun olmadığından FHSS ve DSSS kadar yaygın değildir [44]. Kızılötesi teknolojisi WPAN'larda kullanılmakta olup, en yaygın kullanımı ise Bluetooth'da görülmektedir.

### 2.2.7. HomeRF

HomeRF, ev ve küçük işyerleri için geliştirilen kablosuz erişim standardıdır. Özellikleri Mart 1998'de kurulan Home Radio Frequency Working Group (HomeRF WG) isimli çalışma grubu tarafından ortak kablosuz erişim protokolü (Shared Wireless Application Protocol-SWAP) adı altında duyurulmuştur. HomeRF evde bulunan PC, kablosuz telefon ve diğer cihazlar arasında ses ve veri iletişimini kablolu masrafına gerek kalmadan kablosuz olarak sağlamaktadır [46, 47]. HomeRF Çalışma Grubunun kurulmasından sonra pek çok firma bu gruba katılmış ve üye sayısı 100 civarına ulaşmıştır. Son olarak her biri kendi sektöründe lider konumda olan Compaq, Intel, Motorola, National Semiconductor, Proxim ve Siemens firmalarının katılımıyla çalışmalar sonuçlandırılarak SWAP 2.0 geliştirilmiştir. SWAP 2.0 ile başlangıçta 1.6 Mbps olan veri iletişim hızı 10 Mbps'ye çıkarılmıştır. Gelecekte veri iletişim hızının 20 Mbps veya daha yükseğe çıkarılması hedeflenmiştir [46]. HomeRF sistemi 2.4 GHz ISM bandında çalışmakta ve 50 metreye kadar mesafede veri iletişimi sağlamaktadır [48].

HomeRF'in iletişim mesafesi işyeri uygulamaları için kısadır. Ancak ev uygulamaları için yeterlidir. HomeRF'in el tipi cihazlarda çoklu ortam uygulamaları için 802.11b'den daha iyi bir teknoloji olduğu yönünde görüşler de bulunmaktadır [47]. HomeRF 2.0 sürümü'nün genel teknik özellikleri Çizelge 2.11'de verilmiştir.

Çizelge 2.11. HomeRF'in genel teknik özellikleri

Frekans Aralığı	2402-2480 MHz
Veri Oranı	10 Mbps (v.2 için)
Mesafe	50 metre
RF Atlama	50 kez/s
TX Çıkış Gücü	Azami 20 dBm (100 mW)

HomeRF 2.0 sistemlerinde FHSS modülasyon tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikte veri kanalı bir frekanstan diğerine saniyede 50 defa atlamaktadır. Bu teknoloji iletişimin izlenmesini ve verilerin çalınmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Ayrıca ağa giriş için “ağ şifresi” istenerek güvenlik artırılmaktadır.

2.4 GHz ISM bandını kullanan HomeRF aynı frekans bandını kullanan WLAN sistemleri tarafından enterferansa maruz bırakılmaktadır. Ancak Bluetooth teknolojisi tarafından enterfere edilemez. Çünkü HomeRF kullanıldığı FHSS tekniği saniyesinde birbirine girişim yapmayan 15 frekans kanalına sahiptir. Bu değer DSSS tekniği kullanan WLAN sistemleri için üçtür. Daha geniş frekans aralığına yayılan WLAN sinyalleri aynı frekans aralığında çalışan HomeRF sinyallerine etki ederek enterferans oluşturlar.

### 2.3. WLAN Sistemleri

WLAN sistemleri başlangıçta mevcut kablolu ağların (LAN) tamamlayıcısı olarak tasarlanmışlardır. Ancak son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler WLAN sistemlerinin kablolu ağların yerini alabileceğini göstermiştir.

Ayrıca mevcut ağların genişleme ihtiyacını karşılamak üzere de WLAN sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. WLAN sistemleri başarılı performansları ve düşük maliyetleri ile hem iş çevrelerinde hem de bireysel kullanıcılar arasında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. WLAN kullanıcısı pahalı bir kablolu alt yapısı yerine özünde küçük bir radyo vericisi olan Erişim Noktası (Access Point, AP) ile iletişim ortamı sağlayabilmekte ve yerel alan ağı oluşturabilmektedir [30, 31, 38]. Temel olarak WLAN sistemi iki ana unsurdan oluşmaktadır. Birincisi AP ikincisi ise kablosuz cihazlardır. Ancak cihazdan-cihaza (peer to peer) çalışma modelinde AP'ye ihtiyaç duyulmaz. Bu durumda kablosuz ağ kartına sahip bilgisayarlar kendi aralarında ilave bir cihaz veya kabloya ihtiyaç olmadan bir ağ oluşturabilirler.

Kablosuz bir cihaz, genellikle bir dizüstü bilgisayar, kişisel bilgisayar (PC), cep bilgisayarı (PDA) veya kablosuz ağ ünitesi (NIC) ile donatılmış benzeri bir cihaz olabilir. NIC'ler RF veya kızılötesi kullanarak takılı bulunduğu cihaz ile AP arasındaki bağlantıyı sağlar. AP'ler ihtiyaca göre bir eve, iş yerine, toplantı salonuna veya bir binaya kurulabilir. Halka açık kullanımı sağlamak üzere ise şehir merkezlerine (Taksim, Kızılay gibi), büyük alışveriş merkezlerine, hava alanı, tren istasyonu, otobüs terminali veya restoran gibi kamuya açık alanlara AP kurulabilir. Bu durumda AP'nin oluşturduğu kablosuz internet bağlantısı sağlanan fiziksel alan Erişim Alanı olarak adlandırılmaktadır. Kablosuz cihazlarda bulunan NIC'ler otomatik frekans tarama özelliğine sahip olduklarından kendilerine ulaşan WLAN sinyalini algılayabilirler. NIC tarafından doğru frekans kanalı bulunduktan sonra AP ile kablosuz cihazlar arasında bağlantı kurulumu başlatılır.

WLAN sistemleri aslında tamamen kablosuz değildir. Çünkü sistemde bulunan AP'nin geniş bant erişim hizmeti veren DSL, Fiber Optik veya benzeri bir kablolu altyapı üzerinden şebekeye bağlanması gerekebilir. Bu nedenle, WLAN sistemleri tamamen kablosuz olmamakta ve bununla birlikte kablolu ihtiyacı en az düzeye indirilmiş olmaktadır. Bu açıdan

bakınca WLAN sistemlerinin artışı geniş bant erişim hizmetinin artışına bağlıdır ya da WLAN sistemlerinin artışı geniş bant erişim hizmetinin yaygınlaşmasını desteklemektedir [49]. Ancak cihazdan-cihaza kullanımda herhangi bir kablolamaya ihtiyaç olmadığından tam bir kablosuz ağ kurulumu gerçekleşmektedir. Benzer şekilde şebekeye erişim hizmetinin kablo yerine sabit telsiz (FWA) veya uydu terminali ile sağlanması durumunda da tam bir kablosuz ağ kurulumu gerçekleşmektedir.

### **2.3.1. WLAN sistemlerinin çalışma prensipleri**

WLAN sistemleri havada yayılan elektromanyetik dalgalarla bir noktadan başka bir noktaya fiziksel bağlantı olmaksızın bilgi iletişimini sağlar. Tipik bir kablosuz yerel ağ konfigürasyonunda, AP olarak isimlendirilen hem alıcı hem verici konumundaki cihaz kablolu ağa bağlanır ve kablolu ağ omurgası ile kablosuz cihazlar arasında veri alışverişi işlemini gerçekleştirir. Bir AP kullanılan ortama bağlı olarak dahili uygulamalarda 25-100 metre, harici kullanımda ise 200 metreye kadar yarıçaplı bir alanı kapsayabilir [50]. WLAN sistemlerinde kullanılan yüksek frekanslı RF sinyali (2.4 GHz ve 5 GHz) temel özelliği nedeniyle katı cisimlere nüfuz edebilir ve geçebilir. Bu özellik görüş hattının sağlanamadığı bina içi kullanımlarda büyük bir avantaj sağlar. Ancak katı cisimler kullanılan maddeye (tahta, çelik, beton gibi) bağlı olarak sinyal zayıflamasına neden olurlar. Bu da sonuçta erişim mesafesini kısaltır. Lisansız kullanımlar için çıkış gücü düzenlemeler ile sınırlandırılmış (genellikle 100 mW) olduğundan mesafe artırımı için güç yükseltilmesi söz konusu değildir. Bu nedenle iyi bir kapsama alanı için fiziksel ortam iyi etüt edilmeli ve AP'lerin montaj yerleri iyi seçilmelidir. AP veya kullanılıyorsa AP'ye bağlı harici anten, genelde yüksek bir noktaya montaj edilir. Bu sadece kapsama alanını genişletmek için gereklidir. Eğer yeterli kapsama alanı sağlanıyor ise AP'ler istenilen her noktaya konulabilir. Kullanıcılar ise kablosuz erişim özelliğine sahip cihazlar ile ağa bağlanabilirler.

Bu özelliği bulunmayan bilgisayarlar için hariçten takılan kablosuz ağ adaptörleriyle, dizüstü bilgisayarda PCMCIA kartlarla, masaüstü bilgisayarlarda ise ISA/PCI kartlarla kablosuz erişim gerçekleştirilir. Ayrıca dizüstü ve masa üstü bilgisayarlarda USB girişinden kablosuz ağ adaptörü (Wireless LAN Adapter) ile kablosuz bağlantı yapılmaktadır. Bir başka ifade ile kablosuz erişim özelliği bulunmayan cihazlar hariçten takılan kablosuz ağ adaptörleri ile WLAN sistemlerinde kullanılabilirler.

### **2.3.2. WLAN teknolojileri**

Kablosuz ağlarda veri iletimi için kullanılan birkaç teknoloji bulunmaktadır. Bunların en önemlileri elektromanyetik dalgaları kullanılan RF ve çıplak gözle görülebilen ışığın altındaki frekansları kullanan kızılötesi teknolojisidir [51]. RF ve kızılötesi teknolojileri WLAN sistemlerinde kullanılmakta olup, her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Kullanıcıların kendi ihtiyaçlarına göre doğru teknolojiyi seçmeleri sistem verimliliğini ve memnuniyeti artırmaktadır.

Günümüzde artan çoklu ortam uygulamaları sonucunda oluşan yüksek veri hızı talebi nedeniyle teknolojiler arasındaki rekabette veri hızı en önemli kriter olarak görülmektedir. Kapsama alanı veya erişim mesafesi ile enterferansa karşı duyarlılık da diğer önemli kriterler olarak sıralanabilir. Uygulamada yüksek veri hızları ve fiziksel engelleri geçebilme özellikleri nedeniyle RF teknolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır.

### **Kablosuz geniş alan ağları (WWAN)**

Bir ülke ya da dünya çapında yüzlerce veya binlerce kilometre mesafeler arasında iletişim sağlayan ağlara Geniş Alan Ağları (WAN, Wide Area Networks) denilmektedir [52]. WAN'larda genellikle kiralık hatlar veya telefon hatları kullanılmaktadır. Bu tür ağlar, 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 [41]. WWAN uygulamalarına örnek olarak GSM, GPRS, CDMA ve 3G sistemleri sayılabilir [37]. WWAN'larda trafik yükünün büyük kısmı ses iletişimi ile ilgilidir. Ancak son yıllarda yoğun olarak veri iletişimi ve internet erişimi talepleri yaşanmaktadır. 2002 yılında yapılan araştırmalara göre Amerika'da 2005 yılında yaklaşık 105 milyon kişinin mobil veri servislerini kullanması beklenmektedir [38].

#### Kablosuz metropol alan ağları (WMAN)

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 [37]. MAN'larda da WAN'larda olduğu gibi genellikle kiralık hatlar veya telefon hatları kullanılmaktadır. Bu tür ağlar, kablo yerine uydu veya RF iletişim teknolojileri kullanılması durumunda Kablosuz Metropol Alan Ağları (Wireless Metropolitan Area Networks, WMAN) olarak isimlendirilmektedir. WWAN'lar çok sayıda şubesi bulunan kurum ve büyük şirketler ile dağınık yerleşime sahip üniversiteler gibi yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. WWAN'lar kablolu ağlardan çok daha ucuz, esnek ve kolay kurulum özelliklerine sahiptir. Ancak, bu tür uygulamalar oldukça yenidir ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir [41]. Bu alanda Wimax1 adı altında uygulamalar yapılmaktadır [37]. IEEE 802.16 standardı WWAN için geliştirilmektedir.

### Kablosuz yerel alan ağları (WLAN)

Yerel alan ağları (Local Area Networks, LAN) bir bina, okul, hastane, kampus gibi sınırlı bir coğrafi alanda kurulan ve çok sayıda kişisel bilgisayarın (PC) yer aldığı ağlardır [29]. LAN'lar, kamu kurum ve kuruluşlarında, şirketlerde, üniversitelerde, konferans salonlarında ve benzeri pek çok yerde kullanılmaktadır. Bir LAN içinde çok sayıda bilgisayar, yazıcı, çizici, tarayıcı ve diğer bilgisayar çevre birimleri yer alabilir. 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. Günümüzde bazı dizüstü bilgisayarlarda kablosuz bağlantı özelliğinin standart hale geldiği görölmektedir [42]. Dünyada yaygın olarak kullanılan iki tür WLAN teknolojisi mevcuttur.

Bunlardan birisi Amerika tabanlı IEEE 802.11x ve diğerisi ise Avrupa tabanlı HiperLAN sistemleridir. Bunların dışında Japonya'da geliştirilen MMAC (Multimedia Mobile Acces Communication System) sistemi de mevcuttur [43].



### Kablosuz kişisel alan ağları (WPAN)

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 özelliklerinin geliştirilmesine ve yeni özellikler ilave edilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. WPAN uygulamalarında öncülüğünü Bluetooth yürütmektedir.

### **2.3.3. HiperLAN**

HiperLAN (High Performance Radio LAN), yüksek hıza sahip WLAN standardı olarak Avrupa ülkelerinde geliştirilmiştir. HiperLAN1 ve HiperLAN2 olmak üzere iki tipi vardır. Her iki tipte ETSI tarafından tanımlanmış olup, OFDM kodlama-modülasyon yöntemi ile 5 GHz bandında çalışmaktadır. HiperLAN'lar, 802.11 standartları ile benzer özellik ve kapasiteye sahiptir [35, 36]. HiperLAN1 1996 yılının başlarında geliştirilmiş olup, 5 GHz frekans bandında 20 Mbps data hızı sağlamaktadır. HiperLAN2 ise aynı frekans bandını kullanarak 54 Mbps data hızlarına ulaşabilmektedir [37].

HiperLAN2'nin PHY1 katmanı 802.11a ile aynıdır ve 802.11a özellikle çoklu ortam (multimedia) uygulamalarını kısıtlarken, HiperLAN2 daha pahalı bir sistem olmakla birlikte yüksek veri oranlarıyla resim ve görüntü aktarımında daha iyi performans sağlamaktadır. HiperLAN'lar ATM teknolojisi esaslıdır ve 802.11 teknolojisinden daha iyi servis kalitesine sahiptir [38]. Mevcut WLAN uygulamaları içinde HiperLAN'ların en iyi alternatif teknoloji olduğu söylenebilir. Ancak henüz 802.11 teknolojisi kadar yaygın değildir. HiperLAN2 ağlarında AP'lerden uç sistemlere bağlantıya yönelik bir yaklaşım vardır. Bu yapı hizmet kalitesi kriterlerinin (QoS) sağlanmasına olanak vermektedir. Böylece, 802.11 kablosuz LAN uygulamalarının aksine ses ve görüntü aktarımı için gerekli iletişim türü desteklenebilmektedir. Çizelge 2.12'de HiperLAN2 ile 802.11a standardı karşılaştırmalı olarak verilmiştir [39].

Çizelge 2.12. HiperLAN2 ile 802.11a standardının karşılaştırması

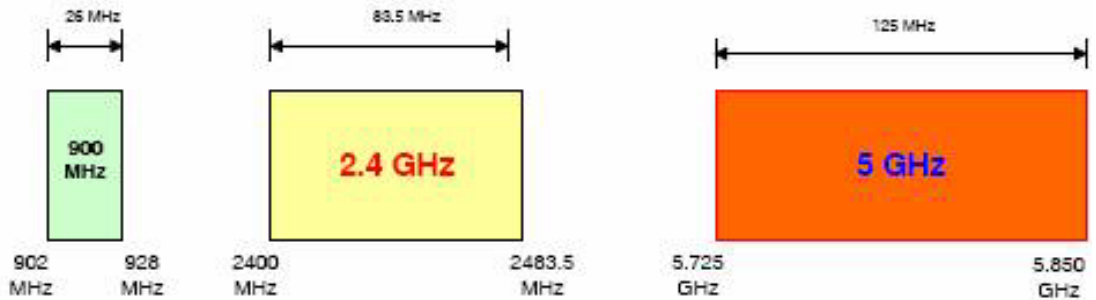
ÖZELLİK	HiperLAN2	802.11a
Brüt Aktarım Oranı	54 Mbps	54 Mbps
Net Veri Oranı	32 Mbps	32 Mbps
Frekans Bandı	5 GHz	5 GHz
Frekans Seçimi	Tek Taşıyıcı	DFS ile Tek Taşıyıcı
Ortama Erişim	TDMA/TDD	CSMA/CA
Şifreleme	DES, 3DES	40 bit RC4
Modülasyon Yöntemi	OFDM	OFDM

ETSI tarafından geliştirilen iki adet tamamlayıcı standart daha vardır. Bunlardan birincisi 25 Mbps veri iletişim hızına sahip Hiperaccess'dir. Bu standart kişisel kullanım ve küçük işyerleri için tasarlanmış ve noktadan çok noktaya yüksek hızlı erişim hedeflenmiştir. Frekans bandı olarak 40.5-43.5 GHz olması yönünde CEPT/ERC çalışma grubunda çalışmalar devam etmektedir [35].

İkincisi ise 2-11 GHz frekansları arasında çalışacak geniş bant sabit kablosuz erişim (broadband fixed wireless access) sistemi olan Hiperman'dır. IEEE 802.16 standardının benzeri Hiperman iki grubun yakın işbirliği ile hazırlanmaktadır [35]. Ayrıca, kısa mesafe ve çok yüksek veri hızlarında bağlantı sağlamak için Hiperlink isimli bir standart daha düşünülmektedir. Hiperlink'in, 17 GHz'de 150 metreye kadar mesafede 155 Mbps veri hızına ulaşması tasarlanmıştır. Ancak bu standart ile ilgili çalışmalar henüz başlamamıştır [40].

#### 2.4. Kablosuz Ağlarda Kullanılan Frekanslar

Kablosuz ağ sistemlerinde genellikle ISM bandı kullanılmaktadır. ISM bantları, ITU tarafından dünya genelinde 13560 kHz, 27120 kHz, 40.6 MHz, 915 MHz, 2450 MHz ve 5800 MHz merkez frekanslarında tahsis edilmiştir. Bu bantlardan teknik olarak kablosuz ağ uygulamasına uygun olan ISM bantları şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1. ISM bant planı

Ancak, 900 MHz bandı sadece ITU-RR ikinci bölge için ISM bandı olarak belirlenmiştir ve bu nedenle ITU-RR birinci bölgede yer alan Türkiye’de GSM sistemleri için tahsis edilmiş olup, kablosuz ağ sistemlerinde kullanılmamaktadır.

Kablosuz ağ sistemleri için 2.4 GHz frekans bandında 2400-2483,5 MHz frekans aralığı, 83.5 MHz bant genişliği ve 13 adet kanal tanımlanmıştır [53]. Bu kanallar ve her kanalın merkez frekans değeri çizelge 2.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.13. Kanallar ve merkez frekans değerleri

KANAL NU.	FREKANS (GHz)	İZİN VERİLEN ÜLKELER
1	2.412 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
2	2.417 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
3	2.422 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
4	2.427 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
5	2.432 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
6	2.437 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
7	2.442 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
8	2.447 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
9	2.452 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
10	2.457 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
11	2.462 GHz	Avrupa, ABD, Japonya
12	2.467 GHz	Avrupa, Japonya
13	2.472 GHz	Avrupa, Japonya
14	2.484 GHz	Japonya

Çizelge 2.13. (Devamı) Kanallar ve merkez frekans değerleri

KANAL NU.	FREKANS (GHz)	İZİN VERİLEN ÜLKELER
34	5,170	Japonya
36	5,180	ABD, Singapur
38	5,190	Japonya
40	5,200	ABD, Singapur
42	5,210	Japonya
44	5,220	ABD, Singapur
46	5,230	Japonya
48	5,240	ABD, Singapur
52	5,260	ABD, Tayvan
56	5,280	ABD, Tayvan
60	5,300	ABD, Tayvan
64	5,320	ABD, Tayvan
149	5,745	-
153	5,765	-
157	5,785	-
161	5,805	-

Çizelge 2.14. Standartlar ve frekanslar

STANDART	FREKANSLAR	KANAL SAYISI
IEEE 802.11a	5.15 GHz – 5.725 GHz	19 Adet Avrupa'da TPC ve DFS 802.11h
IEEE 802.11b	2.4 GHz – 2.4835 GHz	11 Adet ABD'de, 13 Adet Avrupa'da, 14 Adet Japonya'da
IEEE 802.11g	2.4 GHz – 2.4835 GHz	11 Adet ABD'de, 13 Adet Avrupa'da, 14 Adet Japonya'da

Kanal genişliği tüm standartlarda 10 ile 30 MHz arasında değişir. Belirlenen 13 kanaldan sadece 3 adedi (1, 7 ve 13) aynı ortamda enterferans yaratmadan çalışabilir. Çünkü bu kanalların bant genişliği 5 MHz olmasına karşın, AP'ler 22 MHz frekans aralığını kullanmaktadırlar [58].

## 2.5. Görüş Hattı İletişimi (LOS)

Görüş hattı iletişimi, alıcı ve verici antenlerin birbirlerini görececek şekilde yapılan telsiz iletişimidir. 30 MHz'in üzerindeki frekanslarda, yer dalgası yayılması (ground wave propagation) ve gök dalgası yayılması (sky wave propagation) oluşmadığı için görüş hattı yayılması (line-of-sight propagation) ile iletişim yapılır. 30 MHz'in üzerindeki frekanslarda, elektromanyetik dalga iyonosferden yansımadan geçeceği için uydu iletişiminde, uydu ile yer istasyonu arasında görüş hattı iletimi yapılır. Ayrıca, yeryüzünde yüksek yerlere kurulan alıcı ve verici antenlerinin birbirlerini görececek şekilde yerleştirilmesiyle oluşturulan radyo link sistemleri de görüş hattı iletişimi yaparlar.

### 2.5.1. Görüş hattı iletişimde iletim ortamından kaynaklanan bozucu etkenler

İletim ortamındaki bozucu etkenler nedeniyle, iletişim sistemlerinde alınan sinyal gönderilen sinyale göre farklılıklar içerir. Bu farklılıklar, analog sinyaller için sinyal kalitesinin bozulmasına, sayısal sinyaller için bit hatalarının oluşmasına (1 bitinin 0 bite dönüşmesi ya da tersi) sebep olur.

Görüş hattı iletişimde rastlanan en önemli bozucu etkenler şöyle sıralanabilir:

1. Zayıflama ve zayıflama bozulması (attenuation and attenation distortion)
2. Serbest uzay kaybı (free spasca loss)
3. Gürültü (noise)
4. Atmosfer soğurması (atmospheric absorption)
5. Çok yolluluk (multipath)

#### Zayıflama ve zayıflama bozulması

Zayıflama, sinyalin iletim ortamında ilerlerken (yayılırken) gücünün azalmasıdır. Buna iletim kaybı (transmission loss) da denir. İletim uzaklığı arttıkça ve frekans yükseldikçe sinyalin iletim ortamında uğradığı zayıflama artar. Kablo gibi kılavuzlu iletim ortamlarında (guided media), birim uzaklık için zayıflama (kayıp) desibel (dB) türünden sabit bir değerdir. Atmosfer gibi kılavuzsuz iletim ortamlarında (unguided media) zayıflama ile uzaklık ve atmosferin yapısı arasında daha karmaşık bir ilişki vardır. İletim ortamı olarak atmosferin kullanıldığı durumlarda, yağmur ve kar yağışları zayıflamayı artıran etkenlerdir.



Zayıflama konusunda mühendislik açısından aşağıdaki maddeler göz önüne alınmalıdır:

a. Alınan sinyalin anlaşılabilir olması için, alınan sinyal gücünün alıcıdaki elektronik devrelerin algılaması ve yorumlaması için yeterli seviyede olması gerekir. Zayıflamanın etkisini giderebilmek için iletim ortamında belirli aralıklarla yükselteçler (*amplifiers*) ya da tekrarlayıcılar (*repeaters*) kullanılır. Yükselteçler sinyali ve gürültüyü aynı oranda yükselttikleri için ve kendileri de ek gürültü oluşturdukları için genellikle tercih edilmezler. Bu nedenle sayısal iletişimde tekrarlayıcılar kullanılır.

b. Alınan sinyalin anlaşılabilmesi için, alıcıda bulunan çözücü girişindeki sinyal gücünün gürültü gücüne oranı (SNR ya da S/N: Signal-to-Noise Ratio) belirli bir seviyenin üzerinde olmalıdır. Sayısal iletişimde, alıcının çözücü girişindeki SNR'sini yükseltmek için çözücüden önce uyumlu süzgeçler (*matched filters*) kullanılır.

c. İletim ortamında yayılan sinyalin yüksek frekans bileşenleri alçak frekans bileşenlerine göre daha fazla zayıflar. Böylece, alınan sinyalin dalga şeklinde bozulmalar olur. Bu tür bozulmaya “zayıflama bozulması (*attenuation distorsion*)” denir. Zayıflama bozulması sonucunda, sinyalin taşıdığı mesajın anlaşılabilirliği azalır. Zayıflama bozulmasını azaltmak için, alıcıda ortamın bozucu etkilerini giderici yönde kazanç (*gain*) ve faz (*phase*) özelliklerine sahip dengeleyiciler (*equalizers*) kullanılır. Örneğin, sinyalin yüksek frekans bileşenleri iletim ortamında daha fazla zayıflayacağı için, vericide ya da alıcıda sinyalin yüksek frekans bileşenleri alçak frekans bileşenlerine göre daha fazla güçlendirilir.

### Serbest uzay kaybı (Free Space Loss)

İlk olarak sinyal bir antenden dış ortama yayılırken, sinyal gücü radyo dalgalarının yayılma mesafesine bağlı olarak düşer. Buna “serbest uzay kaybı” denir ve bu sinyal gücünü etkileyen en önemli faktördür [54]. Uydu iletişiminde sinyal zayıflamasına neden olan en önemli etken serbest uzay kaybıdır. İdeal bir izotropik anten için serbest uzay kaybı ( $L_{fs}$ ), verici antenine uygulanan sinyal gücünün ( $P_t$ ) alıcı antenine ulaşan sinyal gücüne ( $P_r$ ) oranı olarak tanımlanır ve matematiksel olarak şöyle ifade edilir :

$$FSL = \frac{P_r}{P_t} \quad (2.1)$$

$$P_r = A_e \left\{ \frac{P_t}{4\pi r^2} \right\} \quad (2.2)$$

$$A_e = G_r \frac{\lambda^2}{4\pi} m^2 \quad (2.3)$$

$$G_r = \frac{A_e 4\pi f^2}{c^2} \quad (2.4)$$

$$P_r = G_r \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (2.5)$$

İzotropik antenin kazancı bir kabul edilmektedir ( $G=1$ ).

$$P_r = P_t \left\{ \frac{\lambda}{4\pi r} \right\}^2 \quad (2.6)$$

$$FSL = \left\{ \frac{\lambda}{4\pi r} \right\}^2 = \left\{ \frac{c}{4\pi r f} \right\}^2 \quad (2.7)$$

$$FSL(dB) = 20 \log \left\{ \frac{c}{4\pi \cdot 1.10^3 \cdot 1.10^6} \right\} - 20 \log(r) - 20 \log(f) \quad (2.8)$$

$$FSL(dB) = 20 \log \left\{ \frac{c}{4\pi \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^6} \right\} - 20 \log(r) - 20 \log(f) \quad (2.9)$$

$$FSL(dB) = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (2.10)$$

Burada,

$P_t$  : Verici antene uygulanan sinyal gücü (watt)

$P_r$  : Alıcı antene ulaşan sinyal gücü (watt)

$f$  : Taşıyıcı sinyalin frekansı (Hz)

$\lambda$  : Taşıyıcı sinyalin dalgaboyu (m)

$d$  : Antenler arasındaki yayılma uzaklığı (m)

$c$  : Işık hızı ( $3 \times 10^8$  m/s)

Eşitlik (2.7)'den, serbest uzay kaybının uzaklığın ve frekansın karesi ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Yönlendirmeli antenlerde (directional antennas) ise anten kazancı izotropik antene kıyasla birden büyüktür. Verici ve alıcı anten kazançlarını da (sırasıyla,  $G_t$  ve  $G_r$ ) göz önüne alırsak, serbest uzay kaybı anten kazançlarının çarpımı oranında azalır.

$$L_{fs}(dB) = \frac{P_t}{P_r} = \frac{1}{G_t G_r} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.11)$$

Anten kazancı ile antenin etkin alanı (effective area) arasındaki ilişki :

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2} \quad (2.12)$$

Burada,

$G$  : Anten kazancı

$A_e$  : Antenin etkin alanı ( $m^2$ )

$f$  : Taşıyıcı frekansı

$\lambda$  : Taşıyıcı sinyalin dalgaboyu (m)

$c$  : Işık hızı ( $3 \times 10^8$  m/s)

Eşitlik (2.12)'yi, eşitlik (2.11)'de yerine koyarsak, yönlendirmeli antenlerle yapılan iletişimdeki serbest uzay kaybını antenlerin etkin alanları türünden ifade edebiliriz.

$$L_{fs} (dB) = \frac{P_t}{P_r} = \frac{1}{G_t G_r} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \frac{(4\pi d)^2}{\left( \frac{4\pi A_t}{\lambda} \right) \left( \frac{4\pi A_r}{\lambda} \right) \lambda^2} = \frac{(\lambda d)^2}{A_t A_r} = \frac{(cd)^2}{f^2 A_t A_r} \quad (2.13)$$

Burada,

$G_t$  : Verici antenin kazancı

$G_r$  : Alıcı antenin kazancı

$A_t$  : Verici antenin etkin alanı

$A_r$  : Alıcı antenin etkin alanı

Eşitlik (2.13)'den, serbest uzay kaybının antenlerin etkin alanları ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

## Gürültü

Bir ev ya da küçük ofisteki tipik bir kablosuz ağda, duvarlar, yerler, eşyalar ve diğer nesnelere gibi birçok engeller olmakta ve bu engeller vericiden alıcıya olan propagasyon yolunu engellemekte ve bu nedenle sinyal alma faaliyeti çok değişken olabilmektedir. Bu yapılara bağlı olarak, bir duvar içinden iletişim yapılırken çizelge 2.15'de görüldüğü üzere sinyal gücü ortalama 2-15 dB arasında bir zayıflamaya uğramaktadır.

Çizelge 2.15. Engeller ve zayıflatma oranları

ZAYIFLATMA ORANI	MATERYAL	KAYIP (dB)
Düşük	Koyu cam, ahşap kapılar, briket duvar, sıva/alçı vb.	2–4
Orta	Tuğla duvar, mermer, kablo ağı ya da metal rengindeki camlar.	5–10
Yüksek	Beton duvar, kağıt, seramik, kurşunlu cam.	10–15
Çok Yüksek	Metal, gümüş.	>15

Çok katlı binalardaki katlar arasındaki kayıplar binada kullanılan materyallere ve kullanılan çelik konstrüksiyon yapılara bağlıdır. Genellikle, bitişik katlardaki kayıp 6 dB, iki ya da üç katlı binalardaki mesafelerde ise her kat için olan kayıp 10 dB'dir. İletişim yapılan frekansa ve iletişimde kullanılan kablonun uzunluğuna göre kablo kayıpları değişiklik göstermektedir.

Çizelge 2.16. 2.4 GHz Frekansındaki Kablo Kayıpları

KABLO TÜRÜ	KAYIP (dB/metre)
RG 58	1 dB/metre
RG 213	0.6 dB/metre
RG 174	2 dB/metre
Aircom	0.21 dB/metre
Aircell	0.38 dB/metre
LMR-400	0.22 dB/metre

#### Atmosfer soğurması

Elektromanyetik enerjinin kısmen yada tamamen, bir ortam tarafından, bu ortamın özelliklerine bağlı olarak yutulmasına “soğrulma” adı verilir. Elektromanyetik enerji bu olay sonucunda ısı enerjisi gibi başka enerji bir biçimine dönüşür. Nötr oksijen molekülleri ve yoğuşmamış su buharı moleküllerinin rezonans etkisinin sebep olduğu, bir ilave zayıflamayla algılanan, fark edilir ilk soğrulma mm-dalga boyu bölgesinde meydana gelir. Bu soğurulma miktarı, dalganın frekansına ve dalganın kat etmiş olduğu mesafeye bağlıdır (Elektromanyetik dalgaların soğurulması, yağışsız bölgelerde mm-dalga boyu bandına kadar ihmal edilebilir).

Sıcaklığa bağımlı, yoğuşmamış su buharı “bağıl nem” (relative humidity) olarak adlandırılır: Sıcak hava soğuk havadan daha fazla su buharı emer. Bunun sonucu olarak elektromanyetik dalgaların soğurulması hem hava sıcaklığına ve hemde havanın bağıl nemine bağlıdır. Atmosferik zayıflatma kayıpları atmosferin özgün soğurmasından ve yağmur, sis gibi hava koşullarına sıkı sıkıya bağlı ilave soğurmaldan kaynaklanan

zayıflatmalardan meydana gelir. Elektromanyetik dalgalar hava- ve su buharı katmanlarından geçerken zayıflarlar.

Bu olay esas olarak su buharı ve oksijen molekülleri nedeniyle meydana gelir. Elektromanyetik enerjinin bir bölümü ısı enerjisine dönüşürken, bir bölümü de moleküllerin dipol işlevi denilen bir "ışınma işlevi" sonucu saçılır.

### Çok yolluluk

Radyo dalgaları karşılaştıkları engellerden yansır. Bu nedenle, alıcıda hem kendisine doğrudan gelen sinyal hem de yansıma dolayısıyla gelen sinyal olur. Belirli frekanslarda güç kesintisi ve sinyalin zaman domeninde yayılımı nedeniyle, alınan sinyalin farklı bileşenleri arasında zaman farkı meydana gelir. Sonuç olarak, sistem zarar görür ve performansı azalır (iletişim hatası). Bu etkiyi azaltmak için alıcıda bu hataları düzeltici dengeleyici (equalizer) kullanılır. Belirli bir veri oranında minimum bir hata oranı elde etmek için, üreticiler gecikme yayılım sınırlarını belirler. Örneğin; Orinoco PCMCIA 802.11b kartın, bit çerçeve hata oranının (FER) yayılım gecikme değerinin % 1'inden düşük olması gerekir. Örneğin, 11 Mbps => 65 ns ; 5,5 Mbps => 225 ns ; 2 Mbps => 400 ns ; 1 Mbps => 500 ns.

Yüksek bit oranlarında fazla miktarda yansıma meydana gelmez. Bir yansıma sonucunda meydana gelen zaman farkı, radyo dalgasının ışık hızında (300.000.000 m/s) hareket etmesinden faydalanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

Zaman farkı [s] = Doğrusal yol ve yansıyan yol arasındaki fark [m] / 300 000 000

Bu fark 15 metre olduğunda yaklaşık olarak 50 nano saniyelik bir zaman farkı meydana gelir. Yansıma oranını minimize etmek için görüş hattında yönlü antenler kullanmak gerekir. Diğer bir olasılık, ilk yansımayı engellemek için, dairesel dalga polarizasyonuna sahip spiral (helical) antenler kullanmaktır.

Koaksiyel kablolar ve antenler doğru bir şekilde adapte ve dizayn edilmemişse (kötü empedans, kötü bir şekilde ayarlanmış antenler ve bundan dolayı durgun dalgalar ve kötü SWR) kötü iletim olacağı için yansımalar da meydana gelir.

## **2.6. RF Teknolojileri**

RF teknolojisi ile kablo yerine elektromanyetik dalgalar kullanılarak kablosuz iletişim gerçekleştirilmekte ve RF, WLAN sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, frekans spektrumunun kıt kaynak olması nedeniyle mümkün olduğu kadar verimli kullanılması gerekmektedir. Ayrıca artan sistem ve kullanıcı sayısı da frekans talebini artırmaktadır.

Yoğun frekans kullanımı sonucunda frekans kirliliği ve enterferans riski de artmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda frekans spektrumunu daha verimli kullanan ve enterferanstan daha az etkilenen RF teknolojileri geliştirilmiştir. Ekonomik nedenlerden dolayı WLAN sistemleri için lisans ve kullanım ücreti gerektirmeyen ISM frekans bantları esas alınmıştır. Bu bantlar öncelikle diğer telsiz servislerinin kullanımı için tahsisli olduklarından WLAN sistemleri muhtemel enterferansı baştan kabul etmek zorundadırlar [1]. Bu durum WLAN sistemleri için enterferansa dayanıklı (dirençli) teknolojilerin geliştirilmesini ve kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. RF teknolojisinde dar bant ve dağınık spektrum olmak üzere iki temel teknik kullanılmakta olup, bu teknikler aşağıda genel hatlarıyla anlatılmaktadır.



### 2.6.1. Dar bant tekniği

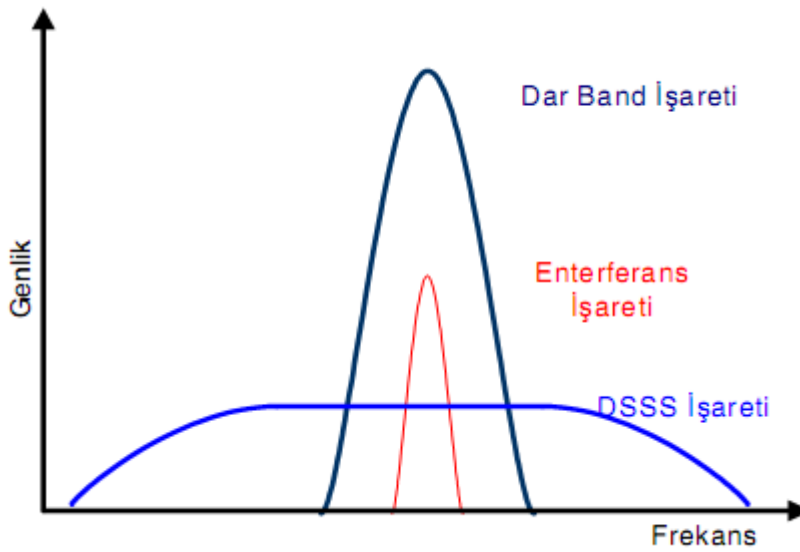
Dar bant (Narrow band) tekniği, RF sinyallerinin mümkün olan en dar frekans aralığında gönderilmesi ve alınması esasına dayanır. Bu yöntemde veri hızı düşük fakat iletişim mesafesi uzundur. Sistem enterferansa duyarlıdır. Bu tür kullanımda her kullanıcının farklı frekans kanalı kullanması gerekir. Aksi durumda enterferans oluşur ve iletişimde bozulma veya kesilme meydana gelir. Dar bant tekniği ile kıt kaynak olan frekans spektrumu verimli kullanılamaz. Özellikle yoğun kullanıcı bulunan bölgeler için uygun bir teknoloji değildir.

Frekans talebinin ve kullanım yoğunluğunun az, iletişim mesafesinin uzak, veri hızının ise çok önemli olmadığı durumlarda ve kırsal alanlarda kullanılması mümkündür. Dar bant iletişim yöntemi WLAN sistemlerinde kullanılmamaktadır.

#### Dağınık spektrum tekniği

Dağınık spektrum (spread spectrum); ilk olarak kritik, güvenli ve gizli askeri haberleşme sistemleri için yaklaşık 50 yıl önce geliştirilmiş bir geniş bant kablosuz RF iletişim tekniğidir [55]. İyi geliştirilmiş ve başarılı bir modülasyon yöntemine sahip olan bu teknik birçok kablosuz iletişim sisteminde ve WLAN sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dağınık spektrum tekniğinde gönderilecek sinyal bir kod kullanılarak belirli bir bandın tümüne yayılarak ya da önceden belirlenmiş bir düzende devamlı frekans atlatılarak gönderilir [1]. Özel dizayn edilmiş alıcılar kaçak dinlemeyi engelleyen kodları temizleyerek istenilen iletişimi gerçekleştirirler [2, 3]. Bu teknoloji özel kodu bilmeden sinyalin alınmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Bir başka ifadeyle eğer bir alıcı dağınık spektrum tekniğine uygun değilse veya özel kodu bilmiyorsa alınan sinyalleri evre gürültüsü olarak algılayacaktır. Bu yöntem gizlilik sağlamanın yanı sıra diğer telsiz sistemlerinden gelecek enterferansa karşı da sistemi

dirençli kılmaktadır. Dağınık spektrum teknolojisi, dar bant teknolojisine göre çok daha fazla bant genişliği kullanmasına rağmen yakın frekanslarda çalışan diğer telsiz sistemlerini bozmadan birlikte çalışmaya imkan vermektedir. Dar bant ve dağınık spektrum işaretlerinin frekans-genlik görünümü aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

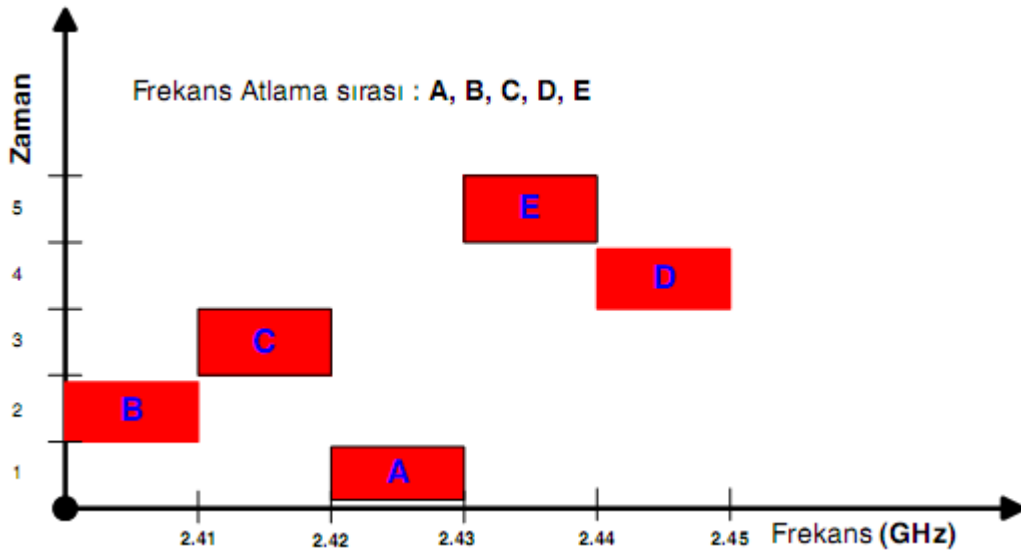


Şekil 2.2. Dar bant ve dağınık spektrum işaretleri

WLAN sistemlerinde FHSS ve DSSS olmak üzere iki teknik kullanılmaktadır. Her iki teknik için, 2.4 GHz frekans bandında 2400-2483.5 MHz frekans aralığı ve 83.5 MHz bant genişliği kullanılmaktadır [56]. Güvenlik dikkate alınarak, hem izinsiz erişimi hem de veri çalınmasını önlemek için veri kodlama metodu kullanılmaktadır. FHSS ve DSSS tekniklerinden hangisinin kullanılacağı birçok faktöre bağlı olmakla birlikte WLAN sistemlerinde yüksek veri hızına sahip olan DSSS tekniği daha çok kullanılmaktadır. FHSS tekniği, DSSS tekniğine göre enterferanstan biraz daha az etkilenir ancak daha düşük data hızına sahiptir. DSSS ise kod hatasına karşı daha duyarlı ancak veri hızı daha yüksektir.

### Frekans atlamalı dağınık spektrum (FHSS)

Frekans Atlamalı Dağınık Spektrum (FHSS) tekniği, dar bant taşıyıcı sinyalinin rasgele ancak bilinen bir düzende bir frekanstan diğer frekansa atlayarak veri iletilmesi yöntemidir. Aslında bu teknik klasik dar bant veri iletim tekniğinde taşıyıcı frekansın atlama kodu tarafından düzenli olarak değiştirilerek kullanılmasıdır. Doğru senkronizasyon sağlandığında sürekli bir kanal elde edilmektedir. FHSS tekniği Şekil 2.3.'de verilmiştir.



Şekil 2.3. FHSS tekniğinde zaman – frekans ilişkisi

FSSS tekniğinde, kullanılan cihaz (verici) bir atlama kodu seçerek sinyal gönderir. Bu sinyali alan alıcı cihaz da aynı atlama koduna ayarlanır. Böylece alıcı cihaz doğru zamanda doğru frekanstan gelecek sinyalleri almaya hazırdır. FHSS'de taşıyıcı frekansın değişimi atlama koduna göre ve sadece ağ içinde tanımlı alıcı-verici tarafından bilinen bir uyum (senkronizasyon) içinde yapılır. FHSS sinyalleri atlama kodu tanımlanmamış bir alıcı için tamamen rasgele üretilen RF sinyali olarak algılanır. FHSS tekniği için 2402-2480 MHz frekans aralığında 1 MHz bant genişliğine sahip 79 kanal

bulunmaktadır [57]. Bazı ülkeler atlama frekans sayısını belirlemişlerdir. Örneğin Amerika'da FCC düzenlemeleri her bir iletişim kanalı için 75 veya daha fazla atlama frekansı belirlemiştir. Bir atlama frekansındaki azami bekleme süresi 400 ms'dir. FHSS modülasyon tekniği IEEE 802.11 standardında kullanılmakta ve 2 Mbps'ye kadar veri iletimi sağlamaktadır.

DSSS ile kıyaslandığında FHSS, iletişimin izlenmesi veya bilginin çalınması açısından daha güvenlidir. Çünkü FHSS'de değişken frekans kullanılırken DSSS'de sabit frekans kullanılmaktadır. Bu nedenle yoğunlukla askeri sistemlerde kullanılmaktadır. Ayrıca 2.4 GHz frekans bandında aynı kapsama alanı içinde FHSS modülasyon tekniği ile onbeş erişim noktasının çalışması mümkün iken DSSS'de bu sayı üç ile sınırlıdır [58].

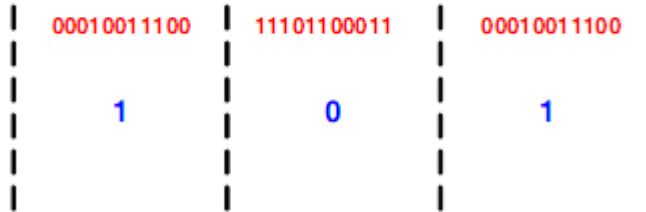
#### Düz sıralı dağınık spektrum (DSSS)

Düz Sıralı Dağınık Spektrum (DSSS1) tekniğinde gerekli olan bandın tamamına yayılmış ve kodlanmış bir veri akışı sağlanır. Ağ içinde tanımlanmamış bir alıcıya DSSS sinyali düşük güçlü geniş bantlı bir gürültü olarak görünür ve birçok dar bant alıcısı bu sinyali reddeder. DSSS tekniğinde gönderilecek her bit veri için çok miktarda bitlerden oluşan bir "pattern" üretilir. Bu bit paternine "chip" ya da "chipping code" adı verilir. "Chip" ne kadar uzunsa orijinal verinin geri alınması da o kadar yüksek oranda olur. Fakat bu da daha fazla bant genişliği ihtiyacı oluşturur veya aynı bant genişliği kullanıldığında net veri miktarını azaltır. Veri iletimi esnasında zarar gören veriler istatistiksel yöntemler kullanılarak orijinal data yeniden gönderilmeden (iletişim tekrarlamadan) kurtarılabilir [2]. Gerçek veri ve kodlanmış veri akışı şekil 2.4'de görülmektedir.

Chipping Code : 0= 11101100011      1= 00010011100

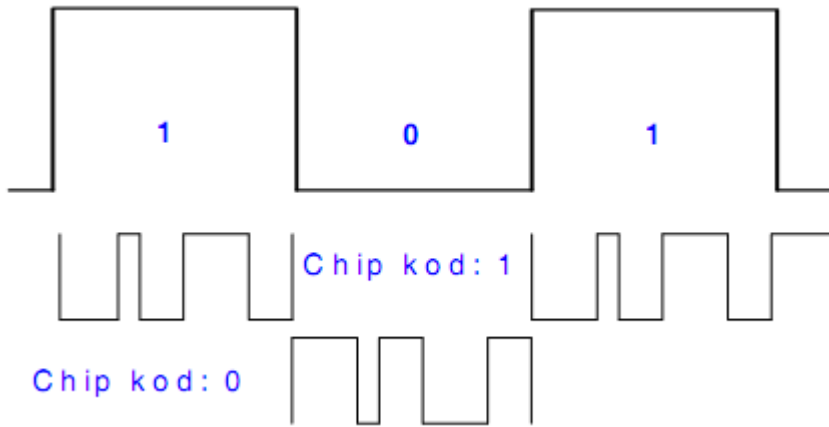
Veri Akışı: 101

Gönderilen Veri: 000100111001110110001100010011100



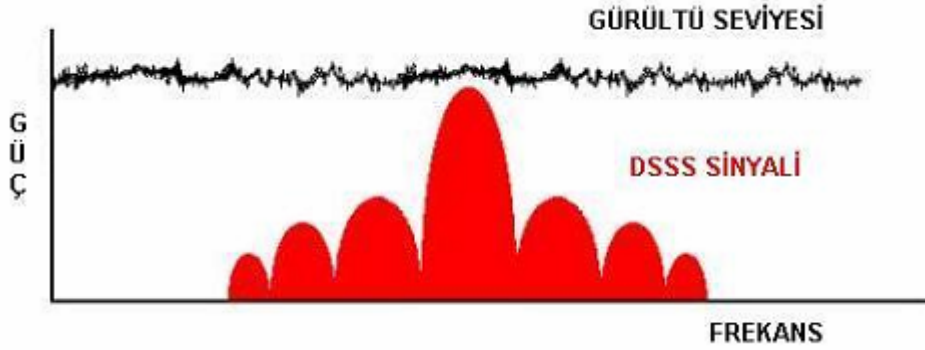
Şekil 2.4. DSSS tekniğinde kodlanmış veri.

DSSS tekniği kullanıldığında 1,0,1 şeklindeki gerçek verinin kodlanmış durumu şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5. DSSS tekniğinde gerçek veri ve kodlanmış veri.

Spektrum olarak DSSS tekniğinde gönderilen sinyal, gürültü seviyesinin altında yer almaktadır.



Şekil 2.6. DSSS tekniğinde spektrum görünümü

DSSS tekniği, FHSS tekniği ile kıyaslandığında daha fazla bant genişliğine ve daha yüksek veri iletişim hızına sahiptir. Bu hız şimdilik 2-11 Mbps değerindedir. Ayrıca diğer telsiz sistemleri tarafından yapılan enterferanstan FHSS'ye göre daha az etkilenmektedir. Sonuçta WLAN ürünleri pazarına bakıldığında daha çok DSSS tekniği kullanıldığı görülmektedir. Ancak benzer sistemlerden oldukça fazla etkilendiği için Bluetooth sistemleri ile birlikte iyi çalışmamaktadır. Özellikle 3 m mesafede birbirlerini etkilemektedir.

#### Dikey frekans bölmeli çoklama (OFDM)

RF üzerinden büyük miktarda veri iletimine imkan veren tekniklerden biri de Dikey Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) yöntemidir. OFDM, bir taşıyıcı yerine çok sayıda taşıyıcı kullanılan bir modülasyon tekniğidir. Bu teknikte RF sinyalleri daha küçük alt sinyallere bölünerek aynı anda farklı frekanslardan gönderilir [59]. WLAN sistemleri açısından bakıldığında ise en başarılı yöntem OFDM'dir. Çünkü bu modülasyon yöntemi ile WLAN sistemleri sahip oldukları en yüksek veri iletişim hızına ulaşabilmektedirler. Ayrıca çoklu yol etkileri elemine edilmekte ve kanal gürültüsüne tolerans tanınmaktadır [60]. WLAN sistemlerinin en yüksek veri (54 Mbps) iletim hızına sahip olan

802.11a ve en son standardı olan 802.11g ile HiperLAN2 sistemlerinde OFDM tekniği kullanılmaktadır.

## 2.7. Kablosuz Ağlar İçin Link Planlaması

### 2.7.1. İletilen güç

Her RF vericisi belirli bir miktar güç ( $P_{TX}$ ) üretir ve bu güç, iletilen sinyalin etkin mesafesinin belirlenmesi için gerekli birinci büyük faktördür. Verici gücü Watt ya da dBm cinsinden olmak üzere iki şekilde ölçülebilir. dBm, “dBm = 10 x  $\log_{10}$  (miliwatt cinsinden güç)” şeklinde hesaplanır ve bu kapsamda çizelge 2.17’de hesaplanan watt ve dBm karşılıkları görülmektedir. Watt (W)’tan decibell’e (dB) dönüşüm ise aşağıdaki formül kullanılarak yapılır.

$$dB = 10 \times \log_{10} P \text{ (watt cinsinden güç)} \quad (2.14)$$

Çizelge 2.17. Watt-dBm dönüşümü

GÜÇ (mW)	GÜÇ (dBm)
0.01	- 20
0.1	- 10
0.5	- 3
1	0
10	10
20	13
100	20

dB ya da dBm birimleri iki sebepten dolayı kullanılmaktadır. İlk olarak, sinyal gücünü etkileyen çeşitli faktörler göz önünde bulundurulduğunda, bu etkiler, basit dB değerleri kullanılarak birleştirilebilirler. İkinci olarak, +3 dB'nin gücün iki katına çıktığı, -3 dB'nin gücün yarıya düştüğü, -6 dB'nin gücün dörtte birine düştüğü ve -9 dB'nin gücün sekizde birine düştüğü noktalar olduğundan hareketle, güç değerleri kolayca kıyaslanabilir.

Tipik kablosuz ağ ürünleri için verici gücü seviyeleri 100 miliwatt'tan 1 watt'a (20 dBm'den 30 dBm'e) kadar çıkar. Örneğin, Amerika'da FCC, 2.4 ve 5.8 GHz ISM bantları için DSSS ve FHSS için vericinin yayımlayacağı maksimum güç olarak 1 watt belirlenmiştir. İngiltere'deki Radyo İletişim Ajansı (RA), 2.4 GHz bandındaki maksimum efektif izotropik yayılan gücü (EIRP), 100 mW ya da 20 dBm olarak belirlemiştir. EIRP, vericinin gücü ve anten kazancının birleşiminden meydana gelir. Verici ve alıcı antenler arasındaki RF sinyali, sinyal gücü gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Bir sinyalin iletim mesafesi, çeşitli faktörlere bağlıdır.

İki verici-alıcı arasındaki bağlantıyı ya da iletişimi etkileyen temel parametreler şunlardır;

- \* Vericinin gücü (Transmitter power)
- \* Verici ile anteni arasındaki kablo kayıpları
- \* Vericinin anten kazancı
- \* Verici ile alıcı antenlerin konumları (aradaki uzunluk, engeller)
- \* Alıcının anten gücü
- \* Alıcı ile anteni arasındaki kablo kayıpları
- \* Alıcının duyarlılık seviyesi (Receiver Sensitivity)



Alıcı duyarlılığı, alıcının verilen sinyali tam olarak çözebilmesi için gereken minimum sinyal güç seviyesi olarak tanımlanır.

Çizelge 2.18. Alıcı duyarlılık değerleri

dBm	mW
10 dBm	10 mW
3 dBm	2 mW
0 dBm	1 mW
-3 dBm	0.5 mW
-10 dBm	0.1 mW
-20 dBm	0.01 mW
-30 dBm	0.001 mW
-40 dBm	0.0001 mW
-50 dBm	0.00001 mW
-60 dBm	0.000001 mW

### 2.7.2. Alıcı hassasiyeti

Sinyal, alıcı girişlerine ulaştığında, veri çözülürken gürültüden artan bir şekilde etkilenir ve sonuç olarak artan bir şekilde hata eğilimi meydana gelir. Alıcı hassasiyet limitleri, izin verilebilir bit hata oranı ve alıcı gürültü seviyesi ile belirlenir.

Her alıcının bir minimum alacağı güç eşiği vardır ve bu minimum eşiğin daha üstünde gelen sinyal başarılı bir şekilde elde edilir. Eğer sinyal gücü,

maksimum elde edilebilir bit oranından düşükse, performansta düşük olacaktır. Bu nedenle eşik seviyesi daha düşük alıcılar kullanmak daha iyidir.

Örnek bir alıcıya ait hassasiyet miktarları aşağıda görülmektedir.

802.11b (11 Mbps'ye kadar) : -92 dBm

802.11g (54 Mbps'ye kadar) : -76 dBm

802.11n (150 Mbps'ye kadar) : -73 dBm

Radyo link, bütün iletim zincirinin hesaplanmasıyla belirlenir ve Bağlantı parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

\* Gönderme [dBm] : Verici Güç [dBm] – Kablo Kaybı [dB] + Anten Kazancı [dBi]

\* Propagasyon [dB] : Boş Uzay Kaybı [dB]

\* Alma [dBm] : Anten Kazancı [dBi] – Kablo Kaybı [dB] – Alıcı Hassasiyeti [dBm]

Bir bağlantının çalışma şartı :

Toplam İletilen + Toplam Propagasyon + Toplam Alınan > 0

Yukarıda belirtilen kurallar teoriktir. Bunlar bir sistem için maksimum elde edilebilen değerleri gösterir. Gerçekte, çeşitli enterferanslar (diğer kablosuz ağlar, bluetooth), endüstriyel gürültü (mikrodalga ışınlar), atmosferik kayıplar (havadan kaynaklanan nem, saçılma ve kırılma), yanlış odaklanmış anten ile yansımalar bağlantı performansını etkiler. Fade Margin (Sönümlenme Payı) ise alınan sinyal gücü ve alıcı hassasiyeti arasındaki farktır. Sağlıklı bir iletişimin yapılabilmesi için önemli bir parametredir.

Sönümlenme Payı (dB) = Alınan Sinyal Gücü (dB) – Alıcı Hassasiyeti (dB)

Sönümlenme payı ne kadar büyükse, bağlantı o kadar güvenilir olur. Sönümlenme payı, kullanılan frekans, bağlantı mesafesi ve güvenilirlik gereksinimleri gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. 2.4 GHz ve ISM bantlarında genellikle 15 dB'lik bir sönümlenme payı gereklidir. 5 GHz frekansında ise genellikle 10 dB'lik bir sönümlenme payı gerekli olmaktadır.

### 2.7.3. Sinyal/Gürültü (SNR) oranı

Alıcı hassasiyeti alıcı için tek parametre değildir, aynı zamanda sinyal/gürültü oranını da göz önünde bulundurmak gerekir. İstenilen, alınan sinyal ve gürültü (termal gürültü, aynı frekans bandındaki enterferans gürültüsü, ya da endüstriyel gürültü vb.) arasındaki minimum güç farkı olmasıdır.

$$\text{Sinyal/Gürültü Oranı [dB]} = 10 * \log_{10} (\text{Sinyal Gücü [W]} / \text{Gürültü Gücü [W]})$$

Eğer sinyal gürültüden daha güçlü ise, sinyal/gürültü oranı (S/N) pozitiftir. Eğer sinyal gürültü içinde gizliyse bu oran negatiftir.

## 2.8. Antenler

Radyasyon (ışınım) genel anlamda enerjinin uzayda dalgalar ya da tanecikler (fotonlar) halinde yayılmasıdır. Isı, ışık ve radyo dalgaları günlük yaşamdan bildiğimiz ışıma yoluyla yayılma örnekleridir. Evlerde ısınma amacıyla kullanılan radyatörler değişimlerini ısı yayıcı anlamına gelmek üzere aynı kökten alırlar.

Anten, elektrik sinyallerini (voltaj ve akım) elektromanyetik dalgalara ya da elektromanyetik dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürmek için kullanılan araçtır.



Şekil 2.7. Anten örnekleri

Yüksek frekans sistemlerinde gerek tasarım gerekse sertifikasyon aşamasında göz önüne alınan değişken giriş gücüdür. Burada yüksek frekans katının verimi gündeme gelir. Yani kullandığı enerjinin ne kadarını elektromanyetik güç olarak anten kablosuna iletmektedir. Daha sonra anten kablosu devreye girer.

Zira onda da bir miktar kayıp olacaktır. Antenin boyunun dalga boyu ile ilişkisi, SWR ayarlaması için eklenen bobinler vs. hep antenin verimini etkileyen faktörlerdir. Yani verici bataryasından çıkan elektriksel enerjinin sadece bir kısmı atmosfere elektromanyetik dalga olarak iletilmektedir. Sinyalin iletim karakteristikleri de bu kapsamda oldukça önemlidir.

Örneğin 100 - 150 kHz gibi uzun dalga yayınları ilginç şekillerde iletilirler. Resmen yer yüzeyine yapışıp kıvrımları izleyerek yayılırlar. Bu özellik bir dönem VLF sistemi olarak navigasyon alanında kullanımlara yol açmıştır. Birkaç yüz kHz ve birkaç MHz (yani orta dalga diye bildiğimiz) frekansındaki yayınlar ise engelleri aşabilme yetenekleri ile ünlüdürler. Bina içine bile iletilebilirler.

Kısa dalga yani birkaç MHz - birkaç on MHz düzeyindeki dalgalar yine ilginç bir özellik sergilerler. Geceleri stratosferden yansarak dünya üzerinde inanılmaz mesafeleri katedebilirler. Sinyalin frekansı artıp yüzlü MHz

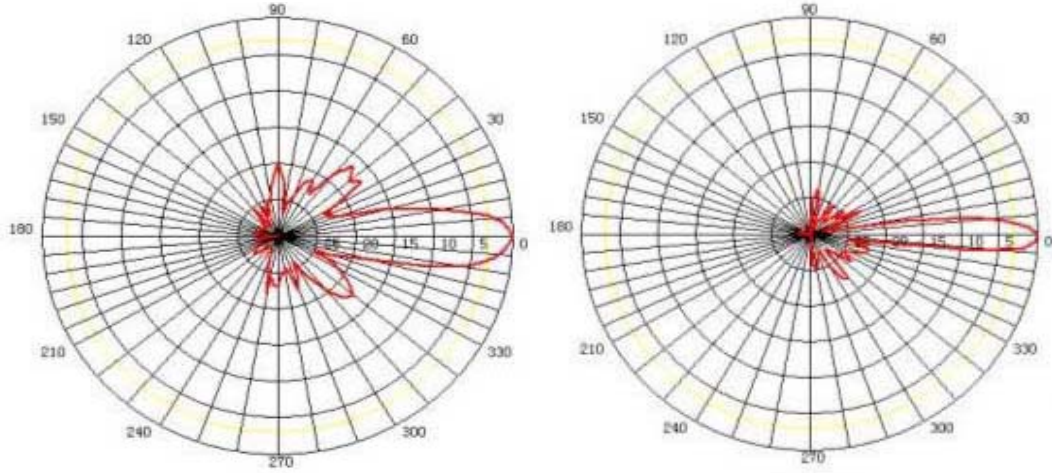
bölgesine ilerledikçe sinyalin yayılımı görünür ışığa benzemeye başlar. Burada görüş hattı (LOS) iletişiminden söz edilir. Sinyal özellikle su ya da demir içeren (beton, alçı vs gibi) engelleri aşamamaya başlar. Sinyal alıcıya öncelikle antenden ulaşacaktır. Alıcı antenin boyunun frekans ile ilişkisi, antenin sinyal kaynağına göre konumu gibi faktörler alınan sinyalin gücünü belirler. Daha sonra alıcının giriş katı devreye girer. Burada da alıcının giriş katının sinyal/gürültü oranı önemlidir. Gelen sinyal, alıcı giriş transistörlerinin kendinden var olan elektriksel parazit gürültüsünün üzerinde olmadığı sürece alıcı tarafından tanınmaz. Sinyal burayı da aştıktan sonra artık işlenip anlaşılır hale gelir.

Anten kazancı, normalde izotropik decibel olarak ifade edilir. İzotropik antenin güç kazancı, teoride her yöne gücün eşit olarak yayıldığı varsayıldığı antendir. Fakat gerçekte bu durum böyle değildir. Yönlü antenlerde ise enerji bir yöne doğrudur ve bu nedenle anten kazancı daha çoktur. Parabolik reflektör, frekanstan bağımsızdır ve sadece anten kazancını etkiler. Yönlülük ne kadar çoksa kazançta o kadar çoktur ve bu nedenle bir nokta için daha doğru sonuçlar elde edilir. Antenden gönderilen güç (yayılan güç) aşağıdaki gibi ifade edilir.

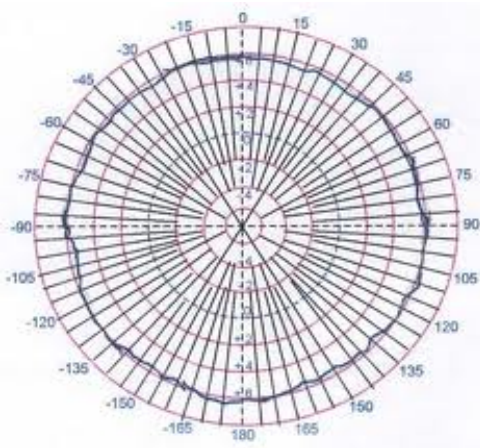
$$\text{Yayılan Güç [dBm]} = \text{Verici Gücü [dBm]} - \text{Kablo Kaybı [dB]} + \text{Anten Kazancı [dBi]}$$

### 2.8.1. Yönlü ve yönsüz antenler

Elektromanyetik enerjiyi uzayda kendinden eşit uzaklıktaki noktalara eşit olarak yayan ya da eşit olarak alan antenlere yönsüz anten denir. Aşağıdaki şekillerde yönlü ve yönsüz bir anten için bir düzlemdeki örnek ışınma örüntüleri verilmiştir. Genelde kullanılan antenler yönlüdür ve elektromanyetik enerjiyi belirli bir yönde diğer yönler göre daha etkin olarak yayar ya da alırlar.



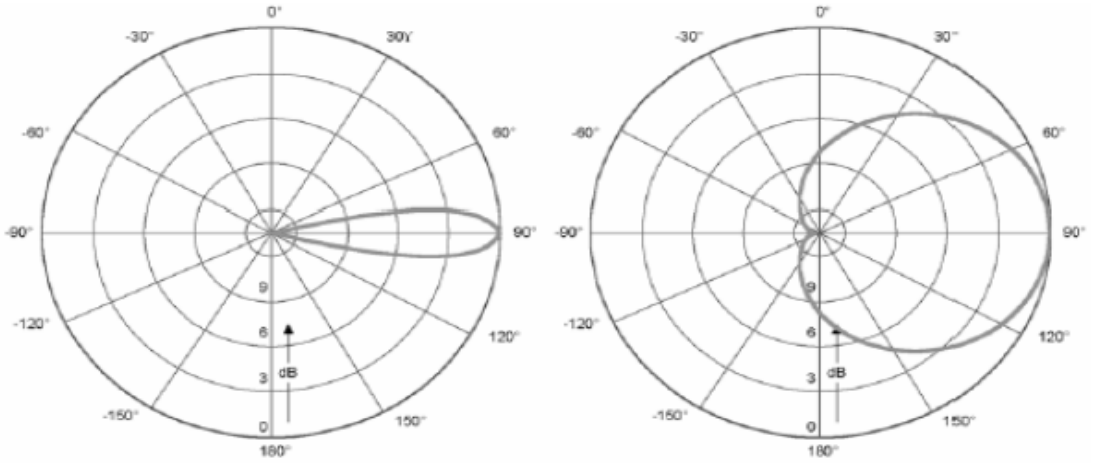
Şekil 2.8. Yönlü anten için ışırma örüntüleri (yatay ve dikey)



Şekil 2.9. Yönsüz anten için ışırma örüntüsü

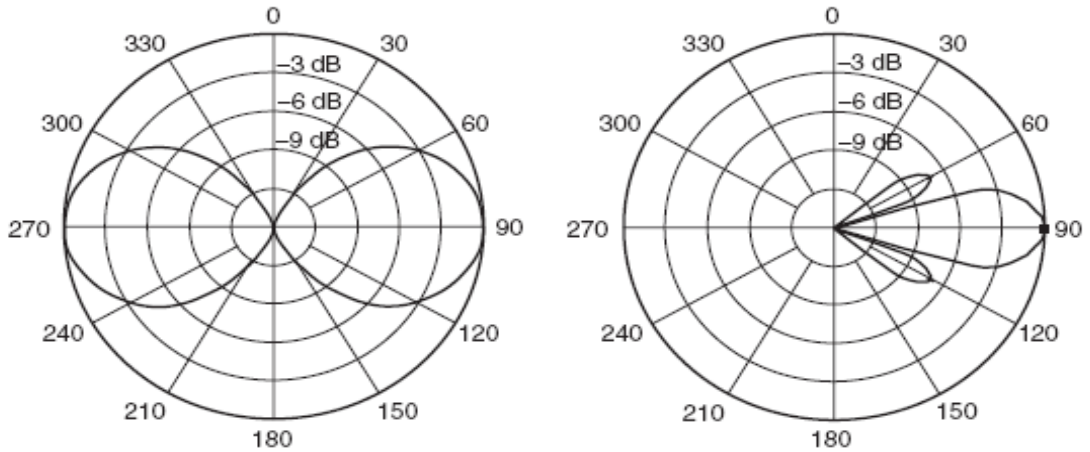
### 2.8.2. Anten etkin çıkış gücü ve kazancı

Yönlü bir antenin bir noktadaki güç yoğunluğunun aynı güçle beslenen yönsüz antenin aynı noktadaki güç yoğunluğuna oranı, yönlü antenin o noktadaki kazancı olarak tanımlanır. Anten kazancı, antenin ne oranda yönlü olduğunun bir göstergesidir. Örneğin şekil 2.7’de yer alan antenler arasında bir karşılaştırma yapılacak olursa, birinci şekilde yer alan anten ikinci şekilde yer alan antene göre daha yüksek kazançla sahiptir. Antenin ortama yaydığı toplam güç anten etkin çıkış gücü olarak adlandırılır.



Şekil 2.10. Örnek anten paternleri

Bir anten, vericideki gücü elektromanyetik dalgaya çevirir ve alıcıya yayımlar. Bu yayımın güç yoğunluğunu, anten tipi ve paterni etkiler. Örneğin, bir basit dipol anten eksenler boyunca çeşitli sinyaller yayımlarlarken bir yönlü anten dar bir doğrultuda sinyal yayımlar. Bir dipol ve yönlü antenin örnek paterni şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.11. Dipol ve yönlü antenlerin yayım paternleri

Herhangi bir antenin yayım paterninin merkezindeki maksimum güç yoğunluk oranı, bir referans izotropik antenden yayımlanan güç yoğunluğunu ifade eder. Anten kazancı  $G_{tx}$  veya  $G_{rx}$  şeklinde ve dBi cinsinden ifade edilir.

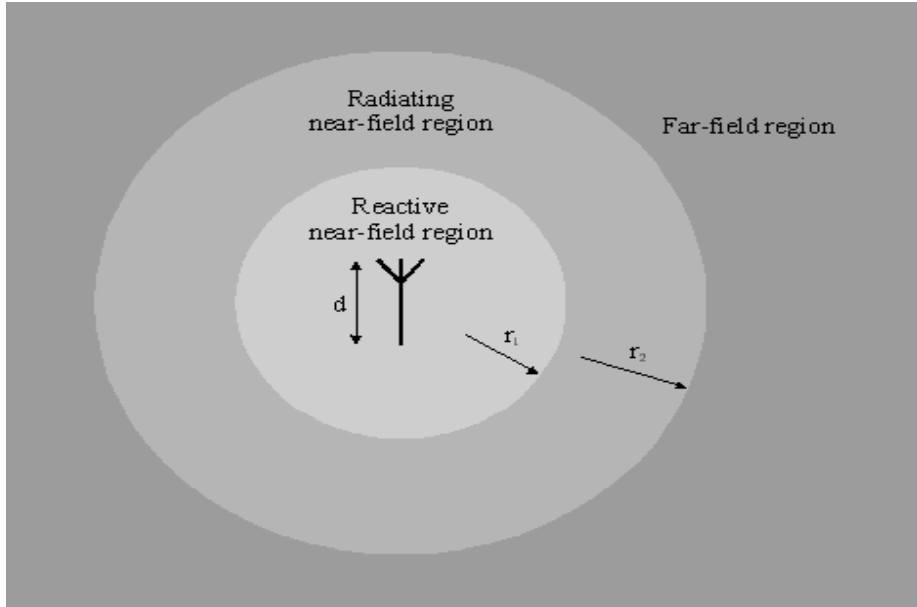
Etkin izotropik yayımlanan güç (EIRP), ya da antenden yayımlanan güç, bir antenden yayımlanan dBm cinsinden olan toplam güçtür. Bu toplam güç vericinin gücü ile dBi cinsinden anten kazancının toplamından meydana gelir.

Kablo ve konektörlerle vericiler ya da alıcılar bir antene bağlanırlar ve kablonun uzunluğu ve kalitesine göre kayıp değişkenlik gösterir. Bir vericiden antene ya da alıcıdan antene olan bağlantı sağlanırken, bu bileşenler arasındaki empedansların eşit olması önemlidir. Örneğin, eğer vericinin empedansı, bağlantı kablosu ve anten ile eşitse maksimum güç iletilebilir, değilse güç, konektörler ve bileşenler arasındaki yansımalar sonucunda meydana gelen kayıptan dolayı azalır. Bu nedenle, herhangi bir harici anten bir kablosuz ağ adaptörüne ya da erişim noktasına takılırken, empedans uyumluluğuna dikkat edilmelidir.

### **2.8.3. Anten etkin alanı**

Anten etkin alanı veya etkin açıklık, bir antenin bir radyo dalgasını toplaması ve iletmesi kabiliyeti olarak ifade edilebilir ve doğrudan antenin şekliyle ilgilidir. Örneğin, bir elektromanyetik dalganın antenin kendi terminallerindeki gücü 30 watt iken, antenin efektif alanından 1.5 metre sonra metrekare başına iletilen güç 20 watt olabilir.





Şekil 2.12. Anten etkin alanı hesaplaması

$$r_1 \approx 0.062 \sqrt{\frac{d^2}{\lambda}} \quad (2.15)$$

$$r_2 \approx \frac{2d^2}{\lambda} \quad (2.16)$$

$$\lambda = \frac{c_0}{f} \quad (2.17)$$

Frekans  $f = 2400000000$  Hz

Maksimum anten genişliği  $d = 1$  m

Aktif bölge yarıçapı  $r_1 = 0.175362481743$  m

Aktif bölge yarıçapı  $r_2 = 16$  m

Anteni çevreleyen uzay genellikle üç bölgeye ayrılır : reaktif yakın alan, radyasyon yakın alan (Fresnel) ve uzak alan (Fraunhofer) bölgeleri. Bu bölgelerin her biri bir yapı için tanımlanmıştır.

### Reaktif yakın alan bölgesi

Reaktif alanda etkin olan anten tarafından çevrelenen yakın alan bölgesidir.

### Yakın alan (Fresnel) bölge yayılması

Reaktif yakın alan ve uzak alan bölgesi arasındaki bir anten alanının tanımlandığı bölgedir.

### Uzak alan (Fraunhofer) bölge yayılması

Açısal alan dağılımının anten mesafesinden bağımsız olduğu yerdir.

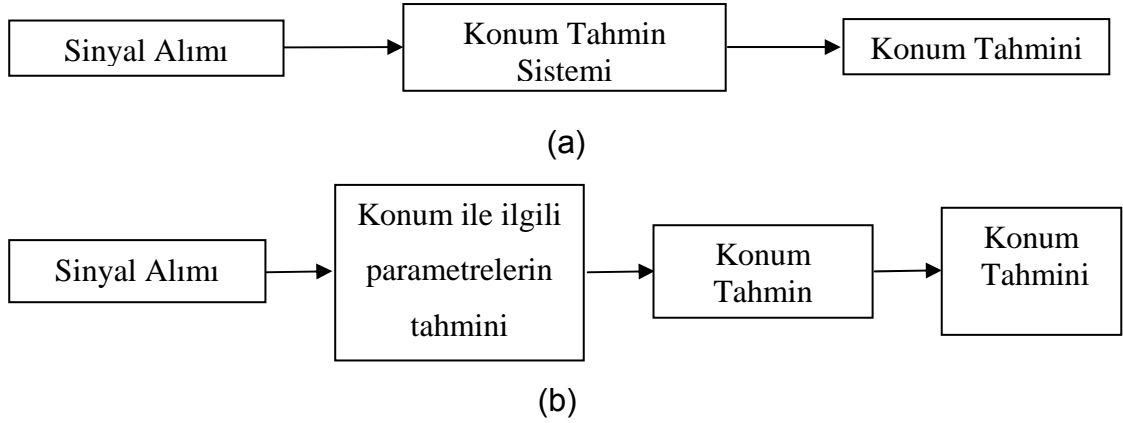
Çizelge 2.19. Alıcı duyarlılık değerleri

ANTEN	GÜÇ KAZANCI	ETKİN ALANI
İzotropik	1	$\lambda^2 / (4\pi)$
Küçük dipol	1.5	$1.5\lambda^2 / (4\pi)$
Yarım dalga dipol	1.64	$1.64\lambda^2 / (4\pi)$
Horn	$10A / \lambda^2$	0.81A
Parabol	$7A / \lambda^2$	0.56A

## 2.9. Konum Belirleme Algoritmaları ve Hesaplamalar

İki adımlı bir konum belirleme algoritmasının birinci adımında, öncelikle sinyalin varış zamanı, varış açısı ya da sinyal gücü gibi çeşitli sinyal parametreleri tahmin edilmektedir. İkinci adımda ise haritalama, geometrik

ya da istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak konum tahmini yapılmaktadır. Çeşitli konumlandırma algoritmalarının tahmin doğruluklarının teorik sınırları, "Cramer-Rao alt sınırları (CRLB)" ile ölçülmektedir.



Şekil 2.13. (a) Doğrusal konumlama (b) İki adımlı konumlama

Kablosuz konumlamanın potansiyel uygulamalarının önemi, görüş hattında olmayan (NLOS) ve çok yönlü açık alanlardaki doğru konum tahmini performansı ile doğrudan ilgilidir [78]. Doğru konum tahmini için, konum tahmin sürecinin ayrıntılarının ve teorik sınırlarının iyi anlaşılması gerekir. Konum tahmini, hedef düğüm ve referans düğüm arasındaki sinyallerin hareketiyle meydana gelen, "hedef" düğüm adı verilen kablosuz ağdaki bir düğümün konumunun tahmin işlemi olarak tanımlanabilir.

Hedef düğümün konumu, kendi kendine konumlama ya da uzak konumlama olarak da adlandırılan (ağ merkezli konumlama), bir referans düğüm vasıtasıyla bilgilerin merkezi bir birim tarafından elde edildiği tahmin yöntemidir [79].

Ayrıca, sinyallerin düğümler arasında direkt ya da dolaylı olarak gidip gelmesine bağlı olarak iki farklı konum belirleme yapısında düşünülebilir.

Doğrudan konumlandırma, konum tahmininin düğümler arasındaki gidip gelen sinyallerden doğrudan elde edilmesiyle gerçekleştirilmesine denir [80]. İki adımlı konumlandırma ise sinyallerden elde edilen belirli sinyal parametrelerine bağlı olarak konum tahmini yapılmasıdır. İki adımlı konumlandırma genellikle daha az optimal olmasına rağmen işlem açısından doğrusal yaklaşımdan daha az kompleksir.

Bu nedenle, iki adımlı konumlandırma, en başarılı konumlandırma sistemleri içinde kullanılan genel bir tekniktir. İki adımlı konumlandırma algoritmalarının birinci adımı, varış zamanı (TOA) ve alınan sinyal gücü (RSS) gibi sinyal parametrelerinin tahmin edilmesidir. İkinci adımı ise Şekil 2.13-b'de gösterildiği gibi, birinci adımda elde edilen sinyal parametrelerinden hedef düğümün konumunun tahmin edilmesidir. Konum tahmininin ikinci adımında, haritalama yaklaşımları ile geometrik ya da istatistiksel teknikler, doğruluk gereksinimlerine ve sistem sınırlamalarına bağlı olarak kullanılır.

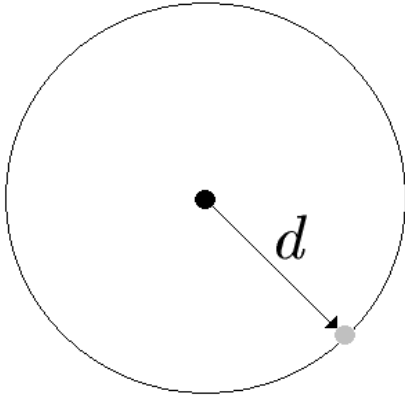
#### Konum tahmini ile ilgili parametreler

İki adımlı konumlandırma algoritmasının birinci adımı, hedef düğüm ve referans düğüm arasında gidip gelen sinyal parametrelerinden konum tahmininin yapılmasıdır. Bu kapsamda, her bir referans düğüm hedef düğümden aldığı sinyal parametrelerini tahmin edebilir ve bu tahminlerini merkezi bir birime göndererek analiz yapılmasını sağlayabilir.

Doğruluk gereksinimleri ve sistem kısıtlarına bağlı olarak, çeşitli sinyal parametreleri bir konumlandırma algoritmasının birinci adımında tahmin edilebilir. Yaygın olarak konumlandırmada kullanılan sinyal parametreleri, sinyalin gücü, yönü ve alınan sinyalin zamanı ya da doğrusallığıyla ilgilidir.

### Alınan sinyal gücü (Received Signal Strength-RSS)

Güç veya enerji, iki düğüm arasında gidip gelen ve düğümler arasındaki mesafeyle ilgili olan bir sinyal parametresidir. Bu parametre, yaygın bir şekilde RSS olarak bilinir ve bir mesafe tahmini yapmak için yol kaybı ve gölgeleme modeli ile birlikte kullanılabilir. Bu nedenle, serbest hata durumunda, bir düğümdeki RSS tahmini, bir düğüm ile diğer düğümün konumu arasındaki sınırı belirler ve bu sınır şekil 2.14'de gösterildiği gibi iki boyutlu bir daire üzerinde gösterilir.



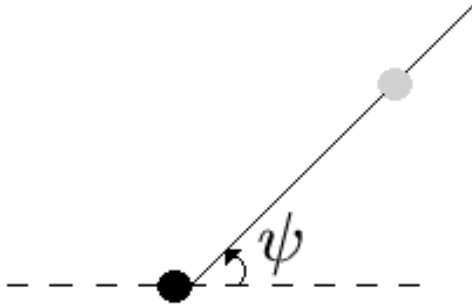
Şekil 2.14. İki düğüm arasındaki RSS ölçümü.

Bir sinyalin bir düğümden diğer düğüme gidip gelmesinde, hızlı (çoklu) sönmüleme, gölgeleme ve yol kaybı olabilir [81]. İdeal olarak, yeterince bir uzun zaman aralığındaki ortalama RSS, çok yollu solma ve gölgeleme etkileri dışında kalır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\bar{P}(d) = P_0 - 10n \log_{10}(d/d_0) \quad (2.18)$$

Bu model, uygun bir kanal parametresinin seçilmesi ile hem görüş hattındaki (LOS) ve hem de görüş hattında olmayan (NLOS) durumlarda kullanılabilir. RSS tahminleri, ortalama gücün az değiştiği durumlarda ve gölgelemenin

standart sapmasının azaldığı yerlerde daha doğru olmaktadır. Daha küçük bir bantdaki daha geniş bir yol kaybı bileşeni için ortalama güç, n'den daha geniş mesafeler için daha hassas olarak elde edilebilir.



Şekil 2.15. İki düğüm arasındaki AOA ölçümü

#### Variş açısı (Angle of Arrival-AOA)

İki düğüm arasındaki açı, düğümler arasında gidip gelen bir sinyalin AOA parametresinin tahminiyle belirlenebilir. Genellikle bir sinyalden AOA tahmini yapmak için anten dizileri kullanılır. Anten dizileri ile AOA tahmini yapılmasının temel prensibi, eğer dizi geometrisi biliniyorsa, açı bilgisi bilinen farklı anten elementlerine gelen bir sinyalden varış zamanlarının farkının tespit edilmesidir.

Dar bant sinyaller için, zaman farkları faz kayması olarak gösterilebilir. Bu nedenle, farklı dizi elementlerindeki alınan sinyal çeşitlerinin faz kayma kombinasyonları AOA tahmini yapmak için kullanılabilir [82]. Ancak geniş bant sistemlerinde, bir geniş bant sinyali için zaman gecikmesi bir tek fazla gösterilmediği için alınan sinyallerden AOA tahmini yapılamaz. Bir AOA tahmininin doğruluğunun sağlanabilmesi için sistem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi amacıyla, Na elemanlarının bir tek tip doğrusal dizi (ULA) şeklinde olduğu göz önünde bulundurulur ve dizi elemanlarında bütün sinyallerin varışı için aynı sönümlenme coefficienti ( $\alpha$ ) olduğu kabul edilir.

Yönsüz AOA tahminlerinin varyansı üzerindeki CRLB ise aşağıdaki eşitlik gibi ifade edilebilir.

$$\sqrt{\text{Var}\{v\}} \geq \frac{\sqrt{3}c}{\sqrt{2\pi\sqrt{SNR}\beta\Delta\sqrt{N_a(N_a^2-1)}\sin v}} \quad (2.19)$$

Burada  $v$  AOA'yı,  $c$  ışık hızını,  $SNR = \alpha^2 E / N_0$  her bir element için sinyal/gürültü oranını,  $E$  sinyal enerjisini ifade eder ve  $N_0$  background gürültüsünün spektral yoğunluğunu,  $\Delta$  elemanlar arası aralığı,  $S(f)$  alınan sinyalin Fourier transformunu gösterir ve  $\beta$  etkin bant genişliğini ifade eder ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$\beta = \left( \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} f^2 |S(f)|^2 df \right)^{1/2} \quad (2.20)$$

Etkin bant genişliği, elemanlar arası boşluğu ve/veya anten elemanlarının sayısının artmasını ve böylece de AOA tahmininin doğruluğunun artmasını sağlar. Aynı zamanda bir ULA, dar açıları algıladığı doğruluk kadar geniş açıları algılayamayabilir.

### Variş zamanı (Time of Arrival-TOA)

RSS parametresine benzer olarak, bir sinyalin bir düğümden diğerine gitmesi için gerekli uçuş süresi tahmini TOA olarak isimlendirilir. TOA, bu düğümler arasındaki mesafe ile ilgili bilgi verir. Bu nedenle, herhangi bir hatanın olmaması durumunda, TOA daire şeklindeki belirsiz bir alanın tahmin edilmesini sağlar.

Bir sinyalin iki düğüm arasında gidip gelmesinden hareketle TOA parametresini hesaplamak amacıyla, düğümler iki yönlü değişen protokollere benzer belirli protokoller tarafından, ortak bir saate veya değişebilir zamanlama bilgisine sahip olmalıdır [53, 83, 84].

Geleneksel olarak, TOA tahmini korelator veya uyumlu süzgeç (Matched Filter-MF) alıcıları kullanılarak yapılır [85]. Bir düğümden diğerine iletilen  $s(t)$  bir örnek olarak göz önünde bulundurulursa, alınan sinyal  $\tau$  TOA'yı,  $n(t)$  sıfır ortalamalı beyaz Gaussian gürültüsünü ve  $N_0/2$  bir spektral yoğunluğu ifade eder. Bu kapsamda alınan sinyal aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$r(t) = s(t - \tau) + n(t) \quad (2.21)$$

Korelator tabanlı yaklaşımda, çeşitli gecikmeler ( $\tau$ ) için alınan sinyal ile bir şablon ( $\hat{\tau}, s(t - \hat{\tau})$ ) arasında korelasyon vardır ve bu yaklaşım maksimum korelasyon için gecikme ile ilgili hesaplar yapar. Benzer şekilde, MF yaklaşımında bir filtre bulunur ve bu filtre gönderilen sinyal ile tahmin edilen sinyali filtre çıkışındaki geniş değerler ile karşılaştırır. Bu nedenle (Maximum Likelihood-ML) hassasiyeti her iki yaklaşım için en uygundur. Ancak pratik sistemlerde, sinyal alıcıya birden çok yol üzerinden gelir.

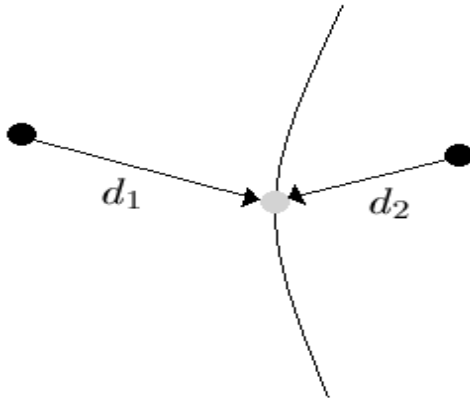
Çoklu yollu ortamlarda doğru bir TOA tahmini elde etmek için dar bant sistemleri için geçerli olan yüksek çözünürlüklü zaman gecikmesi tahmin teknikleri denenir ve bunun ilk yolu olarak genişbant sistemleri için olan algılama algoritmaları kullanılır [16, 53, 86, 87].



TOA tahmini için teorik limitler ve sinyal band genişliği arasındaki temel ilişkiyi ortaya çıkarmak için çeşitli sinyal modelleri için geçerli olan CRLB göz önünde bulundurulduğunda,

$$\sqrt{\text{Var}(\tau)} \geq \frac{1}{2\sqrt{2\pi}\sqrt{\text{SNR}\beta}} \quad (2.22)$$

$\hat{\tau}$  bir yönsüz TOA tahminini gösterir [88, 89].  $\text{SNR} = E\alpha^2 / N_0$  eşitliğinde  $E$  sinyal enerjisini ve  $\beta$  etkin sinyal band genişliğini ifade eder. RSS tahmininin aksine, TOA tahmini doğruluğu, SNR ve/veya etkin sinyal band genişliği artırılarak geliştirilebilir. Bu nedenle, (aşırı) geniş bant sistemler için, TOA tahmini çok hassas mesafe bilgisi sağlayabilir.



Şekil 2.16. İki düğüm arasındaki TDOA ölçümü

#### Varış zamanlarındaki fark (Time Difference of Arrival-TDOA)

Referans düğüm ve hedef düğüm arasında senkronizasyon olmadığında, eğer referans düğümler arasında bir senkronizasyon meydana gelirse, TDOA tahmini yapılabilir [82]. Bu durumda, iki referans düğüm ve iki hedef düğüm arasında gidip gelen iki sinyalin varış zamanları arasındaki fark

tahmin edilebilir ve iki referans düğüm odağı ile bir hiperbol üzerindeki hedef düğümün konumu şekil 2.16'da gösterildiği gibi ifade edilir.

TDOA tahmininin bir yolu, bir referans düğüm ve hedef düğüm arasında her sinyal gelip gidişi için ilk olarak TOA tahminini yapmak ve ondan sonra iki tahmin arasındaki farkı bulmaktır. Referans düğüm ve hedef düğüm senkronizasyonu olmadığında, TDOA tahminleri bir zamanlama ofseti içerir. Referans düğümler senkronize olduğunda, uçuş süresine ek olarak bütün tahminler aynı olur. Bu nedenle, TDOA tahmini aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\tau_{TDOA} = \hat{\tau}_1 - \hat{\tau}_2 \quad (2.23)$$

Burada,  $\hat{\tau}_i$ ,  $i=1,2,\dots$ , hedef düğüm ve  $i$ . referans düğüm arasındaki sinyal gelip gidişi için TDOA tahminini ifade eder. Sonuç olarak, etkin bant genişliği ve/veya SNR artışları TDOA tahmininin doğruluğunu artırır. TDOA tahmini yapmanın bir diğer yolu, hedef düğüm ve referans düğüm arasında gidip gelen iki sinyalin çapraz korelasyonunun gerçekleştirilmesi ve geniş çapraz korelasyon değerleri için gecikme hesaplamasının göz önünde bulundurulmasıdır. Bu kapsamda çapraz korelasyon fonksiyonu verilmiştir [90].

$$\phi_{1,2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T r_1(t)r_2(t+\tau)dt \quad (2.24)$$

Burada,  $r_i(t)$ ,  $i = 1,2,\dots$  hedef düğüm ve  $i$ .referans düğüm arasında gidip gelen sinyali gösterir ve  $T$  gözlem aralığını ifade eder ve TDOA tahmini aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\tau_{TDOA} = \arg \max |\phi_{1,2}(\tau)| \quad (2.25)$$

Tek yol kanalları ve beyaz gürültü modelleri için TDOA tahminine bağlı çapraz korelasyona rağmen, çok yollu kanallar ve/veya renkli gürültüler göz önünde bulundurulduğunda performans azalabilir. Çapraz korelasyon yapılarının performansını geliştirmek için genelleştirilmiş çapraz korelasyon (GCC) teknikleri önerilmiştir [91, 92].

GCC tabanlı TDOA tahmininde, sinyallerin filtrelenmiş versiyonları çapraz korelasyon yapılabilir ve renkli gürültülere karşı güç sağlamak amacıyla, iletilen sinyallerin çapraz güç spektral yoğunluk gölgelemeleri (çapraz-PSD) göz önünde bulundurulur [93].

#### Diğer konum tahminleriyle ilgili parametreler

Bazı konumlandırma sistemlerinde, konum ile ilgili parametrelerden iki veya daha fazlası hedef düğümün konumu hakkında daha fazla bilgi elde etmek amacıyla kullanılabilir. Örnek olarak, TOA/AOA, TOA/RSS, TDOA/AOA ve TOA/TDOA gibi hibrit konumlandırmalar verilebilir [94-97].

RSS, AOA, T(D)OA parametreleri ve bunların kombinasyonlarına ek olarak, parametre tahmini ile ilgili olan diğer konum yapıları, alınan bir sinyal ile ilgili elde edilen kanal darbe cevabı (CIR) ya da çok yollu güç gecikme profili (PDP)'ni içerir [96, 97]. Bazı durumlarda, PDP ya da CIR tahmini, önceden çalışılmış olan yapılardaki hedef düğüm konumu hakkında çok daha fazla bilgi verebilir.

Ancak, bu parametrelerden konum bilgilerini çıkarma, yaygın olarak önceki PDP (veya CIR) tahminlerinden oluşturulan bir veritabanı gerektirir. PDP yaklaşımına benzer olarak, çok yollu açısal güç profil parametresi ve anten dizileri ile düğümler tahmin edilebilir. Her iki PDP (CIR) ve açısal güç profil tahmini yapılırken, konvensiyonel RSS, AOA ve T(D)OA yapıları ile iki

adımlı konumlandırma algoritması karşılaştırıldığında, önceki durumlarda bilinmeyen çok sayıdaki parametrenin tahminine ihtiyaç duyulması nedeniyle birinci adımın kompleksliği artar. Ancak, bu parametreler, değişik ortamlardaki doğru konum tahminini kolaylaştırabilir [97].

## **2.10. Konum Tahmini**

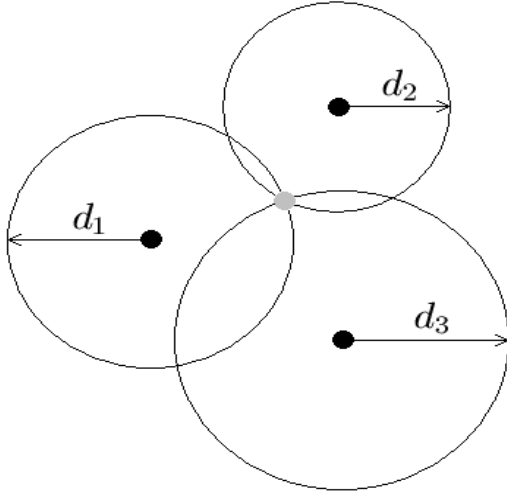
Bir iki adımlı konum algoritmasının ikinci adımı, birinci adımdaki konum ile ilgili elde edilen parametrelerden konum tahmininin yapılmasını içerir. Bir veritabanına bağlı olarak, konum tahmin teknikleri, haritalama ile geometrik ve istatistiksel teknikler olmak üzere iki tür olarak kabul edilebilir.

\* Haritalama teknikleri, hedef düğümün konumunun tahmini için, bilinen konumlardaki önceden tahmin edilen sinyal parametrelerinden meydana gelen bir veritabanı kullanır. Genel olarak, gerçek zamanlı konum belirlemeye başlamadan önce, bir eğitim (off-line) fazı tarafından bir veritabanı elde edilir.

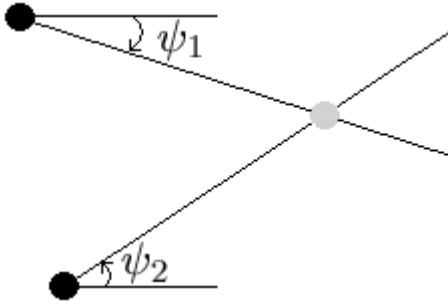
\* Geometrik ve istatistiksel teknikler bir veritabanı gibi kullanılmazlar ve sırasıyla bu geometrik ilişkiler ve istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak, konumlandırma algoritmasının birinci adımında tahmin edilen sinyal parametrelerinden hedef düğüm konumu doğrudan tahmin edilir.

### **2.10.1. Geometrik ve istatistiksel teknikler**

Bir eğitim veritabanı yokluğunda konum, iki adımlı konum algoritmasının birinci adımından elde edilen ilgili parametreler ile doğrudan tahmin edilebilir. Bu durumda, deterministik yaklaşım ya da belirli geometrik ilişkilere göre konum tahmini veya istatistiksel bir yaklaşım, hedef düğüm için en olası konumu elde etmek için kullanılabilir.



Şekil 2.17. Hedef düğümün üçlü mesafe kestirmesi ile belirlenmesi.

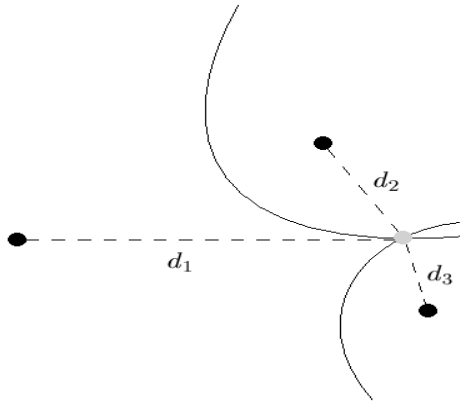


Şekil 2.18. Hedef düğümün üçlü açı kestirmesi ile belirlenmesi.

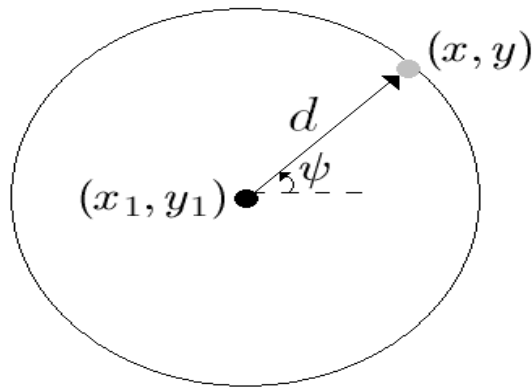
### Geometrik teknikler

Geometrik teknikler hedef düğümün konumunun tespiti için bir çözümdür ve referans düğümlerdeki konum seti ile ilgili parametrelerden konum çizgilerinin kesiştirilmesi ile elde edilir. Bir RSS ya da bir TOA parametresi hedef düğümün konumu için bir daire tanımlar. Bu nedenle üçlü mesafe kestirme metodunun kullanılmasıyla, konum belirlemek için üç parametre tahmini gereklidir ve bu parametreler Şekil 2.18'de gösterildiği gibi kullanılabilir.

Diğer taraftan, üçlü açı kestiriminde bir AOA parametresi, hedef düğüm ve referans düğümden geçen düz bir çizgiyi tanımlar. Bu nedenle, iki AOA parametresi, hedef düğümün konumunun bulunması için yeterlidir. TDOA tabanlı konumlandırma durumunda her TDOA parametresi, hedef düğümün konumu için bir hiperbol çizer. Ancak konum, düğümlerin geometrik durumlarına bağlı olarak her zaman tek bir değer olarak belirlenemeyebilir [98, 99]. Geometrik teknikler, hibrid sistemler için de uygulanabilir ve konumla ilgili, TDOA/AOA veya TOA/TDOA gibi çoklu parametre çeşitleri konum belirlemede kullanılabilir [94, 95]. Örneğin, aşağıdaki şekilde gösterilen bir hibrit AOA/TOA sistemi, hedef düğümün konumunu, hedef düğümdeki sinyalin AOA ve TOA'sını kullanarak tahmin edebilir.



Şekil 2.19. TDOA ölçümleri ile konumlandırma.



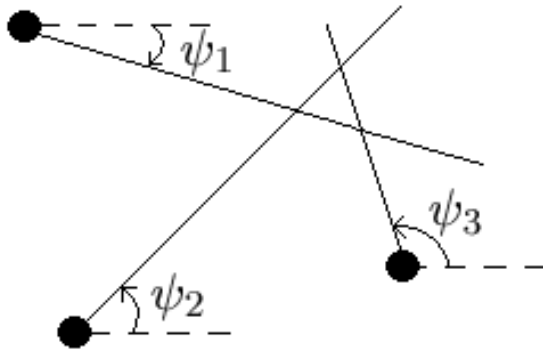
Şekil 2.20. Hibrid TOA/AOA konumlandırma.

$$x = x_1 + d \cos \vartheta \quad (2.26)$$

$$y = y_1 + d \sin \vartheta \quad (2.27)$$

Burada  $(x_1, y_1)$  referans düğümün konumunu,  $\vartheta$  AOA'yı ve  $d$ , TOA tahmini yoluyla elde edilen mesafeyi ifade eder. Diğer bir deyişle, en az düğüm sayısı, hedef ve/veya referans düğümlerinin özelliklerine bağlı olarak, hedef düğümün konumunun belirlenmesi için gereklidir ve aynı zamanda değişkenlik gösterir.

Geometrik tekniklerin dezavantajlarından biri, konumla ilgili parametrelerde gürültü olduğunda teorik bir çerçeve sağlayamamaktır. Diğer bir deyişle, birden fazla noktada kesişen konum çizgisi olduğunda, tek bir nokta yerine, parametre tahmin adımındaki rastgele hatalar nedeniyle geometrik yaklaşım, hedef düğümün konumunun seçili olduğu nokta için herhangi bir bilgi sağlamaz. Parametre sayısının artmasına ek olarak, kesişim noktaları daha da artar.



Şekil 2.21. Gürültülü AOA parametrelerin varlığında konum belirsizliği.

Örneğin, bir tek noktadaki bütün üç kesişim çizgisi olmaksızın, konum çizgileri arasındaki çoklu kesişim nokta sonuçları, üç referans düğüm için, üç hatalı AOA parametresini gösterir. Bu örnek gösteriyor ki, geometrik yaklaşım etkili bir veri füzyon mekanizması sağlamaz.

### İstatistiksel teknikler

Geometrik tekniklerin tersine, istatistiksel yaklaşım, gürültünün olduğu ya da olmadığı durumlarda, parametre tahmini ile ilgili birden fazla konumun varlığında, konum tahmini için bir teorik çerçeve sunar. Bu genel ifadeyi formüllerize etmek amacıyla, bir iki adımlı konum algoritmasının birinci adımında, parametre tahmini için aşağıda belirtilen modeller göz önünde bulundurulur.

$$z_i = f_i(x, y) + \eta_i, \quad i = 1, \dots, N_m \quad (2.28)$$

Burada  $N_m$  parametre tahmin sayısını,  $\eta_i$ ,  $i$ . tahmindeki gürültüyü ve  $f_i(x, y)$   $i$ . sinyal parametresinin doğru değerini ifade eder ve bu kapsamda hedef konum fonksiyonu  $(x, y)$ 'dir.  $N_m$  sayısı, her bir TDOA parametresinin bir referans düğümle tahmin edildiği TDOA tabanlı konumlandırma için referans düğüm sayısından bir eksik iken,  $N_m$ , RSS, AOA ve TOA tabanlı konumlandırmalar için referans düğüm sayısına eşittir. Çeşitli konumlandırma sistemleri için  $f_i(x, y)$  aşağıdaki şekildeki gibi de ifade edilebilir.

$$f_i(x, y) = \begin{cases} \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} & \text{TOA/RSS} \\ \tan^{-1}\left(\frac{y-y_i}{x-x_i}\right) & \text{AOA} \\ \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} & \text{TDOA} \end{cases} \quad (2.29)$$

Burada  $(x_i, y_i)$   $i$ . referans düğümünün konumu ve  $(x_0, y_0)$  referans düğümü, TDOA parametrelerinin tahminine bağlıdır. Vektör notasyonunda;



$$z = f(x, y) + \eta \quad (2.30)$$

Burada  $z = [z_1, \dots, z_{N_m}]^T$ ,  $f(x, y) = [f_1(x, y), \dots, f_{N_m}(x, y)]^T$  ve  $\eta = [\eta_1, \dots, \eta_{N_m}]^T$  'dir.

$\eta$  gürültü terimi ile ilgili elde edilebilir bilgiye bağlı olarak, parametrik ve parametrik olmayan yaklaşımlar izlenebilir. Bu durumda,  $\lambda$  ile belirtilen ve bilinen bir parametre seti hariç olmak üzere  $\eta$  gürültü yoğunluk fonksiyon olasılığı, ML ve Bayesian'a benzer şekilde parametrik yaklaşımlarda kullanılabilir.  $\eta$ , olasılık yoğunluk fonksiyonu hakkında bilgi eksikliğinde, parametrik olmayan tekniklerin kullanılması gerekir.

k-NN, SVR ve yapay sinir ağları gibi parametrik olmayan yaklaşımlar bir eğitim veritabanı kullanırlar. Yoğunluk fonksiyonunun şeklinin parametrik olmayan bir durumu olmasına rağmen, bu parametrelerin bazıları hakkında hala varyans ve simetri özellikleri gibi bazı genel bilgiler elde edilebilir [99]. Bu bilgiler karesel tekniklerin en küçük ortalaması, artık ağırlık algoritması ve en küçük kareler tekniği ağırlıklı varyansı vb. kurallara benzer olarak, parametrik olmayan tahmin kurallarının tasarımında kullanılırlar [100-102]. Bilinmeyen parametre vektörleri, gürültü dağılımının bilinmeyen parametreleri gibi, hedef düğümün konumundan meydana gelir ve  $\theta$ ,  $\theta = [xy\lambda^T]^T$  gibi gösterilir. Öncelikle  $\theta$  bilgisine ulaşılmasına bağlı olarak, Bayesian ve ML tahmin teknikleri uygulanabilir [103].

$\theta$  bilgisine ulaşılmasına bağlı olarak, öncelikli olasılık dağılımı  $\pi(\theta)$  ile gösterilir. Bayesian yaklaşımı ve [88]'de belirtilen bir özel maliyet fonksiyonunun minimizasyonu ile  $\theta$  bilgisi tahmin edilir. MMSE ve MAP

tahmincisi olmak üzere iki genel Bayesian tahmincisi vardır ve  $\theta$  aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\hat{\theta}_{MMSE} = E\{\theta|z\} \quad (2.31)$$

$$\hat{\theta}_{MAP} = \arg \max p(z|\theta)\pi(\theta) \quad (2.32)$$

Burada  $E\{\theta|z\}$ ,  $\theta$ 'nin koşullarına bağlıdır ve  $z$ ,  $p(z|\theta)$ ,  $\theta$ 'ya bağlı olarak olasılık yoğunluk fonksiyonunu ifade eder. Öncelikli olarak  $\theta$  bilgisi olmadığında, genellikle ML tahmini kullanılır ki olasılık fonksiyonunun maksimizasyonu ile  $\theta$ 'nin değeri hesaplanır.

$$\hat{\theta}_{ML} = \arg \max p(z|\theta) \quad (2.33)$$

$f(x, y)$  deterministik bir fonksiyon olduğu için, olasılık fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$p(z|\theta) = p_{\eta}(z - f(x, y)|\theta) \quad (2.34)$$

Burada  $p_{\eta}(\cdot|\theta)$ ,  $\theta$ 'ya bağlı gürültü vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonunu ifade eder.

### 2.10.2. Haritalama teknikleri

Haritalama teknikleri ile konum tahmin ardındaki ana fikir, eğitim veri kümesine bağlı bir yapı belirlenmesidir ve daha sonra bu gerileme fonksiyonlarına göre verilen bir düğümün konumunu tahmin etmektir.

Eğitim verisi aşağıdaki gibi ifade edilirse;

$$T = \{(m_1, l_1), (m_2, l_2), \dots, (m_{N_T}, l_{N_T})\} \quad (2.35)$$

Burada  $i$ . eğitim verisi için  $l_i$  konum (yer) vektörü, iki boyutlu konumlandırma için  $l_i = [x_i, y_i]^T$  'dir.  $m_i$ ,  $i$ . konum için tahmin edilen parametre vektörünü gösterir ve  $N_T$ , eğitim kümesindeki toplam eleman sayısıdır (örneğin "veritabanı boyutu").

Konumlandırma algoritmalarında yer alan sinyal parametrelerine bağlı olarak,  $m_i$ , referans düğümler ile ilgili konum parametrelerinden meydana gelir. Örneğin  $m_i$ 'nin her bir unsuru, hedef düğüm  $l_i$  iken, bir referans düğümde RSS tahmini yapabilir.

2.27'de verilen eğitim seti, ilk olarak bir konum tahmini kuralı belirler (örüntü eşleme algoritması/regresyon fonksiyonu) ve daha sonra belirli bir hedef düğümle ilgili bir  $m$  vektör parametresine bağlı olan hedef düğümün birinci konumunu tahmin eder. Bazı yaygın haritalama teknikleri konum tahmininde  $k$ -en yakın komşuluk ( $k$ -NN) tahminini, destek vektör regresyonunu (SVR) ve yapay sinir ağlarını kullanır [104,107].

$k$ -NN tahmin tekniği, konum tahminine dayalı haritalamada bağışıklık sağlamak için kullanılır. En basit haliyle,  $k$ -NN tahmin tekniği, konum vektörüne bağlı olan  $T$  eğitim setinde bulunan konum vektörü gibi hedef düğümün konumunun tahmini için kullanılır ve bu tahmin edilen parametre vektörü  $m$  için en kısa mesafedir. Yani, konum  $l_j$  olarak tahmin edilmektedir.

$$j = \arg_{i \in \{1, \dots, N_T\}} \min \|m - m_i\| \quad (2.36)$$

$\|m - m_i\|$ ,  $m$  ve  $m_i$  arasındaki öklid uzaklığıdır. Bu yapı 1-NN ya da sadece NN olarak adlandırılan tahmin tekniğidir. Genel olarak, k-NN yapısı,  $T$ 'deki k parametre vektörüne göre hedef düğümün konumunu tahmin eder ve verilen m parametre vektörü en küçük mesafedir.  $\hat{I}$  konum tahmini, en yakın parametre vektörüne bağlı olan konumların ağırlıklı toplamından elde edilir.

$$\hat{I} = \sum_{i=1}^k \omega_i(m) l^{(i)} \quad (2.37)$$

Burada  $l^{(1)}, \dots, l^{(k)}$  k en yakın parametre vektörüne bağlı olan konumlardır.  $m^{(1)}, \dots, m^{(k)}$ ,  $m$  için ve  $w_1(m), \dots, w_k(m)$  her konum için ağırlık faktörleridir. Genel olarak, ağırlıklıklar m parametre vektörüyle sınırlandırılır ve  $m^{(1)}, \dots, m^{(k)}$  eğitim parametre vektörleridir. Çeşitli ağırlık fonksiyonları, [106]'da belirtildiği şekilde kullanılır. Örneğin, düzgün bir ağırlık düzeni için konum tahmini  $l^{(1)}, \dots, l^{(k)}$  konumlarının ortalamasıdır. Örneğin;

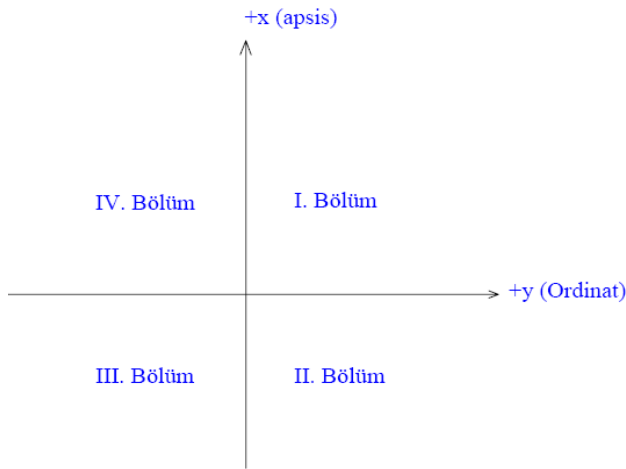
$$\hat{I} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k l^{(i)} \quad (2.38)$$

Haritalama tekniklerinin temel avantajı, çok yollu ve NLOS yayılması ile yaygın zorlu ortamlarda çok doğru konum tahmini sağlayabilmesidir. Diğer bir deyişle, istenmeyen yayılma koşullarına karşı, doğruluğun bir ölçüsüdür. Ancak, gereksinimlerin ana dezavantajı, eğitim veritabanının yeterince büyük ve doğru konum tahmini için çevrenin göz önünde bulundurulmasıdır. Diğer bir deyişle, veritabanı sık sık ve yeterince güncellenmeli ki eğitim kanalı özellikleri ve konum tahmin fazlarında önemli farklılıklar olmasın.

Böyle bir güncelleştirme gereksinimi, dinamik ortamlarda çalışan konumlandırma sistemleri için, bir dış ortam konumlandırma sistemi gibi pahalıya mal olabilir.

### 2.10.3. Dik koordinat sistemi

Noktaların bir düzlem içinde birbirine göre konumlarını belirlemek için, birbirini dik açı altında kesen iki doğru kullanılır. Bu doğruların oluşturduğu sisteme “Dik Koordinat Sistemi” denir. Koordinat eksenleri olarak kuzeye giden yön X eksenidir, doğu-batı yönündeki eksen ise Y eksenidir. Eksenler birbirine diktir. Eksenlerin kesişme noktasına orijin (başlangıç) noktası adı verilir. Başlangıçtan itibaren kuzey yönü (+X), güney yönü (-X), doğu yönü (+Y) ve batı yönü (-Y) dir.

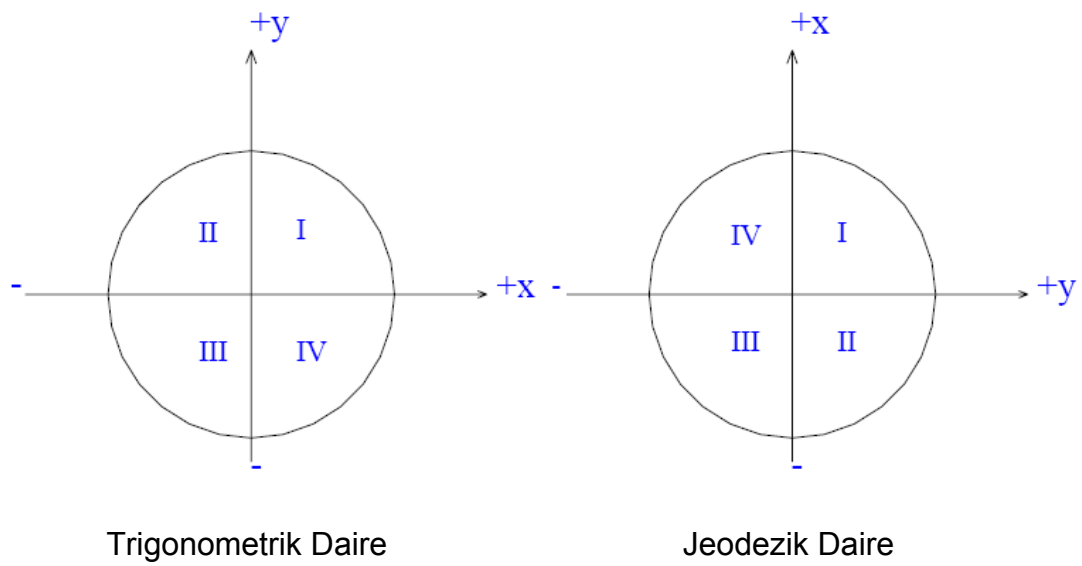


Şekil 2.22. Koordinat eksenleri

Şekil 2.22’de görüldüğü gibi X ve Y koordinat eksenleri matematik ve trigonometridekinden farklı olup, X ve Y’ler yer değiştirmiştir. Bilindiği gibi bir noktanın X eksenine olan uzaklığına Y koordinatı, Y eksenine olan uzaklığa da X koordinatı denir.

#### 2.10.4. Trigonometrik ve jeodezik daire

Trigonometrik dairede açı başlangıcı yatay eksenden başlatılır ve saat ibresinin tersi yönünde büyür. Bu hareket jeodezik ölçme aletlerinin açı ölçme bölüm dairesine ters düştüğü için açı başlangıcı düşey eksenden başlatılmış ve saat ibresi hareketi yönünde büyütülerek jeodezik daire oluşmuştur.



Şekil 2.23. Trigonometrik ve jeodezik daire

#### 2.10.5. Açıklık ve semt açısı

Dik koordinat sisteminin oluşturduğu düzlem üzerindeki herhangi bir doğrunun +X eksenini ile oluşturduğu açıya o doğrunun "Açıklık Açısı" veya sadece "Açıklığı" denir. Eğer düzlem dik koordinat sisteminde +X eksenini kuzeye yönelik ise, herhangi bir doğrultunun +X eksenini ile oluşturduğu açıya o doğrultunun "Semt Açısı" veya sadece "Semti" denir. Tanımlardan da anlaşılacağı üzere her semt açısı aynı zamanda bir açıklık açısı olduğu halde, her açıklık açısı bir semt açısı demek değildir.

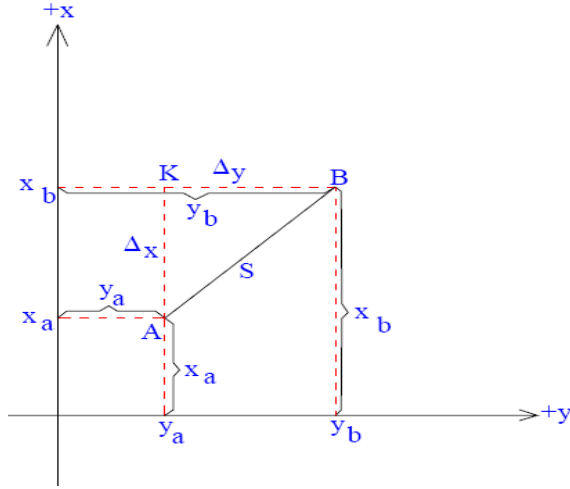
### 2.10.6. Koordinat hesaplanması

Ölçme bilgisinde (haritacılıkta) çok sık karşılaşılan bir kaç problem vardır. Bunlara temel ödevler denir. Bu temel ödevlerden birçok bilinmeyen bulunmasında yararlıdır. Bu bilinmeyen koordinatlar, iki noktanın birbirine olan uzaklıkları, iki doğrunun kesişme noktalarındaki açılarının bulunması veya bir noktadaki semt açısının bulunması vb. bilinmeyenler olabilir.

Jeodezik çalışmalarda hesap yüzeyi olarak elipsoid yerine kürenin kullanılmasıyla doğruluktan bir miktar ödün vermekle beraber hesaplamalarda büyük kolaylıklar sağlar. Jeodezik çalışma yapılan bölgenin büyüklüğüne ve istenen doğruluk derecesine göre elipsoidin tamamı yerine bir küre alınabileceği gibi biraz daha fazla doğruluk için elipsoidin küçük parçaları yerine de bir küre yüzeyi alınabilir.

Yerin biçimi ister elipsoid, ister küre kabul edilsin bu yüzeyler üzerindeki noktaların birbirine göre olan konumlarını belli bir sistemde tanımlamak gerekir. Bu tanım belli ise belli geometrik ya da matematik bağıntılar yardımıyla bu noktaların haritadaki konumları da belirlenebilir. Bu amaçla yer yüzeyi üzerinde geliştirilmiş sisteme “coğrafi koordinat sistemi” adı verilmiştir. Eğer bu sistem elipsoid üzerinde ise elipsoidal coğrafi koordinatlar küre üzerinde ise küresel coğrafi koordinatlardan söz edilir.

Coğrafi koordinatları bilinen bir P1 noktası ile yine coğrafi koordinatları bilinen P2 noktası arasındaki mesafe ve semt açısı hesaplanabilir veya coğrafi koordinatları bilinen P1 noktası ve P1'den P2'ye olan mesafe ve küresel semt yardımı ile P2 noktasının coğrafi koordinatları hesaplanabilir. Bir A noktasının koordinatları, A'dan ikinci bir B noktasına olan uzunluk  $AB = s$  ve AB doğrultusunun +X eksenini ile yaptığı açı (açıklık açısı) bilindiğine göre ikinci noktanın yani B noktasının koordinatları hesaplanabilir.



Şekil 2.24. Birinci temel ödev çözümü

A noktasının Koordinatları  $(Y_a, X_a)$ ,  $AB = s$  uzunluğu ,  $(AB)$  A'dan B'ye giden açıklık;

$$\begin{aligned} Y_b &= Y_a + \Delta Y & X_b &= X_a + \Delta X \\ \Delta Y &= Y_b - Y_a & \Delta X &= X_b - X_a \end{aligned} \quad (2.39)$$

ABK dik üçgeninde;

$$\sin(AB) = \frac{\Delta Y}{S} \quad \Delta Y = S * \sin(AB) \quad (2.40)$$

$$\cos(AB) = \frac{\Delta X}{S} \quad \Delta X = S * \cos(AB)$$

yazılır ve yukarıdaki formülde yerine konulursa ;

$$\begin{aligned} Y_b &= Y_a + S * \sin(AB) \\ X_b &= X_a + S * \cos(AB) \text{ olur.} \end{aligned} \quad (2.41)$$



Jeodezik temel problemlerin çözümü esas itibari ile küresel üçgenlerin çözümüne dayanır. Coğrafi koordinatların kullanılması halinde bu üçgen  $P_1$ ,  $P_2$  gibi herhangi iki nokta ile  $P_n$  kutup noktasının teşkil ettiği kutup üçgenidir.

Birinci jeodezik temel problemde verilen  $P_1$  noktasının  $\varphi_1$ ,  $\lambda_1$  koordinatları,  $P_1$ ,  $A_{12}$  azimutu ve  $S$  kenar uzunluğudur. Böylece üçgenin  $P_1P_2 = (\pi/2) - \varphi_1$  ve  $P_1P_n = S/R$  olmak üzere iki kenarı ve  $A_{12}$  açısı, yani iki kenar ve aralarındaki açı verilmiş olur. İstenenler ise üçgenin diğer elemanları, yani  $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ ,  $P_1P_nP_2$ ,  $\pi - A_{12}$  açıları ile  $(\pi/2) - \varphi_2$  kenarıdır.

Küresel trigonometri formüllerinde kenarlar merkez açı karşılıkları cinsinden kullanıldıklarından öncelikle  $P_1P_2$  kenarının  $S$  metrik uzunluğundan  $\sigma$  açı karşılığının hesaplanması gerekir.

$$S = s / R \quad (2.42)$$

$P_1P_nP_2$  küresel kutup üçgeninde kenar-kosinüs ve kotanjant formüllerinin uygulanması ile;

$$\begin{aligned} \cos((\pi/2) - \varphi_2) &= \cos((\pi/2) - \varphi_1) \cos\sigma + \sin((\pi/2) - \varphi_2) \sin\sigma \cos A_{12} \\ \cot\sigma \sin((\pi/2) - \varphi_1) &= \cos((\pi/2) - \varphi_1) \cos A_{12} + \sin A_{12} \cot\Delta\lambda \quad (2.43) \\ \cot((\pi/2) - \varphi_1) &= \cos\sigma \cos A_{12} + \sin A_{12} \cot(\pi - A'_{12}) \end{aligned}$$

Bağıntılarından istenilen büyüklükleri veren;

$$\begin{aligned} \sin \varphi_2 &= \sin \varphi_1 \cos \sigma + \cos \varphi_1 \sin \sigma \cos A_{12} \\ \tan \Delta\lambda &= \sin A_{12} / (\cot \sigma \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos A_{12}) \end{aligned} \quad (2.44)$$

$$\tan A'_{12} = \sin A_{12} / (\cos \sigma \cos A_{12} - \tan \varphi_1 \sin \sigma)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda, \quad A_{21} = A'_{12} + \pi \text{ formüllerine ulaşılır.}$$

Yukarıda ifade edilen formüllerden hareketle, eğer bulunulan noktanın koordinatı, hedef nokta ile aradaki açı ve mesafe biliniyorsa hedef düğümün koordinatı hesaplanabilir. Ya da bulunulan konumun ve hedef düğümün koordinatları biliniyor ise bulunulan konum ile hedef düğüm arasındaki açı ve mesafe bilgisine ulaşılabilir.

## 2.11. Kablosuz Ağ Standartları ve Düzenlemeleri

Kablosuz ağ sistemleri ilk olarak 1990'lı yılların başında işyerlerinde kullanılmaya başlamıştır. İlk yıllarda, düşük veri hızları, yüksek maliyetler, donanım uyumsuzluğu ve kullanıcıların birbirinden habersiz olması gibi sorunlar nedeniyle yavaş bir gelişme yaşanmıştır [61].

Ancak 2000'li yıllardan itibaren standartlaşmayla birlikte kablosuz ağ sistemleri hızla yayılmıştır. Bugünlerde, başlangıçtaki birçok problem çözülmüş olduğundan ciddi bir kablosuz ağ pazarı oluşmuştur. Dell'Oro Group tarafından yapılan araştırmalara göre dünya genelindeki 802.11 standartında çalışan ürünlerden (Erişim Noktası, Köprü1, Geçit2, NIC vs.) elde edilen gelir 2001 yılının dördüncü çeyreğinde 363.3 milyon ABD \$ olarak bir önceki çeyreğe göre % 21 artmıştır [62]. Yine aynı araştırma şirketine göre, 2002 yılının ikinci çeyreğinde ise 380.2 milyon ABD \$ ile % 8,

2003 yılının son çeyreğinde ise 509 milyon ABD \$ ile % 10 büyüme gerçekleşmiştir [63, 64].

Bir başka pazar araştırma şirketi olan Synergy Research Group tarafından yapılan araştırmaya göre ise dünya genelindeki 802.11 kablosuz ağ ürünlerinin satışı sürekli bir büyüme kaydederek bir önceki yıla göre % 55 artmış ve 2002 yılının ilk çeyreğinde 450 milyon ABD \$ olmuştur [64]. Bir yıllık artış oranı kablosuz ağ sistemlerindeki yayılımı göstermesi açısından önemlidir. Japon Bilgi Ağ'ında Japonya'daki eğilimler bölümünde yayınlanan bir haberde daha önce sadece birkaç otelde ve restoranda bulunan kablosuz ağ sistemlerinin 2002 yılında McDonald's, MOS Burger, Mister Donut, Starbucks Coffee ve denny's gibi restoran zincirleri, demiryolu şirketi JR East ve birçok iş yerinin kablosuz ağ sistemi kurarak müşterilerine hizmet vermeye başladığı bildirilmektedir [65]. Tüm bu gelişmelerdeki temel faktör standartlaşmadır. Çünkü standartlaşma ile birlikte parça üreticileri, cihaz üreticileri ve satıcılar ortak çalışma imkânı bulmuşlardır. Standartlaşma sonucunda çeşitli marka kablosuz ağ sistemi ekipmanı aynı kablosuz ağ içinde kullanılabilir. Standartlaşma aynı zamanda performans artışına, ürün yelpazesinin genişlemesine ve fiyatların düşmesine olanak sağlamıştır. Standartlaşmadaki en önemli alan iletişim için kullanılan frekans bandının standartlaşmasıdır. Kablosuz ağ sistemleri ilk olarak 2.4 GHz (2400-2483.5 MHz) frekans bandında geliştirilmiştir. Çünkü bu bant dünya genelinde endüstriyel, bilimsel ve medikal (ISM) alanda kullanım için tahsis edilmiştir. ISM bandının lisans ve frekans tahsisi gerektirmeden dünya genelinde serbestçe kullanılması kablosuz ağ sistemlerinin gelişmesini desteklemiştir. Ancak olumlu katkısının yanında diğer sistemlerden kaynaklanan enterferans problemleri nedeniyle kablosuz ağ sistemlerinin gelişmesine olumsuz etkiler de yapmaktadır. 2003 yılına kadar birçok sistem tarafından kullanılan ISM bandında gelişen kablosuz ağ sistemleri için ITU

tarafından WRC-03'de ilk defa frekans tahsisi yapılmıştır. Bu tahsis kablosuz ağ sistemlerinin teknolojik olarak gelişmesine büyük katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda kablosuz ağ sistemleri artık tüm dünya tarafından kabul edilmiş olmaktadır.

Kablosuz ağ sistemlerinde frekans bandı olarak 2.4 GHz ve 5 GHz kullanılmaktadır. Bu iki ayrı frekans bandının tahsisli olması farklı ekipmanların kullanılmasına ve karışıklığa neden olmaktadır. Ayrıca bu bantlar dünya genelinde tamamen aynı değildir.

Çünkü ülkelerin kendilerine özgü koydukları kısıtlamalar vardır. Örneğin 2.4 GHz frekans bandında Avrupa genelinde 2400-2483.5 MHz frekans aralığı kullanılırken Fransa kendine özgü bir uygulama yaparak sadece 2448-2482 MHz frekans aralığının kullanılmasına izin vermiştir. Ayrıca yeni teknolojilere olanak sağlamak amacıyla güç ve frekans gibi birkaç temel parametre dışında fazla bir kısıtlama yapılmamıştır. Tüm bu gelişmeler ürün yelpazesinin artması gibi olumlu etkilerinin yanı sıra standart ve ekipman karmaşasına da neden olmaktadır. Her bir kablosuz ağ standardı kendine özgü avantajlar ve dezavantajlar taşımaktadır. Çizelge 2.19'da temel kablosuz ağ sistemleri standartlarını göstermektedir.

Çizelge 2.19. Temel kablosuz ağ sistemleri standartları [64].

STANDART	FREKANS BANDI	VERİ HIZI	MODÜLASYON TEKNİĞİ	AÇIKLAMA
HIPERLAN1	5 GHz	20 Mbps	OFDM	Kablosuz ağ standardı olarak Avrupa ülkelerinde geliştirilmiştir.
HIPERLAN2	5 GHz	54 Mbps	OFDM	Kablosuz ağ standardı olarak Avrupa ülkelerinde geliştirilmiştir. DFS ve TPC özelliğine sahiptir.
IEEE 802.11	2.4 GHz	1-2 Mbps	FHDS/DSSS	İlk ve temel standarttır.
IEEE 802.11a	5 GHz	54 Mbps	OFDM	DFS özelliği bulunmadığından Avrupa'da kısıtlı olarak kullanılmaktadır.
IEEE 802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	DSSS	En yaygın kullanıma sahiptir.
IEEE 802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	OFDM	802.11b'nin yüksek hıza sahip şeklidir.
IEEE 802.11h	5 GHz	54 Mbps	OFDM	802.11a'nın DFS ve TPC özelliği ilave edilmiş şeklidir.
IrDA	3x10 <sup>14</sup> kHz	<1 Mbps	-	Yaygın kullanılmaktadır.

Kablosuz ağ sistemleri için gelecekte tek bir standart olmayacağı tahmin edilmektedir. Aslında RF teknolojisi ile farklı ekipmanların ve protokollerin farklı uygulamalar için kullanılması daha başarılı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle farklı sistemlerin bir diğerinin yerini almaktan ziyade birlikte gelişeceği ve tamamlayıcı olacakları tahmin edilmektedir.

### 2.11.1. Standartizasyon kuruluşları ve çalışmaları

Kablosuz ağ sistemi standartları esas itibariyle ETSI, IEEE ve MMAC olmak üzere üç kuruluş tarafından yürütülmektedir. ETSI Avrupa, IEEE Amerika ve MMAC ise Uzak Doğu'daki kablosuz ağ sistemleri standartlarının oluşturulması konusunda çalışmaktadır. Bunların dışında değişik amaçlarla kurulmuş çok sayıda organizasyon bulunmaktadır. Bu organizasyonlar, kablosuz ağ sistemlerinin tanıtımı, cihazların uyumluluk onayları, erişim alanları hakkında bilgi sağlanması ve benzeri konularda farklı hizmetler yürütmektedirler.

#### Avrupa telekomünikasyon standartları enstitüsü (ETSI)

Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute, ETSI), 1988 yılında Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Birliği (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, CEPT) tarafından bünyesindeki telekomünikasyonun standartlaştırılması ile ilgili görevleri yürütmek üzere kurulmuştur [66]. Avrupa'da kullanılacak telekomünikasyon standartlarını belirleyen bir organizasyon olan ETSI'nin amacı, Avrupa'da, telekomünikasyon altyapılarını birleştirmek, geleceğe yönelik servisleri birlikte çalıştırmak, terminal donanımlarının uyumluluğunu sağlamak ve Avrupa telekomünikasyon ağını oluşturmaktır. 2003 yılı itibariyle 56 ülkeden 800'e yakın üyeye sahip olan ETSI, pazar ihtiyaçlarına göre üyeleri tarafından belirlenen çalışma programı dâhilinde faaliyetlerini sürdürür.

ETSI'de belli bir konuda yapılacak çalışmaların belirli bir zamanda tamamlanarak gerekli olan standartların bir bütün halinde oluşturulmasını sağlamak amacıyla çeşitli projeler başlatılmaktadır. Bu projelerden bir tanesi olan Geniş Bant Radyo Erişim Şebekeleri (Broadband Radio Access Networks, BRAN) projesinde HiperLAN1 ve HiperLAN2 adı altında iki adet

kablosuz ağ standardı hazırlanmıştır [67]. BRAN projesi kapsamında HIPERACCESS ve HIPERMAN isimli standartlar da geliştirme aşamasındadır [68].

1992 yılının başlarından itibaren 2.4 GHz frekans bandında çalışan kablosuz ağ sistemleri ekipmanlarının üretilmeye ve kullanılmaya başlanmasıyla birlikte ETSI bu bantta FHSS ve DSSS tekniği ile çalışacak sistemlerin temel parametrelerini belirleyen ETS 300-328 dokümanını Mayıs 1993, ikinci baskısını ise Kasım 1996 tarihinde yayımlamıştır. ETS 300-328 standardı "Radio Equipment and Systems (RES) Wideband transmission systems technical characteristics and test conditions for veri transmission equipment operating in the 2.4 GHz ISM band and using spread spectrum modulation techniques" adıyla yayınlanmıştır [69].

Bu standart esas alınarak TSE tarafından "Elektromanyetik Uyumluluk ve Radyo Spektrum Konuları (ERM); Geniş Bandlı İletim Sistemleri; Yaygın Spektrum Modülasyon Tekniğini Kullanan ve 2.4 GHz ISM Bandında Çalışan Veri İletim Cihazı, Temel Şartları Kapsayan Uyumlaştırılmış EN Standardı" adı altında Türk Standardı yayımlanmıştır.

ETS 300-328 standardı aşağıda sıralanan teknik parametrelere sahip olan telsiz veri iletim ekipmanları için gerekli teknik karakteristikleri kapsamaktadır.

- \* Geniş bant telsiz modülasyon tekniği
- \* Toplam veri hızı : 250 kbit/s'den yüksek
- \* Çalışma bandı: 2.4 – 2.4835 GHz (ISM)
- \* Çıkış gücü: E.I.R.P olarak  $\leq -10$  dBW (100 mW)
- \* Güç yoğunluğu : FHSS modülasyon tekniği için -10 dBW  
DSSS modülasyon tekniği için -20 dBW

Üreticiler, kablosuz ağ ekipmalarının, toplam veri oranını (bit rate), kullanılan modülasyon tipini (FHSS, DSSS veya başka bir dağınık spektrum modülasyon tekniği), FHSS modülasyon tekniği kullanılması durumunda atlama kanal sayısını, bekleme süresini ve aynı kanalın tekrar kullanılması için geçen süreyi, ekipmanın çalışma frekans bandını, çalışma frekans aralığını ve uygulama frekansını, ekipman tipini (örneğin tek başına çalışması veya tak-çalıştır olması veya çalışma kombinasyonlarının belirtilmesi), ekipmanın test edilmesi için istenilen ilave çalışma şartlarını, telsiz ekipmanı birden fazla çıkış gücü seviyesine sahip ise hangi güç kademesinde ölçüm yapılacağını ve nominal gerilim değerini belirtmelidirler.

#### IEEE (Elektrik ve elektronik mühendisleri enstitüsü)

New York merkezli Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 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, elektro teknoloji 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, elektrik mühendisliği, bilgisayar ve kontrol teknolojileri alanında dünyadaki yayınların % 30'unu hazırlamaktadır. Yaklaşık 900 standart geliştirmiş olup 700 standart ise geliştirme aşamasındadır [70]. IEEE 802 LAN/MAN standart komitesi 802.x adı altında bir seri standart yayınlamıştır. Orijinal 802.11 standardı Haziran 1997'de yayınlanmıştır [71].



Bu standart da 2.4 GHz frekans bandında FHSS veya DSSS tekniklerinde 2 Mbps'e kadar veri iletişimi sağlanmaktadır. Bu ilk standartın amacı var olan kablolu ağların, kablosuz olarak genişlemesini gerçekleştirmektir [72].

IEEE 1999 yılında 802.11b standartını duyurmuştur. Bu standart 2.4 GHz frekans bandında DSSS modülasyon tekniği kullanılmasını ve 11 Mbps'ye kadar kablosuz veri iletişimi yapılabilmesini sağlamaktadır. Yine aynı tarihte, 802.11a standardı da onaylanmıştır. Bu standart da 5 GHz frekans bandında OFDM modülasyon tekniği kullanılmasını ve 54 Mbps'ye kadar kablosuz veri iletişimi yapılabilmesini sağlamaktadır. DSSS teknolojisini uygulamak OFDM teknolojisinden daha kolay olduğu için DSSS teknolojisini kullanan 802.11b ürünleri daha önce üretilerek 1999 yılının sonlarında pazarda görülmeye başlamıştır. Daha sonraları, 802.11b ürünleri Wi-Fi adıyla yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaygın kullanım 802.11b standartının kablosuz ağ standardı olarak anılmasına neden olmuştur. 802.11b standartında çalışan kablosuz ağ ürünleri makul fiyatları ile oldukça yaygınlaşmıştır. Ancak DSSS teknolojisinin Bluetooth teknolojisi ile birlikte aynı ortamda çok iyi çalışmadığı ve enterferansa sebep olduğu bilinmektedir.

### IEEE 802.11x

WLAN uygulamalarında en çok kullanılan ve bugünkü popülerliğini kazandıran IEEE tarafından yayınlan bir dizi standarddır. IEEE 802 LAN/MAN standart komitesi ilk olarak Haziran 1997'de IEEE 802.11 standardını yayımlamıştır [54].

Bu temel standarda göre 2.4 GHz frekans bandında FHSS2 veya DSSS3 teknikleri kullanılarak 2 Mbps'e kadar data iletişimi sağlanabilmektedir. 802.11 standardın esas amacı mevcut kablolu LAN'ların, kablosuz olarak genişlemesine olanak tanımak ve sabit sistemlerle mobil sistemleri bir çatı altında toplamaktır. Elde edilen başarı sonrasında IEEE tarafından WLAN

uygulamaları için 802.11x adı altında bir dizi standart daha yayımlanmıştır [61].

Bu standartları geliştirme ve yeni standartlar hazırlama çalışmaları devam etmektedir [62]. 2.4 GHz frekans bandında çalışan ve 11 Mbps veri iletişim hızına sahip olan IEEE 802.11b Türkiye dahil dünyanın bir çok yerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. 2000 yılında dünyada yaşanan iletişim sektöründeki çöküşe rağmen WLAN sistemleri inanılmaz bir başarı elde etmiştir. Bugünlerde yine aynı frekans bandında çalışan fakat veri iletişim hızını 54 Mbps'e kadar çıkaran 802.11g standartındaki cihazlar rağbet görmektedir.

IEEE tarafından WLAN uygulamalarını geliştirmek ve mevcut sorunları gidermek üzere 802.11x adı altında başka standartlar da yayımlanmıştır [63, 64]. Bu standartlar henüz tamamlanmamış durumdadır ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu standartlar, diğer 802.11x standartları olarak Çizelge 2.20'de verilmiştir.

Çizelge 2.20. Diğer IEEE 802.11x standartları ve genel işlevleri

IEEE 802.11h	802.11a'nın Avrupa'da kullanımını sağlamak üzere DFS ve TPC özellikleri ilave edilmiş şeklidir. 5 GHz'de 54 Mbps veri hızı sağlamaktadır.
IEEE 802.11i	IEEE 802.11 MAC katmanı için artırılmış güvenlik ve doğrulama mekanizması içermektedir.
IEEE 802.11e	IEEE 802.11 MAC katmanı için QoS'i arttırmak ve yönetmek için çeşitli işlevler içermektedir.
IEEE 802.11f	AP'ler arası iletişim protokolünü (Inter Access Point Protocol, IAPP) tanımlamaktadır. Farklı üreticiler tarafından üretilen AP'lerin birlikte çalışmalarını sağlamak için geliştirilmiştir.
WISPR	Kablosuz Ethernet Uyumluluğu Topluluğu tarafından geliştirilen P-WLAN işletmeleri arasında dolaşım için tavsiyeler içermektedir.

### IEEE 802.11a

802.11a standardı, RF teknolojisi olarak daha yeni ve gelişmiş bir teknoloji olan OFDM modülasyon tekniği kullanarak 5 GHz frekans bandında 54 Mbps veri iletişim hızı sağlamaktadır. Bu teknoloji 802.11b ile kıyaslandığında birçok üstünlüğe sahiptir. 802.11a ile 802.11b standartının karşılaştırması aşağıda verilmiştir.

*Daha yüksek veri iletişim hızı* : 802.11b'de 11 Mbps olan veri iletişim hızı 802.11a'da beş kat artırılarak 54 Mbps'ye ulaşmaktadır. Akan resim (streaming video) uygulamaları gibi yüksek iletişim hızlarına ihtiyaç duyan sistemlerin yaygınlaşması 802.11a'nın önemini artırmıştır. Ayrıca bu özellik ile birçok uygulama için kablosuz iletişim sistemlerinin uygun ve kullanılabilir olduğu görülmektedir.

*Enterferans riski daha azdır* : Diğer dağınık spektrum teknikleri gibi OFDM modülasyon tekniği de benzer sistemlerden gelen enterferansa karşı duyarlıdır. Ancak 802.11a'nın çalıştığı 5 GHz frekans bandı diğer sistemler tarafından daha az kullanılmaktadır. Bu nedenle enterferans riski 2.4 GHz frekans bandına oranla daha düşüktür. Ayrıca Avrupa'da zorunlu olan DFS1 ve TPC2 özelliklerinin de enterferansı önemli ölçüde azaltması beklenmektedir.

*Yansımadan daha az etkilenir* : RF sinyalleri vericiden alıcıya doğru giderken yol boyunca çarptıkları duvar, mobilya ve kapı gibi iletim ortamında bulunan fiziksel engellerden yansır. Yansıma oluşması durumunda alıcı cihaza hem havadan direk gelen RF sinyali hem de yansiyarak gecikmiş olarak gelen RF sinyali ulaşır. Bu iki sinyal birbirlerini etkileyerek iletişim kalitesinin düşmesine neden olur. OFDM tekniği bu yansıyan işaretlerin elimine edilmesinde daha başarılıdır. Dolayısıyla 802.11a standardı yansımalarından daha az etkilenir.

*Kapasite büyüklüğü* : 802.11a standardı daha büyük bir kapasiteye sahiptir. Çünkü 5 GHz frekans bandında enterferans yapmayan 12 kanal (Avrupa'da 19 kanal), kablosuz ağ sistemleri için tahsis edilmiştir. 2.4 GHz frekans bandında ise yalnızca üç kanal bulunmaktadır. Toplam bant genişliği açısından bakıldığında ise 5 GHz frekansında bulunan 200 MHz band genişliği (Avrupa'da 455 MHz), 2.4 GHz frekans bandındaki 83,5 MHz band genişliğine göre oldukça yüksektir. Bu durum aynı yerel alana kurulacak sistem için 802.11a standardı ile aynı anda çok daha fazla bant genişliği kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir. Bu nedenle 802.11a standardı, yoğun nüfuslu alanlar için daha uygundur. Ancak bütün bu avantajlarının yanında 802.11a standartının bazı dezavantajları da vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

*Yüksek maliyet* : Yüksek frekanslarda çalışan cihazların pahalı olması nedeniyle 802.11a standartındaki ürünlerin maliyeti yüksektir. Ancak üretim arttıkça fiyatların düşmesi beklenmektedir. Benzer durum 802.11b standartındaki cihazlarda da yaşanmıştır. Başlangıçta 400 ABD \$ civarında olan network arayüz kontrolörleri (Network Interface Controller, NIC) bugünlerde 50 ABD \$ civarındadır ve ilerleyen zamanlarda fiyatların daha da düşmesi beklenmektedir.

*İletişim mesafesi kısıtlılığı* : RF teknolojisinde iletişim mesafesi, çıkış gücü, frekans, anten kazancı ve benzeri birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Diğer parametreler sabit kalmak kaydıyla sadece frekansın yükseltilmesi iletişim mesafesini kısaltmaktadır. Bu nedenle daha yüksek frekans kullanılan 802.11a standartında iletişim mesafesi düşmektedir. 802.11b standardı için 100 m olarak belirtilen iletişim mesafesi 802.11a standartında 75 m olmaktadır.

*Sınırlı ürün desteği* : 802.11a standart ürünleri henüz sınırlı miktarda bulunmaktadır. 802.11b standart ürünleri ve erişim alanları ise oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. 802.11a standardı ürünler ve özellikle erişim alanları bu düzeyde yaygın değildir.

*Frekans farklılığı* : İki sistemin farklı frekans bantlarında çalışması önemli sorunlar yaratmaktadır. Çünkü 802.11b standartında çalışan NIC kartı bulunan bir cihaz ile 802.11a standartında çalışan AP arasında erişim sağlamak teknik olarak imkânsızdır. Aynı şekilde farklı standarta sahip cihazlar arasında cihazdan cihaza yöntemiyle bir ağ oluşturmak imkansızdır. Ancak iki farklı AP kullanılarak 802.11a ve 802.11b standartındaki cihazlar arasında iletişim kurulabilir ve aynı ağ içinde yer alabilirler.

*Otomatik Güç Kontrolü (Transmit Power Control-TPC) özelliği* : 802.11a standardı, enterferans yaratmamak üzere geliştirilen TPC özelliğine sahip değildir. TPC tekniği, kablosuz olarak gerçekleştirilerek bir bağlantı için gerekli olan en düşük gücün kullanılmasıdır. TPC'nin mobil kullanıcıya faydası, batarya gücünün korunması ve kullanım süresinin arttırılmasıdır.

Spektrum açısından ise frekans kirliliğini önlediği için çok daha gerekli ve önemlidir. Birlikte çalışan sistemlerin sayısı TPC kullanılarak iki kat veya daha fazla artırılabilir. Mevcut IEEE 802.11x standartlarında TPC özelliğinin bulunmaması gelişmekte olan kablosuz ağ pazarı için büyük bir engeldir. Çünkü bu durum hem aynı fiziksel ortamdaki kullanıcı sayısını sınırlandırmakta hem de enterferans riskini arttırmaktadır. TPC kullanılmaması durumunda 5 GHz frekans bandındaki gürültünün artması sonucu uydu ve radar sistemlerinin etkilenme olasılığı yüksektir. Bu enterferansın belirli bir seviyeye ulaşması halinde kablosuz ağ kullanımı yasal olarak sınırlandırılabilir veya durdurulabilir.

*Dinamik Frekans Seçimi (DFS) özelliği* : 802.11a standardı, enterferans yaratmamak için geliştirilen Dinamik Frekans Seçimi (Dynamic frequency Selection-DFS) özelliğine de sahip değildir. Aynı bandı kullanan radar ve diğer sistemler nedeniyle DFS özelliği bir cihazın frekans kanalında gönderme yapmadan önce başka sistem tarafından kullanıp kullanmadığının kontrol edilmesidir. Eğer kanalın kullanıldığı algılanırsa otomatik olarak başka bir kanala geçilir. Bu kontrol çalışılan frekans bandında uygun bir kanal bulununcaya kadar devam eder. Bu özellik aynı anda çalışan sistemler için uygun kanalların azami düzeyde kullanımını ve başta radarlar olmak üzere diğer sistemlerin korunmasını sağlar. Mevcut düzenlemelere göre Avrupa ülkelerinde TPC ve DFS özelliği bulunmayan cihazların kullanımına izin verilmemekte veya daha düşük çıkış güçleri (40-60 mW) ile

kullanılmasına izin verilmektedir. Bu nedenle 802.11a standartındaki cihazların kullanımının sadece Amerika ile sınırlı kalması muhtemeldir.

TPC ve DFS özellikleri ITU tarafından geliştirilmiştir ve uluslararası önlem olarak tüm ülkeler tarafından kabul edilmesi beklenmektedir. Bu nedenle TPC ve DFS özelliklerinden yoksun olan 802.11a standardı yerini bu özelliklere sahip olan 802.11h standartına bırakacak gibi görünmektedir.

### IEEE 802.11b

Kablosuz ağ standartları hazırlamak üzere "IEEE 802 Executive Committee" tarafından kurulan 802.11 Working Group, 1-2 Mbps data hızına sahip olan 802.11 standardının gelecekteki ihtiyaçları karşılamak üzere bir uzantısı olarak 802.11b standartlarını hazırlamıştır. 802.11a ile aynı tarihlerde açıklanmasına rağmen 802.11b standardı üreticiler ve kullanıcılar arasında büyük kabul görmüştür. 802.11b standardı Wi-Fi olarak adlandırılmış ve üzerinde Wi-Fi logosu bulunan ürünler marka bağımsız olarak birlikte uyumlu bir şekilde çalışmaktadır. Halen PC endüstrisinde olduğu kadar ICT endüstrisinde de kablosuz ağ ürünleri büyük ilgi görmektedir. 2001 yılının başlarında neredeyse sıfır olan 802.11b kullanıcılarının sayısı 2001 sonunda 15 milyona ulaşmıştır [73]. Wi-Fi, Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlılık), kablosuz ağ sistemleri veya IEEE 802.11b standardı için kullanılan ifadedir.

802.11b standardında DSSS tekniği kullanılmaktadır. 2.4 GHz frekans bandında 2400-2483,5 MHz frekans aralığı kullanılarak 11 Mbps'ye kadar veri iletişim hızlarına ulaşılmaktadır. Dizüstü ve masa üstü bilgisayarlarda kullanılan kablosuz bağlantıyı gerçekleştiren NIC kartı satışlarında olduğu gibi AP satışlarında da büyük artış görülmektedir. 802.11b standardı büyük bir başarı elde etmesine rağmen diğer sistemler tarafından yaratılan enterferansa maruz kalmaktadır. Çünkü aynı frekans bandı Bluetooth, HomeRF, mikrodalga fırınlar, kablosuz telefonlar ve amatör telsizler

tarafından da kullanılmaktadır [74]. Enterferans veri iletişim hızının düşmesine ya da kesilmesine neden olmaktadır.

Gelecekte sadece kablosuz ağ sistemlerine tahsis edilmiş frekans bantlarında çalışan, daha yüksek veri iletişim hızına, daha iyi servis kalitesine ve güvenliğine sahip sistemlerin 802.11b standartının yerini alması tahmin edilmektedir.

### IEEE 802.11g

21 Eylül 2000 tarihinde Arizona'da (ABD) ilk resmi toplantısı yapılarak 802.11g taslak çalışmaları başlatılmıştır [75]. Daha sonra beş toplantı daha yapılarak çalışmalar sürdürülmüş ve Mayıs 2001 tarihinde yeni kablosuz ağ standardı olan taslak 802.11g'nin özellikleri tartışmaya açılmıştır. Ancak, Temmuz 2001'de Oregon'da (ABD) yapılan toplantıda 802.11g'nin ilk taslağı üzerinde % 75 oranında fikir birliği oluşmuş ancak prosedür seçiminde yaşanan tartışmalar nedeniyle gecikme kararı bildirilmiştir [58]. Devam eden dört toplantıdan sonra Sydney'de (Avustralya) Mayıs 2002 tarihinde yapılan toplantıda 802.11g'nin denenmesi ve son onayı için Mayıs 2003 tarihinde anlaşıldığı duyurulmuştur. Devam eden on toplantıdan sonra, son toplantı Temmuz 2003 tarihinde California'da (ABD) yapılmış ve 802.11g toplantılarının artık yapılmayacağı ve çalışmanın tamamlandığı duyurulmuştur [75]. Şu anda 802.11g ürünleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 802.11g standardı, 2.4 GHz frekans bandında çalışan ve OFDM modülasyon tekniği kullanılarak 802.11b'den daha yüksek veri iletişim hızının (54 Mbps) sağlandığı bir standarttır. Bu standart 802.11a kadar hızlı olduğu gibi daha güvenli ve 802.11b ile uyumludur.

802.11g standardı aynı zamanda Tamamlayıcı Kod Anahtarı (Complementary Code Keying, CCK) modülasyonu ve Katlamalı İkili Kod Paketi (Packet Binary Convolutional Coding, PBCC) modülasyonunu



desteklemektedir. Bu özelliği ile daha hızlı link bağlantısı için bir alternatif olmaktadır. Ayrıca 5 GHz frekans bandına göre daha düşük frekans bandı (2.4 GHz) kullanıldığı için cihaz üretimi daha kolay ve ucuz, RF sinyal zayıflaması ise daha azdır. Kullanılan OFDM modülasyon tekniği sayesinde daha yüksek veri iletişim hızlarına imkân sağlamaktadır. 802.11g standartının en büyük dezavantajı ise 2.4 GHz frekans bandının yoğun kullanılıyor olmasıdır. Bu yoğunluk kullanılabilir boş kanal sayısının azalmasına dolayısıyla iletişim kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. 5 GHz frekans bandında 19 kanal kullanma imkânına sahip olan 802.11a ile kıyaslandığında 802.11g standartının kullanılabileceği kanal sayısı yalnızca üç ile sınırlıdır. Ülkelerin yapmış oldukları spektrum düzenlemelerine göre kanal sayıları değişmektedir. Türkiye için mevcut kanal sayısı sekiz adettir. Bazı yorumlar ise 802.11g standartının nihai hedefinin 5 GHz frekansı olacağı yönündedir [56].

### IEEE 802.11h

Bu standart ile Avrupa'da geçerli 5 GHz frekansındaki kablosuz ağ düzenlemelerine uygunluk sağlamak için Ortam Erişim Kontrolü (media access control-MAC) katmanına ilaveler yapılmıştır. Avrupa Telsiz Düzenlemelerine göre 5 GHz frekans bandında kullanılacak kablosuz ağ ürünlerinde TPC ve DFS özelliği bulunması zorunludur. Almanya, İrlanda, Hollanda ve İngiltere gibi birçok Avrupa ülkesi, TPC ve DFS özelliği bulunan cihazların 5 GHz frekans bandında çalışan kablosuz ağlarda kullanılmasına izin vermektedir. Amerika'da ise Federal İletişim Komisyonu (Federal Communications Commission, FCC) askeri makamlarla radar servislerini korumak için DFS uygulamasının yeterli olup olmayacağını tartışmaktadır. Veri iletişim hızı ve çalışma frekansı 802.11a ile aynı olan ancak ilave olarak TPC ve DFS özelliğine sahip olan 802.11h standartının daha başarılı olması ve 802.11a standartının yerini alması beklenmektedir.

### MMAC iletişim sistemleri

Japonya'daki kablosuz ağ standartlarına bakıldığında MMAC Promotion Council tarafından geliştirilen Multimedia Mobile Access Communications Systems (MMAC) isimli kablosuz veri iletişim sistemleri görülmektedir. MMAC sistemlerinin amacı fiber optik şebekenin devamında kesintisiz yüksek hızda veri transferi gerçekleştirmek olarak belirtilmektedir [76]. dört ayrı grup olarak tanımlanmış olan MMAC sistemlerinin genel özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

\* Yüksek Hızlı Kablosuz Erişim (High Speed Wireless Access) : 25/40/60 GHz frekans bantlarını kullanarak 30 Mbps hızında veri iletişimi gerçekleştiren kablosuz erişim sistemidir. Bu sistem yüksek özellikte görüntülü telefon (high feature video telephone) uygulaması için tasarlanmıştır.

\* Ultra Yüksek Hız Kablosuz Ağ (Ultra high speed wireless LAN) : 30-300 GHz frekanslarında 56 Mbps hızında veri iletişimi sağlayan kablosuz ağ sistemleridir. Bu sistem yüksek kaliteli TV konferansı için geliştirilmiştir.

\* 5 GHz Frekans Bandlı Mobil Erişim (5 GHz Band Mobile Access) : 5 GHz frekans bandını kullanan ATM tipi kablosuz erişim ve Ethernet tipi kablosuz ağ uygulamalarıdır. 20-25 Mbps hızında veri iletişimi gerçekleştirmek ve çoklu ortam uygulamaları veri aktarımı için geliştirilmiştir.

\* Kablosuz Ev bağlantıları (Wireless Home-Link) : SHF ve diğer frekans bantlarını (3-60 GHz) kullanarak 100 Mbps hızında veri iletişimi gerçekleştirmek, veri aktarmak, PC ve diğer ses/görüntü cihazları arasındaki çoklu ortam bilgilerini aktarmak için geliştirilmiştir.

### 2.11.2. Bağımsız organizasyonlar

ETSI, IEEE ve MMAC'da yürütülen çalışmaların haricinde kablosuz ağ teknolojisi ve uygulamaları ile ilgili çok sayıda organizasyon da faaliyet göstermektedir. Organizasyonlar hem standart çalışmalarına katılmaktadır, hem de kablosuz ağ sistemleri ile ilgili çeşitli faaliyetlerde bulunmaktadır. Önemli bağımsız organizasyonlar ve yürütülen çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

*Wi-Fi Alliance* : Eski adı Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) olan Wi-Fi Alliance, IEEE 802.11 standartlarında çalışan ürünlerin kullanımı ve benimsenmesini teşvik etmek ve sertifikalandırmak üzere kurulmuştur. En önemli görevi IEEE 802.11 standartını kullanan ürün ve servisleri tanıtıcı logo (işaret) sağlamaktır [55]. Wi-Fi Alliance bu amaçla California'da ve Florida'da birer belgelendirme laboratuvarı kurmuş ve ayrıca İngiltere, Japonya ve Tayvan'da birer laboratuvarı yetkilendirmiştir [55, 58]. Bu laboratuvarlar çizelge 2.21'de verilmiştir.

Çizelge 2.21. Kablosuz ağ sertifikasyon laboratuvarları [55].

Amerika	California Lab (Santa Clara), Florida Lab (Melbourne)
Avrupa	U.K. Lab (Winneresh, England)
Japonya	Japan Lab (Tokyo)
Tayvan	Taiwan Lab (Taipei)

Sektörün önde gelen şirketlerinden 3Com, Cisco, Intel, Texas Instruments, Apple, Breezecom, Cabletron, Compaq, Dell, Fujitsu, IBM, Intersil, Lucent Technologies, Nokia, Samsung, Symbol Technologies, Wayport, ve Zoom bu organizasyona üyedir. İlk başlarda sadece kablosuz ağ uyumluluğunu göstermek üzere kullanılan Wi-Fi logosu standart sayısının artması ile birlikte zorunlu olarak çeşitlendirilmiştir. Bu kapsamda IEEE 802.11a, IEEE 802.11b ve IEEE 802.11g standartlarını gösteren logolar geliştirilmiştir.

*WLAN Interoperability Form (WLIF)* : WLIF, Mayıs 1996'da kablosuz ağ ürünleri için açık protokol geliştirmek üzere oluşturulmuştur [59]. Bu form IEEE 802.11 komitesinden bağımsızdır ve kablosuz ağların birlikte çalışılabilirliğine odaklanmıştır. Casio, Veri General, Fujitsu, HP, IBM, Intermec, Mitsubishi, Motorola, Proxim şirketleri WLIF formu üyeleridir ve bu formun kablosuz ağ teknolojisini duyurmak ve işbirliği yapmak isteyen her şirkete açık olduğu belirtilmektedir.

*Wireless LAN Association (WLANA)* : WLANA, kablosuz ağ pazarındaki Broadcom, Cisco System, CWNP, ENTERASYS, Intersil, Intermec ve Signa Services gibi elektronik parça (komponent) ve cihaz üreticisi on üyeden oluşmakta ve yaklaşık yirmi beş firma tarafından desteklenmektedir [59]. WLANA, kâr amacı gütmeyen kablosuz ağ teknolojisini tanıtmak, öğretmek ve yaygınlaştırmak için kurulmuştur. Dernek kablosuz ürünlerin ve bu ürünleri kullanmanın faydalarını anlatmakta, kablosuz ağ sistemleri hakkında teknik bilgiler sunmakta ve yeni gelişmeleri duyurmaktadır. Çeşitli pazarlarda kablosuz ağ sistemlerinin rekabetçi yönlerinin nasıl sunulabileceği hususunda bilgiler verilmektedir [60].

*HiperLAN2 Global Form (H2GF)* : H2GF, dünya genelinde 14 Eylül 1999'da Atlanta ve Londra'da aynı anda başlatılmıştır. Kurucu üyeleri Tenovis (Bosch), Dell, Ericsson, Nokia, Telia ve Texas Instruments şirketleridir. Bu grubun amacı da HiperLAN2 standartının iş yerlerinde, bireysel

kullanıcılar arasında ve sanayide kullanımını yaygınlaştırmak, ETSI'nin belirlediği özellikleri tamamlamaktır [77]. En önemli görevi HiperLAN2 standartının 5 GHz frekansında geniş bant kablosuz iletişim teknolojisi olarak kişisel ve kurumsal alanda dünya genelinde kabul edilmesini sağlamaktır.

HiperLAN2 Avrupa merkezli bir standart olmasına rağmen dünyanın farklı bölgelerinden firmaların H2GF formuna üye oldukları görülmektedir. Bu üyeler Cambridge Silicon Radio, EMTAC Technology Corp., Mitsubishi Electric ITE, NTT, Panasonic ve Philips şirketleridir.

### **2.11.3. Düzenleyici kuruluşlar ve çalışmaları**

Son birkaç yıl içinde kablosuz ağ uygulamaları için çok sayıda standart geliştirildiği gözlenmektedir. Bu standartlar ile çok çeşitli cihaz ve sistemlerin 2.4 GHz ve 5 GHz frekans bandında çalışması beklenmektedir. Daha şimdiden 2.4 GHz frekans bandında bir yoğunluk gözlenmektedir. Ancak uygulamaların ülkelere veya bölgelere göre değiştiği, dünya genelinde tek bir standart ve düzenleme olmadığı görülmektedir. Uluslararası düzenleyici kuruluş olan ITU ve Avrupa'daki bölgesel koordinasyonu sağlayan CEPT hakkındaki tanıtıcı bilgiler ile bu kuruluşlarda kablosuz ağ sistemleri ile ilgili yürütülen çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

#### ITU (uluslararası telekomünikasyon birliği)

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union, ITU); Birleşmiş Milletler'in, uluslararası frekans tahsisi, dünya çapında telekomünikasyonun standartizasyonu ve telekomünikasyon alanındaki kalkınma faaliyetlerinden sorumlu uluslararası bir uzmanlık kuruluşudur. Dünyanın en eski uluslararası kuruluşu olan ITU'nün, 2003 yılı itibarıyla, 189 devlet ve 600'ün üzerinde sektörde üyesin bulunmaktadır [78]. ITU, ülkeler üzerinde bağlayıcılığı olan veya tavsiye niteliği taşıyan kararlar alırken kendi

yasasında belirtilen görevlerini dikkate almaktadır. ITU'nun görevleri, tüm insanlığın telekomünikasyon hizmetlerinden faydalanmasını sağlamak amacıyla, teknolojik gelişmelerin paralelinde kaynakların akılcı kullanımı ile ilgili kurallar koymak, teçhizatın kullanımı hakkında tavsiyeler geliştirmek ve sektörle ilgili tüm faaliyetleri koordine etmek şeklinde özetlenebilir.

Bu görevlerden kablosuz ağ sistemlerini ilgilendirenler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

\* Telekomünikasyon konuları ile ilgili çalışmalar başlatmak, kurallar koymak, kararlar almak, tavsiyeler ve görüşler hazırlamak, bilgi toplamak ve yayınlamak,

\* Radyo frekans spektrumunda bant ve frekans tahsisi yapmak, bunların kayıtlarını tutmak,

\* Radyo komünikasyon hizmetleri için radyo frekans spektrumun kullanımlarını geliştirmektir.

Dünya Radyokomünikasyon Konferanslarında (World Radiocommunication Conferences-WRC)'nda kabul edilen kararlarla, sabit ve sabit olmayan yörünge uyduları ve radyo frekans spektrumunun kullanılması ile ilgili uluslararası bağlayıcılığı bulunan "Radyokomünikasyon Tüzüğü" gözden geçirilmekte ve yeni düzenlemeler yapılmaktadır.

Her iki ya da üç yılda bir toplanmakta olan, Dünya Radyokomünikasyon Konferanslarından Haziran 2003'de yapılan WRC-03'de, ilk defa WLAN sistemleri gündemde yer almıştır. Bu tarihe kadar ki gelişimini ISM bandında sürdüren kablosuz ağ sistemleri radyo frekans spektrumunda yerini almıştır. 5 GHz frekans bandının kablosuz ağ sistemleri için tahsis edilmesi ve uyumlaştırılması, Haziran 2003'de yapılan WRC-03'de gündemin

1.5 maddesinde yer almış ve mobil tahsis için 5150-5350 MHz ve 5470-5725 MHz frekans bantları kablosuz ağ servisleri için görüşülmüştür. Dünya genelinde geçerli 5 GHz frekans bandındaki tahsis, üreticilerin daha ucuz cihaz üretmelerini sağlayacaktır. Çünkü aynı ürünün her yerde kullanılabilmesi tasarruf sağlamaktadır.

Şu anda Avrupa ülkeleri ve Asya-Pasifik Bölgesindeki ülkeler 5 GHz frekans bandında çalışan kablosuz ağ sistemleri için dünya genelinde ki frekans tahsisini tam olarak desteklemektedirler. Amerika ise bu konferansta 5150-5350 MHz frekans bandının tahsis edilmesini desteklemektedir. ITU ise ancak 5470-5725 MHz frekans bandının halen Avrupa'daki DFS özelliği ile kullanımı sonucunda radar sistemlerini bozmadığının görülmesi halinde uygulamayı destekleyeceğini belirtmiştir.

#### CEPT (Avrupa posta ve telekomünikasyon birliği)

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından tüm dünyada geçerli olacak şekilde yapılan telekomünikasyon ile ilgili düzenlemelerin, ülkelerin ihtiyaç duyduğu veya zorunlu olduğu detaylı düzenlemelere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla dünyanın birçok kısmında bölgesel koordinasyon yapıldığı görülmektedir.

Telekomünikasyon alanındaki bölgesel koordinasyon, bölge ülkelerinin oluşturdukları örgütler vasıtasıyla yürütülmektedir. Bu örgütler; Avrupa Bölgesi için Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Birliği (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations–CEPT), Amerika Bölgesi için Amerika Bölgesi Telekomünikasyon Komisyonu (Commission for Inter-American Telecommunications-CITEL) ve Asya Pasifik Bölgesi için Asya-Pasifik Telekomünikasyon Birliği (Asia-Pacific Telecommunity-APT)'dir [53]. Türkiye'nin Avrupa Bölgesi içerisinde yer alması nedeniyle kablosuz ağ konusunda bölgesel telekomünikasyon

örgütlerinden CEPT’de yürütülen faaliyetler incelenmiştir. CEPT’in 2003 yılı itibarıyla 45 üyesi vardır. Birlik, üye ülkeler arasında işbirliği sağlayarak, posta ve telekomünikasyon alanlarında karşılaşılan sorunlara ortak çözümler bulmaya ve düzenleyici hükümler getirmeye çalışmaktadır. Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Birliği’nin elektronik haberleşme konusundaki faaliyetleri Elektronik Haberleşme Komitesi (Electronic Communications Committee–ECC) tarafından yürütülmektedir. Avrupa Radyokomünikasyon Ofisi (European Radiocommunications Office–ERO), Avrupa Radyokomünikasyon Komitesi (ERC)’ne, radyokomünikasyon konularında yardımcı olmak ve tavsiyelerde bulunmak amacıyla kurulmuştur.

Bir uzmanlık merkezi olan ERO’nun görevleri arasında; radyokomünikasyon alanındaki yeni imkânları ve problemleri belirleyerek ECC’ye tavsiyelerde bulunmak, Avrupa çapında radyo frekans spektrumunun gelecekteki kullanımı için uzun süreli taslak planlar yapmak, milli frekans idareleri ile işbirliği yapmak, frekans spektrumu ile ilgili danışmanlık hizmetlerini yönetmek, özel danışmanlık toplantıları düzenlenmesinde ECC’ye ve çalışma gruplarına yardımcı olmak bulunmaktadır. CEPT’de yürütülen faaliyetler incelendiğinde; çalışma grubu 11’de (Workgroup Radio Regulatory Project Team RR11) ve ERO’da kablosuz ağlar konusunda çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Avrupa’da kablosuz ağ sistemleri için spektrum kullanımı ERC tarafından yayımlanan ERC/REC 70-03 tavsiye kararı (Recommendation) ile düzenlenmiştir.

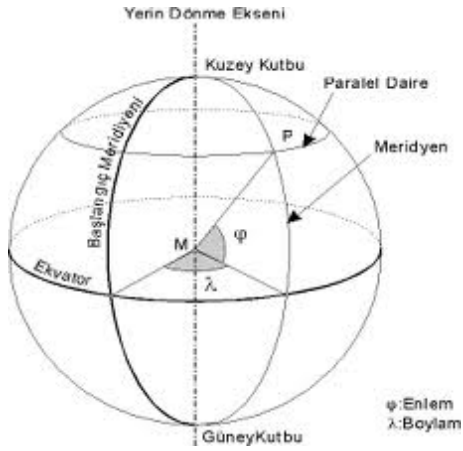


### 3. SİSTEMİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Geliştirilen sistem, çevrede bulunan AP'leri ve onların sinyal gücünü tespit edebilen bir yazılım ve bu yazılıma entegre hüzme açısı bilenen yönlendirilebilir bir antenden oluşmaktadır. Bu sistem sayesinde elde edilen AP'lerin sinyal gücünün en güçlü geldiği açı bilgisi ve sinyal gücünden hareketle hesaplanan mesafe bilgisi ile bulunulan konumun koordinat bilgileri kullanılarak hedef noktanın koordinatının tespit edilmesi mantığına dayalıdır.

#### 3.1. Koordinat Hesabı

Bulunulan konumun koordinat bilgileri bilindiğinden dolayı, aşağıdaki trigonometrik eşitlikler kullanılarak hedef noktanın konumu tespit edilebilir.



Şekil 3.1. Jeodezik daire

$\varphi_1$  = Bulunulan Noktanın Enlemi

$\lambda_1$  = Bulunulan Noktanın Boylamı

$\alpha_1$  = Bulunulan Noktadan Diğer Noktaya Olan Azimuth

$\varphi_2$  = Hedef Noktanın Enlemi

$\lambda_2$  = Hedef Noktanın Boylamı

$$\tan \sigma_1 = \tan \beta_1 / \cos \alpha_1 \quad (3.1)$$

$$\sin \alpha = \cos \beta_1 \cdot \sin \alpha_1 \quad (3.2)$$

$$A = 1 + \frac{u^2}{16384} \left\{ 4096 + u^2 \left[ -768 + u^2 (320 - 175u^2) \right] \right\} \quad (3.3)$$

$$B = \frac{u^2}{1024} \left\{ 256 + u^2 \left[ -128 + u^2 (74 - 47u^2) \right] \right\} \quad (3.4)$$

$$2\sigma_m = 2\sigma_1 + \sigma \quad (3.5)$$

$$\Delta\sigma = B \sin \sigma \left\{ \cos 2\sigma_m + \frac{1}{4} B \left[ \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2 2\sigma_m) - \frac{1}{6} B \cos 2\sigma_m (-3 + 4 \sin^2 \sigma) (-3 + 4 \cos^2 2\sigma_m) \right] \right\} \quad (3.6)$$

$$\sigma = \frac{S}{bA} + \Delta\sigma \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.5), (3.6) ve (3.7),  $\sigma$  terimindeki değişim dikkate alınmayacak derecede küçük oluncaya kadar iterasyon yapılır. Başlangıç  $\sigma$  değeri için (3.7) eşitliğinin ilk terimi kullanılır.

$$\tan \varphi_2 = \frac{\sin \beta_1 \cos \sigma + \cos \beta_1 \sin \sigma \cos \alpha_1}{(1-f) \left[ \sin^2 \alpha + (\sin \beta_1 \sin \sigma - \cos \beta_1 \cos \sigma \cos \alpha_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3.8)$$

$$\tan \Delta\bar{\lambda} = \frac{\sin \sigma \sin \alpha_1}{\cos \beta_1 \cos \sigma - \sin \beta_1 \sin \sigma \cos \alpha_1} \quad (3.9)$$

$$C = \frac{f}{16} \cos^2 \alpha \left[ 4 + f(4 - 3 \cos^2 \alpha) \right] \quad (3.10)$$

$$\Delta \lambda = \Delta \bar{\lambda} - (1 - C) f \sin \alpha \left\{ \sigma + C \sin \sigma \left[ \cos 2\sigma_m + C \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2 2\sigma_m) \right] \right\} \quad (3.11)$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{\sin \alpha}{-\sin \beta_1 \sin \sigma + \cos \beta_1 \cos \sigma \cos \alpha_1} \quad (3.12)$$

Daha az doğruluk gerektiren durumlarda, aşağıdaki sadeleştirilmiş formüller kullanılabilir.

$$A = 1 + \frac{u^2}{256} \left\{ 64 + u^2(-12 + 5u^2) \right\} \quad (3.13)$$

$$B = \frac{u^2}{512} \left\{ 128 + u^2(-64 + 37u^2) \right\} \quad (3.14)$$

$$\Delta \sigma = B \sin \sigma \left[ \cos 2\sigma_m + \frac{1}{4} B \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2 2\sigma_m) \right] \quad (3.15)$$

### 3.2. Mesafe Hesabı

Serbest Uzay Kaybı ( $L_{fs}(db)$ ) = Alıcının Çıkış Gücü ( $P_{\zeta}(db)$ ) - Zayıflama Bozulması ( $Z_b(db)$ ) - Kablo Kaybı ( $K_k(db)$ ) + Alınan Güç ( $RSSI(db)$ )

Sistem tasarımında kullanılan alıcının çıkış gücü, bulunulan bölgenin yaklaşık zayıflama bozulması ve sistem tasarımında kullanılan kablo kaybı ile alınan güç seviyesinden hareketle serbest uzay kaybı yukarıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$S = 10^{\left( \frac{L_{fs}(db) - 32,4 - 20 \log\left(\frac{f_a + f_{\ddot{u}}}{2}\right)}{20} \right)} \quad (3.16)$$

$$S = 10^{\left( \frac{L_{fs}(db) - 100}{20} \right)} \quad (3.17)$$

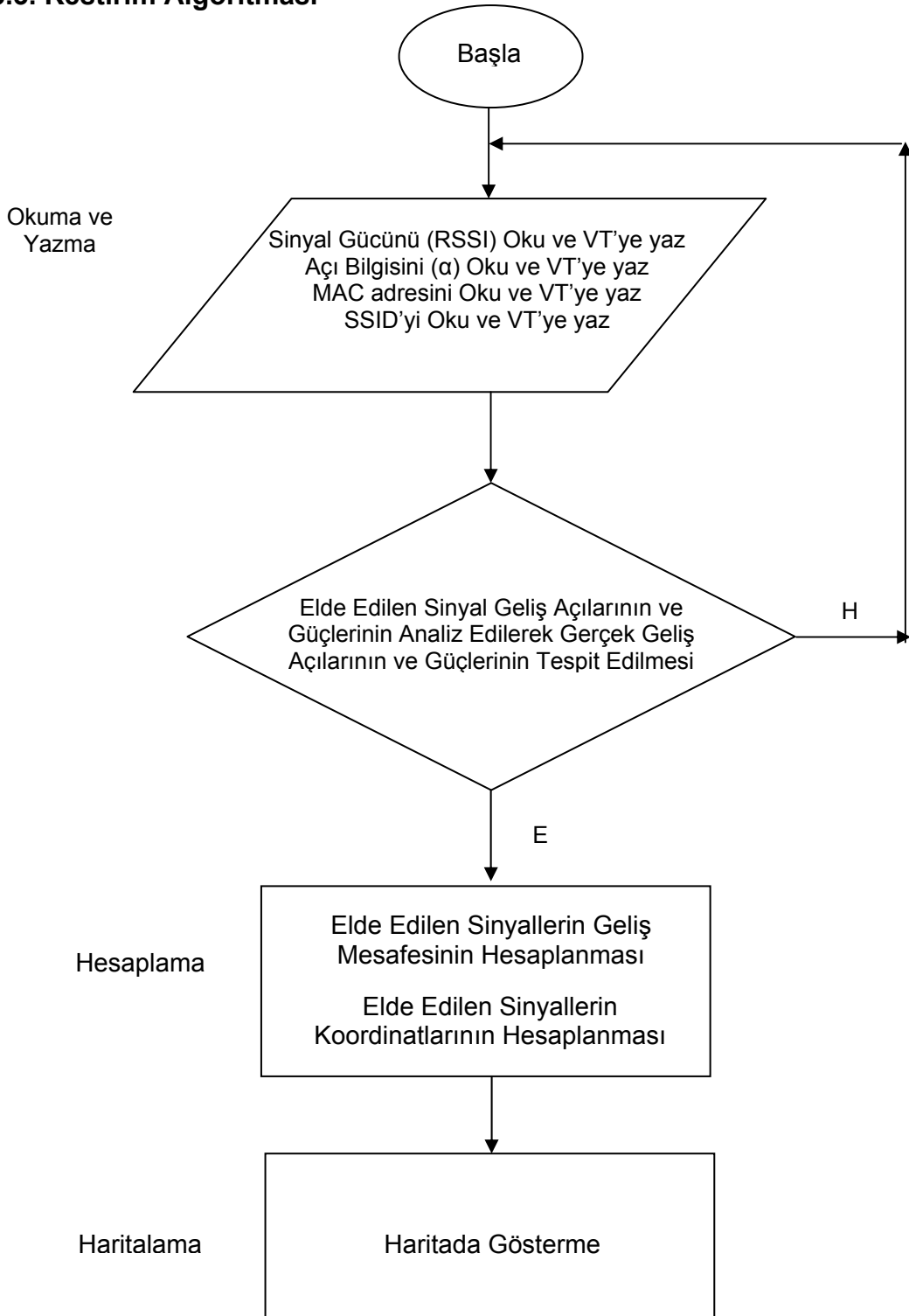
$S$  = Mesafe

$f_a$  = Alt frekans (2400 MHz)

$f_{\ddot{u}}$  = Üst frekans (2483.5 MHz)

Hesaplanan serbest uzay kaybı değerinden hareketle de 3.16'da verilen eşitlik kullanılarak elde edilen sinyalin geliş mesafesi hesaplanabilir.

### 3.3. Kestirim Algoritması



Şekil 3.2. Kestirim algoritması

### 3.4. Kullanılan Donanımlar ve Yazılımlar

Geliştirilen sistemde donanım olarak bir adet kablosuz usb adaptör (Alfa), bir adet step motorla entegre edilmiş parabol grid yönlü anten ve bir adet bilgisayar, yazılım olarak ise kablosuz erişim noktası tespit programı (yeni geliştirilen), haritalama yazılımı (Google Earth) ve SQL (veritabanı) yazılımı kullanılmıştır.

#### 3.4.1. Kablosuz usb adaptör (Alfa)

AWUS036NH, IEEE 802.11b/g/n standartında, 2.4 GHz frekans bandında 150 Mbps'a kadar veri iletişimi yapabilen bir kablosuz usb adaptördür. AWUS036NH ile 2.4 GHz frekans bandında çalışan kablosuz cihazlar tespit edilebilir ve istenilen kablosuz AP'lerle bağlantı sağlanabilir [103].



Şekil 3.3. Kablosuz usb adaptör

Çizelge 3.1. Kablosuz usb adaptör özellikleri

ÜRÜN ÖZELLİKLERİ	
Standartlar	IEEE 802.11b/g/n USB 2.0 standardı
Data Oranları	802.11b: UP to 11 Mbps 802.11g: UP to 54 Mbps 802.11n: UP to 150 Mbps
İşletim Sistemleri Desteği	Windows 2000 Windows XP Windows Vista Windows 7
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Chipset	RT3070
DONANIM	
Anten	5 dBi 2.4 GHz Anten
Frekans Aralığı	2.412~2.483 GHz
Kanallar	1~11 kanallar (Kuzey Amerika) 1~13 kanallar (Avrupa Geneli) 1~14 kanallar (Japonya)
Güç Çıkışı	802.11b 33 dBm±1 802.11g 32 dBm±1 802.11n (HT20) 32 dBm±1 802.11n (HT40) 33 dBm±1
Hassasiyet	11b: -92 dBm 11g: -76 dBm 11n: -73 dBm
Data Modülasyon Tipi	BPSK, QPSK ve OFDM
Gizlilik	WEP 64/128, WPA-WPA II

Bu cihazın hassasiyetinin normal AP'lere göre yüksek olmasından dolayı, daha uzak mesafelerdeki AP'lerden bize kadar ulaşan çok düşük seviyedeki sinyallerin alınabilmesi sağlanmıştır.

#### **3.4.2. 24 dBi kazançlı 2.4 GHz frekansında grid yönlü anten**

Doğrusal antenler, dar bir açıda sinyal göndererek, maksimum sinyal gücü elde etmek ve uzun mesafelere erişmek için kullanılır. Dar bir açıda sinyal gönderimi maksimum mesafe erişimi sağlar. Bu anten, alıcımıza gelen sinyallerin hangi açıyla bize ulaştığının tespiti için kullanılmıştır [108].

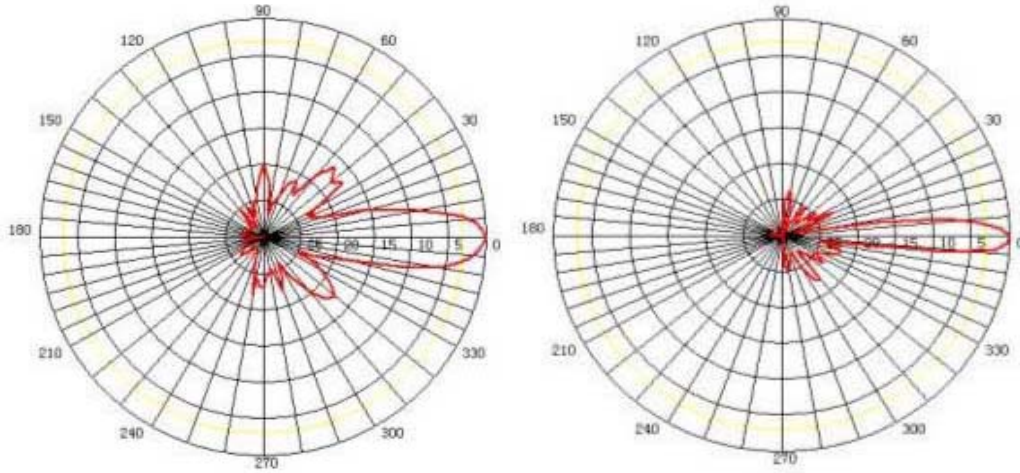


Şekil 3.4. 24 dBi 2.4 GHz grid yönlü anten



Çizelge 3.2. 24 dBi 2.4 GHz grid yönlü anten

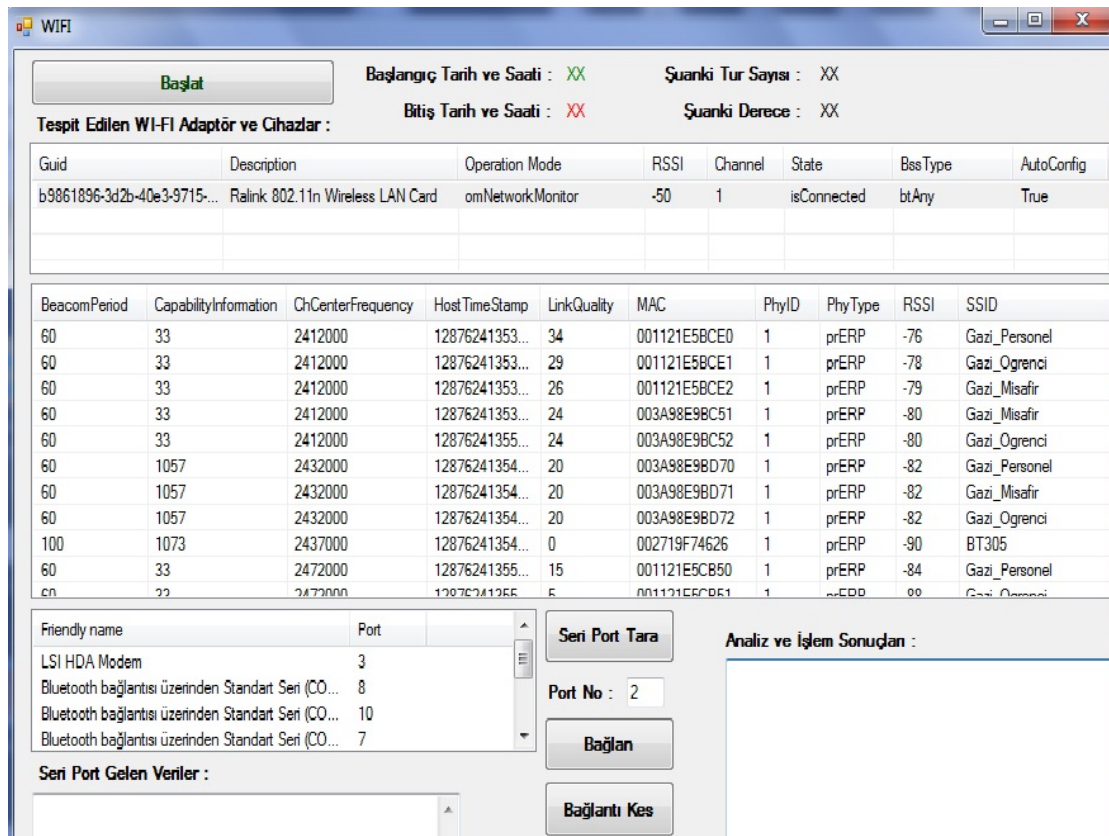
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	
Frekans Aralığı	2.4 GHz - 2,5 GHz
Empedans	50 Ohm
Kazanç	24 dBi
VSWR	$\leq 1,5$
Yatay Işın Genişliği	14°
Dikey Işın Genişliği	10°
Polarizasyon	Dikey ya da Yatay
Maksimum Giriş Gücü	100 W
Uygulama	Dış Ortam



Şekil 3.5. Yönlü anten için ışınma örüntüleri (Yatay ve Dikey)

### 3.4.3. Kablosuz erişim noktası tespit programı

Geliştirilen program, kablosuz erişim noktalarının tespit edilebildiği, tespit edilen bu erişim noktalarının sinyal kalitesinin ölçülebildiği, otomatik olarak dönebilen bir yönlü anten ile entegre çalışan bir programdır. Bu program vasıtasıyla, tespit edilen AP'lerin sinyal seviyesi ile antenin taradığı açı bilgisi elde edilir ve elde edilen veriler bir veritabanına yazılır. Daha sonra yine geliştirilen program vasıtasıyla, bu veriler kullanılarak bir konum tespit analizi yapılır ve tespit edilen konum bilgileri bir haritada gösterilir. Söz konusu program .Net platformunda geliştirilmiştir. Veritabanı olarak ise SQL programı kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Geliştirilen kablosuz erişim noktası tespit programı.

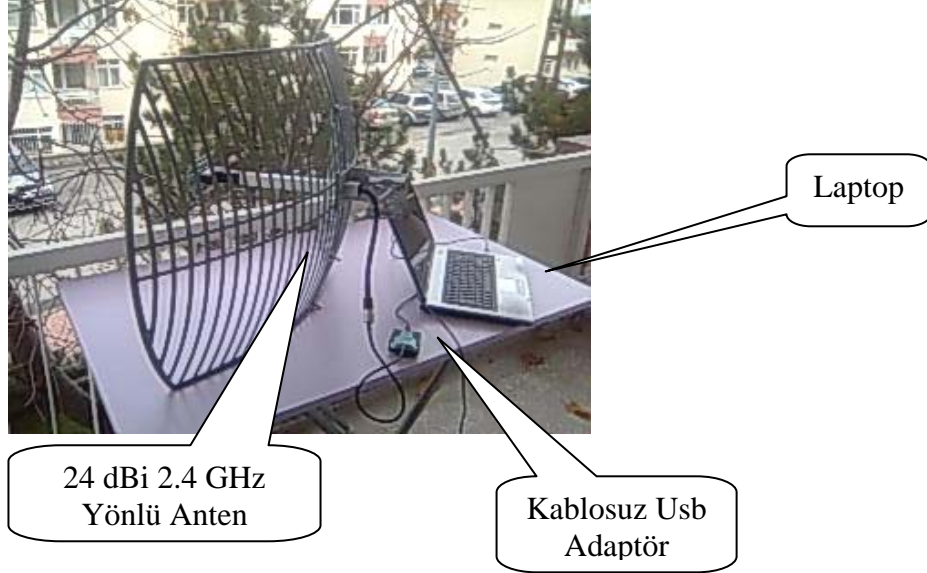
#### 3.4.4. Haritalama programı

Uydu görüntüleriyle dünya üzerinde görmek istediğiniz yerleri inceleyebildiğimiz bir programdır. Bu program tespit edilen AP'lerin haritadaki yerinin görülebilmesi için kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Haritalama programı (Google Earth)

### 3.5. Sistem Entegrasyonu



Şekil 3.8. Sistem entegrasyonu

Sistem Entegrasyonu (Laptop + Kablosuz Usb Adaptör + Yönlü Anten)

#### 3.5.1. Sistemin çalışma prensibi

Bir sinyalin yerinin tespit edilmesi için alınan sinyalin gücü ve geliş açısının bilinmesi gereklidir. Alıcımıza gelen sinyalin gücü alışı hassasiyeti daha yüksek bir kablosuz alıcı ve bir yazılım kullanarak tespit edilmektedir. Gelen sinyalin yönü ise yönlü anten kullanılarak tespit edilmektedir. Yönlü antenimiz (yatay ışın genişliği  $15^\circ$  olduğu için),  $15$ 'er derece aralıklarla belirlenen süre kadar döndürülmekte ve böylece gelen sinyalin açısı tespit edilmektedir. Sinyalin geliş mesafesi ise elde ettiğimiz sinyal gücünden ve görüş hattı iletiminde sinyalin uğradığı zayıflama hesaplamalarından faydalanılarak tespit edilir.



Çizelge 3.3. Koordinat Veritabanı

Alınan Güç (dB)	Çıkış Gücü (dB)	Zayıflama ve zayıflama bozulması (dB)	Hesaplamalar		Başlangıç Koordinatı	Açı	
			Free Space Loss (dB)	Mesafe (km)		15	30
-50	20	10	60	0.009	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.281861" N 32°49'15.098111" E	39°56'15.25271" N 32°49'15.189537" E
-51	20	10	61	0.010	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.313179" N 32°49'15.1090131" E	39°56'15.280788" N 32°49'15.210596" E
-52	20	10	62	0.012	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.375815" N 32°49'15.130815" E	39°56'15.336946" N 32°49'15.252716" E
-53	20	10	63	0.013	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.407133" N 32°49'15.141717" E	39°56'15.365025" N 32°49'15.273775" E
-54	20	10	64	0.015	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.469768" N 32°49'15.163519" E	39°56'15.421183" N 32°49'15.315895" E
-55	20	10	65	0.017	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.532404" N 32°49'15.185322" E	39°56'15.47734" N 32°49'15.358014" E
-56	20	10	66	0.019	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.59504" N 32°49'15.207124" E	39°56'15.533498" N 32°49'15.400133" E
-57	20	10	67	0.021	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.657676" N 32°49'15.228927" E	39°56'15.589656" N 32°49'15.442253" E
-58	20	10	68	0.023	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.720311" N 32°49'15.25073" E	39°56'15.645813" N 32°49'15.484372" E
-59	20	10	69	0.02692	39°56'15" N 32°49'15" E	39°56'15.843078" N 32°49'15.293463" E	39°56'15.755882" N 32°49'15.566926" E

Son olarak ise haritacılıkta kullanılan koordinat hesaplamalarından hareketle, bir noktasının koordinatları, iki nokta arasındaki mesafe ve bu iki nokta arasındaki doğrultunun +X eksenini ile yaptığı açı (azimuth açısı) bilindiğine göre, koordinat hesaplamaları kullanılarak hazırlanmış veritabanından ikinci noktasının koordinatları elde edilir ve daha sonra elde edilen konum bilgileri "Google Earth" programı üzerinde gösterilir.

En son olarak ise konumları tespit edilen AP'lerin doğruluk testleri yapılmıştır. Yapılan testlere göre tespit edilen 43 adet AP'nin konumu 5-200 m doğrulukla tespit edilmiştir.



Şekil 3.9. Google Earth programı üzerine konumu işlenmiş AP'ler.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, açık alanlarda sinyal yayımlayan vericilerin konumlarının tespiti amacıyla bir yazılım ve donanımdan meydana gelen yeni bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemle 43 adet kablosuz erişim noktasının konumu 5-200 m doğrulukla tespit edilmiştir.

Literatür taraması yapıldığında, açık alanlarda sinyal yayımlayan AP'lerin konumunu tespit etmeye yarayan yeni geliştirilmiş sisteme benzer bir sistem bulunmadığı görülmüştür. Fakat aşağıdaki tabloda da görüleceği üzere farklı alanlar için geliştirilmiş olan diğer konumlama sistemlerinde uygulanan kestirim tekniğine bağlı olarak 5 m doğruluğa kadar konum tespitinin yapılabildiği görülebilmektedir.

Söz konusu yeni geliştirilen sistemin konum tespitinin doğruluğunun çok hassas olmasının pek önemi yoktur. Çünkü bu çalışmanın temel amacı kablosuz erişim noktalarının konumunun net olarak tespitinden ziyade, belirli bir bölgedeki kablosuz erişim noktalarının bulunduğu bölgenin yani belirli bir alanın tespit edilebilmesidir.

Bir diğer taraftan geliştirilen sistemin şehirleşmenin daha az olduğu kırsal bölgelerde (karakol vb.) kullanılacağı düşünüldüğünde, yapılan konum tespitinin tatmin edici sonuçlar doğuracağı öngörülmektedir.

Sistem, alıcı hassasiyetinin artırılması ve yönlü antenin yansımadan daha az bir şekilde etkileneceği daha yüksek bir yere çıkarıldığında, yansıma ve çok yolluluk parametrelerinden daha az etkileneceğinden, şehirleşmenin yoğun olmadığı bölgelerde daha hassas sonuçlar elde edileceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.1. Konum tahmin methodları, teknolojileri ve doğrulukları

KARAKTERİSTİKLER		
METHOD	TEKNOLOJİ	DOĞRULUK
Hücre-Kimlik	Hepsi	100 m-3 Km
TA ile Hücre-Kimlik	GSM	500 m
A-FLT	CDMA	50-200 m
EOTD	GSM	50-200 m
A-GPS	Hepsi	5-30 m
TDOA	Hepsi	100-200 m
AOA	Hepsi	100-200 m
Yeni Geliştirilen	WiFi	5-200 m

Bununla birlikte, son zamanlara yaygınlaşan 3G haberleşme sistemlerinin ülkemizdeki kapsama alanının önümüzdeki yıllarda % 100 seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Ülkemiz haberleşme sistemlerinin düzenleyici kurumu olan “Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu” 3G haberleşme sistemi için 2.1 GHz frekans bandını tahsis etmiştir.

Geliştirilen sistem 2.4 GHz frekans bandında yayılan sinyallerin konumunun tespitinde kullanıldığından dolayı ve yakın frekanslardaki sinyal yayılımlarının benzer olacağından hareketle, söz konusu sistemde kullanılan yazılımda yapılacak ufak değişiklikler ve ilave donanımlar ile (2.1 GHz frekansında sinyal alabilen bir anten entegre edilmesiyle), belirli bir bölgedeki 3G haberleşmesini kullanan kötü niyetli kişilerin konumlarının da tespit edilebileceği değerlendirilmektedir.



Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, benzer konum tespit sistemlerinin ağırlıklı olarak kapalı alanlar için geliştirildiği, açık alanlarda 2.4 GHz frekans bandında sinyal yayımlayan AP'lerin konumunun tespiti ile yeni birkaç çalışmanın yapıldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, 2.4 GHz frekans bandında dış ortamlarda sinyal yayımlayan vericilerin konumunun tek ve sabit bir noktadan, maliyeti etkin, kurulumu kolay ve pasif bir sistem ile tespit edilebildiği bu çalışmanın, dış ortamlarda 2.4 GHz frekans bandında sinyal yayımlayan AP'lerin konum tespiti ile ilgili yapılacak çalışmalara ışık tutacağı değerlendirilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Caffery, J. J., "Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems", **Boston : Kluwer Academic Publishers**, (2000).
2. İnternet : IEEE, "IEEE 15-03-0489-03-004a Application Requirement Analysis 031127 v.0.4", <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>, (2011).
3. Schilit, B., La. Marca, A., Borriello, G., Griswold, W. G., McDonald, D., "Ubiquitous location-aware computing and the place lab initiative", **1st. ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots**, September, (2003).
4. Gutierrez, J., "Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LRWPANs)", **IEEE P802.15.4a/D4 (Amendment of IEEE Std 802.15.4), Part 15.4**, July, (2006).
5. Commission, F. C., "Revision of the commissions rules to insure compatibility with enhanced 911 emergency calling systems", **FCC Docket No. 94-102**, July, (1996).
6. Faloutsos, M., Faloutsos, P. ve Faloutsos, C., "On power-law relationships of the Internet topology", **Proc. Sigcomm**, 251–262, (1999).
7. Alderson, D., Li, L., Willinger, W. ve Doyle, J., "Understanding internet topology : principles, models and validation", **IEEE/ACM Transaction on Networking vol. 13 no. 6**, 1205–1218, (2005).
8. Gezici, S., "A survey on wireless position estimation", **Wireless Personal Communications**, 44, 263–282, (2008).

9. Bahl, P. ve Padmanabhan, V. N., "RADAR : An in-building RF-based user location and tracking system", **IEEE INFOCOM**, 775–784, (2000).
10. Ladd, A. M., Bekris, K. E., Rudys, A., Marceau, G., Kavraki, L. E. ve Wallach, D. S., "Robotics-based location sensing using wireless", **Wireless Networks (The Journal of Mobile Communication, Computation and Information)**, Volume 11, Number 1-2, p.189-204, (2005).
11. Youssef, M., Agrawala, A. ve Shankar, U., "WLAN location determination via clustering and probability distributions", **University of Maryland**, College Park, MD, Tech. Rep., March, (2003).
12. Want, R., Hopper, A., Falcao, V. ve Gibbons, J., "The active badge location system", **ACM Transactions on Information Systems**, vol. 10, pp. 91–102, January, (1992).
13. Harter, A., Hopper, A., Steggles, P., Ward, A. ve Webster, P., "The anatomy of a context-aware application", **ACM MOBICOM**, Seattle, Washington, August, (1999).
14. Priyantha, N., Miu, A., Balakrishnan, H. ve Teller, S., "The cricket compass for context-aware mobile applications", **ACM MOBICOM**, Rome, Italy, July, (2001).
15. Nasipuri, A. ve Najjar, R. E., "Experimental evaluation of an angle based indoor localization system", **WINMee**, Boston, MA, April, (2006).
16. Rappaport, T.S., "Wireless Communications Principles and Practice", **Prentice Hall**, (1996).

17. D. Niculescu ve B. Nath, "VOR base stations for indoor 802.11 positioning", **ACM MOBICOM**, (2004).
18. Akella, A., Judd, G., Steenkiste, P. ve Seshan, S., "Self management in chaotic wireless deployments", **ACM MOBICOM**, Cologne, Germany, August, (2005).
19. İnternet : CHASKA, "Chaska Wireless Solutions", [http:// www .chaskamn. com/internetsolutions/network\\_expanded\\_technology.cfm](http://www.chaskamn.com/internetsolutions/network_expanded_technology.cfm), (2011).
20. Cheng, Y. C., Chawathe, Y., LaMarca, A. ve Krumm, J., "Accuracy characterization for metropolitan-scale wi-fi localization", **MOBISYS**, pp. 233–245, (2005).
21. Navda, V., Subramanian, A. P., Dhanasekaran, K. A., Timm-Giel ve S., R., Das, "MobiSteer : Using steerable beam directional antenna for vehicular network access", **MOBISYS**, San Juan, Puerto Rico, June, (2007).
22. Muñoz, D., Bouchereau, F., Vargas, C., Enriquez-Caldere, R., "Position location techniques and applications", **Elsevier**, 67-99, (2009)
23. Gustafson, F., "Mobile positioning using wireless networks", **IEEE Signal Processing Mag.**, vol. 22, no. 4, pp. 41-53, July, (2005).
24. Ahonen, S., Laitinen, H., "Veribase correlation method for UMTS location", **IEEE Vehicular Technology Conference**, VTC03, 2696-2700, April, (2003).
25. Ding-Bing, L., Rong-Teng, J., "Mobile location estimation based on differences of signal attenuations for GSM systems", **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 54 (4), 1447-1453, (2005).

26. Caffery, J. J., Stuber, L., "Overview of radiolocation in CDMA cellular systems", *IEEE Communications Magazine*, 36 (4), 38-45, (1998).
27. Zhao, Y., "Standardization of mobile phone positioning for 3G systems", *IEEE Communications Magazine*, 40 (7), 108-116, (2002).
28. Subramanian, A. P., Deshpande, P., Gao, J., Das, S. R., "Drive-by localization of roadside WiFi networks", *The 27th Conference on Computer Communications*, 718-725, (2008).
29. Internet : ITU, "Abstract", <http://www.itu.dk/people/saal/ThesisHomePage/Abstract.html>, (2011).
30. Geier, J., "Wireless LANs", *Wireless System Entegration, Second edition*, Chapter 6, Indiana, ABD, 7-10, (2002).
31. Internet : INTEL, "Exploring WLAN Solutions, What is Wireless LAN Networking?", <http://www.intel.com/business/bss/infrastructure/wireless/index.html>, (2011).
32. Internet : PALOWIRELESS "About HiperLAN2", <http://www.palowireless.com/hiperlan2/about.asp>, (2011).
33. Internet : CNN, "What Is A Wireless LAN?", <http://archives.cnn.com/2001/TECH/ptech/05/10/what.is.WLAN.idg/index.html>, (2011).
34. Internet : BOINGO, "Find Public Access Wi-Fi Hotspots Around The World", <http://www.boingo.com/>, (2011).
35. Internet : JIWIRE, "Browse Hotspots By Country", <http://www.jiwire.com/hotspot-hot-spot-directory-browse-by-country.html>, (2011).

36. İnternet : YTU, “Kablosuz Ağ Sistemleri”, <http://ytukvk.org.tr/arsiv/network.html>, (2011).
37. Özdemir, M., “Wireless LAN Technology & Security Update”, **Cisco Systems Inc.**, 3, 2003.
38. Ramadin, D. K., “Overview of Wireless Broadband Technologies”, **Intel Corporation**, 2005.
39. Prasad R., Muñoz L., “WLANs and WPANs towards 4G wireless”, **Fundamentals of WLAN**, London, 133-134, 2003.
40. Lansford, J., “Convergence of wireless PANs”, **LANs and WANs**, 1-7, 2007.
41. JOSE, S., “Intel Outlines Broadband Wireless Vision”, **Intel Press Release**, 2004.
42. İnternet : INTEL, “Built For Wireless”, [http://www.intel.com/products/mobiletechnology/wireless.html?mobiletech\\_wireless.html](http://www.intel.com/products/mobiletechnology/wireless.html?mobiletech_wireless.html), (2009).
43. İnternet : ARIB, “Target Specification of MMAC”, <http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/5-STD-T75v10-E2.pdf>, (2011).
44. Patil B., “IP in wireless networks”, **Pearson Education Ltd.**, Chapter Eleven, London, 2003.
45. İnternet : IET, “Guide to Wireless LAN Technologies”, [http://www.iet.unipi.it/f.giannetti/documenti/wlan/Data/refer/wlan\\_wp.pdf](http://www.iet.unipi.it/f.giannetti/documenti/wlan/Data/refer/wlan_wp.pdf), (2011).

46. İnternet : PALOWIRELESS, “HomeRF Overview and Market Positioning”, <http://www.palowireless.com/homerf/homerf.asp>, (2011).
47. İnternet : TECHTARGET, “Definitions”, <http://searchnetworking.techtarget.com/resources/Network-Hardware?BucketCode=DEF&pageNo=1>
48. İnternet : HOMENET, “Technology Overview of HomeRF 2.0”, <http://www.homenethelp.com/web/explain/about-homerf-2b.asp>, (2011).
49. İnternet : CORANTE, “When Will Wireless be Ready?”, <http://www.corante.com/bottomline/20030101.html>, (2011).
50. İnternet : NETSİS, “Kablosuz Teknoloji (Wireless Technology)”, [www.ndn.netsis.com.tr/GokselUCER/Master/kablosuzaglar.doc](http://www.ndn.netsis.com.tr/GokselUCER/Master/kablosuzaglar.doc), (2011).
51. Baykal, N., “Bilgisayar Ağlarının Temelleri”, **EMO**, Ankara, 21-27, 2003.
52. Minoli, D., “Wireless Technologies : WPAN, WLAN, and WWAN”, **Telecommunications Technology Handbook**, Chapter 8, Second Edition, London, 245-335, 2003.
53. Lee, J. Y., Scholtz, R. A., “Ranging in a dense multipath environment using an UWB radio link”, **IEEE J. Select. Areas Commun.**, vol. 20, no. 9, 1677-1683, 2002.
54. İnternet : TAPR, “VHF/UHF/Microwave Radio Propagation : A Primer for Digital Experimenters”, <http://www.tapr.org/ve3jf.dcc97.html>, (1997).
55. İnternet : Wi-Fi, “Wi-Fi CERTIFIED Certification Logo; Standart Indicator Icons”, [http://www.wi-fi.org/files/Logo\\_Usage\\_Instructions\\_Wi-Fi\\_CERTIFIED.pdf](http://www.wi-fi.org/files/Logo_Usage_Instructions_Wi-Fi_CERTIFIED.pdf), (2011).

56. Internet : INTERNETNEWS, "802.11g Faces its Final Hurdle", [http://www.internetnews.com/bus-news/print.php/9\\_801211](http://www.internetnews.com/bus-news/print.php/9_801211), (2004).
57. Internet : HIGHBEAM, "Worldwide 802.11 Market Exceeds \$500 Million in 4Q03", <http://www.highbeam.com/doc/1G1-113143296.html>, (2004).
58. Internet : CONVERGEDIGEST, "News and Resources on the Convergence of Broadband Networking Technologies", <http://www.convergedigest.com/WiFi/wlanarticle.asp?ID=4262>, (2011).
59. Internet : WLAN, "The Wireless LAN Association (WLANA)", <http://www.wlan.org/memb/index.html>, (2010).
60. Internet : WLANA, "The Wireless LAN Association (WLANA), About WLANA", <http://www.wlana.org/about/index.html>, (2011).
61. Patil, B., "IP in wireless networks", **Pearson Education Ltd.**, Chapter Eleven, London, January 31, (2003).
62. Internet : DELLORO, "Worldwide 802.11 Market Grew 21 % in 4Q01", <http://www.delloro.com/news/2002/021402.html>, (2011).
63. Internet : DELLORO, "Worldwide 802.11 Market Grew 8% in 2Q02", <http://www.delloro.com/news/2002/081502a.html>, (2011).
64. Internet : WI-PLANET, "Synergy Sees WLAN Growth", <http://www.wi-fiplanet.com/news/article.php/1143771.html>, (2010).
65. Internet : WEB-JAPAN, "Wireless LANs Becoming Commonplace in Japan", [http://web-japan.org/trends01/article/020910bus\\_r.html](http://web-japan.org/trends01/article/020910bus_r.html), (2008).



66. KOÇBAŞ A. Ç., “Uluslararası Kuruluşların Telekomünikasyon Alanındaki Faaliyetleri, Kurumumuzun Bu Kuruluşların Faaliyetlerine Katkısı Hususunda Kurumsallaşması Amacıyla Yapılması Gerekenler Ve Ülke Örneklemeleri”, Uzmanlık Tezi, **Telekomünikasyon Kurumu**, Ankara, 67-89, (2003).
67. İnternet : ETSI, “ETSI HIPERLAN/2 Standart”, <http://portal.etsi.org/portal/server.pt/community/home/312>, (2011).
68. İnternet : ETSI, “Hiperlan2, hiperaccess”, <http://portal.etsi.org/portal/server.pt/community/home/312>, (2011).
69. ETSI, “European Telecommunications Standarts, Radio Equipment and Systems (RES) Wideband transmission systems Technical characteristics and test conditions for veri transmission equipment operating in the 2.4 GHz ISM band and using spread spectrum modulation techniques”, **ETSI**.
70. 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](http://www.ieee.org/portal/index.jsp?pageID=corp_level1&path=about&file=index.xml&xsl=generic.xsl), (2011).
71. DEMİR, T., “Member of Computer Networks Research Laboratory”, **IEEE 802.11 Tutorial (short and revised version on IEEE 802.11 standarts)**.
72. İnternet : ALVARINUSA, “Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) vs. Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) in the Broadband Wireless Access and WLAN Arena”, [http://www.alvarionusa.com/RunTime/Materials/KnowledgePoolFile/C3\\_freq\\_hop\\_vs\\_direct\\_seq.pdf](http://www.alvarionusa.com/RunTime/Materials/KnowledgePoolFile/C3_freq_hop_vs_direct_seq.pdf), (2010).

73. İnternet : NETWORK, "Network Magazine, Emerging Technology : WLAN Standart", [http://www.networkmagazine.com/article/NMG20020206S\\_0006](http://www.networkmagazine.com/article/NMG20020206S_0006), (2011).
74. Nurflus P., "Silicon Solutions for 5 GHz Wireless Networking, Wireless Networking In The 5 GHz Band", ***The Real Benefits A Technology White Paper.***
75. İnternet : IEEE, "Status of Project IEEE 802.11g, Standart for Higher Rate (20+Mbps) Extensions in the 2.4 GHz Band", [http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgg\\_update.html](http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgg_update.html), (2011).
76. İnternet : ARIB, "Multimedia Mobile Access Communication Systems Promotion Council, What is MMAC?, System outline of MMAC, Target Specification of MMAC", <http://www.arib.or.jp/mmac/e/index.html>, (2010).
77. İnternet : HIPERLAN2, "HiperLAN2 Global Forum, FAQ's, What is the HiperLAN2 Global Forum (H2GF)?, What Is The Purpose of The H2GF?, Who Are The Founding Members?", <http://www.hiperlan2.com/faq.asp>, (2011).
78. Gezici, S., Tian, Z., Giannakis, G. B., Kobayashi, H. A., Molisch, F., Poor, H. V. ve Sahinoglu, Z., "Localization via ultra-wideband radios : a look at positioning aspects for future sensor networks", ***IEEE Signal Processing Mag.***, vol. 22, no. 4, 70-84, (2005).
79. Gustafsson, F., Gunnarsson, F., "Mobile positioning using wireless networks", ***IEEE Signal Processing Mag.***, vol. 22, no. 4, 41-53, (2005).

80. Weiss, A. J., "Direct position determination of narrowband radio frequency transmitters", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 11, no. 5, 513-516, (2004).
81. Proakis, J. G., "Digital Communications", **4th ed. Mc Graw Hill**, (2000).
82. Caffery, J. J., "Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems", **Boston : Kluwer Academic Publishers**, (2000).
83. Lindsey, W. C. ve Simon, M. K., "Phase and Doppler Measurements in TwoWay Phase-Coherent Tracking Systems", **New York : Dover**, (1991).
84. Tseng, Y., Pan, M., Tsai, Y., "Part 15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LRWPANs)", *IEEE P802.15.4a/D4 (Amendment of IEEE Std 802.15.4)*, (2006).
85. Turin, G. L., "An introduction to matched fillters", *IRE Trans. on Information Theory*, vol. IT-6, no. 3, 311-329, (1960).
86. Gezici, S., Sahinoglu, Z., Kobayashi, Poor, H. V. ve Molisch, A. F., "A two-step time of arrival estimation algorithm for impulse radio ultrawideband systems", *in 13th European Signal Processing Conf. (EUSIPCO 2005)*, Antalya, Turkey, Sep. 4-8, (2005).
87. Yang, L. ve Giannakis, G. B., "Blind uwb timing with a dirty template", *in Proc. Intl. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 4, Montreal, Quebec, Canada, 509-512, (2004).
88. Poor, H. V., "An Introduction to Signal Detection and Estimation", **New York : Springer-Verlag**, (1994).

89. Cook, C. E. ve Bernfeld, M., "Radar Signals : An Introduction to Theory and Applications", **Academic Press**, (1970).
90. Caffery, J. J. ve Stuber, G. L., "Subscriber location in CDMA cellular networks", **IEEE Trans. Vehic. Technol.**, vol. 47, no. 2, 406-416, (1998).
91. Champagne, B., Eizenman, M. ve Pasupathy, S., "Exact maximum likelihood time delay estimation", **in Proc. International Conference of Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 1989)**, vol. 4, Glasgow, Scotland, 23-26, (1989).
92. Belanger, S. P., "Multisensor TDOA estimation in a multipath propagation environment using the em algorithm", **in Proc. 29th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers ASILOMAR**, vol. 2, 1096-1100, (1996).
93. Aatique, M., "Evaluation of TDOA techniques for position location in CDMA", **Master's Thesis Virginia Polytechnic Institute and State University**, Sep., (1997).
94. Catovic, A. ve Sahinoglu, Z., "The Cramer-Rao bounds of hybrid TOA/RSS and TDOA/RSS location estimation schemes", **IEEE Communications Letters**, vol. 8, 626-628, Oct., (2004).
95. Reza, R. I., "Veri fusion for improved TOA/TDOA position determination in wireless systems", **Ph.D. Dissertation Virginia Tech.**, (2000).
96. Nerguizian, C., Despins, C. ve Affes, S., "Framework for indoor geolocation using an intelligent system", **in Proc. 3rd IEEE Workshop on Wireless LANs**, Newton, MA, Sept., (2001).

97. Nerguizian, C., Despins, C. ve Affes, S., "Geolocation in mines with an impulse response fingerprinting technique and neural networks", ***IEEE Trans. Wireless Communications***, vol. 5, 603-611, March, (2006).
98. Cong, L. ve Zhuang, W., "Non-line-of-sight error mitigation in mobile location", ***IEEE Trans. Wireless Communications***, vol. 4, 560-573, March, (2005).
99. Casas, R., Marco, A., Guerrero, J. J. ve Falco, J., "Robust estimator for nonline-of-sight error mitigation in indoor localization", ***EURASIP Journal on Applied Signal Processing***, vol. 2006, (2006).
100. Chen, P. C., "A non-line-of-sight error mitigation algorithm in location estimation", ***in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 1999)***, vol. 1, New Orleans, LA, 316-320, Sep., (1999).
101. Caffery, J. J. ve Stuber, G. L., "Overview of radiolocation in CDMA cellular systems", ***IEEE Commun. Mag.***, vol. 36, no. 4, 38-45, Apr., (1998).
102. Al-Jazzar, S. ve Caffery, J. J., "ML and bayesian toa location estimators for NLOS environments", ***in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2002) Fall***, vol. 2, Vancouver, BC, 1178-1181, Sep., (2002).
103. İnternet : ALFA, "AWUS036NHR", <http://www.alfa.com.Tw/in/front/bin/home.html>, (2011).
104. McGuire, M., Plataniotis, K. N. ve Venetsanopoulos, A. N., "Location of mobile terminals using time measurements and survey points", ***IEEE Trans.Vehicular Technology***, vol. 52, no. 4, 999-1011, July, (2003).

105. Gezici, S., Kobayashi, H. ve Poor, H. V., "A new approach to mobile position tracking", in ***Proc. IEEE Sarnoff Symposium On Advances In Wired And Wireless Communications***, 204-207, March, (2003).
106. Lin, T.-N. ve Lin, P.-C., "Performance comparison of indoor positioning techniques based on location finngerprinting in wireless networks", ***in Proc. International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing***, vol. 2, 1569-1574, June, (2005).
107. Duda, R. O., Hart, P. E. ve Stork, D. G., "Pattern Classification", ***2nd ed. New York : Wiley-Interscience***, (2000).
108. İnternet : TP-LINK, "2.4 GHz 24 dBi Grid Parabolic Antenna", <http://www.tp-link.com/products/productDetails.asp?pmodel=TL-ANT2424B>, (2011).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YETGİN, ÖMER EMRE  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 29.06.1982, İstanbul  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (532) 739 06 25  
e-mail : omeremreyetkin@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği	2006
Lise	Kocasinan Lisesi	1999

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2011	4'üncü Ana Bkm.Mrk.K.İği	Yönetici
2011-	Kara Harp Okulu	Öğretim Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Futbol, Bilgisayar teknolojileri, Seyahat, Kayak.