

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR BÖLGENİN ELEKTROMAGNETİK ALAN ŞİDDETİ
HARİTASININ YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK
ÇIKARTILMASI**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Burçin ERKMEN

**FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr.Hamit TORPİ

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ.....	4
2.1 Kablosuz İletişimin Tarihçesi.....	4
2.1.1 Elektromagnetizmanın Keşfi.....	4
2.1.2 Radyonun İcadı.....	5
2.1.3 Araçlarda Radyo Telefonlarının Kullanılması	6
2.1.4 Bilgisayarların ve Ağların İcadı	6
2.1.5 Hücreli Sistemlerin Doğuşu	7
2.2 Kablosuz İletişim Ağları	7
2.2.1 Büyüklüklerine Göre Kablosuz Ağlar	8
2.2.1.1 Kablosuz Geniş Alan Ağları (WWAN)	9
2.2.1.2 Kablosuz Metropol Alan Ağları (WMAN).....	9
2.2.1.3 Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN).....	9
2.2.1.3.1 IEEE 802.11x	10
2.2.1.3.2 HiperLAN	12
2.2.1.4 Kablosuz Kişisel Alan Ağları (WPAN).....	12
2.2.1.4.1 Bluetooth	13
2.2.1.4.2 HomeRF.....	16
2.3 WLAN Teknolojileri.....	17
2.3.1 RF Teknolojileri	17
2.3.1.1 Dar Band Tekniği	18
2.3.1.2 Dağınık Spektrum Tekniği	18
2.3.1.2.1 Frekans Atlamalı Dağınık Spektrum (FHSS)	19
2.3.1.2.2 Düz Sıralı Dağınık Spektrum (DSSS)	20
2.3.1.2.3 Dikey Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM).....	21
2.3.2 Kızılötesi Teknolojisi.....	21
2.4 WLAN Sistemleri	22
2.4.1 WLAN Sistemlerinin Çalışma Prensipleri.....	23
2.4.2 WLAN Sistemlerinde Kullanılan Frekanslar	24

2.4.3	WLAN Sistemlerinin Mimari Yapısı.....	26
2.4.3.1	Cihazdan Cihaza Çalışma Modeli	26
2.4.3.2	Altyapı Çalışma Modeli	27
2.4.4	WLAN Sistemlerinin Avantajları.....	28
2.4.4.1	Mobil İletişim	28
2.4.4.2	Hızlı ve Kolay Kurulum.....	29
2.4.4.3	İşletme Esnekliği ve Genişletilebilirlik.....	29
2.4.4.4	Maliyet Kazancı.....	30
2.4.5	WLAN Sistemlerinin Dezavantajları.....	30
2.4.5.1	Güvenlik Problemi.....	31
2.4.5.2	Enterferans Etkisi	31
2.4.5.3	İletişim Mesafesi	32
2.4.5.4	Dolaşım Problemi	32
2.4.5.5	Mobil Cihaz Kısıtları	32
3.	MOBİL RADYO PROPAGASYONU	34
3.1	Elektromagnetik Dalga Propagasyonuna Giriş	34
3.2	Serbest Uzay Modeli.....	35
3.3	3 Temel Propagasyon Mekanizması.....	38
3.3.1	Yansıma	39
3.3.1.1	Dielektrikten Yansıma	39
3.3.1.2	Brewster Açısı	42
3.3.1.3	Mükemmel İletkenlerden Yansıma	43
3.3.2	Kırınım.....	44
3.3.2.1	Fresnel Bölge Geometrisi.....	45
3.3.2.2	Bıçak-Sırtı Kırınım Modeli	48
3.3.3	Saçılma.....	50
3.3.3.1	Radar Çapraz Kesit Modeli	51
3.4	Küçük Ölçek Zayıflama	52
3.4.1	Küçük Ölçek Çok Yollu Propagasyon.....	52
3.4.2	Küçük Ölçek Zayıflamayı Etkileyen Faktörler	53
3.4.3	Küçük Ölçek Zayıflama ile İşaretin Bozulması	54
3.4.3.1	Ricean Zayıflaması	55
3.4.3.2	Rayleigh Zayıflaması	55
3.4.3.3	İşaretin Kaybı	56
3.4.3.4	Bloklama	56
4.	BİNA İÇİ PROPAGASYON MODELLERİ	57
4.1	Serbest Uzay Propagasyon Modeli.....	57
4.2	Logaritma Uzaklık Yol Kaybı Modeli.....	57
4.3	ITU Bina İçi Propagasyon Modeli.....	57
4.4	COST-231 Çok Duvarlı Model	58
4.5	Keenan-Motley Modeli	59
5.	YAPAY SİNİR AĞLARI	60
5.1	Yapay Sinir Ağlarının Genel Bir Tanımı.....	60
5.2	Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi.....	60
5.3	Biyolojik Sinir Hücreleri.....	63
5.4	Biyolojik Sinir Ağlarından Yapay Sinir Ağlarına Geçiş	65
5.5	Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	67

5.6	Yapay Sinir Ağlarının Temel Elemanları	69
5.6.1	Veri Girişleri	69
5.6.2	Sinaptik Ağırlıklar	69
5.6.3	Toplama Fonksiyonu	70
5.6.4	Transfer Fonksiyonları	70
5.6.4.1	Doğrusal ve Doyumlu-Doğrusal Transfer Fonksiyonu	71
5.6.4.2	Sigmoid Transfer Fonksiyonu	71
5.6.4.3	Eşik Transfer Fonksiyonu	72
5.6.5	Hücre Çıkışı.....	73
5.7	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme	73
5.7.1	Eğitici Öğrenme	74
5.7.2	Eğitici Öğrenme	74
5.7.3	Takviyeli Öğrenme	75
5.8	Yapay Sinir Ağı Yapıları	76
5.8.1	Çok Katmanlı Algılayıcılar	76
5.8.2	Radyal Temelli Fonksiyon Ağları (RBF)	77
5.8.3	Genelleştirilmiş Regresyon Ağları (GRNN).....	78
5.9	Öğrenme Kuralları	79
5.9.1	Geriye Yayılım Algoritması.....	80
5.9.2	Levenberg-Marquardt Algoritması.....	83
5.10	MATLAB Programında Hazır Fonksiyon Kümesine Sahip Öğr. Algoritmaları ..	85
5.10.1	Eğim Düşme Algoritmaları	85
5.10.1.1	Temel Gradyant Düşürme	85
5.10.1.2	Momentumlu Gradyant Düşürme.....	86
5.10.1.3	Değişken Öğrenme Oranı ile Gradyant Düşürme	86
5.10.1.4	Momentumlu ve Değişken Öğrenme Oranları Gradyant Düşürme.....	87
5.10.2	Esnek Geriye Yayılım Algoritması	87
5.10.3	Konjuge Gradyant Algoritmaları.....	88
5.10.3.1	Fletcher-Reeves Güncellemesi	89
5.10.3.2	Polak-Ribiere Güncellemesi.....	89
5.10.3.3	Powell-Beale Güncellemesi	89
5.10.3.4	Ölçeklenmiş Konjuge Gradyant	90
5.10.4	Quasi-Newton Algoritmaları.....	90
5.10.4.1	BFGS Algoritması	90
5.10.4.2	Tek Adım Algoritması	90
5.10.5	Levenberg-Marquardt Algoritması.....	91
5.11	Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları	91
6.	ELEKTROMAGNETİK ALAN ÖLÇÜM İŞLEMİ	94
6.1	Ölçüm Yapılan Bina İçi Ortamların Özellikleri	94
6.1.1	Ölçüm Yapılan 1. Bina İçi Ortamın Özellikleri	94
6.1.2	Ölçüm Yapılan 2. Bina İçi Ortamın Özellikleri	95
6.2	Ölçüm İşleminde Kullanılan Yazılım ve Donanımlar	95
6.2.1	Ölçüm İşleminde Kullanılan Yazılım.....	95
6.2.2	Ölçüm İşleminde Kullanılan Donanımlar.....	97
6.2.2.1	Ölçüm İşleminde Kullanılan Erişim Noktaları.....	97
6.2.2.1.1	ASUS WL300g Erişim Noktası	97
6.2.2.1.2	CISCO AIRONET 1100 Serisi Erişim Noktası	98
6.2.2.2	Ölçüm İşleminde Kullanılan Kablosuz Ağ Kartları	100
6.2.2.2.1	INTEL Prowireless 2200BG Network Connection	100

6.2.2.2.2	ORiNOCO Gold Classic PCMCIA Kablosuz Ağ Kartı	103
6.3	Ölçüm Yöntemi	105
6.3.1	1. Bina İçi Ortam İçin Ölçüm Yöntemi	105
6.3.2	2. Bina İçi Ortam İçin Ölçüm Yöntemi	107
7.	MODELLEME İŞLEMİ	109
7.1	1. Bina İçi Ortam İçin Modelleme Sonuçları	109
7.2	2. Bina İçi Ortam İçin Modelleme Sonuçları	112
8.	SONUÇLAR ve YORUMLAR.....	115
KAYNAKLAR.....		116
INTERNET KAYNAKLARI.....		117
ÖZGEÇMİŞ.....		118

SİMGE LİSTESİ

σ	İletkenlik
ε	Bağıl geçirgenlik
λ	Dalga boyu
Γ	Yansıtma katsayısı
v	Fresnel-Kirchoff kırınım parametresi
A_e	Etkin açıklık
c	Işık hızı
μ	Manyetik geçirgenlik

KISALTMA LİSTESİ

3G	3. Nesil
AP	Erişim Noktası
DES	Veri Kodlama Standardı
DSSS	Düz Sıralı Dağınık Spektrum
EIRP	Eşdeğer İzotropik Yayılım Gücü
ETSI	Avrupa Telekomünikasyon Standardları Enstitüsü
FCC	ABD Telekomünikasyon Düzenleyici Otoritesi
FHSS	Frekans Atlamalı Dağınık Spektrum
GRNN	Genelleştirilmiş Regresyonlu Sinir Ağları
GSM	Evrensel Cep Telefonu Sistemi
HiperLAN	Yüksek Performanslı Telsiz LAN
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IrDA	Kızılötesi
ISM	Endüstriyel, Bilimsel ve Tıp
LAN	Yerel Alan Ağları
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
NIC	Kablosuz Ağ Kartı
OFDM	Dikey Frekans Bölmeli Çoklama
RBF	Radyal Tabanlı Fonksiyon
RF	Radyo Frekansı
RSSI	Alınan Sinyal Seviyesi Göstergesi
UMTS	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi
WEP	Kablolu Eşdeğeri Güvenlik
WLAN	Kablosuz Yerel lan Ağları
WMAN	Kablosuz Metropol Alan Ağları
WPA	Wi-Fi Korumalı Erişim
WPAN	Kablosuz Kişisel Alan Ağları
WWAN	Kablosuz Geniş Alan Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Büyüklüklerine göre kablosuz ağlar.....	8
Şekil 2.2 Piconet ve Scatternet	15
Şekil 2.3 Dar band ve dağınık spektrum işaretleri.....	19
Şekil 2.4 FHSS tekniğinde zaman-frekans ilişkisi	20
Şekil 2.5 DSSS tekniğinde kodlanmış veri	21
Şekil 2.6 ISM band planı.....	24
Şekil 2.7 Enterferans oluşturmayan 3 kanalın görünümü	25
Şekil 2.8 Enterferans yapmış 4 kanalın görünümü.....	25
Şekil 2.9 Cihazdan-cihaza çalışma modeli.....	27
Şekil 2.10 WLAN altyapı çalışma modeli	28
Şekil 3.1 Küçük-ölçek ve büyük-ölçek zayıflatma.....	35
Şekil 3.2 a-Gelen düzlemine paralel elektrik alan(TE)b- Gelen düzlemine dik elektrik alan (TM)	39
Şekil 3.3 TE Polarizasyonunda yansıma katsayısının farklı malzemelerde geliş açısına göre değişimi	42
Şekil 3.4 TM Polarizasyonunda yansıma katsayısının farklı malzemelerde geliş açısına göre değişimi	43
Şekil 3.5 Yansıma katsayısının bağlı dielektrik katsayısına göre değişimi	43
Şekil 3.6 İki ışınli yerden yansıma modeli.....	44
Şekil 3.7 Bıçak sırtı kırınım geometrisi, verici ile alıcı aynı yükseklikte.....	45
Şekil 3.8 Bıçak sırtı kırınım geometrisi, verici ile alıcı farklı yükseklikte	45
Şekil 3.9 En küçük yükseklik (bu durumda h_r) diğer yüksekliklerden çıkarıldığında eşdeğer bıçak-sırtı geometrisi.....	45
Şekil 3.10 Ardışık Fresnel bölgelerinin sınırlarını tanımlayan eş merkezli çemberler	47
Şekil 3.11 Farklı bıçak-sırtı kırınım durumları için Fresnel bölgelerinin gösterimi	48
Şekil 3.12 Fresnel kırınım parametresi cinsinden bıçak-sırtı kırınım kazancı.....	49
Şekil 3.13 Propagasyon mekanizmalarının gösterimi.....	52
Şekil 3.14 Ricean zayıflaması (Çok yollu etkiler).....	55
Şekil 3.15 Rayleigh zayıflaması	55
Şekil 3.16 İşaretin kaybı.....	56
Şekil 3.17 Bloklama.....	56
Şekil 5.1 Biyolojik sinir sisteminin blok bazında gösterimi	63
Şekil 5.2 Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri.....	64
Şekil 5.3 Sinir hücrelerinin birbirleriyle bağlantısı	64
Şekil 5.4 Biyolojik iki hücre arasında gerçekleşen bilgi alışverişi.....	65
Şekil 5.5 a-Biyolojik sinir hücresi b-Sinir hücresi modeli c-Yapay sinir hücresi	66
Şekil 5.6 Yapay sinir hücresinin yapısı.....	69
Şekil 5.7 Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....	71
Şekil 5.8 Logaritma sigmoid (logsig) transfer fonksiyonu	72
Şekil 5.9 Hiperbolik tanjant (tanh) transfer fonksiyonu	72
Şekil 5.10 Eşik (signum) transfer fonksiyonu	73
Şekil 5.11 Eğitici öğrenme yapısı.....	74
Şekil 5.12 Eğitici öğrenme yapısı.....	75
Şekil 5.13 Takviyeli öğrenme yapısı	75
Şekil 5.14 Çok katmanlı algılayıcı yapısı	76
Şekil 5.15 İleri beslemeli ağı oluşturulması	77
Şekil 5.16 Radyal temelli fonksiyon ağı yapısı	78
Şekil 5.17 Genelleştirilmiş regresyon ağı yapısı	79
Şekil 5.18 İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı	80

Şekil 6.1 Birinci bina içi ortamın krokisi	94
Şekil 6.2 İkinci bina içi ortamın AutoCAD ile çizilmiş krokisi	95
Şekil 6.3 Netstumbler 0.4.0 Programının çalışma durumundaki ekran görüntüsü.....	96
Şekil 6.4 ASUS WL300g görüntüsü	97
Şekil 6.5 CISCO Aironet 1100 görüntüsü.....	98
Şekil 6.6 Intel PRO/Wireless 2200BG ağ kartının ön ve arka görüntüsü.....	101
Şekil 6.7 2200BG antenlerinin Toshiba marka dizüstü bilgisayarındaki konumu.....	102
Şekil 6.8 2200BG antenlerinin ışıma diagramları	103
Şekil 6.9 ORiNOCO Classic Gold Card ön görüntüsü.....	103
Şekil 6.10 ORiNOCO Classic Gold Card PCB görüntüsü.....	104
Şekil 6.11 Zemin üzerinde işaretlenmiş ölçüm noktaları.....	105
Şekil 6.12 ASUS WL300g'nin ölçüm esnasındaki konumu	105
Şekil 6.13 Dizüstü bilgisayarın ölçüm esnasındaki konumu.....	106
Şekil 6.14 Ölçüm başlangıç ve bitiş zamanlarının işlendiği Excel tablosu örneği.....	106
Şekil 6.15 Ölçüm cihazının konum değiştirmesi esnasında sinyal seviyesindeki azalmalar .	106
Şekil 6.16 Ortalama RSSI değerlerinin girildiği Excel tablo örneği	107
Şekil 6.17 Erişim Noktasının konumu	107
Şekil 6.18 Ölçüm yapılan ortamın görüntüsü.....	108
Şekil 6.19 Örnek Netstumbler RSSI/Gürültü grafiği ekran görüntüsü	108
Şekil 7.1 1.Bina içi ortam için elde edilen elektromagnetik alan şiddeti haritası	111
Şekil 7.2 Haritası çıkarılan bölgenin krokisi	111
Şekil 7.3 Elektromagnetik alan şiddeti haritası ve haritası çıkarılan bölgenin krokisi.....	114

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Kablosuz iletişim teknolojileri	9
Çizelge 2.2 IEEE 802.11x standartları ve genel özellikleri	11
Çizelge 2.3 Diğer IEEE 802.11x standartları ve genel işlevleri	11
Çizelge 2.4 HiperLAN2 ile 802.11a standardının karşılaştırılması.....	12
Çizelge 2.5 Bluetooth ürün sınıfları.....	14
Çizelge 2.6 Bluetooth'un teknik özellikleri	16
Çizelge 2.7 HomeRF'in genel teknik özellikleri.....	17
Çizelge 2.8 Kızılötesi teknolojisinin avantaj ve dezavantajları.....	22
Çizelge 2.9 2.4 GHz bandı kanal frekansları.....	25
Çizelge 2.10 5 GHz bandı kanal merkez frekansları	26
Çizelge 3.1 Bazı malzemelerin farklı frekanslarda parametreleri	40
Çizelge 3.2 Fresnel-Kirchoff kırınım parametresinin değişen değerleri için kırınım kazancının yaklaşık çözümü.....	50
Çizelge 4.1 Değişik ortamlarda yol kaybı sabitleri	57
Çizelge 4.2 Bazı durumlar için $P_f(n)$ kat kaybı penetrasyon faktörü değerleri.....	58
Çizelge 5.1 Bilinen yapay sinir ağı modellerinin tarihsel gelişimi.....	62
Çizelge 6.1 ASUS WL300g teknik spesifikasyonları.....	97
Çizelge 6.2 CISCO Aironet 1100 teknik spesifikasyonları	99
Çizelge 6.3 Intel PRO/Wireless 2200BG Network Connection teknik spesifikasyonları	101
Çizelge 6.4 ORiNOCO Classic Gold Card teknik spesifikasyonları.....	104
Çizelge 7.1 1.Bina içi ortam için simülasyon sonuçları.....	110
Çizelge 7.2 1.Bina içi ortam için renk skalasının sinyal seviyesi ile değişimi	110
Çizelge 7.3 2.Bina içi ortam için renk skalasının sinyal seviyesi ile değişimi	112
Çizelge 7.4 2.Bina içi ortam için simülasyon sonuçları.....	113

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana her aşamada yol gösteren, katkılarıyla çalışmama ışık tutan çok değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Hamid TORPİ'ye, yetişmemde emeği geçen tüm hocalarıma, desteğini her an yanımda hissettiğim sevgili eşim Burcu ERKMEN'e, her zaman her koşul'da daima yanımda olduklarını bildiğim anneme, babama ve sevgili ağabeyime, manevi destekleriyle her zaman güç bulduğum sevgili arkadaşlarım; Yusuf TEMİZEL, Ömer SUNER ve Elif ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Kablosuz ağ teknolojileri günümüzde kablolu ağ teknolojilerinin kullanıldığı tüm ortamlarda verimliliği arttırmak, hareket edebilme esnekliğini sağlamak ve kablolama zorluğunun bulunduğu yerlerde kablosuz olarak erişilebilirliği devam ettirebilmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda bu teknolojiye gelişmeler ile kullanıcılara daha hızlı, ekonomik, esnek ve güvenilir çözümler sunulmuştur.

Bir kablosuz ağın uygun bir şekilde kurulumu; erişim noktası sayısının doğru belirlenmesine, erişim noktalarının kör nokta kalmayacak şekilde doğru konumlandırılmasına ve güç seviyelerinin ihtiyaca uygun ayarlanmasına, doğru kanal seçimine ve doğru kablosuz ağ standardının kullanılmasına bağlıdır. Bu nedenle, ortamın modellenmesi ve elde edilen verilere göre elektromagnetik alan şiddeti haritasının çıkartılması kurulumu başlamadan önce planlama aşamasında yapılması gereken bir çalışmadır.

Kapalı ortamlarda radyo propagasyonunun tahmini oldukça güçtür. Alıcı ve verici arasında doğrudan görüş hattının olmaması, dalganın vericiden yansıma, saçılma ve kırınım ile alıcıya ulaşması, ortamda bulunan engellerin ve binanın yapısında kullanılan malzemelerin çeşitliliği ve değişkenliği, zemin farklılıkları elektromagnetik dalga propagasyonunun tahminini güçleştiren faktörlerden sadece birkaçıdır.

Bu çalışmada bina içi ortamında pilot olarak seçilen iki farklı bölgenin Elektromagnetik alan şiddeti haritasının çıkartılması amaçlanmıştır. Çevresel birçok parametrenin etkili olduğu ve matematiksel olarak modellemenin oldukça zor bir problem olan kapalı bir bölgedeki elektromagnetik alan şiddetinin koordinat eksenlerine bağlı olarak modellenmesinde yapay sinir ağları kullanılmıştır. Bina içi ortamda belirli noktalarda ölçüm değerleri alınmış ve bu değerler ile yapay sinir ağının eğitim ve test kümeleri oluşturulmuştur. Farklı ağ yapıları ve öğrenme algoritmaları kullanılarak eğitim ve test işlemi MATLAB 6.1 programı ile gerçekleştirilmiştir. Test işlemi sonucunda ağın çıkışında elde edilen değerler ile seçilen bölgedeki elektromagnetik alan şiddeti haritası çıkartılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kablosuz ağlar, Bina içi haberleşme, Yapay sinir ağları,

ABSTRACT

Today, Wireless Local Area Networks are widely used in all the environments where wired technologies are used in order to increase effectiveness, enable mobility and maintain connectivity where cabling is impossible. Notably, by the evolution in this technology in recent years; fast, economic, flexible and secure solutions are being presented to users.

Installing a wireless network in the optimum way is subject to the conditions that; the number of access points are set accurately, the access points are such positioned that there are no blind points, the power is adjusted to no more than the required level, right channel number and wireless network standard are selected. Consequently, modelling and mapping of electromagnetic field should be the work in planning stage prior to the installing of the wireless network.

Estimating the radio propagation within indoor environment is a difficult problem. Obstructed line of sight between the receiver and transmitter, arrival of the wave to the receiver by reflection, scattering and diffraction, variety of the obstacles in the environment and building materials, dissimilarity of the floor materials are some of the reasons that make the estimation of the indoor electromagnetic wave propagation so hard.

In this study, mapping of electromagnetic field strength of two different indoor environment is aimed. Artificial Neural Networks were used for modelling the electromagnetic field strength of an indoor environment where many parameters are forcible and mathematically modelling is so hard. The electromagnetic field strength was measured on some points within the indoor environment which were used as the training and test values of the artificial neural networks. Variety of network structures and learning algorithms were used and MATLAB 6.1 was used for training and testing processes. After the test process, electromagnetic field strength map of the selected area was obtained by the output values of the artificial neural network.

Keywords: Wireless communication, Indoor communication, Artificial neural networks

1. GİRİŞ

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kablosuz yerel alan ağları, kablolu iletişime alternatif olarak uygulanabilecek esnek bir iletişim sistemidir. Kablosuz ağ teknolojileri, kullanıcılara uzak mesafeler arasında kablosuz bağlantılar kurmalarına izin veren küresel ses ve veri ağlarından, kısa mesafelerde kablosuz bağlantı için en iyi hale getirilmiş kızılötesi ışınlar ve radyo frekans teknolojilerine kadar uzanmaktadır. Kablosuz ağ sistemleri başlangıçta mevcut kablolu ağların tamamlayıcısı olarak tasarlanmış olmalarına rağmen, son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler ile kablolu ağların yerini alabileceğini göstermiştir. Kablolu iletişim teknolojilerine kıyasla birçok üstünlüğü bulunan kablosuz iletişim teknolojileri 1990'lı yıllarda büyük gelişmelere sahne olmuştur. Radyo Frekansının yeniden keşfi olarak adlandırılan bu gelişmeler hem GSM gibi ses iletişiminde hem de veri iletişiminde yaşanmıştır. Özellikle veri iletişiminde yüksek veri hızlarına ulaşılması, kablosuz teknolojiyi yaygın kullanılabilir hale getirmiştir.

Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks, WLAN), iki yönlü geniş band veri iletişimi sağlayan, iletim ortamı olarak fiber optik veya bakır kablo yerine telsiz frekansı (Radio Frequency, RF) veya kızılötesi ışınları kullanan ve salon, bina veya kampüs gibi sınırlı bir alanda çalışmaktadır. Kurulum kolaylığı, hareket serbestliği ve düşük maliyet gibi önemli avantajlar sağlayan WLAN sistemleri kablolu ağların yerini alabilmekte hatta bu ağlara göre daha fazla fonksiyonlar içerebilmektedir. WLAN kullanıcısı pahalı bir kablolama alt yapısı yerine özünde küçük bir radyo vericisi olan Erişim Noktası (Access Point, AP) ile iletişim ortamı sağlayabilmekte ve yerel alan ağı oluşturabilmektedir. Tipik bir kablosuz yerel ağ yapılandırmasında, erişim noktası olarak isimlendirilen cihazlar ile hem alıcı hem verici konumundaki cihaz kablolu ağa bağlanır ve kablolu ağ omurgası ile kablosuz cihazlar arasında veri alışverişi gerçekleştirilir. İyi bir kapsama alanı sağlamak için kablosuz ağ kurulumunun yapılacağı fiziksel ortam iyi etüt edilmelidir. Kurulumu başlamadan önce ortamdaki erişim noktası sayısının doğru belirlenmesi, erişim noktalarının kör nokta kalmayacak şekilde doğru konumlandırılması ve güç seviyelerinin ihtiyaca uygun ayarlanması, doğru kanal seçimi ve doğru kablosuz ağ standardının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle kurulumu başlamadan önce planlama aşamasında ortamın elektromagnetik alan şiddeti haritasının çıkartılması, kablosuz iletişimin verimliliği açısından çok önemlidir. Kapalı ortamlarda alıcı ve verici arasında doğrudan görüş hattının olmaması, dalganın vericiden yansıma, saçılma ve kırınımalarla alıcıya ulaşması, ortamda bulunan engellerin ve binanın yapımında kullanılan malzemelerin çeşitliliği ve değişkenliği, zemin

farklılıkları elektromagnetik dalga propagasyonunun tahminini güçleştirmektedir. Kapalı ortamda elektromagnetik dalga propagasyonunun şiddetini tahmin etmek üzere literatürde farklı modeller tanımlanmıştır (Chen, 2004; Seidel,1991; Turin, 1972; Ikegami, 1991). Bu modellerin performansı, doğruluk oranlarından ve/veya özellikle kapalı ortamlardaki propagasyonun hesaplama zorluklarından dolayı tatmin edici değildir. Birçok tahmin etme metodu ışın izleme yöntemini temel almıştır(Rappaport, 2002). Işın izleme iyi bilinen, kablosuz sinyallerin, noktasal bir kaynaktan çıkan ışın çizgilerinin yayılım yaklaşıklığını temel alan geniş çaplı kullanılan bir radyo propagasyon modelidir. Propagasyon boyunca dalganın karşılaştığı engellerin sayısı ve çeşitliliği arttıkça Işın izleme metodu ile propagasyonun tahmini güç bir problem haline gelmektedir. Var olan modellere alternatif olarak literatürde yapay sinir ağlarının kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Illeana Popescu ve çalışma arkadaşları yol kaybı tahminini genelleştirilmiş RBF-NN kullanarak gerçekleştirmiştir (Popescu, 2002). Aynı bilim adamlarının bir diğer çalışmasında ise GRNN kullanılarak yol kaybı tahmini problemi için çözüm sunulmuştur (Popescu, 2004). Yapay sinir ağlarının kullanıldığı bir diğer çalışmada ise radyo propagasyonu tahmini özellik tabanlı yapay sinir ağı modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir(Qiu, 2005).

Yapay sinir ağları, kapalı bir ortamdaki elektromagnetik dalga propagasyonunu modellemede kullanılan yöntemlerden birisidir. Sınıflandırma, sinyal filtreleme, veri sıkıştırma, örüntü tanıma, sistem modelleme ve optimizasyon gibi alanlarda sıkça kullanılan yapay sinir ağları; doğrusal olmayan, çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu ve problemin çözümü için özellikle matematiksel modelin ve algoritmanın bulunmadığı problemlerde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, çevresel birçok parametrenin etkili olduğu ve matematiksel olarak modellemenin oldukça zor bir problem olan kapalı bir bölgedeki elektromagnetik alan şiddetinin modellenmesinde yapay sinir ağları tercih edilmektedir.

Bu çalışmada bina içi ortamında pilot olarak seçilen iki farklı bölgenin koordinat eksenlerine bağlı elektromagnetik alan şiddeti haritası çıkarılmıştır. Modellemede yapay sinir ağları kullanılmıştır. Farklı ağ yapıları ve öğrenme algoritmaları kullanılarak eğitim ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Kapsama alanı içinde bulunan kablosuz ağ vericilerinin sinyal ve gürültü seviyeleri ölçülmüş ve ölçüm değerleri ile ağın eğitim ve test veri kümesi oluşturulmuştur. Test işlemi sonucunda ağın çıkışında elde edilen değerler ile seçilen bölgedeki elektromagnetik alan şiddeti haritası çıkartılmıştır.

Tez çalışmasında, kablosuz ağların tarihçesine, kullanım alanlarına, standartlarına ve genel

özelliklerine Bölüm 2’de değinilecektir. Mobil radyo propagasyonunu etkileyen faktörler Bölüm 3’de tanıtılacaktır. Bölüm 4’te bina içi ortamda propagasyonu matematiksel olarak tahmin eden modellerden bahsedilecektir. 5.Bölümde yapay sinir ağı yapılarına, özelliklerine, öğrenme algoritmalarına detaylı olarak yer verilecektir. Bölüm 6’da bu çalışmada kullanılan elektromagnetik alan şiddeti ölçüm yönteminden bahsedilecek ve ölçüm işleminde kullanılan program ve donanımların spesifikasyonları hakkında bilgi verilecektir. Son bölümde farklı ağ yapıları ve öğrenme algoritmaları kullanılarak yapılan eğitim ve test işleminde elde edilen başarımlar tablolar halinde verilecektir. Ayrıca bu bölümde, seçilen iki bölge için çıkartılan elektromagnetik alan şiddeti haritaları sunulacaktır.

2. KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ

Kablosuz ağ sistemleri başlangıçta mevcut kablolu ağların tamamlayıcısı olarak tasarlanmış olmalarına rağmen, son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler ve yaygın kullanımları ile WLAN sistemleri, kablolu ağların yerini alabilmiş hatta bu ağlara göre daha fazla fonksiyonlar içerebilmiştir. Bu bölümde Kablosuz Ağ Teknolojilerinin geçmişten günümüze geçirdiği teknolojik evrimden bahsedilmiş ve günümüz kablosuz ağ teknolojileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

2.1 Kablosuz İletişimin Tarihçesi

Kablosuz teknoloji; verinin bir noktadan başka bir noktaya fiziksel olarak kabloların kullanılmadığı bir ortamda gönderilmesidir.

Kablosuz haberleşme, telegraf ve radyo uygulamalarının sürekli gelişimi ile günümüz ağ teknolojileri oluşturulmuştur. Kablosuz ağ teknolojilerinin bu kadar çabuk gelişmesi ve yaygınlaşması kablolu ağların çok sağlam bir şekilde standardlaşması sayesinde olmuştur. Her ne kadar 1800'lü yılların sonlarına doğru bu alanda bir takım çalışmalar başlatılmış olsa da, günümüz teknolojilerine ulaşan gelişim süreci elektrik çağı ile başlamış, modern dünya ekonomileri tarafından yönlendirilmiş ve fizik alanındaki gelişmelerle günümüz kablosuz ağ teknolojileri son halini almıştır. Kablosuz teknolojilere ihtiyaç, kablolu ağların sınırlamalarından (ör: sınırlı hareket edebilme yeteneği) dolayı doğmuştur. Cep telefonlarının icadı da kablosuz ağların doğmasında büyük bir rol oynamıştır.

2.1.1 Elektromagnetizmanın Keşfi

İnsanoğlu 1600 yılların ortalarına doğru magnetizmayı keşfetmişti ancak, elektrik ve magnetizma arasındaki ilişkiyi ancak 1800'lü yıllarda çözebildi. 1820 yılında Kopenag Üniversitesinde Profesörlük yapan Danimarkalı Fizikçi Hans Christian Oersted, bir konuşması sırasında bir pile bir kablo bağladı ve tesadüfen bunu bir pusulanın yanında yaptı ve kabloyu bağlar bağlamaz pusula iğnesinin hareket ettiğini farkettil. Oersted, elektrik ile magnetizma arasındaki ilişkiyi böylece farketmiş oldu. Oerstedin ilk çalışmaları, çağdaşı Micheal Faraday ve Joseph Henry'e yol gösterici oldu.

Bir İngiliz bilim adamı olan Micheal Faraday mıknatıs ve magnetik etkiler üzerinde çalışmalara başladı ve 1831 yılında ilk teorisini üretti: değişen magnetik alan, yanındaki bir devrede elektrik akımına yol açar. Bu teori endüksiyon terimini çok net bir şekilde açıklamaktadır. Bu teorisini test etmek için içi boş silindir bir kartonun etrafını tellerle

çevirerek bir bobin haline getirdi. Telin iki ucunu bir galvanometreye bağladı. Silindirin içine soktuğu mıknatısı ileri geri hareket ettirmeye başladı. Mıknatıs hareket ettikçe galvanometresinin ibresi de hareket ediyordu, bu da tel üzerinde bir elektrik akımının geçtiğini gösteriyordu. Elektromagnetik endüksiyonun oluşması için hareketli bir magnetik alana ihtiyaç olduğunu ispatlamış oldu. Bu deney sırasında Faraday sadece endüksiyonu keşfetmekle kalmamış aynı zamanda dünyanın ilk elektrik jeneratörünü de icat etmiş oluyordu.

1832 yılında Samuel Morse ileride telegrafı icad etmesini sağlayacak Faraday'ın endüktans ile ilgili buluşları üzerinde çalışmalara başladı. Kendi adını taşıyan ünlü morse alfabesi kullanılarak telegraf vasıtasıyla haberleşme, 1838 yılında gerçekleşti. Böylece elektrik sinyalleriyle haberleşmenin ilk adımı atılmış oldu. Samuel Morse kablosuz teknoloji üzerinde çalıştı, sinyalleri iletebilmek için deniz ve havayı seçti. 1842 yılında su altına yerleştirdiği kabloyla Governor's Island ve New York arasında haberleşmeyi gerçekleştirebildi. Bu olağanüstü çabası, ada etrafındaki gemicilerin attıkları demirin kabloyu kesmesi ile hüsrana sonlandı. Daha sonra, Susquehanna Nehrinin yaklaşık 1 mil genişliğindeki bölümde 2 tarafa bakır plakalar yerleştirdi. Bunu yaparak kablosuz iletimi başaran ilk insan oldu. Burada iletim deniz suyu tarafından gerçekleştiriliyordu.

2.1.2 Radyonun İcadı

Endüklenme ve iletim konusundaki önemli gelişmelerden sonra bilim adamları iletimi makine gibi değişik ortamlarda değerlendirmeye başladılar. Deniz suyu ile iletim teorisi ispatlandıktan sonra, havadan iletim üzerine ilk çalışmalar başlatıldı. 1887 yılında Alman Fizikçi Heinrich Hertz, elektriğin dalgalar halinde havadan iletebileceğini ispatlayan ilk insan oldu. Hertz, iletkenlerin dalgaları yansıttığını, yalıtkanların da üzerlerinden geçmesine izin verdiğini gösterdi. Hertz, ışık hızı ile radyo dalgalarının hızlarının eşit olduğunu da ispatlamıştı.

İtalyan mucit, Guglielmo Marconi, Hertz'in yayınlanan sonuçları üzerinde çalıştı. Marconi, kablosuz ortamda mesajlarını kendi patentli radyo cihazı ile onlarca mil uzağa taşıyabildi. İngilteredeki üniversiteden morse kodu ile gönderilen "S" harfi, atlas okyanusunu geçtikten sonra ve Newfoundland'a yerleştirdikleri kablosuz alıcı tarafından alınabildi. Marconi bile bunun nasıl olduğunu ilk başta açıklayamamıştı ama o, uzun mesafelere veri gönderebilen ilk insan olarak tarihe geçiyordu. Bugün Marconi'nin bunu nasıl başardığını biliyoruz. Güneş'ten yayılan radyasyon, yer yüzeyinin 100 mil kadar üstünde ionlaşmış gaz parçacıkları

tabakası oluşturuyor. İyonosfer denilen bu katman, kendisine ulaşan radyo dalgalarını tekrar yeryüzüne göndermektedir. Dalga, ilerlemesini bu şekilde enerjisi bitene kadar sürdürebilmektedir.

2.1.3 Araçlarda Radyo Telefonlarının Kullanılması

1921 yılında, hareketli radyolar AM frekans bandının hemen üstündeki 2 MHz'i kullanıyorlardı. Mobil radyo halk için değil güvenlik ve acil durum hizmetleri personeli tarafından kullanılıyordu. Zaten RF teknolojisi de çok yeni olduğu için deneysel olarak düşünülüyordu. 1924 yılında tek yönlü haberleşmenin yerini iki yönlü mobil radyo haberleşmesi aldı. Bell Laboratuvarları tarafından geliştirilen bu yöntemle insanlar sadece mesaj almıyor, bunlara anında cevap ta verebiliyorlardı. Bu gelişmiş yöntem karasal sistemlere bağlı değildi fakat kablosuz teknoloji bir adım daha öne çıktı. Bu zamana kadar geliştirilmiş sistemin en büyük dezavantajlarından biri de büyük ebatlarıydı. Bir kamyon kadar büyük olan bu sistem aynı zamanda pahalıydı.

1935 yılında, Edwin Howard Armstrong Frekans Modülasyonunu tanıttı. FM sadece çok daha kaliteli transmisyon sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda daha küçük ebatları ve fiyatıyla büyük avantaj sağlıyordu. Motorola ve AT&T gibi şirketler daha az yer kaplayan cihazların üretimi için çalışmalar başlattılar. Bütün elektronik dünyasının çehresini değiştiren Baskılı Devre Kart teknolojisi ile kısa zamanda çok hızlı gelişmeler elde edildi.

2.1.4 Bilgisayarların ve Ağların İcadı

Bilgisayarların icadı konusunda kesin bir tarih bilinmese de 1822 yılında Charles Babbage “fark makinesi” adında ilk hesap makinesini icat etti. 2. Dünya Savaşı sırasında Alman gizli şifrelerini kırmak için “Colossus” adında ilk şifre çözücü İngilizler tarafından icat edildi. Amerikalı John Presper Eckert ve John W. Mauchley tarafından “Elektronik Sayısal İntegratör” ve “Bilgisayar” icat edildi. Bu cihaz Colossus’tan 1000 kat daha hızlı işlem yapabiliyordu. Bu avantajının yanı sıra cihaz çalıştırıldığında 160 Kilowatt enerji harcıyordu. 1948 yılında transistörün icat edilmesi ile tüm makineler küçülmeye başladı. 30 yıl boyunca teknoloji sürekli gelişti ve 1981 yılında IBM; ev, okul ve işte kullanılmak üzere ilk kişisel bilgisayarını piyasaya sürdü. Kişisel bilgisayarların sayısı 1981 yılında tüm dünyada 2 milyon iken, 1982 yılında 5,5 Milyon ve 1992 yılında da 65 milyona ulaşmıştı. Bilgisayar kullanımı arttıkça, yeni çalışma sahaları; bilgisayarın gücünden ne kadar daha faydalanılabilir, kapasitesi ne kadar daha arttırılabilir ve bu bilgisayarları birbirleri ile nasıl haberleştirilebilir sorularına yanıt aramaya başladı.

Ethernet, ilk olarak 1970'in sonlarına doğru birbirine yakın mesafede bulunan bilgisayarların fiziksel olarak bağlanmaları ile ortaya çıktı.

2.1.5 Hücresel Sistemlerin Doğuşu

Kablosuz teknoloji 1920'lerdeki araca monte olan polis telsizlerini temel alır. Mobil telefon hizmetleri 1940'larda sadece özel müşterilere sunulan bir imkândı. 1947 yılında Southwestern Bell ve AT&T St Louis, Missouri'de ilk ticari mobil telefon servisini tanıttı. Fakat FCC (Federal Communications Commission) sınırlı sayıda frekans kullanımına izin vermişti. Aynı anda sadece 23 telefon görüşmesi yapılabiliyordu. Kanallar arası 60 KHz olması komşu kanal girişimine neden oluyor bu da zayıf ses kalitesi sağlıyordu. FCC daha fazla frekans vermeyi reddetti ve bundan dolayı insanlar mobil telefona sahip olmak için sırada beklemeye başladılar. 1976 yılında New York'ta 600 adet mobil telefon varken 3500 kişi de sırada bekliyordu. O zamanlar Amerika'da toplam 45.000 abone varken sırada da 20.000 kişi beklemedeydi.

Kablosuz ağ fikri ilk olarak diz üstü bilgisayarların ortaya çıkmasıyla başladı. O zamanlar, ofis veya ev içinde kablosuz ve hareketli olarak bilgisayarların birbirleriyle haberleştirilmesi ve internete erişim üzerine çalışmalar başladı. Bir çok şirket bunu başarabilen ilk kablosuz ağ ürünlerini piyasaya sürdü. Fakat bir üreticinin ürününün diğer bir üreticinkiyle uyumlu olmaması sorun yaratıyordu. Endüstri dünyası bir standardın zorunlu olduğuna karar verdi ve bu nedenle IEEE komitesine bir standard oluşturması için görev verildi. Kablosuz ağ standardının adı 802.11 oldu. 1997 yılında oluşturulan bu standard 1–2 Mbps transmisyon hızına sahipti. Hızın yavaş olması büyük bir sorundu ve 1999 yılında komite 2 farklı standardı daha öne sürdü. Bu standartlardan 802.11a, geniş bir frekans bandını kullanıyor ve 54 Mbps hızına ulaşabiliyordu. Bir diğeri, 802.11b standardı ise 802.11 ile aynı frekans aralığını kullanıyor ancak farklı bir modülasyon tekniği sayesinde 11 Mbps hızına ulaşabiliyordu. IEEE 802.11a ile transmisyon hızını arttırmış ancak dar kapsama alanı ve fazla güç tüketimi bir sorun haline gelmeye başlamıştı. Benzer şekilde 802.11b standardı ile 802.11'in kapsama alanı genişliği korunmuş, hız 11 Mbps'lara ulaşabilmiş buna rağmen 802.11a'ya kıyasla çok yavaş kalmıştı. Bu durumu göz önünde bulunduran komite 2003 yılında, 802.11b'nin frekans aralığını, 802.11a'nın modülasyon tekniğini kullanan 802.11g standardını oluşturmuştur.

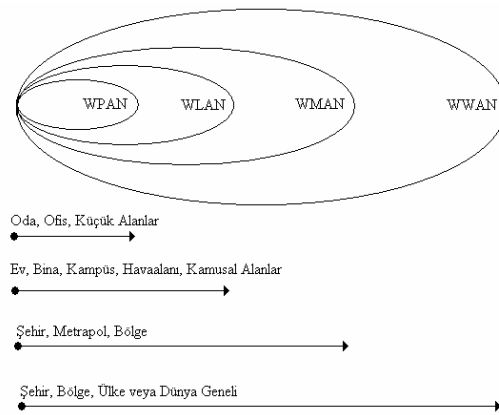
2.2 Kablosuz İletişim Ağları

Kablolu iletişim teknolojilerine kıyasla birçok üstünlüğü bulunan kablosuz iletişim teknolojileri 1990'lı yıllarda büyük gelişmelere sahne olmuştur. RF'in 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 kullanılır hale getirmiştir. Kablosuz iletişim ağları iki veya daha fazla bilgisayar veya sayısal cihazın birbirleriyle kablosuz veri iletişimi sağlamalarıyla oluşan yapıdır. 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. Bu ağların büyüklüklerine göre sınıflandırılması WLAN sistemlerinin daha iyi incelenebilmesi açısından tercih edilmiştir. Bu bölümde anlatılan kablosuz iletişim ağları ile ilgili bilgiler Sn. Emin ÖZTÜRK'ün Telekomünikasyon Kurumu tarafından kabul edilen uzmanlık tezinden elde edilmiştir(Öztürk, 2004).

2.2.1 Büyüklüklerine Göre Kablosuz Ağlar

Kablosuz iletişim ağlarını, büyüklüklerin yani hizmet verdikleri fiziksel alanlara göre gruplandırmak mümkündür. Ancak teknolojiye hızlı gelişme ve sistemlerdeki yakınsama bu gruplandırmada kesin çizgilerin çizilmesini zorlaştırmaktadır. 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. Bu gruplandırma ve her bir grubun hizmet alanları Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Büyüklüklerine göre kablosuz ağlar

Bazı teknolojilerin özellikleri itibarıyla birden fazla grupta yer alması söz konusudur. Ancak yaygın kullanımları dikkate alınarak kablosuz iletişim teknolojilerini Çizelge 2.1'de

belirtildiği şekilde sınıflandırmak mümkündür

Çizelge 2.1 Kablosuz iletişim teknolojileri

	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
Standart	Bluetooth HomeRF	IEEE 802.11 HiperLAN	IEEE 802.16 HiperMAN	GSM, GPRS, CDMA ve 3G
Hız	< 1Mbps	11–54 Mbps	11–100 Mbps	101–384 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

2.2.1.1 Kablosuz Geniş Alan Ağları (WWAN)

Bir ülke ya da dünya çapında yüzlerce veya binlerce kilometre mesafeler arasında iletişimi sağlayan ağlara Geniş Alan Ağları (WAN, Wide Area Networks) denilmektedir. WAN'larda genellikle kiralık hatlar veya telefon hatları kullanılmaktadır. Bu tür ağlarda kablo yerine uydu veya telsiz iletişimi kullanılması durumunda Kablosuz Geniş Alan Ağları (WWAN, Wireless Wide Area Networks) olarak isimlendirilmektedir. WWAN uygulamalarına örnek olarak GSM, GPRS, CDMA ve 3G sistemleri sayılabilir. WWAN'larda trafik yükünün büyük kısmı ses iletişimi ile ilgilidir. Ancak son yıllarda yoğun olarak veri iletişimi ve internet erişimi talepleri yaşanmaktadır.

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

2.2.1.3 Kablosuz Yerel Alan Ağları

Yerel alan ağları (Local Area Networks, LAN) bir bina, okul, hastane, kampus gibi sınırlı bir

coğrafi alanda kurulan ve çok sayıda kişisel bilgisayarın yer aldığı ağlardır. 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 band internet erişimi, sunucu üzerindeki uygulamalara (programlara) ulaşım, aynı ağa bağlı kullanıcılar arasında elektronik posta hizmeti ve dosya paylaşımı gibi çeşitli imkânlar sağlamaktadır. Ayrıca kablosuz bir sistem olması nedeniyle cadde, sokak, park, bahçe ve benzeri açık alanlarda WLAN sistemleri başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak yerel (lokal) kullanım amacıyla geliştirilmiş olduklarından WLAN sistemlerinin mesafesi 25–100 metre civarındadır. WLAN sistemleri standartlaşma ile birlikte yaygınlaşmıştır. Çünkü belirli standartların kabulü sonucunda ürün fiyatlarında önemli ölçüde düşmeler olmuştur. Ayrıca bazı dizüstü bilgisayarlarda kablosuz bağlantı özelliğinin standart hale geldiği görülmektedir. Dünyada yaygın olarak kullanılan iki tür WLAN teknolojisi mevcuttur. Bunlardan birisi Amerika tabanlı IEEE 802.11x ve diğeri ise Avrupa tabanlı HiperLAN sistemleridir. Bu sistemler aşağıda genel hatlarıyla tanıtılmıştır. Bunların dışında Japonya'da geliştirilen MMAC (Multimedia Mobile Acces Communication System) sistemi de mevcuttur. Ancak MMAC Sistemi 3–60 GHz frekans bandında çalışmakta olup; ülkemizde uygulanan Avrupa standartlarından farklı olması nedeniyle sadece genel bilgi verilmekle yetinilmiştir.

2.2.1.3.1 IEEE 802.11x

WLAN uygulamalarında en çok kullanılan ve bugünkü popülerliğini kazandıran IEEE tarafından yayınlan bir dizi standarttır. IEEE 802 LAN/MAN standart komitesi ilk olarak Haziran 1997'de IEEE 802.11 standardını yayımlamıştır. Bu temel standarda göre 2.4 GHz frekans bandında FHSS veya DSSS teknikleri kullanılarak 2 Mbps'e kadar veri 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. Bu standartları geliştirme ve yeni standartlar hazırlama çalışmaları devam etmektedir. 2.4 GHz bandında çalışan ve 11 Mbps

veri iletişim hızına sahip olan IEEE 802.11b Türkiye dâhil dünyanın birçok yerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bugünlerde yine aynı frekans bandında çalışan fakat veri iletişimini 54 Mbps'e kadar çıkaran 802.11g standardı cihazlar rağbet görmektedir. Çizelge 2.2.'de geliştirme çalışmaları tamamlanmış ve ürünleri piyasada bulunan IEEE 802.11x standartlarının genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 IEEE 802.11x standartları ve genel özellikleri

Standart Adı	Frekans Bandı	Modülasyon Tekniği	Kanal Sayısı	Güvenlik	Veri Hızı	Açıklama
IEEE 802.11	2.4 GHZ ISM	FHSS veya DSSS	3 (dahili/harici)	WEP veya WPA	2 Mbps	İlk hazırlanan temel standart
IEEE 802.11a	5 GHz	OFDM	4(dahili) 4(dahili) 11(harici)	WEP veya WPA	54 Mbps	Çoklu ortam uygulamaları ve yüksek veri hızı için
IEEE 802.11b	2.4 GHZ ISM	DSSS	3 (dahili/harici)	WEP veya WPA	11 Mbps	Yaygın kullanım ve düşük maliyetli sistemler
IEEE 802.11g	2.4 GHZ ISM	DSSS veya OFDM	3 (dahili/harici)	WEP veya WPA	54 Mbps	802.11b'nin yüksek hızlar için geliştirilmiş hali

IEEE tarafından WLAN uygulamalarını geliştirmek ve mevcut sorunları gidermek üzere 802.11x adı altında başka standartlar da yayımlanmıştır. Bu standartlar henüz tamamlanmamış durumdadır ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu standartlar, diğer 802.11x standartları olarak Çizelge 2.3.'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 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.

2.2.1.3.2 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. HiperLAN1 1996 yılının başlarında geliştirilmiş olup; 5 GHz frekans bandında 20 Mbps veri hızı sağlamaktadır. HiperLAN2 ise aynı frekans bandını kullanarak 54 Mbps veri hızlarına ulaşabilmektedir. HiperLAN2'nin PHY1 katmanı 802.11a ile aynıdır ve iki grup ortak (koordineli) çalışma yürütmektedirler. 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. Mevcut WLAN uygulamaları içinde HiperLAN'ların en iyi alternatif teknoloji olduğu söylenebilir. Ancak henüz 802.11 teknolojisi kadar yaygın değildir. HiperLAN2 ağlarında Erişim Noktalarından 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 2.4'de HiperLAN2 ile 802.11a standardı karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.4 HiperLAN2 ile 802.11a standardının karşılaştırılması

Özellik	HiperLAN2	802.11a
Brüt Aktarım Hızı	54 Mbps	54 Mbps
Net Veri Hızı	32 Mbps	32 Mbps
Frekans Bandı	5 GHz	5 GHz
Frekans Seçimi	Tek Taşıyıcı	DFS ile Tek Taşıyıcı
Ortalama 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 görüşmeler devam etmektedir. İkincisi ise 2 GHz– 11 GHz frekansları arasında çalışacak geniş band sabit

kablosuz erişim (broadband fixed wireless access) sistemi olan Hiperman'dır. IEEE 802.16 standardının benzeri Hiperman iki gurubun yakın işbirliği ile hazırlanmaktadır. 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.

2.2.1.4 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 özelliklerinde geliştirme ve yeni özellikler ilave edilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. WPAN uygulamalarında öncülüğü Bluetooth yürütmektedir.

2.2.1.4.1 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. Bluetooth teknolojisi 2.4 GHz bandında ilk olarak Ericsson Mobile Com. tarafından 1994 yılında geliştirilmiştir. Bluetooth, kısa mesafede bilgisayar, fare (Mouse), 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 hedeflemiştir. Ericsson, IBM ve Toshiba gibi şirketlerin oluşturduğu Bluetooth Sp. Int. 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 tekniği ile

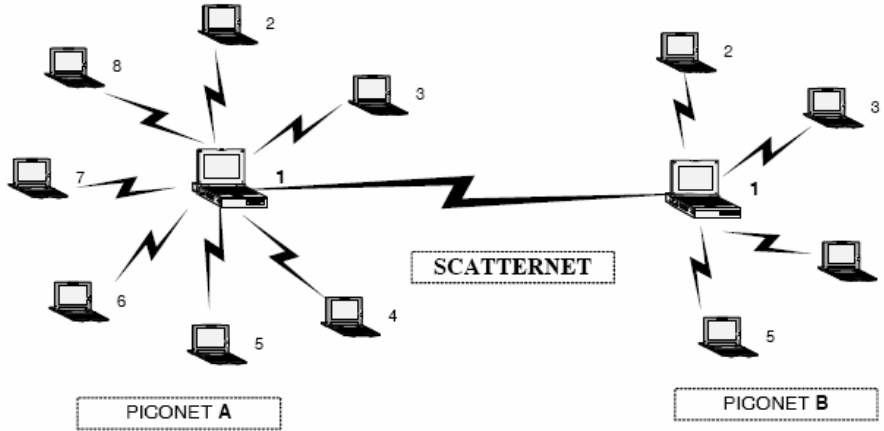
1 Mbps, 802.11b'nin ise DSSS modülasyon tekniği ile 11 Mbps veri iletişim hızına ulaştıkları görülmektedir. Her iki teknolojinin amacı da cihazlar arasında RF yoluyla veri iletimi olmasına rağmen, fonksiyonları açıkça birbirinden farklıdır. Bu nedenle bu iki teknolojiyi rakip olarak görmek veya kıyaslamak 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. 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 imkânlarının oldukça sınırlandığı görülmektedir. Bluetooth teknolojisinde güç ve mesafeleri farklı 3 sınıf ürün tanımlanmıştır. Bu sınıflar Çizelge 2.5.'de verilmiştir.

Çizelge 2.5 Bluetooth ürün sınıfları

Ürün Tipi	Güç Seviyesi	İletişim Mesafesi	Amaç
Sınıf 1	100mW / 20dBm	100m'ye kadar	Azami iletişim mesafesi
Sınıf 2	2.5mW / 4dBm	10m'ye kadar	Orta iletişim mesafesi
Sınıf 3	1mW / 0dBm	0.1m'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" (piconet) denilmektedir. Bir pikonet'de bir cihaz master konumunda diğer 7 cihaz ise slave konumunda, master cihaza bağlanabilir ve böylece kablosuz ağ zinciri oluşturulur. Master cihaz ağı kontrol eder. Pikonet'deki tüm cihazlar aynı frekans kanalını ve aynı frekans atlama sırasını (frequency hopping sequence) kullanırlar. Kapsama alanı genişletmek amacıyla Pikonet'ler birbirine bağlanarak "Scatternet"ler oluşturulabilir. Bu durumda her Pikonet farklı bir atlama kanalı kullanılır. Bluetooth sistemi cihazdan-cihaza çalışma modeline ve sabit erişim noktalı ağ oluşumuna imkân vermekle birlikte en popüler kullanımı aynı fiziksel ortamdaki mobil cihazları birbirine bağlanması şeklindedir. Farklı cihaz (kullanıcı) miktarlarına sahip 2 adet Piconet ve 1 adet Scatternet yapısı Şekil 2.2'de verilmiştir. WLAN sistemleri gibi Bluetooth'da kullanıcıya birçok fayda sağlar. Örneğin, cihazlar arasındaki kablonun görevini üstlenerek kablosuz çalışmaya imkân sağlar. Bluetooth uygun cihazlar arasında dosya

paylaşımına imkân verir. Bluetooth, dizüstü bilgisayarlar, cep bilgisayarları, masa üstü bilgisayarlar ve diğer tip uygun cihazlarda kullanılabilir. WLAN sistemleri gibi Bluetooth'da kullanıcıya birçok fayda sağlar. Örneğin, cihazlar arasındaki kablonun görevini üstlenerek kablosuz çalışmaya imkân sağlar. Bluetooth uygun cihazlar arasında dosya paylaşımına imkân 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 dâhil birçok uygulamaya imkân tanınması beklenmektedir. Bluetooth kullanmanın birçok mahsuru da vardır. Yukarıda belirtildiği gibi mesafesi WLAN cihazlarından oldukça düşüktür. Bu açıdan Bluetooth'un WLAN sistemlerine tehdit oluşturması imkânsız görülmektedir. Ayrıca Bluetooth entegreleri 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.



Şekil 2.2 Piconet ve Scatternet

Bluetooth kullanmanın en kritik noktalarından birisi de 802.11b tarafından enterferansa uğratılmasıdır. Eğer aynı frekans ve zaman kullanılırsa her iki sistem arasında karşılıklı enterferans oluşmaktadır. Dahası her iki sistemde 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'e 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. Ticari açıdan bakıldığında, bu iki teknoloji ve hatta UMTS ile bu teknolojiler rakip olmaktan ziyade büyük ölçüde birbirlerini tamamlamaktadır. HomeRF'in aksine Bluetooth kablo yerine kullanılacak noktadan noktaya bir ara yüz olarak düşünülebilir. Bluetooth'un genel özellikleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Bluetooth'un teknik özellikleri

Frekans Aralığı	2402-2480 MHz
Veri Hızı	1 Mbps (fiziksel)
Kanal Band Genişliği	1 MHz
Kanal Sayısı	79
Mesafe	~10 metre
RF atlama	1600 atlama/sn
Şifreleme	Cihaz ID ve 0/40/64 Bitlik Anahtar Uzunlukları
TX Çıkış Gücü	Azami 20 dBm (0.1W)

2.2.1.4.2 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, kordonsuz telefon ve diğer cihazlar arasında ses ve veri iletişimini kablolu masrafına gerek kalmadan kablosuz olarak sağlamaktadır. HomeRF Çalışma Gurubunun kurulmasından sonra pek çok firma bu guruba 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'e çıkarılmıştır. Gelecekte veri iletişim hızının 20 Mbps veya daha yükseğe çıkarılması hedeflenmiştir. HomeRF sistemi 2.4 GHz ISM bandında çalışmakta ve 50 metreye kadar mesafede veri iletişimi sağlamaktadır. 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. HomeRF 2.0 sürümü'nün genel teknik özellikleri Çizelge-2.7'de verilmiştir. 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 banını kullanan HomeRF aynı frekans bandını kullanan WLAN sistemleri tarafından

Çizelge 2.7 HomeRF'in genel teknik özellikleri

Frekans Aralığı	2402–2480 MHz
Veri Hızı	10 Mbps (v.2 için)
Mesafe	~50 metre
RF atlama	50 atlama/sn
TX Çıkış Gücü	Azami 20 dBm (100W)

enterferansa maruz bırakılmaktadır. Ancak Bluetooth teknolojisi tarafından enterferansa uğramaz. Çünkü HomeRF kullanıldığı FHSS tekniği saniyesinde birbirine girişim yapmayan 15 frekans kanalına sahiptir. Bu değer DSSS tekniği kullanan WLAN sistemleri için 3 tür. Daha geniş frekans aralığına yayılan WLAN sinyalleri aynı frekans aralığında çalışan HomeRF sinyallerine etki ederek enterferans oluşturlar.

2.3 WLAN Teknolojileri

Kablosuz ağlarda veri iletimi için kullanılan bir kaç teknoloji bulunmaktadır. Bunların en önemlileri elektromagnetik dalgaları kullanılan RF ve çıplak gözle görülebilen ışığın altındaki frekansları kullanan kızılötesi teknolojisidir. 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. WLAN sistemlerinde kullanılan RF ve kızılötesi teknolojisi aşağıda verilmiştir.

2.3.1 RF Teknolojileri

RF Teknolojisinde, kablo yerine elektromagnetik dalgalar kullanılarak kablosuz iletişim gerçekleştirilmekte ve WLAN sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, frekans spektrumunun yetersizliğinden dolayı mümkün olduğu kadar verimli kullanılması gerekmektedir. Ayrıca artan sistem ve kullanıcı sayısı da frekans talebini artırmaktadır. Yine yoğun frekans kullanımı sonucunda frekans kirliliği ve enterferans riski de artırmaktadır. Bu nedenlerle 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 bandları esas alınmıştır. Bu bandlar öncelikle diğer telsiz servislerinin kullanımı için tahsisli olduklarından WLAN sistemleri muhtemel enterferansı baştan kabul etmek zorundadırlar. Bu durum WLAN sistemleri için enterferansa dayanaklı (dirençli) teknolojilerin geliştirilmesini ve kullanılmasını zorunlu hale gelmiştir. RF teknolojisinde dar band ve dağınık spektrum olmak üzere iki temel teknik kullanılmakta olup; bu teknikler aşağıda genel hatlarıyla anlatılmaktadır.

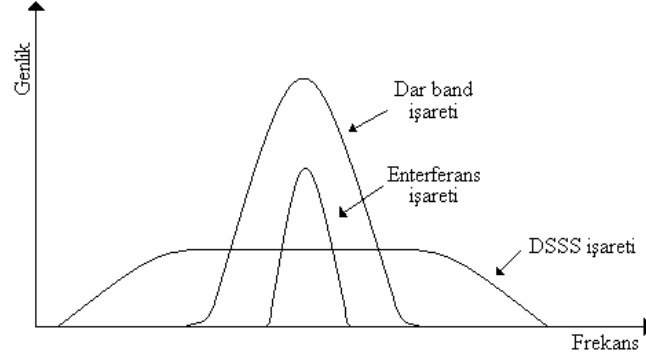
2.3.1.1 Dar Band Tekniği

Dar band (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 band tekniği ile yetersiz 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 band iletişim yöntemi WLAN sistemlerinde kullanılmamaktadır.

2.3.1.2 Dağınık Spektrum Tekniği

Dağınık spektrum (Spread Spectrum); ilk olarak kritik, güvenli ve gizli askeri haberleşme sistemleri için yaklaşık 50 yıl önce geliştirilmiş bir geniş band kablosuz RF iletişim tekniğidir. 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. Özel dizayn edilmiş alıcılar kaçak dinlemeyi engelleyen kodları temizleyerek istenilen iletişimi gerçekleştirirler. 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 çevre gürültüsü olarak algılayacaktır. Bu yöntem gizlilik sağlamanın yanı sıra diğer telsiz sistemlerinden gelecek enterferansa karşı da sistemi dirençli kılmaktadır. Dağınık spektrum teknolojisi, dar band teknolojisine göre çok daha fazla band genişliği kullanmasına rağmen yakın frekanslarda çalışan diğer telsiz sistemlerini bozmadan birlikte çalışmasına imkân vermektedir. Ancak, aynı teknolojiyi kullanan diğer

sistemler tarafından verici kodlarında yanılıya neden olarak kendisi kolayca etkilenebilir. Dar band ve dağınık spektrum işaretlerinin frekans-genlik görünümü Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.

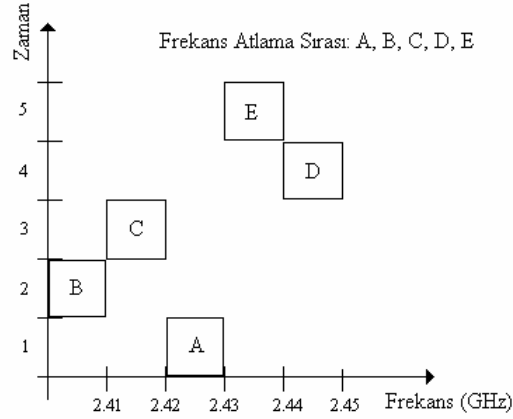


Şekil 2.3 Dar band ve dağınık spektrum işaretleri

WLAN sistemlerinde FHSS ve DSSS olmak üzere iki teknik kullanılmaktadır. Her iki teknik için, 2.4 GHz frekans bandında 2400 MHz - 2483,5 MHz frekans aralığı ve 83.5 MHz band genişliği kullanılmaktadır. 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 veri hızına sahiptir. DSSS ise kod hatasına karşı daha duyarlı ancak veri hızı daha yüksektir.

2.3.1.2.1 Frekans Atlamalı Dağınık Spektrum (FHSS)

Frekans Atlamalı Dağınık Spektrum (FHSS) tekniği, dar band taşıyıcı sinyalinin rasgele ancak bilinen bir düzende bir frekanstan diğer frekansa atlayarak veri iletilmesi yöntemidir. Aslında bu teknik klasik dar band veri iletim tekniğinde taşıyıcı frekansın atlama kodu tarafından düzenli olarak değiştirilerek kullanılmasıdır. Doğru senkronizasyon sağlandığında sürekli bir kanal elde edilmektedir. FHSS tekniği Şekil 2.4.'de verilmiştir. FSSS tekniğinin çalışma şekli şöyledir: kullanan 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.



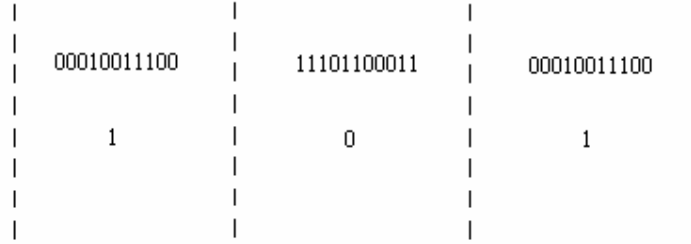
Şekil 2.4 FHSS tekniğinde zaman-frekans ilişkisi

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 band genişliğine sahip 79 kanal bulunmaktadır. 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’e 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 kullanılmasıdır. Bu nedenle yoğunlukla askeri sistemlerde kullanılmaktadır. Ayrıca 2.4 GHz bandında aynı kapsama alanı içinde FHSS modülasyon tekniği ile 15 erişim noktasının çalışması mümkün iken DSSS’de bu sayı 3 ile sınırlıdır.

2.3.1.2.2 Düz Sıralı Dağılık Spektrum (DSSS)

Düz Sıralı Dağılık Spektrum (DSSS) tekniğinde gerekli olan bandın tamamına yayılmış ve kodlanmış bir veri akışı sağlanır. Ağ içinde tanımlanmamış bir alıcıya DSSS sinyali düşük güçlü geniş bandlı bir gürültü olarak görünür ve birçok dar band 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 band genişliği ihtiyacı oluşturur veya aynı band genişliği kullanıldığında net veri miktarını azaltır. Veri iletimi esnasında zarar gören veriler istatistiksel yöntemler kullanılarak orijinal data yeniden gönderilmeden (iletişim tekrarlamadan) kurtarılabilir. Gerçek veri ve kodlanmış veri akışı Şekil 2.5’de görülmektedir.

Chipping Code: 0 = 11101100011 1=00010011100
 Veri Akışı : 101
 Gönderilen Veri: 000100111001110110001100010011100



Şekil 2.5 DSSS tekniğinde kodlanmış veri

DSSS tekniği, FSSS tekniği ile kıyaslandığında daha fazla band genişliğine ve daha yüksek veri iletişim hızına sahiptir. Bu hız şimdilik 2 -11 Mbps değerindedir. Ayrıca diğer telsiz sistemleri tarafından yapılan enterferanstan FSSS'e 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 3m mesafede birbirlerini etkilemektedir.

2.3.1.2.3 Dikey Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM)

RF üzerinden büyük miktarda veri iletimine imkân veren tekniklerden biri de Dikey Frekans Bölmeli Çoklama (OFDM) modülasyon 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. 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 ihmal edilmekte ve kanal gürültüsüne tolerans tanınmaktadır. WLAN sistemlerinin en yüksek veri (54 Mbps) iletim hızına sahip olan 802.11a ve en son standardı olan 802.11g ile HiperLAN sistemlerinde OFDM tekniği kullanılmaktadır.

2.3.2 Kızılötesi Teknolojisi

Kızılötesi teknolojisi elektromagnetik spektrumda gözle görülebilen ışığın altındaki frekansları (3×10^{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 tür kullanmak mümkündür. Birincisi görüş hattı (direct

beam, line of sight), ikincisi ise yansıma (diffused beam) yöntemidir. 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 elamanları 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 gurubun 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 teknolojinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.8’ de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Kızılötesi teknolojinin avantaj ve dezavantajları

Avantajları	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
Dezavantajları	İletişim mesafesi kısadır. İdeal şartlarda 10-15 m
	Sinyaller katı cisimleri geçemez. Bu nedenle kapalı alanlarda duvar, kapı ve büro malzemeleri tarafından kullanım alanını kısıtlanır
	Sinyaller kar, sis, toz ve ışık gibi hava şartlarından etkilenir. Bu nedenle açık alanlarda kullanım için uygun değildir
	Kirlilik sinyalleri etkiler

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. Kızılötesi teknolojisi kısa mesafe (10 m) kablosuz iletişim için uygun ve ucuzdur. Ancak mobil kullanım için uygun olmadığından FHSS ve DSSS kadar yaygın değildir.

2.4 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. Temel olarak WLAN sistemi iki ana unsurdan oluşmaktadır. Birincisi erişim noktaları, ikincisi ise kablosuz cihazlardır. Ancak cihazdan-cihaza (peer to peer) çalışma modelinde erişim noktasına ihtiyaç duyulmaz. Bu durumda kablosuz ağ kartına sahip bilgisayarlar kendi aralarında ilave bir cihaz veya kabloya ihtiyaç olmadan bir ağ oluşturabilirler. Kablosuz cihazlar 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 erişim noktası arasındaki bağlantıyı sağlar. Erişim noktaları ihtiyaca göre bir eve, iş yerine, toplantı salonuna veya bir binaya kurulabilir. Halka açık kullanımı sağlamak üzere ise şehir merkezlerine, büyük alışveriş merkezlerine, hava alanı, tren istasyonu, otobüs terminali veya restoran gibi kamuya açık alanlara erişim noktası kurulabilir. Bu durumda erişim noktasının 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 sinyali algılayabilirler. NIC tarafından doğru frekans kanalı bulunduğundan sonra erişim noktası ile kablosuz cihazlar arasında bağlantı kurulumu başlatılır. WLAN sistemleri aslında tamamen kablosuz değildir. Çünkü sistemde bulunan erişim noktasının geniş band erişim hizmeti veren DSL, Fiber Optik veya benzeri bir kablolu altyapı üzerinden şebekeye bağlanması gerekebilir. Bu nedenle WLAN sistemleri ile tamamen kablosuz olmaktan ziyade kablolu ihtiyacı en az düzeye indirilmiş olmaktadır. Bu açıdan bakınca WLAN sistemlerinin artışı geniş band erişim hizmetinin artışına bağlıdır. Ya da WLAN sistemlerinin artışı geniş band erişim hizmetinin yaygınlaşmasını desteklemektedir. Ancak cihazdan-cihaza kullanımda herhangi bir kablolu ihtiyacı olmadığından tam bir kablosuz ağ kurulumu gerçekleşmektedir. Benzer şekilde şebekeye erişim hizmetinin kablo yerine sabit telsiz erişim (FWA) veya uydu terminali ile sağlanması durumunda da tam bir kablosuz ağ kurulumu gerçekleşmektedir.

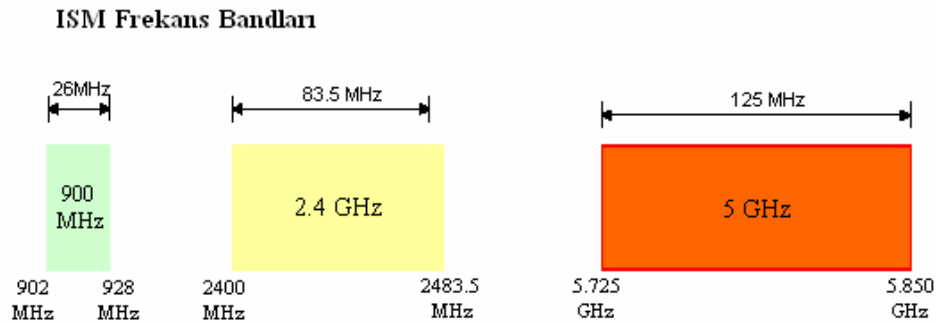
2.4.1 WLAN Sistemlerinin Çalışma Prensipleri

WLAN sistemleri havada yayılan elektromagnetik dalgalarla bir noktadan başka bir noktaya fiziksel bağlantı olmaksızın bilgi iletişimini sağlar. Tipik bir kablosuz yerel ağ konfigürasyonunda, erişim noktası olarak isimlendirilen hem alıcı hem verici konumundaki cihaz kablolu ağa bağlanır ve kablolu ağ omurgası ile kablosuz cihazlar arasında veri

alışverişi işlemini gerçekleştirir. Bir erişim noktası kullanılan ortama bağlı olarak dâhili uygulamalarda 25–100 metre, harici kullanımda ise 200 metreye kadar yarıçaplı bir alanı kapsayabilir. 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 yaratır. 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 erişim noktası montaj yerleri iyi seçilmelidir. Erişim noktası veya kullanılıyorsa erişim noktasına bağlı harici anten, genelde yüksek bir noktaya montaj edilir. Bu sadece kapsama alanını genişletmek için gereklidir. Eğer yeterli kapsama alanı sağlanıyor ise erişim noktaları 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.

2.4.2 WLAN Sistemlerinde Kullanılan Frekanslar

WLAN sistemlerinde genellikle ISM bandı kullanılmaktadır. ISM bandları ITU tarafından 13560 kHz, 27120 kHz, 40.6 MHz, 915 MHz, 2450 MHz, 5800 MHz ve 24.125 GHz merkez frekanslarında dünya genelinde tahsis edilmiştir. Bu bandlardan teknik olarak WLAN uygulamasına uygun olan ISM bandları Şekil 2.6’da verilmiştir.



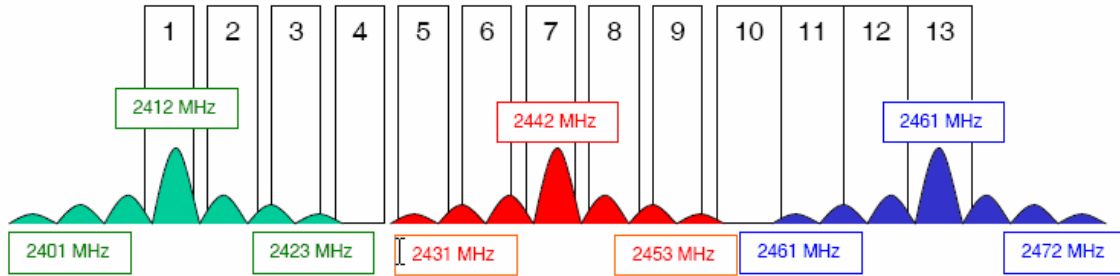
Şekil 2.6 ISM band planı

Ancak, 900 MHz bandı sadece ITU-RR ikinci bölge için ISM bandı olarak belirlenmiştir. Bu nedenle ITU-RR birinci bölgede yer alan Türkiye’de GSM sistemleri için tahsis edilmiş olup; WLAN sistemlerinde kullanılmamaktadır. WLAN sistemleri için 2.4 GHz bandında 2400–2483.5 MHz frekans aralığı, 83.5 MHz band genişliği ve 13 adet kanal tanımlanmıştır. Bu kanallar ve her kanalın merkez frekans değeri Çizelge 2.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9 2.4 GHz bandı kanal frekansları

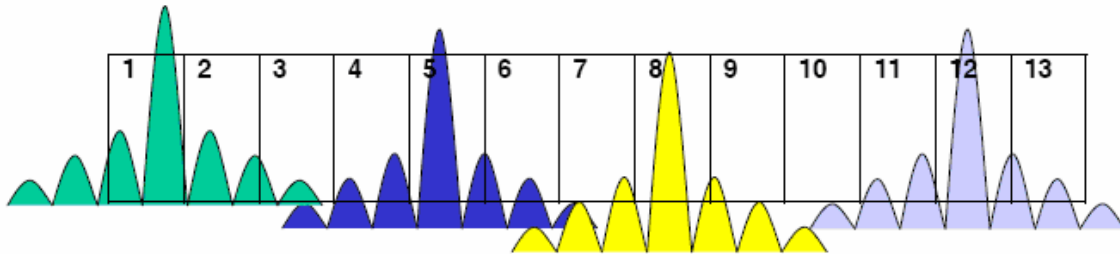
1	2412 MHz	6	2437 MHz	11	2462 MHz
2	2417 MHz	7	2442 MHz	12	2467 MHz
3	2422 MHz	8	2447 MHz	13	2472 MHz
4	2427 MHz	9	2452 MHz		
5	2432 MHz	10	2457 MHz		

Ancak bu 13 kanaldan sadece 3 adedi (1, 7 ve 13) aynı ortamda enterferans yaratmadan çalışabilirler. Çünkü bu kanalların frekans aralığı 5 MHz olmasına karşın, erişim noktaları 22 MHz’lik band-genişliği kullanmaktadır. Enterferans yaratmayan kanal kullanımı başlangıç ve bitiş frekans değerleriyle birlikte Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7 Enterferans oluşturmeyen 3 kanalın görünümü

Aynı ortamda 3’ten fazla (örneğin 4 adet) erişim noktası kullanılması durumunda oluşan enterferans Şekil 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.8 Enterferans yapmış 4 kanalın görünümü

Şekil 2.8’de 1., 5., 8. ve 12. kanalın aynı ortamda (mekanda) kullanılması ile RF sinyallerinin birbirlerini etkiledikleri görülmektedir. Ancak bu durumda genellikle iletişim kesilmez fakat veri aktarım hızı düşer. Bu nedenle kanal seçiminde imkânlar ölçüsünde enterferans yapmayacak kanallar seçilmelidir. Bu amaçla WLAN sistemi kurulacak alanda önceden bir spektrum incelemesi yapılmalıdır. 2.4 GHz bandında olduğu gibi 5 GHz bandında da kanal merkez frekansları belirlenmiştir. Bu bandda kullanılan 5150–5350 MHz ve 5470–5725 MHz frekans bandları için tanımlanan merkez frekans değerleri Çizelge 2.11’de verilmiştir.

Çizelge 2.10 5 GHz bandı kanal merkez frekansları

1	5180 MHz	1	5500 MHz	9	5660 MHz
2	5200 MHz	2	5520 MHz	10	5680 MHz
3	5220 MHz	3	5540 MHz	11	5700 MHz
4	5240 MHz	4	5560 MHz		
5	5260 MHz	5	5580 MHz		
6	5280 MHz	6	5600 MHz		
7	5300 MHz	7	5620 MHz		
8	5320 MHz	8	5640 MHz		

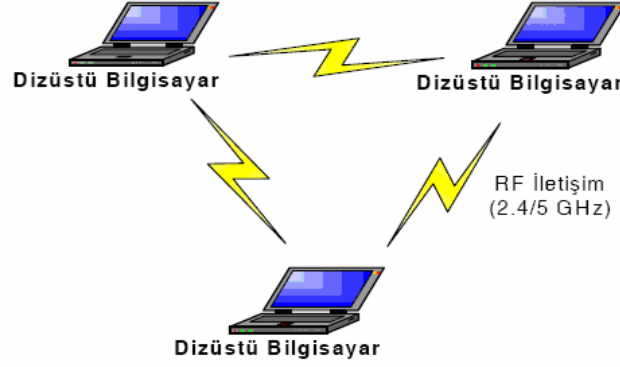
2.4.3 WLAN Sistemlerinin Mimari Yapısı

Bilgisayarların birbirleri ile iletişiminin hangi hiyerarşik düzende olduğu mimari yapı (Topology, Topoloji) olarak ifade edilmektedir. WLAN sistemlerinde cihazdan-cihaza (Peer-to-peer, Ad/Hoc) ve altyapı (Infrastructure, Client/Server) olmak üzere 2 çeşit mimari yapı kullanılmaktadır. WLAN sistemlerinde kullanılan mimari yapılar ve temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.4.3.1 Cihazdan-Cihaza Çalışma Modeli

Cihazdan-cihaza çalışma modeli; iki ya da daha çok kablosuz iletişim özelliğine sahip bilgisayarın, bir sunucu (server) kavramı olmadan birbirine bağlandığı ağ yapılarıdır. Bu tür ağlarda bulunan bilgisayarların sahip oldukları program, veri, dosya gibi tüm kaynaklar ağdaki diğer bilgisayarlar tarafından kullanılabilir. Bu model prensip olarak daha hızlı kurulabilen ve kablo veya erişim noktası gibi herhangi bir altyapı gereksinimi olmayan en basit ağ kurulum yöntemidir. İstemci veya sunucu olmasına bakılmaksızın ağda yer alan tüm bilgisayarlarda sadece kablosuz çalışma özelliğinin olması yeterlidir. Cihazdan-cihaza çalışma modelinde kablolu bir ağ bağlantısı bulunmaz. Dolayısıyla internet veya intranet bağlantısı söz konusu değildir. Cihazdan-cihaza çalışma modelinde ağ içindeki bütün bilgisayarlar eşit düzeydedir. Yani istemci-sunucu ayrımı olmayıp tüm bilgisayarlar aynı önceliğe sahiptir. Ağdaki her kullanıcı diğer kullanıcının kaynaklarına kolaylıkla erişebilir ve kullanabilir. Bu

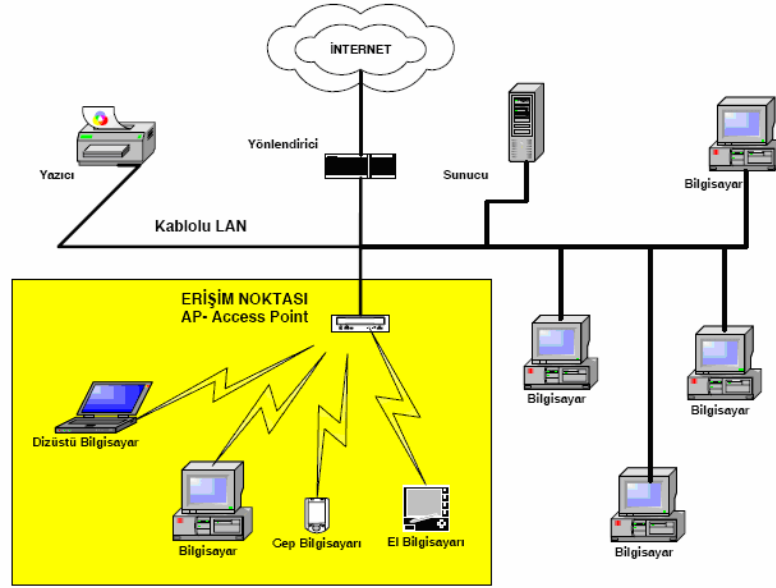
mimari yapı çok yaygın kullanılmamakla birlikte geçici ve hızlı bir ağ ihtiyacı duyulan grup çalışmalarında ve toplantılarda kullanılmaktadır. Cihazdan-cihaza çalışma modeli Şekil 2.9’da görülmektedir.



Şekil 2.9 Cihazdan-cihaza çalışma modeli

2.4.3.2 Altyapı Çalışma Modeli

WLAN sistemlerinin temel ve en yaygın kullanım şekli olan altyapı çalışma modeli; kablolu ağa bağlı bir erişim noktası ve istenilen sayıda kablosuz erişim özelliğine sahip cihazdan oluşur. Kablolu ağda ihtiyaca göre genellikle bir geniş band internet erişimi ve sunucu bilgisayar bulunabilir. Bu durumda ağda bulunan tüm bilgisayarlar erişim noktası vasıtasıyla kablosuz olarak mevcut kablolu ağa ve internete bağlanabilirler. Ev ve küçük işyeri uygulamaları için temel altyapı çalışma modeli yeterli ve uygundur. Bu tür çalışma modelinde paylaşılan bütün kaynaklar sunucuda yer alır ve işlemler sunucu aracılığıyla yürütülür. Sunucu işlemleri hızlı bir şekilde yaparak sonuçları istemciye yollar. Böylece işlem hızı ve kapasitesi artırılmış olur. Aksi durumda ise her bir bilgisayarın kendi programları ile verileri işlemesi gerekecektir. Bu durumda ise işlem hızı iş istasyonunun performansına bağlı olacaktır. Altyapı çalışma modelinde geniş band internet erişimi genellikle kablolu sistemler ile sağlanmakla birlikte kablosuz olarak da sağlanması mümkündür. Kablolu erişim olarak ADSL, Fiber Optik, Kablo TV şebekesi; kablosuz erişim olarak ise FWA kullanılmaktadır. Temel altyapı çalışma modeli şekil 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 WLAN altyapı çalışma modeli

WLAN altyapı çalışma modelinde kullanıcı sayısının veya iletişim mesafesinin artırılması gereken durumlarda sisteme yeni erişim noktaları ilave edilebilir. Örneğin bir toplantı salonundaki yoğun kullanımı karşılamak üzere ikinci veya üçüncü erişim noktaları sisteme ilave edilebilir. Kullanım alanını genişletilmesi ise hücre sistemine göre değişik noktalara erişim noktalarının kurulması ile gerçekleştirilir. Erişim noktalarının sayısının ve montaj yerlerinin tespiti istenilen veri iletişim hızı, kullanıcı sayısı, iletişim alanının boyutu ve benzeri kriterlere bağlı olarak belirlenir. Erişim Alanı veya P-WLAN uygulamalarında sisteme erişimin kontrol edilmesi ve ücretlendirme işleminin yapılabilmesi için ilave cihazlar ve yazılımlar gerekmektedir.

2.4.4 WLAN Sistemlerinin Avantajları

WLAN Sistemlerinin kullanıcılara sağladığı avantajlar ve geleneksel kablolu yerel ağlara karşı üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır.

2.4.4.1 Mobil İletişim

WLAN Sistemleri kullanıcılarına kapsama alanı dahilinde hangi noktasında olursa olsunlar, hareket halinde dahi gerçek zamanlı bilgi erişimi sağlar. Bu hareket serbestisi çalışanlar için işyerlerinde büyük kolaylıklar sağlar. Birçok iş ortamı çalışanların hareketli olmasını gerektirir. Ambar, depo, yükleme, boşaltma, fiyatlandırma ve etiketlendirme görevlileri; sağlık personeli; polisler ve arama kurtarma görevlileri mobil kullanıcılara örnek olarak

verilebilir. Yine üniversiteler, kurumlar, büyük şirketler ve konferans salonlarında mobil iletişim imkânının bulunması büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Evin her yerinden kablosuz olarak internet erişimin sağlanması, müstakil evlerde bu imkânın bahçede bile bulunması büyük bir rahatlık ve konfor sağlamaktadır. Ayrıca hareket halinde olmayı gerektiren bazı işlerde mobil iletişim konforun da ötesinde bir zorunluluktur. Örneğin beyaz eşya üretim tesislerinde, otomobil fabrikalarında ve benzeri tesislerde ürün depolama, sevkiyat işlemleri ve üretim sırasında mobil iletişimin gerekliliği ve faydaları açıktır. WLAN sistemleri bu tür yerlerde başarı ile kullanılmaktadır. Sağlanan bu hareket serbestliği işletme kolaylığı, hız ve verimlilik artışı olarak geri dönmektedir.

2.4.4.2 Hızlı ve Kolay Kurulum

WLAN sistemleri kablosuz olmanın avantajlarını kullanarak kablo çekmenin zor, pahalı veya imkânsız olduğu yerlerde kolay ve düşük maliyetli iletişim imkanı sağlamaktadır. Örneğin iletişim kurulmak istenen iki nokta arasında bir nehir, vadi, otoyol veya demiryolu bulunuyorsa kablo döşemek zor ve çok yüksek maliyetli olmaktadır. Ayrıca döşenmiş olan kablonun korunması ve faal olarak tutulması da ayrı bir sorun yaratmaktadır. Bu durumda kablosuz iletişim teknolojilerinin kullanılması kablo çekmek veya kiralık hat kullanımına göre oldukça ekonomiktir. Bina içi kullanımda ise WLAN sistemlerinin kurulumu oldukça hızlı ve kolaydır. Çünkü duvar ve tavanlardan kablo çekme zorunluluğu bulunmamaktadır. Sadece erişim noktasının monte edilmesi sistemi kurmak için yeterlidir. Yine kablo döşenmesine izin verilmeyen tarihi yapılarda WLAN sistemi uygun bir çözüm olmaktadır. Özellikle toplantı ve kongre amaçlı kullanılan tarihi binalarda iletişim hizmetini karşılamak üzere WLAN sistemlerinin kullanılması uygun bir çözümdür. Çünkü bu binaların kablo çekilerek zarar görmesine ve görüntü kirliliğine izin verilmemektedir. Fuar alanı ve kongre merkezleri gibi yerlerde geçici ağ ihtiyaçlarının karşılanmasında da WLAN sistemi hızlı, kolay ve düşük maliyetli bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

2.4.4.3 İşletme Esnekliği ve Genişletilebilirlik

WLAN sisteminde bilgisayarların montaj yerlerini belirlemeye ve kablolamaya ihtiyaç duyulmaz. Çünkü bilgisayarların kapsama alanı içinde olması yeterlidir. Kullanıcı sayısının ve yerinin (konumunun) değişken olduğu ortamlar için WLAN sistemleri oldukça elverişlidir. Ayrıca, sisteme yeni kullanıcıların katılması durumunda da ilave malzeme ve işçilik harcaması gerekmemektedir. Kablosuz erişim özelliğine sahip bir cihaz sisteme kolaylıkla dahil edilebilir veya çıkarılabilir. Dağınık yapıya sahip işletmeler için binalar arası kablosuz

bağlantı gerçekleştirilebilir. WLAN sistemleri, ağ yöneticileri açısından bakıldığında kablo döşemeden ağ kurabilme veya mevcut ağda ihtiyaca göre kolayca değişiklik yapabilme imkânları sunmaktadır. Bu imkânlar ağ yönetimini oldukça kolay ve düşük masraflı hale getirmektedir. Hâlbuki geleneksel kablolu ağlarda her kullanıcı için ayrı bir kablo çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca ağda yeni kullanıcıların ilavesi veya yer değişiklikleri önemli malzeme ve işçilik giderine neden olmaktadır. Bilgiye her yerden her zaman ulaşabilme vizyonu ile geliştirilen WLAN sistemleri Erişim Alanları vasıtasıyla sunulan kablosuz internet erişimi ile bir ölçüde bunu gerçekleştirmektedir. Özellikle seyahat halindeki kişiler için bu imkân oldukça önemlidir. Şöyle ki, iş seyahatinde bulunan bir kişi hava alanında bekleme salonunda, otelde, konferans salonunda ve alışveriş merkezinde Erişim Alanlarını kullanarak kablosuz internet hizmeti alabilir ve şirketine ait intranete bağlanabilir. Bu hizmetin kablolu sistemlerle sağlanması oldukça zor hatta imkânsızdır.

2.4.4.4 Maliyet Kazancı

Kablosuz ağlar kurulacak sisteme göre değişmekle birlikte genellikle kablolu ağlara göre daha düşük maliyetlidir. Çünkü kablo maliyeti ve kablolama işçiliği ücreti yoktur. WLAN sistemlerinde kullanılan erişim noktası ve kablosuz ağ kartlarının maliyeti ise her geçen biraz daha azalmaktadır. Genellikle spektrum kullanımı da ücretsizdir. Esnek ağ ihtiyacını karşılamada ve geçici ağ kurulumlarında WLAN sistemleri maliyet kazancı sağlar. Kablo çekmenin zor olduğu doğal engellerin geçilmesi veya dağınık yapıya sahip kampus uygulamalarında kurulum ve işletme maliyeti kablolu ağlara oranla düşüktür. Ayrıca kablo ve konnektörlerin potansiyel arıza kaynağı olması dikkate alındığında WLAN sistemlerinde arıza oranı ve bakım gideri daha azdır. Özellikle fabrika ve depo gibi fiziksel şartların zor olduğu ortamlarda kablo arızası riski ortadan kaldırılmaktadır. Ağ idaresi açısından bakım maliyetlerinin düşüklüğü ve ağdaki bilgisayarların kolayca yer değiştirme imkânına sahip olması işletme ve bakım masraflarını en az düzeye indirmektedir.

2.4.5 WLAN Sistemlerinin Dezavantajları

WLAN Sistemlerinin pek çok avantajının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Başlangıçta çok daha fazla olan sorunlardan standartlaşma, ürün çeşitliliği, maliyet ve frekans tahsisi gibi konular nispeten çözülmüştür. Ancak halen aşağıda belirtilen sorunlar kullanıcı için dezavantaj olarak durmaktadır. Bu dezavantajların giderilmesi için düzenleyici otoriteler, üreticiler ve işletmeciler tarafından çözüm arayışları devam etmektedir.

2.4.5.1 Güvenlik Problemi

WLAN Sistemlerinin en önemli problemi güvenlidir. Kötü niyetli saldırıları engellemek ve izinsiz kullanımları önlemek için güvenlik sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Kablosuz sistemler kullanıcıya büyük avantajlar sunarken güvenlik açısından ise ciddi dezavantajlar yaratmaktadır. Çünkü havada serbestçe yayılan RF'in doğası gereği dinlenmesini önlemek imkânsızdır. Genel olarak kablolu teknoloji ile kıyaslandığında kablosuz sistemleri dinlemek çok daha kolaydır. WLAN sistemleri için 802.11x standartlarında kablolu ağ düzeyinde fiziksel koruma sağlamak üzere Kablolu Eşdeğeri Güvenlik (Wired Equivalent Privacy, WEP) adlı güvenlik mekanizması uygulanmaktadır. WEP güvenlik sisteminde kullanıcı ve AP tarafından statik 40 bit'lik veya 128 bit'lik kodlama yapılarak, iletilen verinin güvenliği sağlanmaktadır. Bu sistemde kullanıcının kim olduğuna bakılmaksızın kablosuz cihazdaki kart sisteme tanıtılmaktadır. Bu durumda yetkisiz kişiler çeşitli yöntemlerle kendi kartlarını sisteme tanıtarak giriş yapabilmektedirler. Bu güne kadar yapılan uygulamalar WEP güvenlik sisteminin istenilen başarıyı sağlamadığını göstermiştir. I-SEC firmasının yaptığı bir araştırmada Amerika'da şirketlerin %67'sinin WEP şifreleme kullanmadıkları, sadece % 32'sinin WEP şifreleme kullandıkları görülmüştür. WEP şifrelemenin zayıf yönlerini gidermek üzere Wi-Fi Protected Access (WPA) güvenlik sistemi geliştirilmiştir. WPA'da veri miktarı veya zamana bağlı olarak değişen güvenlik anahtarı kullanılmaktadır. WEP ile kıyaslandığında WPA güvenlik şifresini elde etmek daha zordur ve daha fazla zaman harcamak gerekmektedir. Kablosuz sistemlerdeki güvenlik açıklarını kapatmak ve daha güçlü bir güvenlik sistemi geliştirmek üzere IEEE 802.11i standardı geliştirilmektedir.

2.4.5.2 Enterferans Etkisi

Kablosuz çalışan tüm sistemler az veya çok enterferansa açıktır. Özel frekans tahsisli sistemlerin enterferansa maruz kalma olasılığı daha düşüktür. Ayrıca tahsisli frekanslarda meydana gelen enterferans derhal ilgili kurum tarafından enterferans kaynağı tespit edilerek giderilmektedir. WLAN sistemleri ise genellikle ISM bandını kullandıklarından enterferansa açıktır. Kullanıcıların bu bandın kullanım şartları gereği enterferanstan şikayet etme hakları da yoktur. Böylece WLAN sistemlerinin bulundukları bölgeye bağlı olmakla birlikte diğer sistemler tarafından enterferansa maruz kalma olasılıkları yüksektir.

Diğer telsiz sistemlerinden başka WLAN sistemlerinin birbirlerini enterfere etme olasılıkları da vardır. Çalışan sistemlerin artması, servis sağlayıcıların yakın noktalarda erişim noktaları kurmaları enterferansa neden olabilmektedir. Bu durum özellikle RF'in taşınmaz sınırları dışına taşıdığı durumlarda veya kamuya açık alanlarda olmaktadır. Yoğun şehir merkezlerinde

WLAN sistemlerinin yaygınlaşması durumunda enterferans sorunları yaşanabilir.

2.4.5.3 İletişim Mesafesi

WLAN Sistemlerinin bir diğer dezavantajı ise kapsama alanı yani iletişim mesafesinin kısa olmasıdır. Adından da anlaşılacağı gibi WLAN sistemleri yerel alan ağ çözümleridir. Kullanılan frekans bandı ve standartların müsaade ettiği kısıtlı çıkış gücü nedeniyle WLAN sistemlerinin mesafesi 100 m civarındadır. Açık alanlarda bu mesafe 300 m civarına kadar artmaktadır. Ayrıca kazançlı anten kullanılarak bu mesafeyi çok daha fazla artırmak mümkündür. Aynı şekilde duvar ve mobilya gibi fiziksel engellerin fazla olması durumunda bu mesafe 10 metreye kadar da düşebilmektedir. Sonuçta WLAN sistemlerinden GSM sisteminde olduğu gibi geniş alan kaplaması beklemek teknik olarak mümkün değildir. WLAN sistemleri için en başarılı uygulama yeterli sayıda ve uygun yerlere monte edilmiş erişim noktaları ile belirli bir alanda kesintisiz iletişim sağlamaktır.

2.4.5.4 Dolaşım Problemi

WLAN Sistemlerinin çözüm bekleyen bir diğer sorunu ise ulusal ve uluslararası dolaşımdır (roaming). Dolaşım konusunda birçok uygulama halen mevcuttur. Örneğin bir Amerikan şirketi olan T-Mobile beş Avrupa ülkesinde abonelerine bu hizmeti sunmaktadır. 2004 yılı başlarındaki uluslararası Erişim Alanı sayısı 669 adettir. Ancak uluslararası standart bir dolaşım anlaşması henüz geliştirilmemiştir. Dolaşımı sağlamak için frekans tahsisleri, işletme standartların uyumlaştırılması, faturalama ve servis kalitesi gibi konularda işletmecilerin aralarında anlaşmaları gerekmektedir. Dolaşım için şirketler tarafından çeşitli yazılımlar geliştirilmiş ve organizasyonlar kurulmuştur.

2.4.5.5 Mobil Cihaz Kısıtları

WLAN Sistemlerinde kullanıcıya büyük avantaj sağlayan mobil olma özelliği teknik açıdan önemli sorunlar yaratmaktadır. Sabit sistemlerde çok önemli olmayan güç tüketimi, ekran boyutu, tuş takımı ve diğer teknik özellikler mobil sistemlerde belirgin kısıtlamalara neden olmaktadır. Bilgisayarların kullanılmaya başlanmasından bu güne kadar hız ve kapasiteleri oldukça fazla artmış olmasına rağmen batarya kapasiteleri ve ömürleri aynı oranda artmamıştır. Bu nedenle taşınabilir bilgisayarların kullanım süreleri birkaç saat ile sınırlıdır. Batarya ömürlerinin artırılmasıyla birlikte önemli ölçüde kullanım kolaylığı sağlanacaktır. Ayrıca bağlantı sorunları da yaşanmaktadır. Çünkü kablosuz bağlantı için mobil cihazda uygun ayarların yapılması gerekmektedir. Bu da kullanım sırasında bazı bağlantı sorunlarına

neden olmaktadır. Ancak daha kolay bağlantı imkânları sağlanmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Özellikle son sürüm yazılımlarda birçok işlem cihaz tarafından yapılarak kolay ve hızlı bir bağlantı gerçekleştirmek mümkündür. Örneğin WINDOWS XP kullanılması durumunda bağlantı oldukça kolay gerçekleşmektedir.

3. MOBİL RADYO PROPAGASYONU

Mobil radyo kanalı, kablosuz haberleşme kanalının performansına bazı temel yönlerden sınırlamalar getirir. Verici ve alıcı arasındaki yol; kolayca iletişimin sağlanabildiği doğrudan görüş hattı olabileceği gibi, sinyalin izlediği yol binalar, dağlar ve ağaçlar tarafından engellendiği bir yol da olabilir. Kablolu iletişimden farklı olarak, kanallar durağan ve tahmin edilebilir değildir; rastlantısaldır ve kolay analiz edilemezler.

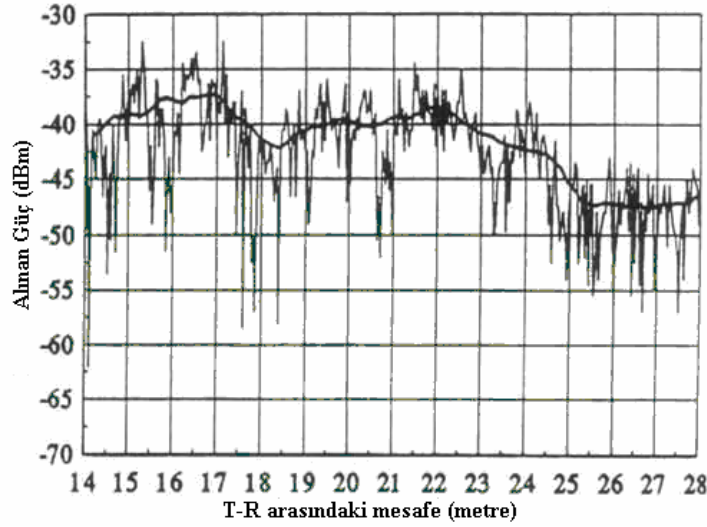
3.1 Elektromagnetik Dalga Propagasyonuna Giriş

Elektromagnetik dalga propagasyonuna yardımcı olan çok farklı mekanizmalar bulunmaktadır. Bunlar yansıma, kırınım ve saçılma olarak sıralanabilir. Farklı nesnelerden kaynaklanan çok yollu yansımalarından dolayı, elektromagnetik dalgalar değişen uzaklıklara bağlı olarak farklı yollar izleyerek ilerler. Bu dalgalar arasındaki etkileşim belirli bir noktada çok yollu zayıflamaya neden olur ve verici ile alıcı arasındaki mesafe arttıkça dalgaların genlik şiddeti azalır. Bina içinde, genelde alıcı ve verici arasında doğrudan görüş sağlanamadığı için vericiden çıkan sinyal, alıcıya; yansıma, kırınım ve saçılma gibi yardımcı faktörler sayesinde ulaşır.

Propagasyon modelleri genel olarak vericiden uzak belli bir noktada alınan ortalama sinyal seviyesini tahmin etmeye dayalıdır. Rasgele seçilen verici-alıcı arasındaki mesafe için ortalama sinyal şiddetini tahmin etmeye dayalı propagasyon modelleri, bir vericinin kapsama alanının hesaplanmasında çok kullanışlıdır. Bu modellere büyük-ölçek propagasyon modelleri denmektedir ve birkaç yüz veya bin metre gibi büyük T-R aralıkları üzerinden sinyal şiddetini karakterize ederler. Diğer bir yandan, birkaç dalga boyu çok kısa mesafeler veya saniyeler mertebesindeki kısa zaman aralıkları üzerinden hızlı değişimi karakterize eden propagasyon modelleri de vardır ve bunlara küçük-ölçek zayıflatma modelleri denilmektedir.

Hareketli bir cisim, çok kısa mesafelerde hareket ettiği süre boyunca, anlık alınan sinyal şiddeti kısa dalgalanmalarda bulunarak küçük-ölçek zayıflamaya neden olabilir. Bunun nedeni alınan sinyali değişik yönlerden yansıyan bileşenlerinin yankılarının toplamı oluşturmasıdır. Fazlar rasgele olduğu için, yansıyan bileşenlerin toplamı büyük ölçüde değişmektedir. Küçük-ölçek zayıflatmada; hareketli alıcı, dalga boyunun küçük bir kesiri kadar yol aldığı anda bile, alınan işaretin gücü genlik şiddetinin bir kaç katı kadar (30 – 40 dB arası) değişmektedir. Hareketli alıcı, vericiden hızlı bir şekilde uzaklaştığında alınan yerel ortalama sinyal şiddeti kademe kademe azalır ve bu sinyal şiddeti büyük-ölçek propagasyon modelleri tarafından tahmin edilen alınan yerel ortalama sinyaldir. Genel olarak, yerel

ortalama alınan sinyal 5λ ila 30λ arasında uzunluğu değişen bir ölçüm aralığında yapılan ortalama ölçümlerle hesaplanmaktadır (Rappaport, 96).



Şekil 3.1 Küçük-ölçek ve büyük-ölçek zayıflatma

Yukarıdaki şekil, bir bina içi haberleşme sistemi için büyük değişimler gözlenen küçük-ölçek zayıflatmayı ve daha yavaş değişimler gözlenen büyük-ölçek zayıflatmayı göstermektedir. Şekilde alıcı hareket ettiği zaman işaretin zayıfladığı, ancak yerel ortalama işaretin uzaklıktan çok daha yavaş şekilde değiştiği görülmektedir.

3.2 Serbest Uzak Modeli

Serbest uzak modeli, alıcı ve verici arasında net, engellerin olmadığı doğrudan bir görüş hattı olduğunda alınan sinyal kuvvetini kestirmede kullanılmaktadır. Işıma yapan verici bir antenden d mesafe uzaklıkta olan alıcı anten tarafından alınan serbest uzak gücü, aşağıdaki Friis serbest uzak denklemiyle verilir;

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (3.1)$$

Burada; P_t verilen güç, $P_r(d)$ T-R arasındaki uzaklığın fonksiyonu alınan güç, G_t verici anten kazancı, G_r alıcı anten kazancı, d metre cinsinden T-R arasındaki mesafe, L propagasyondan bağımsız sistem kaybı ($L \geq 1$) ve λ metre cinsinden dalga boyudur ve, etkin açıklığa bağlı olarak anten kazancı G ,

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır. Etkin açıklık, A_e , antenin fiziksel boyutuna bağlıdır ve dalga boyunun (λ) taşıyıcı frekansa bağımlılığı şu ifade ile verilebilir:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2\pi c}{\omega_c} \quad (3.3)$$

Burada, f , Hertz cinsinden taşıyıcı frekansı, ω_c radyan/saniye cinsinden taşıyıcı frekansı ve, c metre/saniye cinsinden ışık hızıdır. P_t ve P_r değerleri aynı birimle, ve G_t ve G_r birimsiz ifade edilmelidir. Kayıplar ise L ($L \geq 1$) iletişim sistemindeki transmisyon hattı zayıflaması, filtre kayıpları ve anten kayıpları olarak tanımlanabilir. $L=1$ değeri, sistem donanımında hiçbir kaybın olmadığını belirtir.

(3.1)'de belirtilen Friis serbest uzay denklemi alınan gücün verici ile alıcı arasındaki mesafenin karesiyle orantılı olarak azalmaktadır. Bu, alınan gücün uzaklıkla 20 dB/dekat oranıyla azaldığını göstermektedir.

İzotropik anten, tüm yönlerde aynı birim kazançla ışıma yapan antendir ve genellikle kablosuz sistemlerde anten kazançlarına referans oluşturmak için kullanılır. Etkin izotropik yayılan güç (EIRP) (3.4) ile tanımlanabilir:

$$EIRP = P_t G_t \quad (3.4)$$

ve maksimum anten kazancı yönünde vericiden gönderilen maksimum gücü tanımlar.

Pratikte, etkin yayılan güç terimi (ERP) izotropik anten yerine kullanılan yarım dalga dipol antene kıyasla maksimum yayılan gücü belirtmek için EIRP yerine kullanılır. Bir dipol antenin kazancı 1,64 olduğunda, ERP değeri aynı transmisyon sistemi için EIRP'den 2,15 dB daha az olacaktır. Pratikte, anten kazançları dBi (izotropik kaynak için dB kazanç) veya dBd (yarım-dalga dipol anten için) birimleri ile ifade edilmektedir.

Yol kaybı, dB cinsinden ölçülen pozitif değerde ölçülen işaret zayıflamasını belirtir ve etkin verici gücü ile alıcı güç arasındaki farkı dB cinsinden tanımlanır. Anten kazançlarının etkisini içerebilir ya da içermeyebilir. Serbest uzay modeli için anten kazançlarını içeren yol kaybı formülü;

$$PL(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \left[\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] \quad (3.5)$$

olarak tanımlanır. Antenlerin birim kazançla sahip olduğu farz edildiğinde, anten kazançlarından bağımsız hale gelir ve yol kaybı şu şekilde tanımlanabilir:

$$PL(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] \quad (3.6)$$

Friis uzay modeli, verici antenin uzak alandaki d uzaklık değerleri için güvenilir bir tahmin etme modelidir. Uzak alan veya Fraunhofer bölgesi, verici anten için, d_f uzak alan mesafesinin ötesindeki bölge olarak tanımlanır. Taşıyıcı dalga boyu ile verici anten açıklığının en büyük lineer boyutunun fonksiyonudur. Fraunhofer uzaklığı,

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3.7a)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada D antenin en büyük fiziksel lineer boyutudur. Ayrıca, uzak alan bölgesinde, d_f aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

$$d_f \gg D \quad (3.7b)$$

ve

$$d_f \gg \lambda \quad (3.7c)$$

Ancak (3.1) denkleminin $d=0$ için sağlanmadığı görülmektedir. Bu nedenle, büyük-ölçek propagasyon modelleri alınan gücün referans noktası olarak d_0 gibi bir mesafe kullanılmaktadırlar. $d > d_0$ olan herhangi bir mesafede alınan güç $P_r(d)$, d_0 uzaklığındaki P_r bağdaştırılabilir. $P_r(d_0)$ değeri (3.1) bağıntısından tahmin edilerek veya vericiden d_0 radyal mesafesindeki birçok noktada alınan gücün ortalaması alınarak bulunmaktadır. Referans uzaklık uzak-alan bölgede seçilmelidir. Bu uzaklık $d_0 \geq d_f$ olarak tanımlanabilir ve d_0 mesafesi hareketli haberleşme sistemlerinde kullanılan herhangi bir uzaklıktan daha küçük seçilmelidir.

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d} \right)^2 \quad d \geq d_0 \geq d_f \quad (3.8)$$

Birkaç kilometre kare kapsama alanında P_r değerleri, genliğinin katları kadar değişebilmektedir. Bu sık değişimden dolayı alınan güç seviyeleri dBm veya dBW birimlerinde ifade edilmektedirler. (3.8) eşitliği, her iki tarafın da basitçe logaritması alınarak dBm veya dBw birimlerine dönüştürülebilir. Örneğin, P_r dBm biriminde olduğunda, alınan güç şu şekilde verilmektedir:

$$P_r(d) \text{ dBm} = 10 \log \left[\frac{P_r(d_0)}{0,001W} \right] + 20 \log \left(\frac{d_0}{d} \right) \quad d \geq d_0 \geq d_f \quad (3.9)$$

Burada $P_r(d_0)$ değeri Watt birimindedir.

1-2 GHz frekans aralığında kullanılan düşük kazançlı antenler için referans mesafesi bina içi sistemlerde genellikle 1 m. iken bina dışı sistemlerde 100 m. yada 1 km. alınmaktadır. Böylece, (3.8) ve (3.9) eşitliklerindeki pay 10'un katları şeklindedir. Bu durum yol kaybı hesaplamalarını dB biriminde kolaylaştırmaktadır.

3.3 3 Temel Propagasyon Mekanizması

Yansıma, kırınım ve saçılma, hareketli bir haberleşme sisteminde propagasyonu pekiştiren üç temel mekanizmadır. Alınan güç (veya karşılığı olan yol kaybı); yansıma, saçılma ve kırınım fiziğine dayandırılan büyük-ölçek propagasyon modellerinin kestiriminde genellikle en önemli parametredir. Küçük-ölçek zayıflatma ve çok yollu propagasyon da bu üç temel propagasyon mekanizmasının fiziği sayesinde tanımlanabilmektedir.

Yansıma, yayılan bir elektromagnetik dalganın dalga boyuna kıyasla çok büyük boyutları olan bir nesneye çarpması durumunda gerçekleşir. Yansıma Dünya'nın yüzeyinden ve binalardan ve duvarlardan meydana gelir.

Kırınım, verici ile arasındaki yolun keskin kenarları olan bir cisim tarafından engellenmesi durumunda meydana gelir. Verici ile alıcı arasından doğrudan görüş hattı olmadığında halde bile, engelleyen yüzeyden meydana gelen ikincil dalgalar tüm uzayda ve hatta engelin arkasında bile yer almaktadır. Bu durumda, engelin arkasında dahi elektrik alanda bir artış sağlanacaktır. Yüksek frekanslarda, kırınım da yansıma gibi hem nesnenin geometrisine hem de genlik, faz ve gelen dalganın polarizasyonuna bağlıdır.

Saçılma, birim hacime düşen engel sayısının fazla olduğu ve dalga boyuna kıyasla nesnelerin küçük boyutlara sahip olduğu dalganın ilerlediği ortamda gerçekleşir. Saçılan dalgalar pütürlü yüzeyler, küçük veya kanaldaki diğer düz olmayan nesneler tarafından meydana getirilir.

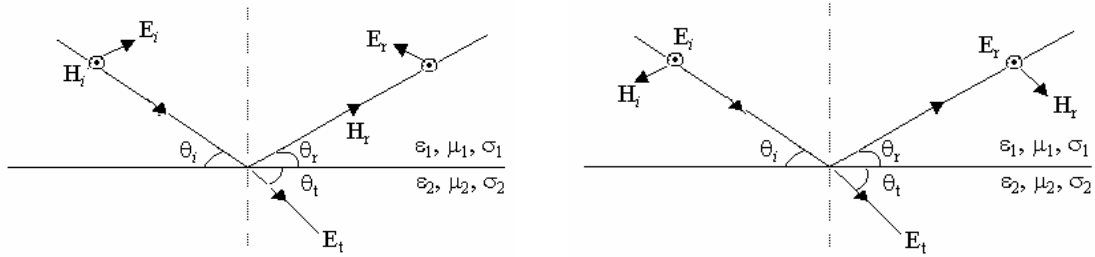
Pratikte; hareketli hücresel haberleşme sistemlerde saçılmaya yeşillikler, sokak sinyalleri ve lamba direkleri neden olmaktadır.

3.3.1 Yansımaya

Herhangi bir ortamdaki elektromagnetik dalga farklı elektriksel özellikleri olan diğer bir ortama geçtiğinde; kısmen yansımaya uğrar, kısmen de diğer ortama geçer. Düzlem dalga mükemmel yalıtkan üzerine geldiğinde, enerjinin bir kısmı ikinci ortama geçer; bir kısmı ise birinci ortama yansır; ve soğurulmada herhangi bir enerji kaybı olmaz. Eğer ikinci ortam mükemmel iletken ise, gelen enerjinin tümü, enerji kaybı olmaksızın birinci ortama geri yansır. Yansıyan ve geçen dalgaların elektrik alan yoğunluğu yansımaya katsayısı (Γ) boyunca orijindeki ortamdaki gelen dalga ile ilişkili olabilir. Yansımaya katsayısı malzemelerin özelliklerinin fonksiyonudur ve genellikle dalga polarizasyonuna, geliş açısına ve yayılan dalganın frekansına bağlıdır.

3.3.1.1 Dielektrikten Yansımaya

Şekil 2.4 iki dielektrik ortam arasındaki sınır düzlemine θ_i açısıyla gelen elektromagnetik dalga göstermektedir. Şekilde gösterildiği gibi, enerjinin bir kısmı θ_r açısıyla ilk ortama geri yansır, bir kısmı ise θ_t açısıyla ikinci ortama geçer. Yansımanın yapısı elektrik alanın polarizasyonun yönüyle değişir. Polarizasyonun rasgele yönlerdeki davranışı Şekil 2.4'te gösterildiği gibi iki ayrı durum için incelenmektedir. Gelen düzlemi gelen, yansıyan ve geçen ışınların içerildiği düzlem olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.2a'da elektrik alan polarizasyonu gelen düzlemiyle paraleldir. Bu, elektrik alan düşey polarizasyonlu veya yansımaya düzleminin normal bileşeni anlamına gelmektedir. Şekil 3.2b'de ise elektrik alan polarizasyonu gelen düzlemine diktir. Bu, gelen elektrik alan sayfa düzleminden okuyucuya doğrudur ve sayfaya dik yansımaya düzlemine paraleldir.



Şekil 3.2 a-Gelen düzlemine paralel elektrik alan(TE) b- Gelen düzlemine dik elektrik alan (TM)

Şekil 3.2’de i, r, t alt indisleri sırasıyla gelen, yansıyan ve geçen alanları ifade eder. ϵ_1 , σ_1 , μ_1 ve ϵ_2 , σ_2 , μ_2 parametreleri sırasıyla iki ortamın elektrik geçirgenliğini, iletkenliğini, manyetik geçirgenliğini temsil etmektedir. Çoğunlukla, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m iken mükemmel (kayıpsız) dielektriğin dielektrik sabiti bağıl geçirgenlik, ϵ_r , $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ bağıntısında olduğu gibi, bir dielektrik malzeme kayıpsız ise güç soğurur ve kompleks sabit aşağıdaki bağıntıyla tanımlanır:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r - j\epsilon' \quad (3.10)$$

Ve burada ϵ' şu şekilde tanımlanır:

$$\epsilon' = \frac{\sigma}{2\pi f} \quad (3.11)$$

Burada σ malzemenin iletkenliğidir ve birimi Siemens/metre’dir. Malzeme iyi iletken ise σ ve ϵ_r çalışılan frekanstan bağımsız hale gelir. ($f < \sigma < (\epsilon_0 \epsilon_r)$) Kayıpsız dielektrikte ϵ_0 ve ϵ_r genellikle frekansta sabit olurlar ancak Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi σ , çalışılan frekansa bağımlı olabilir.

Çizelge 3.1 Bazı malzemelerin farklı frekanslarda parametreleri (Rappaport, 96)

Malzeme	Bağıl Geçirgenlik ϵ_r	İletkenlik σ (s/m)	Frekans (MHz)
Fakir Toprak	4	0,001	100
Tipik Toprak	15	0,005	100
İyi Toprak	25	0,02	100
Deniz suyu	81	5	100
Tatlı Su	81	0,001	100
Tuğla	4,44	0,001	4000
Kireçtaşı	7,51	0,028	4000
Cam, Corning 707	4	0,00000018	1
Cam, Corning 707	4	0,000027	100
Cam, Corning 707	4	0,005	10000

Süperpozisyon teoremi sayesinde, genel yansıma problemlerini çözmek için sadece iki

ortogonal polarizasyon dikkate alınmalıdır. İki dielektrik sınırındaki paralel ve dik elektrik alan polarizasyonu için yansıma katsayıları şu şekilde verilebilir:

$$\Gamma_{\parallel} = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 \sin \theta_t - \eta_1 \sin \theta_i}{\eta_2 \sin \theta_t + \eta_1 \sin \theta_i} \quad (\text{gelen düzleminde olan elektrik alan}) \quad (3.12)$$

$$\Gamma_{\perp} = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 \sin \theta_i - \eta_1 \sin \theta_t}{\eta_2 \sin \theta_i + \eta_1 \sin \theta_t} \quad (\text{gelen düzleminde olmayan elektrik alan}) \quad (3.13)$$

Burada η_i i 'inci ortamın ($i=1,2$), gerçek empedansını işaret etmektedir. Ve $\sqrt{\mu_i/\epsilon_i}$ olarak verilmektedir. Özel ortamda, üniform düzlem dalga için tanımlanan elektrik alanın manyetik alana oranıdır. Bir elektromagnetik dalganın hızı $1/\sqrt{\mu\epsilon}$ bağıntısıyal verilmekte ve gelen düzlemindeki sınır koşulları “Snell” kanunlarına uymaktadır. Şekil 3.2’de bahsedilen “Snell” kanunları şu şekilde verilebilmektedir:

$$\sqrt{\mu_1\epsilon_1} \sin(90 - \theta_i) = \sqrt{\mu_2\epsilon_2} \sin(90 - \theta_t) \quad (3.14)$$

Maxwell denklemlerinden çıkarılan sınır koşulları hem (3.12) ve (3.13) denklemlerinin hem de (3.15), (3.16a) ve (3.16b) denklemlerinin çıkarılmasında kullanılmaktadır:

$$\theta_i = \theta_r \quad (3.15)$$

ve

$$E_r = \Gamma_{\parallel} E_i \quad (3.16a)$$

$$E_r = \Gamma_{\perp} E_i \quad (3.16b)$$

Burada Γ polarizasyona bağlı olarak $\Gamma_{\perp}$ veya $\Gamma_{\parallel}$ olarak alınmaktadır. İlk ortamın serbest uzay olması ve $\mu_1=\mu_2$ olması durumunda, düşey ve yatay polarizasyon durumlarının her ikisinde de yansıma katsayıları aşağıda verildiği gibi basit şekilde ifade edilebilmektedir:

$$\Gamma_{\parallel} = \frac{-\epsilon_r \sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\epsilon_r \sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (3.17)$$

ve

$$\Gamma_{\perp} = \frac{\sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (3.18)$$

3.3.1.2 Brewster Açısı

“Brewster” açısı, orjindeki ortamda hiçbir yansımanın olmadığı açıdır. Gelen açının θ_B olduğu düşünülürse, yansıma katsayısı Γ_{II} sıfıra eşit olur. Bu açı şu şekilde verilmektedir:

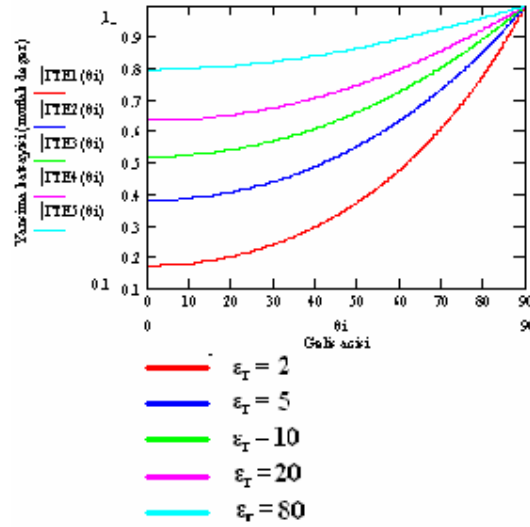
$$\sin(\theta_B) = \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \quad (3.19)$$

Birinci ortamın serbest uzay ve ikinci ortamın ϵ_r bağıl geçirgenlik sabitine sahip olduğunu düşünürsek, (3.19) denklemi şu şekilde verilebilir (Rappaport, 96):

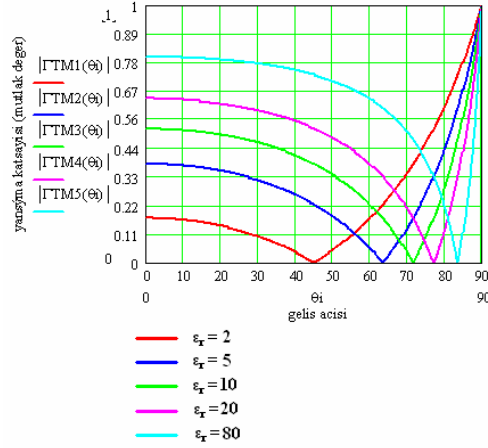
$$\sin(\theta_B) = \sqrt{\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2 - 1}} \quad (3.20)$$

Brewster açısı sadece düşey (ör; paralel) polarizasyonda meydana gelmektedir.

Verilen tüm bu bilgiler ışığında yansıma katsayısının TE ve TM polarizasyon modlarındaki farklı malzemelerle (farklı bağıl dielektrik katsayısı) geliş açısına göre değişimi Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te gösterildiği gibidir.

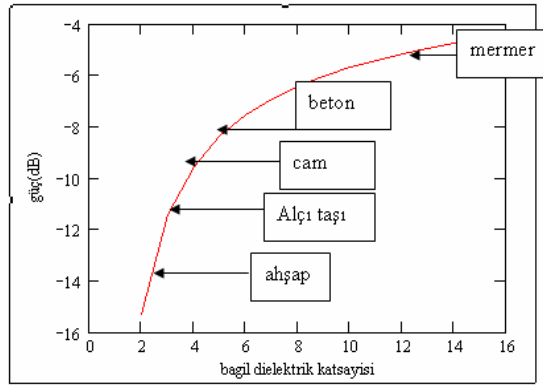


Şekil 3.3 TE polarizasyonunda yansıma katsayısının farklı malzemelerde geliş açısına göre değişimi



Şekil 3.4 TM polarizasyonunda yansıma katsayısının farklı malzemelerde geliş açısına göre değişimi

Yansıma katsayısının bağıl dielektrik katsayısına göre değişimi ise Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Yansıma katsayısının bağıl dielektrik katsayısına göre değişimi

Şekilden de görüldüğü gibi büyük değerlerde bağıl dielektrik katsayısına sahip mermerin yansıma katsayısı diğer elemanlara göre daha fazladır. Buna göre TE polarizasyonu için yansıma katsayısı bağıl dielektrik katsayısıyla doğru orantılı olacaktır.

3.3.1.3 Mükemmel İletkenlerden Yansıma

Elektromagnetik enerji mükemmel bir iletkenin içinden geçemeyeceğinden, iletkenin üzerine gelen düzlem dalga, enerjisinin tümünü yansıtmaktadır. İletken üzerindeki elektrik alanın Maxwell denklemlerini sağlaması gerektiğinden her zaman sıfıra eşit olmalıdır ve yansıyan dalganın genliği de gelen dalganın genliğine eşit olmalıdır.

$$\theta_i = \theta_r \quad (3.21)$$

ve

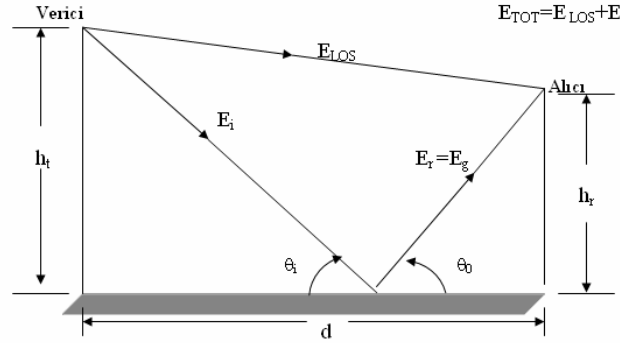
$$E_i = E_r \quad (\text{Gelen düzleminde elektrik alan}) \quad (3.22)$$

$$\theta_i = \theta_r \quad (3.23)$$

ve

$$E_i = -E_r \quad (\text{Gelen düzleminde olmayan elektrik alan}) \quad (3.24)$$

(3.21) ve (3.24) denklemlerine bakılarak, geliş açısından bağımsız olarak, mükemmel bir iletken için $\Gamma = 1$, ve $\Gamma = -1$ olduğu görülmektedir. Eliptik polarizasyonlu dalgalar, Şekil 3.5'te görüldüğü üzere “süperpozisyon” yöntemi kullanılarak analiz edilmektedir.

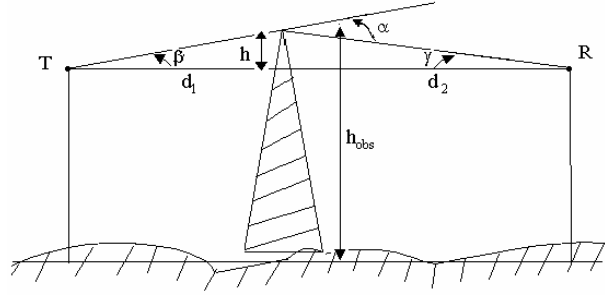


Şekil 3.6 İki ışınlı yerden yansıma modeli

3.3.2 Kırınım

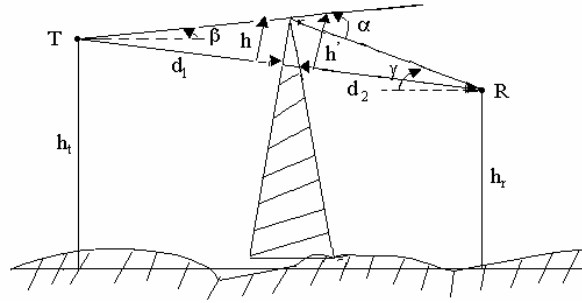
Kırınım; kavisli yeryüzü etrafında, ufuk ötesinde ve engellerin arkasında propagasyonu sağlamaktadır. Alıcı engellenmiş(gölgelenmiş) bölgeye doğru hızlı ilerlediğinde, kırınım bölgesi hala mevcuttur ve kaliteli bir işaret üretebilmek için yeterli alan şiddetine sahiptir.

Kırınım olayı, Huygenin prensibiyle açıklanabilir. Bu prensibe göre, dalga cephesindeki tüm noktalar ikincil dalgaların oluşumu için noktasal kaynaklar olarak sayılmakta ve bu dalgalar propagasyon doğrultusunda yeni bir dalga cephesi oluşturmaktadırlar. Kırınım, ikincil dalgaların gölgelenmiş bölgeye propagasyonu ile gerçekleşmektedir. Gölgede kalan bölgede kırınım uğrayan alan şiddeti, uzayda engel etrafında ikincil dalgaların elektrik alan bileşenlerinin vektör toplamıdır.



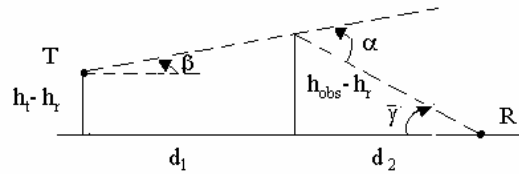
Şekil 3.7 Bıçak sırtı kırınım geometrisi, verici ile alıcı aynı yükseklikte

T noktası vericiyi ve R noktası alıcıyı işaret etmektedir. Şekil 3.6'da belirtildiği gibi T-R arası bıçak-sırtı bir engelle doğrudan görüş hattı tıkanmıştır.



Şekil 3.8 Bıçak sırtı kırınım geometrisi, verici ile alıcı farklı yükseklikte

Verici ile alıcı aynı yükseklikte olmadığı durumdaki bıçak-sırtı kırınım geometrisi şekil 3.7'de gösterilmiştir. α ve β küçük ve $h \ll d_1$ ve d_2 olduğunda, h ve h' hemen hemen eşit aynı duruma gelir ve geometri Şekil 3.8'de gösterildiği gibi tekrar çizilebilir.



Şekil 3.9 En küçük yükseklik (bu durumda h_r) diğer yüksekliklerden çıkarıldığında eşdeğer bıçak-sırtı geometrisi

3.3.2.1 Fresnel Bölge Geometrisi

Şekil 3.6'da uzayda birbirlerine belli uzaklıkta bir verici ve bir alıcı gösterilmektedir. Aradaki engel bölme, sayfa düzleminden içeri ve dışarı doğru sonsuz genişlikte ve efektif olarak h uzunluğunda, vericiden d_1 uzaklıkta ve alıcıdan d_2 uzaklıkta yerleşmiş konumdadır. Vericiden yayılan dalga, bölmenin tepesinden geçerek alıcıya giden dalga doğrudan görüş hattına nazaran daha fazla yol kat edecektir. $h \ll d_1, d_2$ ve $h \gg \lambda$ olduğu varsayıldığında,

doğrudan yol ile kırınıma uğrayan yol arasındaki fark aşırı yol uzunluğu (Δ) olarak isimlendirilmektedir ve Şekil 3.7'deki geometriden elde edilebilmektedir.

$$\Delta = \frac{h^2 (d_1 + d_2)}{2 d_1 d_2} \quad (3.25)$$

Bu yol farkına karşı gelen faz farkı ise şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\phi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h^2}{2} \cdot \frac{(d_1 + d_2)}{d_1 d_2} \quad (3.26)$$

Burada $\tan(x) \approx x$ olduğu zaman, Şekil 3.8'de görüldüğü üzere $\alpha = \beta + \gamma$ 'dır ve α aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\alpha = h \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right)$$

(3.26) denklemi birimsiz Fresnel-Kirchoff kırınım parametresini (v) kullanılarak aşağıdaki bağıntıyla normalize edilebilmektedir.

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} = \alpha \sqrt{\frac{2d_1 d_2}{\lambda(d_1 + d_2)}} \quad (3.27)$$

Burada α 'nın birimi radyan cinsindendir ve Şekil 2.8b ve Şekil 2.8c'de gösterilmektedir.

(3.27) bağıntısından, ϕ şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\phi = \frac{\pi}{2} v^2 \quad (3.28)$$

Yukarıdaki bağıntılarda; doğrudan görüş hattı ile kırınıma uğrayan yol arasındaki faz farkının, hem yüksekliğin ve engelin konumunun hemde verici ile alıcının konumunun fonksiyonu olduğu açıkça görülmektedir.

Pratikteki kırınım problemlerinde, açıların değerlerini değiştirmeksizin tüm yükseklikler bir sabitle azaltılarak geometri basite indirgenebilir. Bu yöntem Şekil 3.8'de gösterilmektedir.

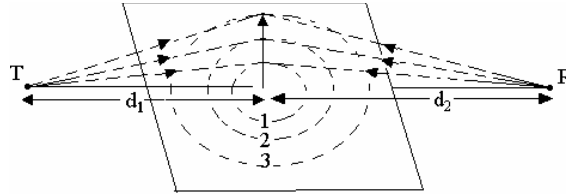
Kırınım kaybı kavramı, yol farkının bir fonksiyonu olarak engel etrafındaki Fresnel bölgeleriyle açıklanabilmektedir. Fresnel bölgeleri, ikincil dalgaların verici ile alıcı arasındaki direkt yol uzunluğunun $n\lambda/2$ katı yol uzunluğuna sahip sinyalleşmenin başarılı olduğu ardışıl

bölgelerdir. Şekil 3.9’da verici ile alıcı arasına yerleşmiş saydam bir düzlem olduğu varsayılmaktadır. Düzlemdeki eş merkezli daireler vericiden alıcıya doğru yayılan ikincil dalgaların merkezlerini ifade etmektedir. Ardışıl dairelerde toplam yol uzunluğu $\lambda/2$ kadar artmaktadır. Bu çemberler Fresnel Bölgeleri olarak adlandırmaktadırlar. Ardışıl Fresnel bölgeleri değişimli olarak kuvvetlendirici ve zayıflatıcı toplam alınan sinyalde etkileşmeye neden olurlar. n . Fresnel bölgesinin yarıçapı r_n olarak gösterilir ve n , λ , d_1, d_2 terimleriyle şu şekilde ifade edilir:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (3.29)$$

Bu yaklaşım $d_1, d_2 \gg r_n$ için geçerlidir.

Her bir çemberin içinden geçen bir ışın üzerinden ilerleyen aşırı yol uzunluğu; n tamsayı olmak üzere; $n\lambda/2$ ’dir. Bu nedenle de , Şekil 3.9’da olduğu gibi, $n=1$ ’e denk gelen en küçük dalganın içinden geçen aşırı yol uzunluğu $\lambda/2$ ’dir ve $n=2,3,4$ vs. denk düşen çemberler sırasıyla λ , $3\lambda/2$, 2λ ... şeklinde aşırı yol uzunluklarına sahip olacaktır. Ardışıl çemberlerin yarıçapları düzlemin konumuna bağlıdır. Şekil 3.9’daki Fresnel bölgeleri, düzlem verici ile alıcı arasındaki tam orta noktada olduğunda en büyük yarıçapa sahip olmakta ve düzlem vericiye yada alıcıya yaklaştırıldığında yarıçap küçülmektedir. Bu etki gölgelenmenin hem frekansa hemde engellerin konumuna bağlı olduğunu göstermektedir.



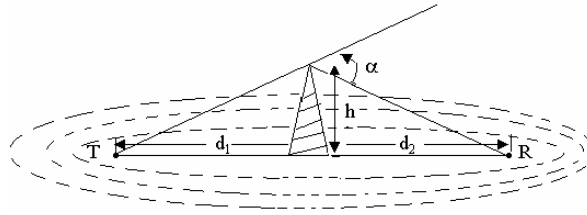
Şekil 3.10 Ardışık Fresnel bölgelerinin sınırlarını tanımlayan eş merkezli çemberler

Hareketli haberleşme sistemlerinde, engelin çevresinde enerjinin sadece bir kısmı kırınıma uğradığından kırınım kaybı ikincil dalgaların engellemesinden oluşmaktadır. Engellenme, Fresnel bölgelerinin bazılarında enerjinin tıkanıklığına neden olmaktadır. Böylelikle, verilen enerjinin sadece ufak bir kısmının alıcıya ulaşmasına izin verilmektedir. Engellenmenin geometrisine bağlı olarak, alınan enerji engellenmeyen Fresnel bölgelerden katkıların vektörel toplamıdır. Şekil 3.10’da gösterildiği gibi bir engel transmisyon yolunu tıkayabilir ve verici ile alıcı arasında aşırı yol gecikmesinin tamsayı katı olduğu durum için tüm noktalar birleştirilerek yarım dalgaboylarının şeklinde elipsoidler meydana getirilebilir. Bu elipsoidler

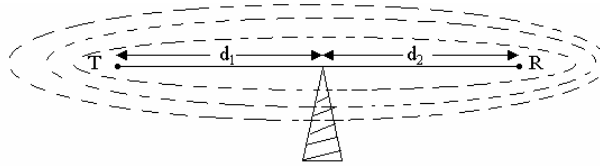
Fresnel bölgelerini ifade etmektedir. Fresnel bölgeleri verici ve alıcı anteni odak noktalarında olan eliptik şekle sahiptir. Şekil 3.10’da farklı bıçak-sırtı kırınım senaryoları gösterilmektedir. Genellikle, bir engel ilk Fresnel bölgesinde kapsanan hacmi bloke etmediğinde, kırınım kaybı en aza indirgenir ve bu durumda da kırınım etkileri ihmal edilebilir.

3.3.2.2 Bıçak-sırtı Kırınım Modeli

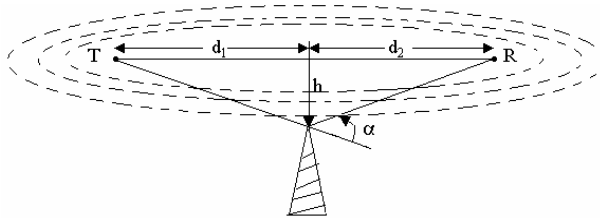
Radyo frekansına sahip dalgaların yüksek tepeler ve binalar üzerinden kırınımına uğramasından kaynaklanan işaret zayıflamasının hesaplanması, bir hizmet alanındaki alan şiddetini hesaplamada temel alınmaktadır. Kırınım kayıplarının kesin kestirimlerinin hesaplanması genellikle imkânsızdır ve pratikte tahmin, zorunlu amprik düzeltmelerle değiştirilen teorik kestirim yöntemidir. Kompleks ve engebeli arazilerde kırınım kayıplarını hesaplamak matematiksel olarak zor olmasına rağmen, birçok basit durum için kırınım kayıpları ifadeleri elde edilmiştir.



(a) “h” pozitif olduğu için “ α ” ve “v” de pozitiftir.



(b) “h” sıfır olduğu için “ α ” ve “v” de sıfıra eşittir.



(c) “h” negatif olduğu için “ α ” ve “v” de negatiftir.

Şekil 3.11 Farklı bıçak-sırtı kırınım durumları için Fresnel bölgelerinin gösterimi

Gölgelenme bir tepe veya dağ gibi tek bir nesne tarafından sağlanırsa kırınımdan kaynaklanan zayıflama, engel bıçak-sırtı kırınımına neden olduğu varsayılarak hesaplanabilir. Bu yöntem kırınım modellerinin en basitidir ve bu durumdaki kırınım kaybı bıçak-sırtı (ayrıca yarı-düzlem olarak da adlandırılabilir) arkasındaki alan için klasik Fresnel çözümü kullanılarak kolayca hesaplanabilir.

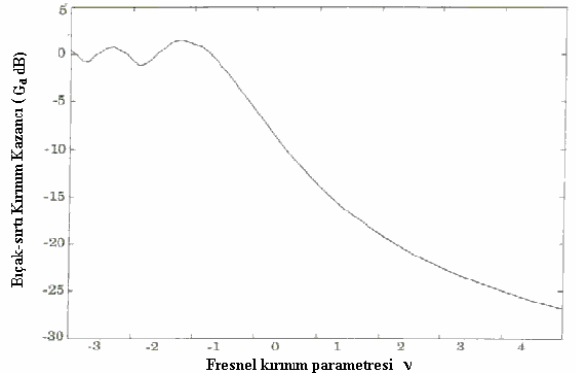
R noktasında, gölgelenen bölgeye (ya da kırınım bölgesi) yerleştirilmiş bir alıcı düşünüldüğünde, Şekil 3.10'da R noktasındaki alan şiddeti bıçak sırtı engel üzerindeki düzlemde bulunan ikincil kaynakların tümünün vektörel toplamıdır. Bıçak-sırtı kırınımına uğramış dalganın elektrik alan şiddeti, E_d , şu bağıntıyla verilmektedir:

$$\frac{E_d}{E_0} = F(v) = \frac{1+j}{2} \int_v^{\infty} \exp((-j\pi t^2)/2) dt \quad (3.30)$$

Burada E_0 sadece yer değil aynı zamanda bıçak sırtı eksikliğinde serbest uzay şiddetidir ve $F(v)$ kompleks Fresnel integralidir. Fresnel integrali, $F(v)$, Fresnel-Kirchoff kırınım parametresinin (v) fonksiyonudur ve (3.27) bağıntısıyla tanımlanmıştır. Genel olarak verilen “ v ” değerleri için tablo ya da grafik kullanılarak hesaplama yapılmaktadır. Kırınım kaybı, serbest uzay elektrik alanıyla karşılaştırıldığında bıçak-sırtının var olması durumunda aşağıdaki bağıntıyla verilmektedir:

$$G_d(\text{dB}) = 20 \log|F(v)| \quad (3.31)$$

Pratikte, grafiksel ya da nümerik çözümler kırınım kazancını hesaplamaya yöneliktir. “ v ” fonksiyonu olarak $G_d(\text{dB})$ 'nin grafik gösterimi Şekil 3.11'te verilmektedir. (3.31) bağıntısı için yaklaşık çözüm Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.12 Fresnel kırınım parametresi cinsinden bıçak-sırtı kırınım kazancı (Rappaport, 96)

Çizelge 3.2 Fresnel-Kirchoff kırınım parametresinin değişen değerleri için kırınım kazancının yaklaşık çözümü

Kırınım Kazancı	Fresnel-Kirchoff Kırınım Parametresi
$G_d(\text{dB}) = 0$	$v \leq -1$
$G_d(\text{dB}) = 20.\log(0,5 - 0,62v)$	$-1 \leq v \leq 0$
$G_d(\text{dB}) = 20.\log(0,5.\exp(-0,95v))$	$0 \leq v \leq 1$
$G_d(\text{dB}) = 20.\log(0,4 - \sqrt{0,1184 - (0,38 - 0,1v)^2})$	$1 \leq v \leq 2,4$
$G_d(\text{dB}) = 20.\log\left(\frac{0,0025}{v}\right)$	$v > 2,4$

3.3.3 Saçılma

Hareketli radyo haberleşmesi ortamında, alınan gerçek sinyal yansıma ve kırınım modellerinde alınan sinyale göre daha güçlüdür. Bunun nedeni, bir radyo dalgasının pürüzlü bir yüzeye çarpması durumunda yansıyan enerji saçılma yüzünden tüm yönlerde etrafa (difüzyon) yayılmasıdır. Ağaçlar ve lamba direkleri gibi nesneler enerjiyi tüm yönlerde saçmaya eğilimli olduklarından, alıcıda elde edilen enerjide artış sağlanmaktadır.

Bir dalga boyundan daha geniş boyuta sahip düz yüzeyler yansıtıcı yüzeyler olarak modellenebilmektedirler. Ancak bu tür yüzeylerin pürüzlülüğü, yansımadan farklı propagasyon etkilerine neden olmaktadır. Yüzeyin pürüzlülüğü çoğunlukla verilen bir θ_i açısı için yüzey kabarıklığının kritik yüksekliğinin (h_c) tanımlandığı Rayleigh kriterinin kullanılarak test edilmektedir.

$$h_c = \frac{\lambda}{8 \sin \theta_i} \quad (3.32)$$

Bir yüzeyin kabarıklığı minimumdan maksimuma kadar h yüksekliği h_c 'den daha az olduğunda düz, kabarıklık h_c 'den daha büyük olduğunda ise pürüzlü yüzey olarak tanımlanabilmektedir. Pürüzlü yüzeyler için, azaltılmış yansıma alanını hesaplamak için düz yüzey yansıma katsayısı, ρ_s , saçılma kaybı faktörü ile çarpılmalıdır.

Ament yüzey yüksekliği h 'ın yerel ortalama ya sahip bir Gauss dağılımlı rasgele değişken olduğunu varsaymış ve ρ_s aşağıdaki bağıntıyla tanımlanmıştır:

$$\rho_S = \exp \left[\left(\frac{\pi \sigma_h \sin \theta_i}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (3.33)$$

Burada σ_h ortalama yüzey yüksekliği çevresindeki yüzey yüksekliğinin standart sapmasıdır.

$$\rho_S = \exp \left[-8 \left(\frac{\pi \sigma_h \sin \theta_i}{\lambda} \right)^2 \right] I_0 \left[8 \left(\frac{\pi \sigma_h \sin \theta_i}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (3.34)$$

$$\Gamma_{\text{engebeli}} = \rho_S \Gamma \quad (3.35)$$

3.3.3.1 Radar Çapraz Kesit (Radar Cross Section) Modeli

Büyük nesnelerin saçılmaya neden olduğu radyo frekanslı kanllarda, bu tür nesnelerin konumunun bilinmesi saçılan sinyal şiddetini tahmin etmede büyük kesinlik kazandırabilmektedir. Bir cismin RCS'i alıcı yönündeki saçılan güç yoğunluğunun saçıcı nesne üzerine gelen radyo frekanslı dalganın güç yoğunluğuna oranıdır ve birimi metre karedir. Kırınım ve fizik-optik geometrisine dayanan analiz yöntemi saçılan alan şiddetinin saptanmasında kullanılmaktadır.

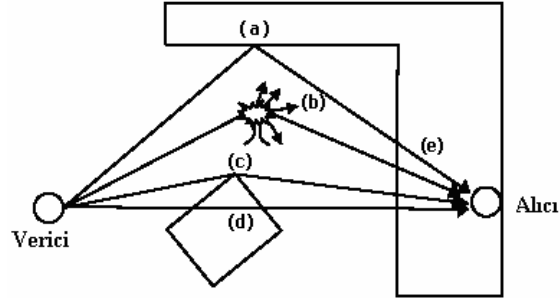
Şehir içi hareketli haberleşme sistemlerinde, bistatik (bistatic) radar eşitliğine dayanan modeller uzak alandaki saçılmadan kaynaklanan alınan gücü hesaplamak için kullanılmaktadır. Bistatik radar eşitliği, saçıcı nesne üzerinde etkisi olan serbest uzayda ilerleyen dalganın propagasyonunu tanımlamaktadır ve alıcı yönünde tekrar ışıma yapmaktadır. Bu güç bağıntısı şu şekilde verilmektedir:

$$P_R \text{ (dBm)} = P_T \text{ (dBm)} + G_T \text{ (dBi)} + 20 \cdot \log(\lambda) + \text{RCS} [\text{dBm}^2] - 30 \cdot \log(4\pi) - 20 \cdot \log d_T - 20 \cdot \log d_R \quad (3.36)$$

Burada d_T ve d_R saçıcı nesnelerden, sırasıyla, vericiye ve alıcıya olan uzaklıklardır. (3.36) denkleminde saçıcı nesnenin hem alıcının hem de vericinin uzak bölgesinde yani Fraunhofer bölgesinde olduğu varsayılmaktadır. RCS değişkeninin birimi $\text{dB} \cdot \text{m}^2$ dir. Bir metre kare referans alınarak dB biriminde saçıcı nesnenin yüzey alanıyla metre kare cinsinden ölçülmektedir. (3.36) denklemi hem alıcının hem de vericinin uzak alanındaki saçıcı nesnelere uygulanabilmektedir ve binalar gibi büyük nesnelerden saçılma gerçekleştiği için alıcı gücü tahmin etmek için oldukça yararlıdır.

Farklı birkaç Avrupa şehirlerinin çevreleri ölçülmüş ve farklı binalar için RCS değerleri,

ölçülen güç gecikme profillerine bakılarak saptanmıştır. 5-10 km uzaklıkta yerleştirilen orta ve büyük boyutlardaki binalarda, RCS değerlerinin $14,1 \text{ dB.m}^2$ ile $55,7 \text{ dB.m}^2$ arasında değişiklikleri görülmüştür.



Şekil 3.13 Propagasyon mekanizmalarının gösterimi a- Yansıma b- Saçılma c- Kırınım d-Transmisyon e- Bina içine penetrasyon

3.4 Küçük Ölçekli Zayıflama

Küçük-ölçek zayıflama veya basitçe zayıflama, kısa bir zaman aralığı ya da ilerleme mesafesinde bir radyo sinyalinin genliğindeki hızlı dalgalanmayı tanımlamak için kullanılmaktadır. Böylelikle büyük-ölçek yol kaybı etkileri ihmal edilebilmektedir. Zayıflamaya, alıcıya farklı zamanlarda ulaşan sinyalin iki veya daha fazla bileşeni arasındaki interferans neden olmaktadır. Bu dalgalar, çok yollu dalgalar olarak isimlendirilmektedir. Yoğunluk dağılımına, dalgaların bağlı yayılma süresine ve verilen sinyalin band genişliğine bağlı olan alıcı antene genlik ve faz bakımından büyük ölçüde değişebilen bu dalgalar alıcı antende en son meydana gelen işareti vermek üzere birleşirler.

3.4.1 Küçük Ölçek Çok Yollu Propagasyon

Radyo kanalındaki çok yollu haberleşme küçük-ölçek zayıflama etkilerine neden olmaktadır. En önemli etkiler şunlardır:

- Kısa mesafede ve kısa zaman aralıklarındaki işaret şiddetindeki hızlı dalgalanmalar
- Değişen çok yollu sinyallerde değişen Doppler kaymasından kaynaklanan rasgele frekans modülasyonu
- Çok yollu propagasyon gecikmesinin neden olduğu zaman dağılımı (yankılar)

Yerleşim bölgelerinde, zayıflamanın nedeni hareketli alıcı antenlerinin çevredeki yapıların yüksekliğinden daha alçak seviyede olmasıdır. Böylelikle, baz istasyonuna doğrudan görüş hattı bulunmamaktadır. Doğrudan görüş hattı mevcutsa dahi çok yollu yayılma, yerden ve çevredeki yapılardan kaynaklanan yansılardan dolayı meydana gelecektir. Gelen radyo

dalgaları farklı yayılma gecikmeleriyle beraber değişik yönlerden alıcıya ulaşmaktadır. Uzaydaki herhangi bir noktada alınan işaret rasgele dağılımlı genliğe, faza ve geliş açısına sahip çok sayıda düzlem dalga içerebilmektedir. Bu çok yol bileşenleri alıcıda vektörel olarak birleşmekte ve hareketli alıcı tarafından alınan sinyalin bozulmasına veya zayıflamasına neden olabilmektedirler. Hareketli alıcı sabit olduğunda bile, radyo kanalında alınan işaret etraftaki nesnelerin hareketinden dolayı zayıflamaya uğrayabilmektedir.

Radyo kanalındaki nesneler statik ve sadece alıcının hareketli olduğu varsayılırsa, bu durumda zayıflama tamamen uzaysal bir olgudur. Sonuçta elde edilen işaretin uzaysal değişimleri, alıcı çok yollu alanda hareket ettikçe geçici değişimler olarak görülmektedir. Uzayda birçok noktada Çok yollu dalgaların yapıcı ve yıkıcı etkileri nedeniyle, yüksek hızda ilerleyen hareketli bir alıcı kısa bir periyot içinde birçok zayıflatmaya uğramaktadır. Pratikte, alıcı alınan sinyalin güçlü bir zayıflatma içinde olduğu bir noktada durabilir. Bu durumda kaliteli haberleşmeyi devam ettirmek zorlaşacaktır. Hareketli alıcının çevresinde hareket eden araçlar ve yürüyen insanlar alan paternini bozarken, sinyalin rahatça alınabilmesi zorlaşacak ve bu nedenle uzun bir zaman aralığı periyodunda alınan işaret büyük bir zayıflatma içerisinde olacaktır. Anten aralıklarının değiştirilmesi güçlü zayıflatmaları engelleyebilmektedir. Bir önceki bölümde verilen Şekil 3.1'deki grafikte hareketli alıcı birkaç metre hareket ettiğinde oluşan küçük-ölçek zayıflama nedeniyle alınan işaret seviyesinde meydana gelen hızlı değişimleri göstermektedir.

Hareketli alıcı ile baz istasyonu arasındaki bağıl hareket her çok yollu dalganın frekansında kolayca görülebilen bir kaymaya neden olmaktadır. Alınan işaretin frekansında hareketten kaynaklanan kayma, Doppler kayması olarak adlandırılmaktadır. Doppler kayması, hızla ve alınan çok yollu dalganın ulaşma yönüne bağlı olarak hareketli alıcının hareket yönüyle doğrudan orantılıdır.

3.4.2 Küçük-Ölçek Zayıflamayı Etkileyen Faktörler

Radyo propagasyon kanalındaki birçok fiziksel etken küçük-ölçek zayıflamaya neden olmaktadır. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Çok Yollu Yayılma

Kanaldaki yansıtıcı nesnelerin ve saçıcıların varlığı, işaretin enerjisini genlik, faz ve zaman bakımından yok edici etkiye devamlı değişen bir ortam yaratmaktadır. Bu etkiler alıcıya ulaşan sinyalde çeşitli değişimler oluşturmaktadır. Farklı çok yollu bileşenler işaretin şiddetinde rasgele faz ve genlik dalgalanmalarına neden olmaktadır. Bu dalgalanmalar, küçük-ölçek zayıflamaya, işaretin bozulmasına veya

her ikisine de yol açabilmektedir. Çok yollu propagasyon genellikle işaretin ana bandının alıcıya ulaşması için gereken zamanın uzamasına neden olmaktadır. Bu durum da semboller arası interferansa bağlı olarak işaretin bozulmaya uğramasına neden olmaktadır.

- Hareketli Alıcının Hızı

Baz istasyonu ile hareketli alıcı arasındaki bağıl hız, her çok yollu bileşenlerin her biri üzerindeki farklı Doppler kaymasından dolayı rasgele frekans modülasyonuna neden olmaktadır. Doppler kayması, hareketli alıcının baz istasyonuna yaklaşmasına yada baz istasyonundan uzaklaşmasına bağlı olarak pozitif veya negatif olarak değişmektedir.

- Çevredeki Nesnelerin Hızları

Eğer radyo kanalındaki hareket halinde olan nesneler, çok yollu bileşenler üzerinde zamanla değişen Doppler kaymasına neden olurlar. Çevredeki nesnelerin hızları hareketli alıcının hızından daha fazla ise, bu etki küçük-ölçek zayıflamaya yol açmaktadır. Aksi takdirde, etraftaki nesnelerin hareketi ihmal edilip, sadece hareketli alıcının hızı dikkate alınabilir.

- İşaretin İletim Band Genişliği

Gönderilen işaretin band genişliği çok yollu kanalın band genişliğinden daha fazla ise, alınan işaret bozulmaya uğrar, ancak şiddeti yerel bölgede pek fazla zayıflamaz. Yani, küçük-ölçek zayıflama önemli yer tutmaz. Kanalın band genişliği, çok yollu yapısından kaynaklan *uyumlu band genişliği* ile ölçülebilmektedir. Kanalın band genişliği, kanalın çok yollu yapısına bağlı olan *uyumlu band genişliği* yardımıyla ölçeklendirilebilmektedir. Uyumlu band genişliği işaretin genliğe bağlı olduğu maksimum frekans farkının ölçümüdür. Gönderilen işaretin band genişliği kanala kıyasla dar ise, işaretin genliği hızlı değişecektir ancak işaret zamanla bozulmaya uğramayacaktır. Bu nedenle küçük-ölçek işaretin şiddeti ve küçük-ölçek mesafelerde ortaya çıkan işaretin bozulma olasılığı, çok yollu kanal gecikmelerine ve işarete bağlı genliklere bağlı olduğu kadar gönderilen işaretin band genişliği ile de ilişkilidir.

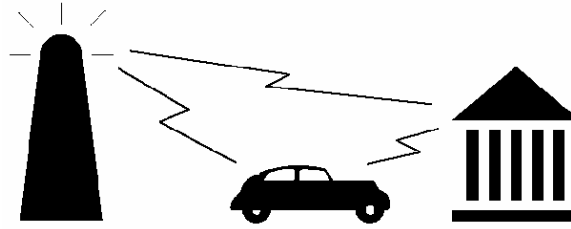
3.4.3 Küçük-Ölçek Zayıflama ile İşaretin Bozulması

Hücresele ağlarda işaretin bozulmasına neden olan başlıca altı tane etken vardır. Bunlardan etkenlerden en sık rastlanan iki tanesi çok-yollu etkilerin (sinyalde yansımalar) neden olduğu, Ricean zayıflama ve Rayleigh zayıflama. Doppler etkileri alıcıların hareketliliğinden

kaynaklanmaktadır. Bloklama, alıcıların hücrede verici/alıcı ünitesi olarak kullanılmakta olan birimden farklı uzaklıklarda olmasından meydana gelir. İşaret kaybına ise etrafta çok fazla nesnenin bulunması neden olmaktadır. Genellikle fiziksel engeller işaret kaybına neden olmaktadır.

3.4.3.1 Ricean Zayıflaması

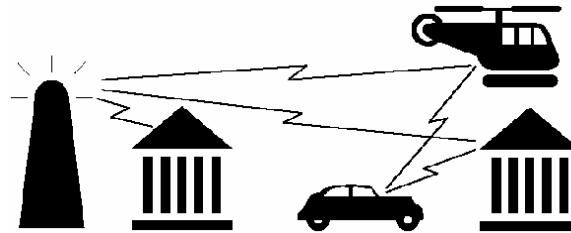
Ricean zayıflaması sıkça rastlanan bir etkidir. Gönderilen işaretin alıcıya ulaşana kadar birçok yol izlemesinden kaynaklanmaktadır. Alıcıya doğrudan iletim sağlandıktan sonra, sinyalin yansımaları alıcıya ulaşır. Bu yansımalar, gönderilen simgelerin gelecek sinyallerle karışmasına neden olur. Aşağıda Şekil 3.13'te araca öncelikle direkt transmisyon, hemen ardından da binadan yansıyarak gelen yankımlar ulaşmaktadır.



Şekil 3.14 Ricean zayıflaması (Çok yollu etkiler)

3.4.3.2 Rayleigh Zayıflaması

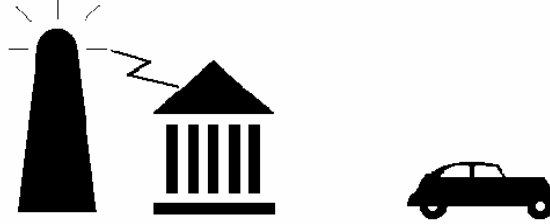
Rayleigh fading çok yollu etkiye çok benzerdir. Farklı olan durum, vericiden alıcıya doğrudan yolun engeller tarafından tıkanmış olmasıdır. Direkt transmisyon yolu engellenmemiş olduğu için yansıyan sinyaller yansıma şeklinde değil, ancak alıcıya ulaşan ilk sinyallerdir. Bozucu etki yapan interferans alınan sinyalde kısa süreli genlik dalgalanmalarına veya işaretin tamamıyla kaybolmasına neden olabilir.



Şekil 3.15 Rayleigh zayıflaması

3.4.3.3 İşaretin Kaybı

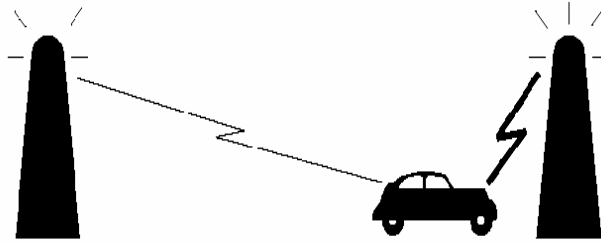
Sinyalin kaybolmasına neden olan birçok neden vardır. Bunlardan en muhtemel neden engeller olmasına rağmen gücün fazla girişken olması durumunda da sinyal kaybı gerçekleşmektedir. Doğrudan transmisyon engellendiği ve alıcıya ulaşan yansıyan işaretin yansımadağı takdirde, işaret kaybolur ve yeniden aktarılması gerekmektedir.



Şekil 3.16 İşaretin kaybı

3.4.3.4 Bloklama

Bloklama civarda bulunan yüksek güçlü bir vericinin kanalların tüm etki alanını engellendiğinde meydana gelir. Bu bir radyo istasyonunun yakın frekanslardaki diğer istasyonları engellenmesi durumuna benzerdir. Bu duruma bir hücrenin çok fazla konuşma taşıması durumunda, başka bir hücrenin yoğun olan hücre yerine kapsama içermesi örnek teşkil edebilir. Eğer bir alıcı aşırı yüklenmiş komşu hücreye çok yakınsa, haberleşmeyi gerçekleştirdiği hücreden sinyali kaybedebilir. Aşağıdaki örnekte, soldaki hücreden gerçekleşen transmisyon sağdaki hücrede daha güçlü bir sinyal tarafından bastırılmaktadır.



Şekil 3.17 Bloklama

4. BİNA İÇİ PROPAGASYON MODELLERİ

Bina içi radyo propagasyonunu, bina dışı radyo propagasyonunda olduğu gibi; yansıma, saçılma ve kırınım gibi propagasyon mekanizmaları etkilemektedir.

4.1 Serbest Uzay Propagasyon Modeli

Alıcı ve vericinin; yansımaya, saçılmaya veya iletilen gücün emilimine yol açacak faktörlerin olmadığı serbest uzay bölgesinde bulunduğu bir yerde yol kaybı hesabını formülize eder. Bu modele göre, elektromagnetik alan şiddeti T-R mesafesinin karesiyle azalmaktadır.

$$L_{fs}(dB) = 32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) \quad d \text{ [km]}, f \text{ [MHz]} \quad (4.1)$$

$$L_{fs}(dB) = -27,55 + 20\log(f) + 20\log(d) \quad d \text{ [m]}, f \text{ [MHz]} \quad (4.2)$$

4.2 Logaritma Uzaklık Yol Kaybı Modeli

Logaritma uzaklık modelinde yol kaybı aşağıdaki şekilde verilmektedir (Kavas, 2003).

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10.n.\log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (4.3)$$

Çizelge 4.1 Değişik ortamlarda yol kaybı sabitleri (Rappaport, 96)

Ortam	Yol kaybı sabiti, n
Serbest Uzay	2
Bina içi – görüş hattı açık	1.6 – 1.8
Bina içi, engelli	4 – 6
Fabrika içi, engelli	2 - 3

4.3 ITU Bina İçi Propagasyon Modeli

Çok katlı binalarda yol kaybının tahmininde kullanılır (Kavas, 2003).

$$L_{fs}(dB) = -27,55 + 20\log(f) + N\log(d) + P_f(n) \quad (4.4)$$

f frekans [MHz]

N mesafe güç kaybı katsayısı

d mesafe [m]

n alıcı ile verici arasındaki kat sayısı

$P_f(n)$ Kat kaybı penetrasyon faktörü

Aşağıdaki tablo bazı durumlar için $P_f(n)$ faktörünü belirtmektedir.

Çizelge 4.2 Bazı durumlar için $P_f(n)$ kat kaybı penetrasyon faktörü değerleri

Frekans Bandı	Kat sayısı	İkamet Alanı	Ofis Alanı	Ticari Alan
900 MHz	1	N/A	9	N/A
900 MHz	2	N/A	19	N/A
900MHz	3	N/A	24	N/A
1.8 GHz	n	$4n$	$15+4(n-1)$	$6 + 3(n-1)$
2.0 GHz	n	$4n$	$15+4(n-1)$	$6 + 3(n-1)$
5.2 GHz	1	N/A	16	N/A

4.4 COST-231 Çok Duvarlı Model

Bu modelde verici ile alıcı arasındaki direkt yolun yanı sıra, bu direkt yolun içinden geçtiği varsayılan duvar yada zeminlerin kayıpları da dikkate alınmaktadır (Kavas, 2003). Duvarların teker teker modellenmesi durumunda yol kaybı;

$$PL(dB) = L_{fs} + L_C + \sum_i k_{wi} L_{wi} + L_f . n^{((n+2)/(n+1)-b)} \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

L_{fs} alıcı ile verici arası serbest uzay kaybı

L_C sabit kayıp

d metre cinsinden alıcı ve verici arası mesafe

k_{wi} dalganın nüfuz ettiği i tipinde duvar sayısı

L_{wi} i tipinde duvar kaybı

n dalganın nüfuz ettiği kat sayısı

b amprik parametre

L_f komşu katlar arası kayıp

İç duvarlar teker teker modellenmediği takdirde, bina içi yol kaybı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmektedir:

$$PL(dB) = 37 + 30\log(d) + 18.3n^{((n+2)/(n+1)-0.46)} \quad (4.6)$$

Burada;

d metre cinsinden alıcı ve verici arası mesafe

n dalganın nüfuz ettiği kat sayısı

4.5 Keenan-Motley Modeli

Lineer yol kaybı modeli genelde Keenan – Motley veya Devasirvatham modeli olarak bilinir. Alıcı ve vericinin aynı katta bulunması şartı ile bir yol kaybı modeli sunar. Bu modele göre, bina içi yol kaybını, serbest uzay yol kaybına ilave olarak $a.d$ gibi lineer bir faktör belirlemektedir. Keenan – Motley modelinde ortalama yol kaybı ifadesini şu formül vermektedir (Kavas, 2003).

$$PL(d, f) = L_{fs}(d, f) + a.d \quad (4.7)$$

d alıcı ve verici arası mesafe

f çalışma frekansı

L_{fs} serbest uzay yol kaybı

a (dB/m) lineer zayıflama katsayısı

5. YAPAY SINİR AĞLARI

5.1 Yapay Sinir Ağlarının Genel Bir Tanımı

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla gerçekleştirilen, biyolojik sinir sistemlerinin çalışma prensibini temel alan bir bilgi işleme tekniğidir. İnsan beyninin çalışma prensibini yapay olarak modellemeyi amaçlayan Yapay Sinir Ağları, tek katmanlı ya da çok katmanlı olarak düzenlenebilen, çok yoğun, paralel olarak çalışan çok sayıda doğrusal olmayan yapay hücreden (işlemci ünitesi) meydana gelen, dağılmış düzende çalışan bir sistem ya da matematiksel model olarak tanımlanır. Yapay sinir ağlarının temel yapısı, beyne, sıradan bir bilgisayarınkinden daha çok benzemektedir. Yine de birimleri gerçek nöronlar kadar karmaşık olmaması ile birlikte ağların çoğunun yapısı, beyin kabuğundaki bağlantılarla karşılaştırıldığında büyük ölçüde basit kalmaktadır.

İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde, öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve optimizasyon gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Örneklerden elde ettiği bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur ve daha sonra benzer konularda benzer kararları verir.

5.2 Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

Yapay sinir ağlarının tarihçesi beynin yapısı ve fonksiyonları konusuna insanların ilgi duyması ve elde ettikleri bilgileri bilgisayar bilimine uygulamaları ile başlamaktadır. Matematikçi Warren Mc Culloch'un ve de nörofizyolojist Walter Pitts'in 1943 yılında sinir hücreleri nasıl çalıştıkları hakkında hazırladıkları çalışma yapay sinir ağlarının araştırılması konusunda bir başlangıç olarak gösterilebilir. Bu tarihte McCulloch ve Pitts, ilk hücre modelini geliştirmişlerdir. 1949 yılında Donald Hebb, yapay hücrelerden oluşan bir yapay sinir ağının hücre bağlantılarını ayarlamak için ilk öğrenme kuralını önermiştir. "Hebbian Öğrenme Kuralı" denilen bu kural günümüzde de birçok öğrenme kuralının temelini oluşturmaktadır. 1958 yılında Frank Rosenblatt tarafından geliştirilen algılayıcı model (perceptron) yapay sinir ağları tarihinde önemli bir gelişmeye öncülük etmiştir. Çünkü bu model, daha sonraları geliştirilecek ve yapay sinir ağlarında devrim niteliğinde olacak olan çok katmanlı algılayıcıların temelini oluşturmaktadır. 1959 yılında Bernard Widrow ve Marcian Hoff adlı bilim adamları ADALINE (ADaptive LInear NEuron) ağ modelini

geliştirmişlerdir. Bu model Rosenblatt'ın algılayıcı modeli ile aynı niteliklere sahip bir model olup sadece öğrenme algoritması gelişmiş bir modeldir. 1969 yılında, Minsky ve Papert, algılayıcının kesin analizini yapmış ve algılayıcıların doğrusal olmayan (linear) olmayan problemlere çözüm üretemediğini ispatlamıştır. Bunun üzerine, bu dönemde yapay sinir ağları üzerine yapılan çalışmalar hemen hemen durma noktasına gelmiştir ve Amerika Birleşik Devletlerinde araştırma geliştirme çalışmalarını yürüten DARPA yapay sinir ağları ile ilgili çalışmaları desteklemeyi durdurmuştur.

1960 yılının ortalarından, 1980 yılının başına kadar bir durgunluk dönemi yaşanmıştır. Ancak tüm bunların yanında bazı bilim adamları (Grossberg, Amari, Fukushima, Kohonen, Hopfield...) çalışmalarına devam etmişlerdir.

1982 yılında Hopfield yapay sinir ağlarının birçok problemi çözebilecek kabiliyeti olduğunu göstermiştir. Optimizasyon gibi teknik problemleri çözmek için doğrusal olmayan Hopfield ağını geliştirmiştir. Gezgin satıcı problemini çözmesi bunun en güzel örneğiydi. Yine aynı yıllarda Kohonen “kendi kendine öğrenme nitelik haritaları” (self organizing feature maps-SOM) konusunda çalışmalarını yayınlamıştır. Kendi adıyla anılan eğitici-siz öğrenen bir ağ geliştirdi. 1982 yılında Fukushima görsel şekil ve örüntü amaçlı geliştirdiği NEOCOGNITRON modelini tanıttı. Bu model önceleri öğretmensiz öğrenme yapan bir model olacak şekilde geliştirilmesine rağmen daha sonraları öğretmenli öğrenme yapacak hale getirilmiştir. 1973 yılında Grossberg yapay sinir ağlarının psikolojik mantıksallığı ve mühendislik uygulamalarındaki kolaylığını gösterdi ve Carpenter ile 1983 yılında Adaptive Rezonans Teorisini (ART), 1987 yılında ART-II’i ve 1989 yılında ART-III ‘ü geliştirdi. Bu öğretmensiz öğrenme konusunda zamanın geliştirilmiş en karmaşık yapay sinir ağı oldu. 1984 yılında Geoffrey Hinton and Terrance Sejnowski, Hopfield ağına değiştirilmiş bir modeli olarak Boltzman makinasını geliştirdiler.

1974 yılında Werbos çok katmanlı algılayıcılar konusunda çalışmalar yapmış ve geriye yayılım algoritmasının temellerini atmıştır. 1986 yılında Rummehart ve arkadaşları paralel programlama konularındaki çalışmalarını yazdığı eserleriyle ortaya koyuyordu. Geriye yayılım algoritmasını geliştirerek XOR problemini çözebildiğini ispatladı. Çok katmanlı algılayıcıların bulunması yapay sinir ağlarının tarihsel gelişimi açısından çok önemli bir adım olmuştu. Bu çalışmalardan sonra yapay sinir ağlarına olan ilgi yeniden ateşlendi. Çünkü tek katmanlı algılayıcının çözemediği XOR problemi çok katmanlı algılayıcıların bulunması ile çözülmüştü. 1980’li yılların başlarında Fukushima görsel şekil ve örüntü amaçlı geliştirdiği NEOCOGNITRON modelini tanıttı. Bu model önceleri öğretmensiz öğrenme yapan bir

model olacak şekilde geliştirilmesine rağmen öğretmenli öğrenme yapacak hale getirilmiştir. 1988’de Broomhead ve Lowe Radyal tabanlı fonksiyonlar (Radial Basis Functions- RBF) modelini geliştirdiler. Çok katmanlı algılayıcılara alternatif olarak geliştirilen bu ağ, çok boyutlu uzayda eğri uydurma ve filtreleme problemlerinde oldukça başarılı sonuçlar ürettiler. 1988 yılında Chua ve Yang hücresel sinir ağlarını geliştirdiler. Bu ağ, hücre adı verilen yapı taşlarının iki-boyutlu ızgara biçiminde bir bağlantı geometrisi ile dizilmesinden oluşmuştur. Ağın ana uygulama alanı görüntü işlemedir. Specht tarafından 1988 ve 1991 yılında Olasılıksal Sinir Ağları ve Genelleştirilmiş Regresyon Ağları RBF ağları temel alınarak geliştirilmiştir. Bu tarihten bu yana yapay sinir ağları ile ilgili sayısız uygulama çalışmalar yapılmıştır (Öztemel, 2003).

YSA’nın başlangıcından günümüze kadar olan gelişim süreci içinde en iyi bilinen mimarilerinin kısa bir tarihçesi Çizelge 5.1’de görülmektedir.

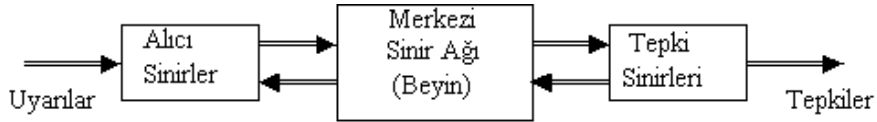
Çizelge 5.1 Bilinen yapay sinir ağı modellerinin tarihsel gelişimi

Yıllar	Ağ Mimarisi	Bilim Adamı
1943	İlk yapay sinir ağı hücresinin yapısının oluşturulması	McCulloch ve Pitts
1958	Tek Katmanlı Algılayıcının (Perceptron) gelişimi	Rosenblatt
1959	ADALINE (Adaptive Linear Neuron) ağ modelini gelişimi	Widrow ve Hoff
1969	Perseptronların lineer olmayan problemleri çözemediğinin ispatı	Minsky ve Papert
	Yapay sinir ağı çalışmalarında 1960 yılının ortalarından , 1980 yılının başına kadar bir durgunluk dönemi yaşanmıştır	
1982	Hopfield ağı gelişimi	Hopfield
1982	SOM Ağının gelişimi	Kohonen
1982	Neocognitron modelinin gelişimi	Fukushima
1983	ART-I ‘in gelişimi	Carpenter ve Grossberg
1987	ART-II ‘nin gelişimi	Carpenter ve Grossberg
1989	ART-III ‘nin gelişimi	Carpenter ve Grossberg
1984	Boltzman makinasının gelişimi	Hinton ve Sejnowski
1974	MLP çalışmaların başlangıcı	Werbos
1986	Geriye yayılım algoritması ile XOR probleminin çözümü	Rummelhart
1980	Neocognitron modelinin gelişimi	Fukushima
1988	RBF ağının gelişimi	Broomhead ve Lowe
1988	Hücresel Sinir Ağlarının gelişimi	Chua ve Yang
1988	PNN ağ modelinin gelişimi	Specht
1991	GRNN ağ modelinin gelişimi	Specht

5.3 Biyolojik Sinir Hücreleri

İnsan beynini oluşturan sinir hücreleri ve bu hücrelerin oluşturduğu oldukça kompleks yapılar olan ağlar gerek çalışma prensipleri, gerekse yapılarından dolayı bilim adamlarının her zaman ilgisini çekmiştir. Yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çalışmalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

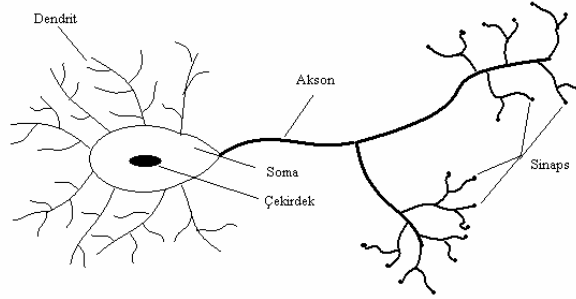
Biyolojik sinir ağları beynimizde bulunan birçok sayıda sinir hücresinin bir koleksiyonudur. Bir sinir ağı milyarlarca sinir hücresinin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Beynimizde 10^{10} adet sinir hücresi ve bunlarında 6×10^{13} 'den fazla sayıda bağlantısının olduğu düşünülmektedir. İnsan beyni, çok hızlı çalışabilen mükemmel bir bilgisayar gibi görülebilir. Bir grup insan resmi içinden tanıdık bir resmi 100ms-200ms gibi kısa sürede fark edebilir. Biyolojik sinir ağlarının performansları küçümsenmeyecek kadar yüksek ve karmaşık olayları işleyebilecek yetenektedir. Yapay sinir ağları ile bu yeteneğin bilgisayara kazandırılması amaçlanmaktadır. Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beyin (merkezi sinir ağı) bulunduğu 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinden ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri ise, beyinin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 5.1'de bir sinir sisteminin blok bazında gösterimi verilmiştir.



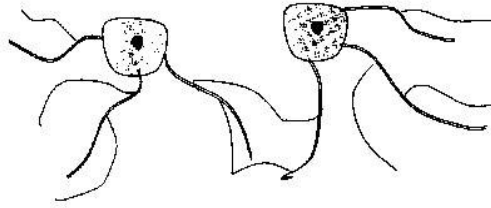
Şekil 5.1 Biyolojik sinir sisteminin blok bazında gösterimi

Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretir. Bu yönüyle biyolojik sinir sistemi, kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristiklerini taşır. Merkezi sinir sisteminin temel işlem elemanı sinir hücresidir (nöron) ve insan beyninde yaklaşık on milyar sinir hücresi olduğu tahmin edilmektedir. Bir sinir hücresi hücre gövdesi, akson ve dendrit adı verilen bölümlerden oluşur. Hücreler birbirlerine dendrit adı verilen uzantılarla bağlanırlar. Bağlantı noktalarına sinaps denir. Bu bağlantılar aynı zamanda hücreler arasında iletişim kanalı olarak vazife görürler ve sinyalleri taşıma işlevini yerine getirirler. Şekil 5.2'de görülen sinir hücresi insan beynini oluşturan milyarlarca hücreden yalnızca biridir. Üstlenecekleri işlevin özelliğine göre değişen sayılarda bir araya gelerek, insan beyninin düşünme, karar verme, öğrenme v.b.

fonksiyonlarını gerçekleştirirler.



Şekil 5.2 Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri



Şekil 5.3 Sinir hücrelerinin birbirleriyle bağlantısı

Sinapsa gelen ve dendritler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir ancak, sinapstaki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki üretir. Hücrenin tepkisini artırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak söylenir ve bu etkiyi sinaps belirler.

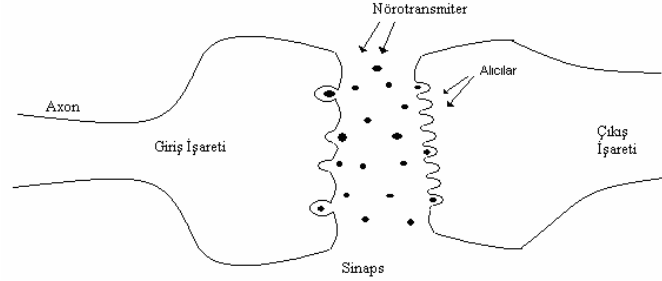
Sinapsa gelen ve dendritler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir ancak, sinapstaki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki üretir. Hücrenin tepkisini artırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak söylenir ve bu etkiyi sinaps belirler.

Sinir hücreleri iki şekilde çalışırlar:

- Uyarılma: Sinir hücreleri nötr durumda -85mV 'a polarize olmuşlardır. Bu değer 40mV 'luk eşik gerilimini aşarsa Na iyonları hücre içine girer ve hücre uyarılır.
- Bastırma: Bu değer -90mV gibi bir değere ulaştığında K iyonları hücre dışına çıkar ve

hücrenin etkisi bastırılır.

Şekil 5.4'te iki biyolojik hücrenin neurotransmitter'lar yolu ile bilgi alış verişini göstermektedir.



Şekil 5.4 Biyolojik iki hücre arasında gerçekleşen bilgi alışverişi

İki hücrenin birbirleri ile bilgi alışverişi sinaptik bağlantılardaki elektrik yüklü iyonlar olan neurotransmitterlar vasıtasıyla sağlanır. Böylesine ilginç bir taşıma yöntemine sahip olan sinir hücrelerinin gizemi bu özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Sinir hücrelerinin bir tür elektriksel yolla haberleşmesi, bilim adamlarının dikkatini çekmiş, elektrik devreleri veya bir mekanizma ile sinir hücrelerinin çalışmasını gerçekleştirebilecekleri düşüncesinin ortaya çıkmasına ön ayak olmuştur. İnsan beynini oluşturan, insan zekâsının kaynağı olan bu hücrelerin tüm sırları henüz çözülememiştir. Kısa bir süre öncesine kadar sinir hücrelerinin yenilenemediği sanılıyordu. Ancak yapılan son araştırmalar insan beyninde gerektiğinde yeni sinir hücrelerinin üretildiğini ortaya koymuştur. İnsan beyni ve sinir sistemi ile ilgili yapılan araştırmalar ilerledikçe yapay sinir ağları konusunda yenikler yaratılması ve farklı modellerin ortaya konulması düşünülmektedir.

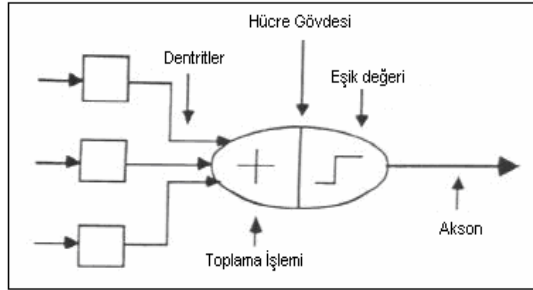
5.4 Biyolojik Sinir Ağlarından Yapay Sinir Ağlarına Geçiş

Yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma ilkelerinden ilham alınarak geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar denilen tek yönlü iletişim kanalları vasıtası ile birbirleriyle haberleşen, her biri kendi hafızasına sahip birçok işlem elemanından (nöronlardan) oluşan paralel ve dağıtık bilgi işleme yapıları olarak tanımlanmıştı. Son yıllarda yapılan araştırmalar göstermiştir ki, biyolojik sinir hücreleri bir önceki bölümde gösterilen biyolojik sinir hücresi yapısına göre yapısal olarak daha karmaşıktır. Bugün kullandığımız yapay sinir ağlarına göre ise oldukça fazla karmaşık bir yapıya sahiptirler. Yapay sinir ağı geliştiricilerin amacı insan beyninin mükemmel bir taklidini yapmaktan çok günümüzün programlama teknikleri ile çözülemeyen problem türlerine bir çözüm bulabilmektedir. Bunu başarabilmek için yapay sinir hücreleri

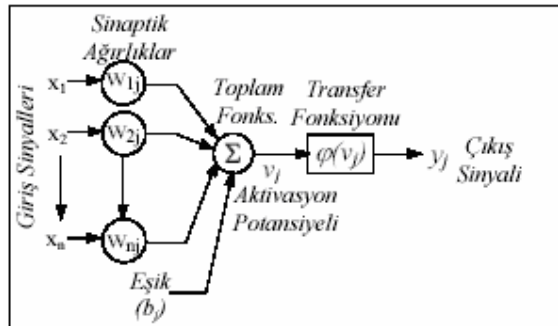
biyolojik sinir ağlarının 4 temel yapı taşını içerisinde bulundurmaktadır. Bunlar dentrit, soma, akson ve sinaps'dır. Biyolojik hücre yapısını örnek alan yapay nöron hücresinde, girişleri kabul eden dentrit'ler yerine toplama fonksiyonu, giriş bilgisini işleyen hücre gövdesi yerine transfer fonksiyonu ve sinirler arası yer alan elektro-kimyasal bağlantıyı sağlayan sinapsler yerine ağırlıklar kullanılmaktadır. Kısaca, yapay bir nöron, ağırlıklar, toplama fonksiyonu ve transfer fonksiyonundan oluşmaktadır. Şekil 5.5'te biyolojik sinir hücresinden yapay sinir hücresine geçiş gösterilmiştir.



Şekil 5.5a Biyolojik sinir hücresi



Şekil 5.5b Sinir hücresi modeli



Şekil 5.5c Yapay sinir hücresi

5.5 Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Yapay sinir ağları doğrusal olmayan, çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu ve problemin çözümü için özellikle matematik modelin ve algoritmanın bulunmaması halinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel bilgisayar yazılım teknolojisi ile çözülemeyen bir çok problem yapay sinir ağları ile çözülebilmektedir. Sinir sisteminin modellenmesi için yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan yapay sinir ağları, üstünlük sayılabilecek bazı genel özelliklere sahiptir. Yapay sinir ağlarının karakteristik özellikleri uygulanan ağ modeline göre değişmesi ile birlikte burada bahsedilecek özellikler bütün modeller için geçerli olabilecek niteliktedir. Yapay sinir ağlarının; paralel çalışma yeteneği, öğrenerek kendini geliştiren bir eğitim yöntemi, donanım olarak kolay gerçekleştirilebilir olması, genelleme yeteneği, uyarlanabilirlik, hata toleransı, doğrusal olmama ve sistem cevabının hücre ölümüne az bağlı olması en önemli özelliklerindendir. Yapay sinir ağlarının genel özellikleri, aşağıda açıklamaları ile sıralanmıştır.

- Paralellik

Alışılmış bilgi işlem yöntemlerinin çoğu seri işlemlerden oluşmaktadır. Bu da hız ve güvenilirlik sorunlarını beraberinde getirmektedir. Seri bir işlem gerçekleştirirken herhangi bir birimin yavaş oluşu tüm sistemi doğruca yavaşlatırken, paralel bir sistemde yavaş bir birimin etkisi çok azdır. Nitekim seri bir bilgisayarın bir işlem elemanı beyine göre binlerce kez daha hızlı işlemesine rağmen, beynin toplam işlem hızı seri çalışan bir bilgisayara göre kıyaslanamayacak kadar yüksektir. Yapay sinir ağlarında her eleman kendi kendinin işlemcisi olabilmektedir. Aynı katmanlar arasında zaman bağımlılığı yoktur, tamamıyla eşzamanlı olarak çalışabilirler. Bu özelliği nedeniyle yapay sinir ağları, hız konusunda oldukça büyük üstünlük sağlamaktadır.

- Öğrenme

İnsan sinir sisteminin problemleri çözebilmek için öğrenme özelliği olduğu gibi, yapay sinir ağlarının da öğrenebilme özelliği bulunmaktadır. Yapay sinir ağları, ilgili olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında uygun kararlar vermeye çalışırlar. Bir yapay sinir ağının arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu ayarlama, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılmasını ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olmasını gerektirir. Yapay sinir ağları, programlama yerine örneklerle eğitilir. Çocukların annelerini tanımaları için karşılaştırmalı fizyoloji hakkında hiçbir şey bilmelerine gerek olmadığı gibi, programlayıcılar da sinir ağlarına tanınacak cisimlerin nicel tanımları veya söz konusu cisimleri benzer cisimlerden ayırmak için lojik kriter kümeleri sağlamak zorunda değillerdir. Bunun yerine eğitim örnekleri ağı sunulur. Ağ,

ağırlık matrisindeki değerleri değiştirerek bunları öğrenir ve ağa benzer bir giriş uygulandığı zaman, ağ o girişe karşın uygun çıkış cevabı üretir.

- Gerçekleme Kolaylığı

Yapay sinir ağlarının basit işlemler gerçekleyen türden hücrelerden oluşması ve bağlantıların düzgün olması, ağların donanım olarak gerçeklenmesi açısından büyük kolaylık sağlamaktadır.

- Genelleştirme

Yapay Sinir Ağları, ilgilendiği problemi öğrendikten sonra, eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir. Örneğin, karakter tanıma amacıyla eğitilmiş bir yapay sinir ağı, bozuk karakter girişlerinde de doğru karakterleri verebilir yada bir sistemin eğitilmiş yapay sinir ağı modeli, eğitim sürecinde verilmeyen giriş sinyalleri için de sistemle aynı davranışı gösterebilir. Benzer olarak, ağa eksik bilgileri içeren veya belirsiz bir şekil sunulduğunda, ağ eksik bilgileri tamamlayabilmektedir. Yapay sinir ağlarının kullanmanın amaçlarından biri de genelleştirme yapmaktır.

- Uyarlanabilirlik

Yapay sinir ağları, eğitim sırasında uygulanan problemdeki örneklere göre ağırlıklarını ayarlamaktadır. Belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen yapay sinir ağları, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile yapay sinir ağları, gerçek zamanlı uygulamalarda, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılmaktadır.

- Hata Toleransı

Yapay sinir ağları, çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir yapay sinir ağının bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin meydana gelebilecek hasar sonucunda etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez ve ağın performansında keskin bir düşüşe yol açmaz. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

- Doğrusal Olmama

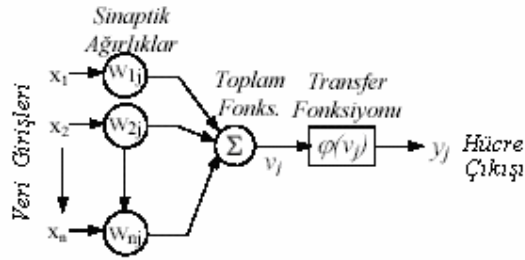
Yapay sinir ağının temel işlem elemanı olan hücre, doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen sinir ağları da doğrusal değildir ve bu özellik

bütün ağı yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile yapay sinir ağları, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

Yapay sinir ağlarının yukarıda belirtilen üstünlük sayılabilecek bazı özelliklerinin yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Probleme uygun ağ yapısının, ağın parametre değerlerinin (öğrenme oranı, momentum sabiti vb.), katman sayısının ve her katmanda bulunan nöron sayısının belirlenmesinde bir kuralın olmaması önemli bir dezavantaj olarak görülebilir. Ayrıca öğrenme algoritmalarının yerel minimuma takılması, yapay sinir ağlarının her zaman en iyi çözüm ürettiklerini garantilemez. Kabul edilebilir çözüm ürettiklerini söylemek daha doğrudur. Katmandaki nöron sayısını optimum şekilde ayarlanabilmek için genetik algoritmalar kullanılabilmektedir. Bu dezavantajlara rağmen yapay sinir ağları tarafından her problem için değişik çözümler üretilebilmekte ve başarılı sonuçlar oluşturmak mümkün olabilmektedir.

5.6 Yapay Sinir Ağlarının Temel Elemanları

Yapay sinir elemanlarının temel işlem elemanları yapay sinir hücreleridir. Yapay sinir hücreleri dışarıdan gelen bilgileri işleyerek çıktıyı üretip, ağı bağlantılarının üzerinden diğer hücrelere gönderir. Her yapay sinir hücresinin 5 temel elemanı vardır.



Şekil 5.6 Yapay sinir hücresinin yapısı

5.6.1 Veri Girişleri

Yapay sinir hücresine dışarıdan, başka hücrelerden ve ya kendi üzerinden gelen bilgilerdir. Veri girişleri sinaptik ağırlıklar ile çarpılarak toplama fonksiyonuna uygulanır.

5.6.2 Sinaptik Ağırlıklar

Ağırlık değerleri, biyolojik sinir hücrelerindeki sinaptik etkileri elde etmek için kullanılmaktadır. Bir yapay sinir hücresi genel olarak aynı anda birçok giriş değeri alır. Her giriş değerinin kendine ait bir ağırlık değeri vardır ve bu ağırlık değeri de o girişin toplama

fonksiyonu üzerindeki etki derecesini belirler. Yapay sinir ağlarında bilgi, ağırlık bağlantılarının sahip olduğu bu ağırlık değerlerinde saklanır. Ağırlık sahip olduğu ağırlık değerleri ne kadar doğru ise ağırlık performansında o kadar yüksek olur. Ağırlık değerleri bütün ağa yayılmış olduğundan ağırlık belleği de dağıtık hafızadır. O nedenle tek bir ağırlık değeri tek bir anlam ifade etmemektedir.

Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Ağırlık değerleri adaptif olup, eğitim süresince değişime uğramaktadır. Ağırlık değerlerinin nasıl değiştirileceği ağa uygulanan eğitim setine, kullanılan eğitim algoritmasına ve ağ topolojisine göre değişiklik göstermektedir. Eğitim süresince değişime uğrayan ağırlık değerleri, test süresince sabit kalmaktadır.

5.6.3 Toplama Fonksiyonu

Bir işlem elemanının çalışmasındaki ilk adım ağırlık değerleri ile çarpılarak elde edilen değerleri toplamaktır yani sinir hücresine gelen net girdiyi hesaplamaktır. Toplam giriş sinyali bu değerlerin oluşturdukları vektörlerin birbirleri ile skaler çarpımı olarak düşünülebilir.

$$NET = (w_1 x_1 + w_2 x_2 + + w_n x_n) = w x \quad NET = \sum_i^n (X_i \cdot W_i)$$

Burada 'x' girişleri, 'w' ağırlıkları, 'n' ise hücreye giren toplam girdi sayısını gösterir. Geometrik olarak iki vektörün skaler çarpımı iki vektörün birbirine benzerlikleri düşünülebilir. Eğer vektörler aynı yönde iseler skaler çarpımları maksimum çıkacak, ters yönlerde dönük iseler skaler çarpım minimum değerini alacaktır. Toplama fonksiyonu basit bir skaler çarpımdan farklı bir fonksiyon olabilir. Transfer fonksiyonuna iletmenden önce giriş değerleri farklı şekillerde işleme konulabilirler. Bunlar en büyük değeri alma, en küçük değeri alma vb.'dir Bunlardan hangisinin seçileceğini kullanıcı uygulamasına göre karar verir. Bir yapay sinir ağında bulunan yapay sinir hücrelerinin aynı toplama fonksiyonlarına sahip olmaları gerekmez. Her işlem elemanı bağımsız olarak farklı bir toplama fonksiyonuna sahip olabilecekleri gibi hepsi aynı işlem elemanına da sahip olabilir. Fakat toplama fonksiyonları içinde en yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır.

5.6.4 Transfer Fonksiyonları

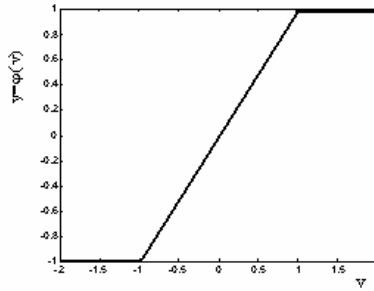
Bu fonksiyon hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak da çıktıyı

hesaplamak içinde değişik formüller kullanılmaktadır. Bazı modeller (mesla çok katmanlı algılayıcı) bu fonksiyonun türevi alınabilir bir fonksiyon olmasını şart koşturmaktadır. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonunda da ağırlık işlem elemanlarının hepsi aynı fonksiyonu kullanması gerekmez. Transfer fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. Genel olarak kullanılan transfer fonksiyonları doğrusal, logaritma sigmoid, hiperbolik tanjant, eşik ve gauss fonksiyonlarıdır.

5.6.4.1 Doğrusal ve Doyumlu-Doğrusal Transfer Fonksiyonu

Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan ve genellikle katmanlı yapay sinir ağının n çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu ise aktif çalışma bölgesinde doğrusaldır ve hücrenin net girdisinin belirli bir değerinden sonra hücre çıkışını doyuma götürür. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonunun Eşitlik 5.1’de matematiksel tanımı, Şekil 5.7’de ise grafiği görülmektedir.

$$y = \begin{cases} 1 & v > 1 \\ v & -1 < v < 1 \\ -1 & v < -1 \end{cases} \quad (5.1)$$



Şekil 5.7 Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu

5.6.4.2 Sigmoid Transfer Fonksiyonu

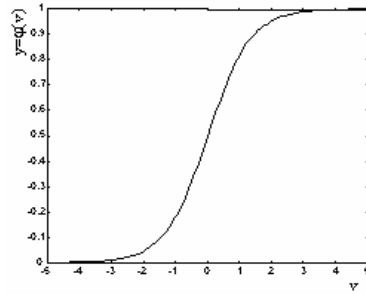
Doğrusal olmayan bir problemi çözmek amacıyla kullanılan sigmoid transfer fonksiyonu türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle özellikle çok katmanlı algılayıcılarda tercih edilmektedir. Ayrıca bu fonksiyonların türevleri, kendileri cinsinden ifade edilebilmektedir. Logaritma sigmoid ve hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu olarak iki tip sigmoid fonksiyonu tanımlanmaktadır. Logaritma sigmoid transfer fonksiyonu

0 ile 1 arasında çıkış değerleri arasında tek yönlü çıkış üretirken, hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu -1 ile 1 değerleri arasında iki yönlü çıkış üretmektedir. Logaritma sigmoid ve hiperbolik tanjant transfer fonksiyonlarının tanımı (5.2) ve (5.3)'te sırasıyla verilmiştir.

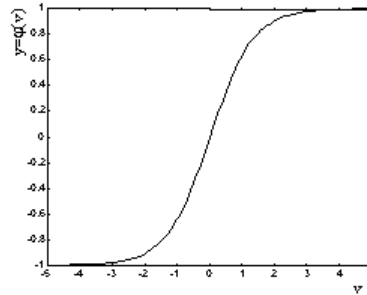
$$f(x) = \text{logsig}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (5.2)$$

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{2}{1 + \exp(-2x)} - 1 \quad (5.3)$$

Buradaki ' β ' eğim sabiti olup genelde '1' olarak seçilmektedir.



Şekil 5.8 Logaritma sigmoid (logsig) transfer fonksiyonu

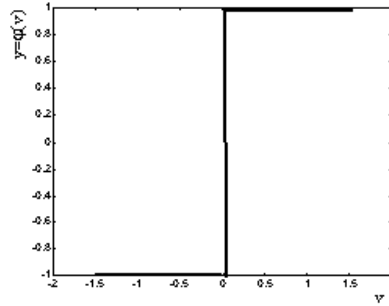


Şekil 5.9 Hiperbolik tanjant (tanh) transfer fonksiyonu

5.6.4.3 Eşik Transfer Fonksiyonu

McCulloch-Pitts modeli olarak bilinen eşik transfer fonksiyonlu hücreler, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir. Şekil 5.10'da karakteristiği verilen eşik fonksiyonlu hücrelerin matematiksel modeli 5.4'teki gibi tanımlanabilir.

$$y = \begin{cases} 1 & v \geq 0 \\ -1 & v < 0 \end{cases} \quad (5.4)$$



Şekil 5.10 Eşik (signum) transfer fonksiyonu

5.6.5 Hücre Çıkışı

Hücre çıkışı transfer fonksiyonundan elde edilen değere eşittir. Ama bazı ağ topolojileri transfer fonksiyonu sonucu ortaya çıkan değer değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Değişme işlemi komşu işlem elemanlarının birbirleri ile yarışmaları sonucunda oluşmaktadır. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendisine girdi olarak da gönderebilir. Bir sinir hücresinin birden fazla girdisi olmasına rağmen sadece bir çıkışı olmaktadır. Aynı değer birden fazla işlem elemanına giriş olarak iletilmektedir.

5.7 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

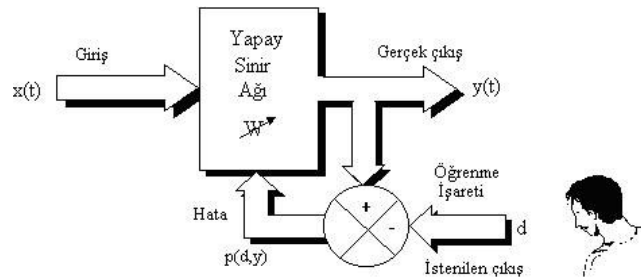
Bir yapay sinir ağında öğrenme kısaca, istenen bir işlevi yerine getirecek şekilde ağırlıkların ayarlanması sürecidir. Yapay sinir ağlarında öğrenme, sinirler arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi ile gerçekleşmektedir. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rastgele atanır. Ağırlıklar, belirli bir yöntem (öğrenme kuralları) uyarınca dinamik olarak ayarlanabilmektedir. Ağın doğru ağırlık değerine ulaşması, örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Ağın genelleme yeteneğine kavuşması işlemine ağın öğrenmesi denir. Eğitilebilen yani öğrenebilen ağlar, yeni şekilleri tanıyabilir veya daha önce görmediği bir girişin hangi sınıfa ait olduğuna karar verebilir (sınıflandırma). Eğitim işlemi yeterli sayıda giriş-çıkış örnek kümesi için yapılmalıdır. Eğitim sonucunda ağ hem eğitim kümesine ait veriyi tanımalı hem de interpolasyon ve ekstrapolasyon yapabilmelidir. Öğrenme yöntemleri eğitici öğrenme, eğitici öğrenme ve takviyeli öğrenme olmak üzere temelde üç grupta toplanmaktadır. Bunların dışında hibrid öğrenme algoritmaları da geliştirilmiştir.

5.7.1 Eğitici Öğrenme

Yapay sinir ağlarının çoğu eğitici öğrenme yöntemi kullanılarak eğitilir. Bu tür eğitimde ağın o anki çıkış değeri istenen çıkış ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonunda elde edilen bilgiyle, başlangıçta rastgele seçilen ağırlık değerleri bir sonraki döngüde doğru sonuca daha yakın bir sonuç verecek şekilde değiştirilir. Kullanılan öğrenme algoritması, eğitim setinin bütün giriş-çıkış çiftleri için hata değerini en aza indirmeye çalışır. Bu işlem hata değeri kabul edilebilir bir düzeye gelene kadar devam ettirilir. Ağ çıkışındaki, hatanın azalması ağırlıkların kararlılık kazanması demektir. Ağırlıklar istenilen kararlılığa ulaştığında eğitim bitirilmektedir. Eğitici öğrenmede, yapay sinir ağı kullanılmadan önce eğitilmelidir. Öğrenim aşaması tamamlandıktan sonra ağ kullanılmaya başlandığında, bulunan ağırlıkların değeri sabit olarak alınır ve bir daha değiştirilemezler. Şekil 5.11’de eğitici öğrenme yapısı blok bazında gösterilmiştir.

Eğitme kümesinin, bütün ihtiyaç duyulan bilgileri içermesi gerekir, gereksiz bilgiler eğitim süresini uzatırken aynı zamanda ağın performansını da düşürebilmektedir. Eğer ağ sadece bir örnekle eğitilirse, bir olay için çok hassas olan bütün ağırlıklar kümesi, bir sonraki olayda yeterli çözüm vermez. Yeni şeyler öğrenme safhasında eski olaylar unutulabilir. Sonuç olarak, sistem gerekli bilgilerle birlikte öğrenmek zorundadır.

Giriş ve çıkış bilgilerinin nasıl sunulacağı veya nasıl kodlanacağı, bir ağı başarılı bir şekilde yönlendirmek için önemli bir unsurdur. Yapay sinir ağları sadece nümerik giriş bilgileri ile çalışırlar. Bu yüzden ham bilgiler genellikle ölçeklendirilmelidir.

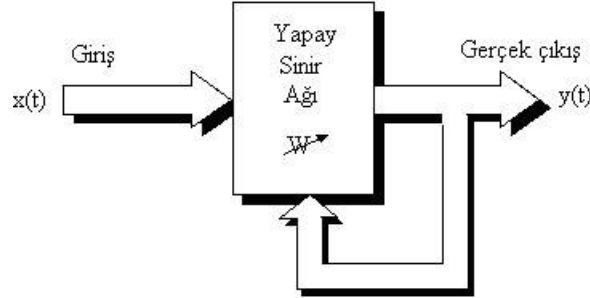


Şekil 5.11 Eğitici öğrenme yapısı

5.7.2 Eğitici Öğrenme

Eğitici öğrenme moduna "Kendi kendine öğrenilebilen mod" da denilmektedir. Bu öğrenme modunda, eğitici öğrenmedeki gibi arzu edilen çıkışları içeren eğitim seti kullanılmamaktadır. Ağ, birbirine benzer giriş bilgilerini gruplamakta veya giriş bilgisinin hangi gruba ait olduğunu göstermektedir. Ağın eğitimi için sadece giriş bilgileri yeterli

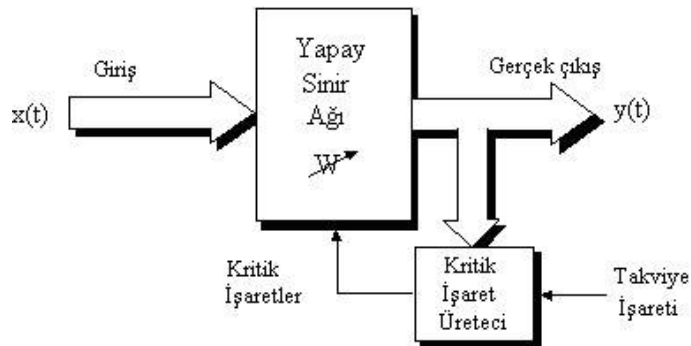
olmakta, referans alınacak(eğitici) bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Ağın performansını kendiliğinden izlemesi söz konusudur. Ağ, giriş sinyallerinin yönüne veya düzenine bakmakta ve ağın fonksiyonuna göre ayarlama yapmaktadır. Ağ kendini nasıl organize edeceği hakkında bir miktar bilgiye sahip olmalıdır. Bu yöntem görüntü işleme, işaret işleme ve kontrol problemlerinde etkin olarak kullanılmaktadır. Kohonen'in kendini düzenleyen uzaylar, ve Adaptif Rezonans Teorisi (ART) denetimsiz öğrenmeye örnek olarak verilebilir. Şekil 5.12'de eğitici-siz öğrenme yapısı gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Eğitici-siz öğrenme yapısı

5.7.3 Takviyeli Öğrenme

Takviyeli öğrenme kuralı eğitici-siz öğrenmeye yakın bir metottur. Bu öğrenme yönteminde giriş değerlerine karşılık gelecek uygun çıktıların elde edilmesi sırasında ağırlıkların en uygun değerlerinin bulunmasında genetik algoritmalar veya en iyilime (optimizasyon) yöntemleri kullanılır. Buna göre ağırlıklar optimize edilmektedir. Bu yöntem gerçek zamanlı öğrenme yöntemi olup deneme-yanılma esasına göre sinir ağı eğitilmektedir. Hedef çıktıyı vermek için "öğretmen" yerine, burada yapay sinir ağına bir çıkış verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık iyiliğini değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. Şekil 5.13'te takviyeli öğrenme yapısı gösterilmektedir



Şekil 5.13 Takviyeli öğrenme yapısı

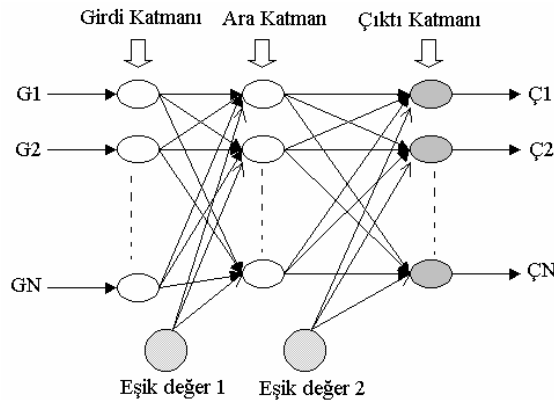
5.8 Yapay Sinir Ağı Yapıları

Yapay sinir hücrelerinin bağlantı şekillerine, ağ içinde kullanılan toplama fonksiyonunun ve transfer fonksiyonunun tipine, öğrenme yöntemine ve öğrenme kuralına göre çeşitlilik gösteren farklı ağ modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan temel yapay sinir ağı yapıları olan, çok katmanlı algılayıcılar, radyal temelli fonksiyonlu sinir ağları ve genelleştirilmiş regresyonlu sinirsel ağları bu kısımda incelenecektir.

5.8.1 Çok Katmanlı Algılayıcılar

Doğrusal olmayan problemleri çözmek amacıyla Rumelhart ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Bu model özellikle, sınıflama, tanıma, modelleme ve genelleme yapmayı problemleri için çok önemli bir çözüm aracı olmuştur.

Şekil 5.14'den görüldüğü gibi çok katmanlı algılayıcılar ileriye doğru bağlantılı ve 3 katmandan oluşan bir ağıdır. Girdi katmanı, dış dünyadan gelen bilgileri alarak ara katmana gönderir. Bu katmanda bilgi işleme olmaz, gelen bilgi aynı değerde bir sonraki katmana (ara katman) gider. Ara katmanlar girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek bir sonraki katmana gönderir. Bir çok katmanlı algılayıcıda birden fazla ara katman ve her katmanda birden fazla işlem elemanı olabilir. Çıktı katmanı, ara katmandan gelen bilgileri işleyerek, ağa girdi katmanından verilen girdilere karşılık ağın ürettiği çıktıları belirleyerek dış dünyaya gönderir. Çıktı katmanında her işlem elemanının sadece bir tane çıktısı olabilmektedir. Her ara katmanda birden fazla işlem elemanı olabilmektedir.

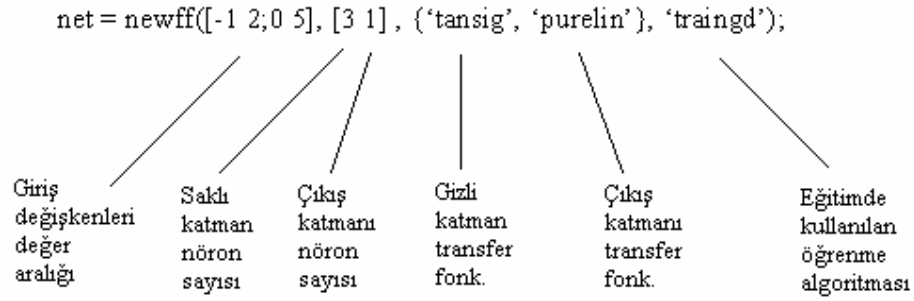


Şekil 5.14 Çok katmanlı algılayıcı yapısı

Genelde ağın eğitiminde eğitici yöntem kullanılmaktadır. Hatanın geriye yayılım algoritması çok katmanlı algılayıcıların kullandığı en yaygın öğrenme kuralıdır. Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretmektedir.

MATLAB programında hazır fonksiyon kümesine sahip ileri beslemeli çok katmanlı bir ağı nasıl oluşturulduğu aşağıda açıklanmıştır.

Çok katmanlı ileri beslemeli bir ağ MATLAB programında “newff” komutu kullanılarak oluşturulur. Giriş sayısı 2, saklı katmanda 3, çıkış katmanında 1 nöron bulunan bir ağı nasıl oluşturulacağı Şekil 5.15’te gösterilmiştir. Ağı saklı katmanındaki nöronlar “tansig” fonksiyonuna, çıkış katmanındaki nöronlar ise “purelin” aktivasyonuna sahiptir. Ağı eğitimi için öğrenme algoritması olarak temel gradyant düşme algoritması seçilmiştir.



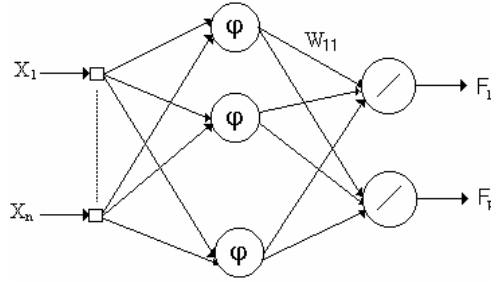
Şekil 5.15 İleri beslemeli ağı oluşturulması

5.8.2 Radyal Temelli Fonksiyon Ağları (RBF)

Radyal temelli fonksiyon ağları çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımıdır. Bu nedenle RBF’in eğitimi çok boyutlu uzayda eğitim verilerine en uygun bir yüzeyi bulma problemine dönüşür. RBF ağları, giriş, orta ve çıkış olmak üzere üç katmandan oluşur ancak giriş katmanından orta katmana dönüşüm herhangi bir ağırlıkla çarpılmadan direkt olarak yapılır. Orta katmandan çıkış katmanına dönüşüm ise bir ağırlıkla çarpılarak yapılır. RBF’de gizli katman aktivasyon fonksiyonu genellikle standart öklid uzaklıklarını üstel fonksiyondan geçiren Gauss fonksiyonudur.

Saklı katmanda bulunan radyal temelli fonksiyonları kullanan nöronlar lokal haritalama işlemini gerçekleştirir. Bu fonksiyonlar özellik uzayında algılama bölgelerinin merkezine yerleştirilmiştir. Her özellik uzayı algılama bölgesi, bir radyal temelli fonksiyon içeren saklı katman nöronunu harekete geçirir.

Radyal fonksiyon temelli ağlar, çok katmanlı ağlara benzer bir şekilde haritalama işlemini yapar. Fakat yapısı ve birimlerinin işleyişi farklıdır. RBF ağları giriş, saklı katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşur. Saklı katman ve çıkış katmanlarındaki nöronlar farklıdır.



Şekil 5.16 Radyal temelli fonksiyon ağ yapısı

x giriş vektörü, c_i algılama bölgeleri olarak ifade edilen bir bölgenin merkezi, σ_i algılama bölgesinin genişliği olmak üzere;

$$\varphi_i(x) = \exp\left\{-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right\} \quad (5.5)$$

eşitliği $\varphi_i(x)$ i . saklı katman nöronun çıkışını verir.

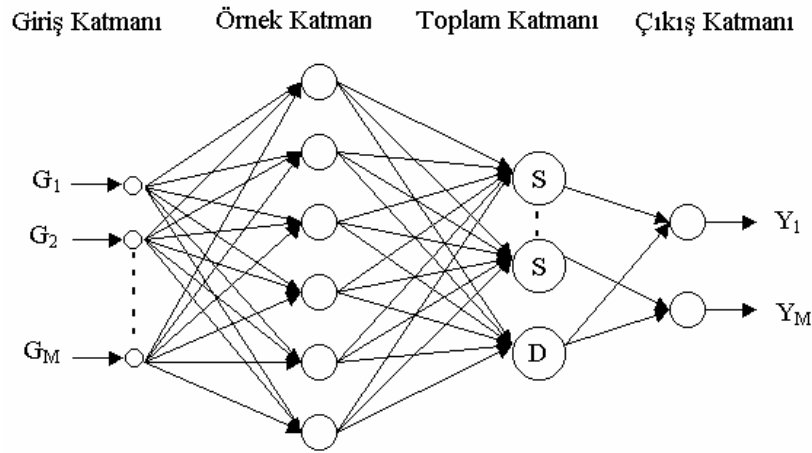
RBF’de lokal haritalama söz konusudur yani yalnızca algılama bölgelerinin yakınlarında bulunan giriş değerleri saklı katmanların uyarılmasını sağlayabilir. Çok katmanlı algılayıcılarda ise tersine global haritalama söz konusudur ve tüm girişler çıkış değeri oluşturur.

Etkin RBF ağı oluşturmada radyal temelli fonksiyonlar ve bunların genişlik parametrelerinin seçimi önemlidir. Genişlik, tüm algılama bölgelerini kapsamalı fakat bir fonksiyonla tüm giriş uzayını kapsamamalıdır. Bu da tek bir giriş vektörü için tüm saklı katman nöronlarının uyarılmaması anlamına gelir.

5.8.3 Genelleştirilmiş Regresyon Ağları (GRNN)

Genelleştirilmiş Regresyonlu Ağlar, radyal tabanlı ağların genellikle fonksiyon yaklaştırma problemleri için kullanılmakta olan özel bir halidir. Bu ağlar belirli sayıda saklı katman nöronu ile önemli ölçüde iyi başarı ile sürekli fonksiyonlara yaklaşımı sağlarlar. Çok katmanlı algılayıcılardaki gibi iteratif eğitme işlemine ihtiyaç duymazlar. Giriş ve çıkış arasında, eğitim kümesinden elde ettiği bulgularla herhangi sıradan bir fonksiyona yaklaşabilir. Eğitim kümesinin boyutları büyüdükçe yaklaşımdaki hata oranı sıfıra yakınsar. Şekil 5.17’de GRNN ağ yapısı verilmektedir.

GRNN dört katmandan oluşur. İlk katman giriş katmanıdır ve ikinci katmana tam olarak bağlanmıştır. İkinci katmanda her bir giriş örneğini temsil eden bir nöron vardır. Bu katman RBF ağlarındaki ilk katmanın işlevine benzer bir işlev gerçekleştirir; girişler ve depolanmış örnekler arasındaki uzaklık ölçütünü hesaplayarak çıkış üretirler. Üçüncü katman toplama katmanı olarak isimlendirilir, S-toplama ve D-toplama nöronlarından oluşur. S-toplama nöronları ikinci katmanın çıkışlarının ağırlıklı toplamını gerçekleştirir. D-toplama nöronları ise bu çıkış değerlerini ağırlıksız olarak toplar. Dördüncü katmandaki çıkış nöronlarının her birine bağlı sadece bir S-toplama nöronu ve hepsine ortak olarak bağlantılı bir adet D-toplama nöronu vardır. İkinci katmanda σ genişlik katsayısına sahip gauss fonksiyonları kullanılır. Üçüncü katmanda ise toplama katmanında ağırlıklı toplama olarak ifade edilebilecek S-toplamaları ve ağırlıksız toplama olarak ifade edilebilecek D-toplamı gerçekleştirilir. Çıkış katmanında ise her bir S-toplamı D-toplamına bölünerek çıkışlar elde edilir. GRNN, temelinde standart bir istatistiksel yöntem olan Kernel yaklaşımını kullanmaktadır. (Specht,1991)



Şekil 5.17 Genelleştirilmiş regresyon ağ yapısı

5.9 Öğrenme Kuralları

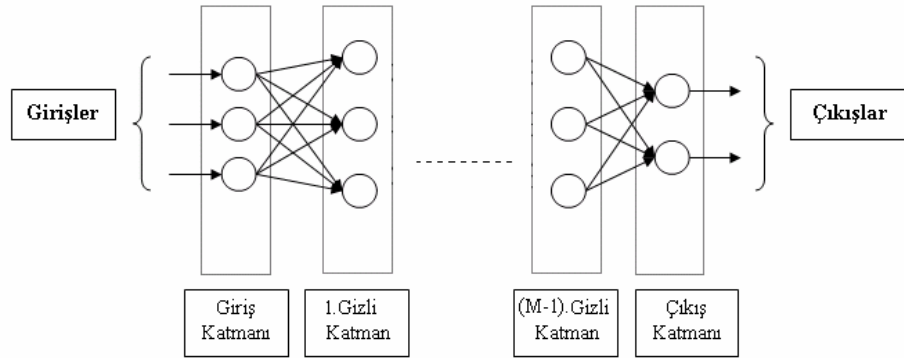
Yapay sinir ağlarının en önemli özelliklerinden biri, ilgilendiği problemde aldığı örneklerle problemi öğrenerek özyetenliğini düzeltebilmesidir. Yapay sinir ağları, tanımlanan bir ölçüte göre ağı serbest parametrelerinin ardışıl olarak uyarlanmasıyla problemi öğrenir. Öğrenme sürecinde, ağı uyarılması, bu uyarının sonucu olarak ağı parametrelerinin uyarlanması ve ağı probleme yeni tepkisini vermesi gerekir. Yapay sinir ağlarında herhangi bir ağırlık ele alınırsa öğrenme matematiksel olarak (5.6)'da ifade edilir.

$$W_{\text{yeni}} = W_{\text{eski}} \pm \Delta W \quad (5.6)$$

Burada ΔW , Belirli bir kurala göre hesaplanarak o anki ağırlıklara uygulanacak düzeltme miktarını verir. ΔW 'yi belirlemek için tanımlanmış kurallara öğrenme algoritmaları yada öğrenme kuralları denir. Günümüzde uygulamada birçok öğrenme kuralı bulunmaktadır. Bu kısımda, geriye yayılım algoritmaları içinde en yaygın kullanılan eğim düşürme (Gradient Descent) esasına dayanan geriye yayılım algoritmasından ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasından ayrıntısı ile bahsedilecektir.

5.9.1 Geriye Yayılım Algoritması

Katmanlı yapay sinir ağlarına uygulanabilmesi nedeniyle önem kazanan geriye yayılım öğrenme algoritması eğim düşme algoritmasının katmanlı yapay sinir ağlarına uyarlanmış halidir. Algoritma M katmanlı bir algılayıcı için düşünülmüştür. ' x_q ', q. giriş vektörü için ağırlık girişi; o_q^k , q. giriş vektörü için k.gizli katmanın çıkış vektörü; y_q , q. giriş vektörü için arzu edilen çıkış vektörü; o_q^M q. giriş vektörü için ağırlık çıkış vektörü ve ' w ' ve ' b ' ağırlık ve bias değerini göstermektedir. Eğim düşme esasına dayanan geriye yayılım algoritmasında, seçilen amaç ölçütünün (performans kriteri) bir katmandaki ağırlığa göre doğru eğiminin hesaplanması gerekir. Bu nedenle, ağ çıkışındaki hata sinyali, katmanlardan geriye doğru yayılır. Aşağıda açıklanacak olan eğim düşme esasına dayanan geriye yayılım algoritması, birden fazla gizli katmanı bulunan Şekil 5.18'deki yapay sinir ağına göre çıkarılmıştır (Haykin 1999).



Şekil 5.18 İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı

Şekil 5.18'deki çok katmanlı ağı düşünürsek;

k+1. katmanda i. birime net giriş;

$$n^{k+1}(i) = \sum_{j=1}^{Sk} w^{k+1}(i, j) o^k(j) + b^{k+1}(i) \quad (5.7)$$

Birim i'nin çıkışı şöyle olacaktır.

$$o^{k+1}(i) = f^{k+1}(n^{k+1}(i)) \quad (5.8)$$

M katmanlı bir ağ matris biçiminde ifade edilirse;

$$\underline{o}^0 = \underline{x} \quad (5.9)$$

$$\underline{o}^{k+1} = \underline{f}^{k+1}(\underline{W}^{k+1} \underline{o}^k + \underline{b}^{k+1}) \quad (5.10)$$

$$k = 0, 1, \dots, M-1$$

Ağın temel görevi giriş-çıkış çiftleri arasındaki ilişkiyi öğrenmektir.

$$\{(\underline{x}_1, \underline{y}_1), (\underline{x}_2, \underline{y}_2), \dots, (\underline{x}_Q, \underline{y}_Q)\}$$

Eğim düşme algoritmasında kullanılacak toplam karesel hata, ağın performansı (5.11)'deki gibidir.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q (\underline{y}_q - \underline{o}_q^M)^T (\underline{y}_q - \underline{o}_q^M) = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q \underline{e}_q^T \underline{e}_q \quad (5.11)$$

Buradaki $\underline{o}_q^M$, q. giriş $(\underline{x}_q)$ olduğunda ağın çıkışıdır, $\underline{e}_q = \underline{y}_q - \underline{o}_q^M$ ise q.girişin hatasıdır.

Burada örneksel uyarlama metodu ile eğitim gerçekleştirilecektir. Eğitim süresince, her bir giriş-çıkış örnek çifti için ağırlıklar yenilenirse örneksel öğrenme kuralı elde edilir. Örneksel uyarlama metodu için, (5.11)'de verilen toplam karesel hata ifadesi, tek bir giriş-çıkış çifti için karesel hatayla yer değiştirilir.

$$E = \frac{1}{2} \underline{e}_q^T \underline{e}_q \quad (5.12)$$

Eğim düşme algoritmasına göre ağın ağırlık ve bias değerlerinin değişim miktarı, karesel hatanın ağırlık ve bias değerine göre türevi cinsinden elde edilir.

$$\Delta w^k(i, j) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} \quad (5.13)$$

$$\Delta b^k(i) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b^k(i)} \quad (5.14)$$

burada α öğrenme oranıdır ve ağırlıkların değişim miktarlarını belirleyen bir katsayıdır. Öğrenme oranı büyük değer seçilirse o zaman yerel çözümler arasında ağırların dolaşması ve osilasyon yapması söz konusu olmaktadır. Küçük değerler seçilmesi durumunda ise öğrenme zamanını arttırmaktadır. Ağırların yerel bir optimum noktaya takılıp kalmaması için (5.13) ve (5.14)'deki ifadeler momentum katsayısı eklenebilir. Momentum katsayısı ile ağırlık değişim değerinin, belirli bir oranda bir sonraki değişime eklenmesi sağlanır. Momentum katsayısı ile yapay sinir ağırlarının eğitim sürecinde belirli bir hızlanma elde edilebilir. ' β ' momentum katsayısını gösterir.

$$\Delta w^k(i, j) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} + \beta \Delta w^{k-1}(i, j) \quad (5.15)$$

$$\Delta b^k(i) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b^k(i)} + \beta \Delta b^{k-1}(i) \quad (5.16)$$

Yapılan hesaplamalarda momentum katsayısının etkisi ihmal edilmiştir.

$$\delta^k(i) \equiv -\frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \quad (5.17)$$

Burada $\delta^k(i)$ k.katmanda i. birimin yerel hatası olmaktadır. Hataların karelerinin orta katmandaki bir ağırlığa göre eğimi kısmi türevlerle (5.18) ve (5.19)'daki gibi elde edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial w^k(i, j)} = -\delta^k(i) o^{k-1}(j) \quad (5.18)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b^k(i)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial b^k(i)} = -\delta^k(i) \quad (5.19)$$

Ağırlık ve bias değerlerindeki değişim miktarı, yerel hatalar cinsinden tekrar yazılırsa;

$$\Delta w^k(i, j) = \alpha \delta^k(i) o^{k-1}(j) \quad (5.20)$$

$$\Delta b^k(i) = \alpha \delta^k(i) \quad (5.21)$$

Eğitim sürecinde ağırlıklar, örneksel veya toplu olarak güncellenmektedirler. Örneksel olarak ağırlıkların güncellenmesi, her örnek ağıya sunulduktan sonra hataların karelerinin eğimine ağırlıkların değiştirilmesi işlemi gerçekleştirilir. Toplu olarak ağırlıkların güncellenmesinde ise eğitim setinde bulunan tüm örnekler ağıya sunulduktan sonra ağırlıklar yenilenir. Eğitim setindeki örneklerin tamamının hataları toplandıktan sonra bu hata ağırlıklara dağıtılır. Ağıın ağırlık değerleri örneklerin tamamı ağıya gösterilmedikçe değiştirilmez. Örnek sayısının az olduğu durumlarda önerilmektedir.

Geriye yayılım algoritmasının iki önemli sakıncası; yavaş yakınsama ve yerel minimuma yakalanma olarak özetlenebilir. Ancak öğrenme oranı ya da momentum katsayısı uygulanarak öğrenme hızlanabilir. Yerel minimuma takılan ağılar momentum katsayısı ile bir sıçramayla yerel minimumdan kurtulabilirler.

5.9.2 Levenberg-Marquardt Algoritması

Geri yayılım algoritması literatürde çok kullanılmasına daha önce belirtilen sebeplerden dolayı bazı dezavantajlara sahiptir. Sonuca çok yavaş olarak yaklaşma ve yerel minimuma yakalanma riski geriye yayılım algoritmasının performansını sınırlandırmaktadır. Geri yayılım algoritması, bir eğim düşme algoritmasıyken, Levenberg-Marquardt algoritması Newton metoduna bir yaklaşımdır. Levenberg-Marquardt algoritması, Newton metodunun hızıyla, eğim düşme metodunun sağlamlığının bileşkesidir.

Levenberg -Marquardt öğrenme algoritması da, eğim düşme metodu gibi literatürde oldukça yaygın kullanılmaktadır. Bu algoritmada, her iterasyon adımında hata yüzeyine parabolik olarak yaklaşılr ve parabolün minimumu o adım için çözümü oluşturur. Newton metoduna göre, bir $E(x)$ fonksiyonu $\underline{x}$ parametresine (ağırlık ve bias kümesi) göre minimize edilmek istendiğinde,

$$\Delta \underline{x} = -[\nabla^2 E(\underline{x})]^{-1} \nabla E(\underline{x}) \quad (5.22)$$

ifadesi elde edilir.

$$\underline{x} = [w^1(1,1)w^1(1,2)...w^1(S1,R)b^1(S1)w^2(1,1)...b^M(SM)]^T$$

burada $\nabla^2 E(\underline{x})$ ifadesi Hessian matrisi ve $\nabla E(\underline{x})$ ise eğimdir. $E(\underline{x})$ ifadesinin hatalarının karelerinin toplamı bir fonksiyon olduğu farz edilirse, (5.23)'deki ifade elde edilir.

$$E(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i^2(\underline{x}) \quad (5.23)$$

Hessian matrisi $\nabla^2 E(\underline{x})$ ve eğim ifadesi $\nabla E(\underline{x})$, $J(\underline{x})$ Jacobian matrisi cinsinden aşağıdaki eşitliklerdeki gibi elde edilir.

$$\nabla E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) e(\underline{x}) \quad (5.24)$$

$$\nabla^2 E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + S(\underline{x}) \quad (5.25)$$

burada $J(\underline{x})$ Jacobian matristir.

$$J(\underline{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (5.26)$$

ve

$$S(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i(\underline{x}) \nabla^2 e_i(\underline{x}) \quad (5.27)$$

Gauss-Newton metodu için $S(\underline{x}) \approx 0$ kabul edilir ve Eşitlik (5.22), yukarıdaki ifadeler yerine yazılarak güncellenir.

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x})]^{-1} J^T(\underline{x}) e(\underline{x}) \quad (5.28)$$

Levenberg-Marquardt modifikasyonu Gauss-Newton metodu şöyle olur.

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + \mu I]^{-1} J^T(\underline{x}) e(\underline{x}) \quad (5.29)$$

(5.29)'daki μ parametresi, sıfıra eşit olduğunda yukarıdaki denklem yaklaşık Hessian matrisini kullanan Newton metodunu ifade etmektedir. Her başarılı adımdan sonra yani $E(\underline{x})$ ifadesinin azaltışında μ parametresinin değeri düşürülür. $E(\underline{x})$ ifadesinin artma durumunda ise μ parametresinin değeri arttırılır. μ parametresinin değerinin sabit bir değere (β) bölünmesi ile değeri düşürülür, sabit bir değerle (β) çarpılması ile değeri arttırılır.

Bu algoritmadaki anahtar adım Jacobian matrisinin hesaplanmasıdır. Yapay sinir ağı tasarım probleminde Jacobian matristeki terimler geri yayılım algoritmasının basitçe değiştirilmesiyle hesaplanabilir. $E(x)$ fonksiyonu $\underline{x}$ 'e göre minimize edilmek istenmektedir. $\underline{x}$ burada ağırlık ve bias değerlerini içeren bir kümedir.

$$\underline{x} = [w^1(1,1)w^1(1,2)...w^1(S1,R)b^1(S1)w^2(1,1)...b^M(SM)]^T \quad (5.30)$$

Standart geri yayılım algoritması terimleri şöyle hesaplanır;

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i,j)} = \frac{\partial \sum_{m=1}^{SM} e_q^2(m)}{\partial w^k(i,j)} \quad (5.31)$$

Sonuç olarak Levenberg-Marquardt algoritması çok hızlı olarak çözüme ulaşmasına rağmen çok fazla bellek gerektirmektedir. Geri yayılım algoritması ise sonuca yavaş ulaşmakta ve daha az bellek gerektirmektedir.

5.10 MATLAB Programında Hazır Fonksiyon Kümesine Sahip Öğrenme Algoritmaları

Bu bölümde, MATLAB programındaki hazır fonksiyon kümesine sahip öğrenme algoritmalarına kısaca değinilecektir [1].

5.10.1 Eğim Düşme (Gradient Descent) Algoritmaları

Eğim düşme algoritması Bölüm 5.9.1'de ayrıntısı ile bahsedilmişti. Bu nedenle, bu kısımda eğim düşme algoritmasının MATLAB programındaki hazır fonksiyon kümesinden bahsedilecektir.

5.10.1.1 Temel Gradyant Düşürme (‘ traingd ’)

Bu algoritma temel gradyant düşürme eğitim algoritmasıdır. Temel eğim düşme algoritmasına göre ağırlık ve bias değerlerinin değişim miktarı, karesel hatanın ağırlık ve bias değerine göre türevi cinsinden elde edilir. MATLAB programında, temel gradyant düşürme algoritmasının hazır fonksiyon kümesinde tanımlı, kullanıcı tarafından ayarlanabilir parametreler vardır. Bunlar; iterasyon sayısı, hedef hata değeri, zaman, minimum gradyant değeri ve öğrenme oranı olarak sıralanabilir.

İterasyon sayısı, eğitim algoritmasının eğitim işlemini sonlandırmadan önce eğitim seti üzerinden kaç kere geçeceğini belirtir. Bu parametrenin, kullanıcı tarafından sisteme girilen hazır fonksiyonu aşağıda yazıldığı gibi olup örnek yazılımda, ağ 5000 iterasyon yapacaktır.

```
net.trainParam.epochs=5000;
```

Hedef hata değeri parametresi ile ağın ulaşması istenen hedef hata değeri kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. Aşağıdaki örnek yazılımda ağ hatasız sonuçlar elde edene kadar eğitim işlemine tabi tutulacaktır. Tabi bu fonksiyonu iterasyon sayısı parametresi sınırlandırmakta, ağın sonsuz döngüye girmesini önlemektedir.

```
net.trainParam.goal=0;
```

Zaman parametresi ile eğitim işleminin kaç saniye boyunca sürdürüleceğini belirtiriz. Aşağıdaki örnek yazılımda ağın eğitim süreci 10 saniye ile sınırlandırılmıştır.

```
net.trainParam.time=10;
```

Minumum gradyant parametresi ile eğitimin belirtilen bir gradyant değerinde durdurulması sağlanır. Aşağıdaki örnek yazılımda eğitim, eğim $1e-10$ değerine ulaşınca sonlandırılacaktır.

```
net.trainParam.min_grad=1e-10
```

Öğrenme oranı parametresi, geriye yayılım algoritmasında ağın serbest paratrelerinin güncellenmesi esnasında, eğitimin performansını doğrudan etkilemektedir. Aşağıdaki örnek yazılımda öğrenme oranı 0.05 olarak seçilmiştir.

```
net.trainParam.lr=0.05;
```

5.10.1.2 Momentumlu Gradyant Düşürme (‘ traingdm ’)

Bu eğitim algoritmasında temel gradyant düşürme algoritmasından farklı olarak momentum sabiti parametresi tanımlıdır. Momentum sabiti, bir önceki ağırlık değerinin bir sonraki ağırlık değişiminde ne kadar etkili olacağını belirler. Momentum katsayısı ile ağırlık değişim değerinin, belirli bir oranda bir sonraki değişime eklenmesi sağlanır. Momentum katsayısı ile yapay sinir ağının eğitim sürecinde belirli bir hızlanma elde edilebilir.

$$w_{yeni}=(mc.w_{n-1})+[(1-mc).w_n] \quad (5.32)$$

Aşağıdaki örnek yazılımda, momentum sabitinin kullanıcı tarafından hazır fonksiyon kümesi olarak sisteme girilişi gösterilmiştir.

```
net.trainParam.mc=0.5;
```

5.10.1.3 Değişken Öğrenme Oranı ile Gradyant Düşürme(‘ traingda ’)

Standart gradyant düşürme algoritmalarında öğrenme oranı eğitim boyunca sabit tutulur.

Algoritmanın performansı öğrenme oranının doğru seçilmesine doğrudan bağlıdır. Öğrenme oranı çok büyük seçilirse sistem osilasyon yapabilir ve dengesiz bir hale gelebilir. Öğrenme oranı çok küçük seçilirse algoritmanın istenen sonuca ulaşması uzun süre alabilir. Aslında optimum öğrenme oranını eğitimden önce belirlemek pratik bir yaklaşım değildir. Çünkü optimum öğrenme oranı eğitim süreci içerisinde değişiklik göstermektedir. Standart gradyant düşürme tekniğinin performansı öğrenme oranı değişken yapılarak arttırılabilir.

Değişken öğrenme oranı ile gradyant düşürme algoritmasında, temel gradyant düşürme algoritmasından farklı olarak üç yeni parametre tanımlanmıştır.

Performanstaki maksimum artım parametresi ile yeni hata değeri eski hata değerini bu parameterenin belirlediği oranın üzerinde geçerse yeni ağırlık değerleri kullanım dışı bırakılır. Bu paramtrenin hazır fonksiyon kümesi olarak sisteme girişi aşağıda verilmiştir.

```
net.trainParam.max_perf_inc=1.04;
```

Yeni hata değerinin eski hata değerinin üzerine geçmesi durumunda öğrenme oranı “lr_dec” parametresi ile belirlenen oranda azaltılır. Eğer yeni hata değeri eski hata değerinden düşük ise öğrenme oranı “lr_inc” parametresi ile belirlenen oranda arttırılır. Bu prosedür öğrenme oranının büyük hata değerlerine yol açmadan arttırılmasını sağlar. Ağ dengeli bir eğitim sürecinden geçer. Bu iki parametrenin hazır fonksiyon kümesi olarak sisteme girilişi aşağıdaki örnekte verilmiştir.

```
net.trainParam.lr_inc=1.05;
```

```
net.trainParam.lr_dec=0.7;
```

5.10.1.4 Momentumlu ve Değişken Öğrenme Oranlı Gradyant Düşürme(‘ traingdx ’)

Bu eğitim algoritmasının, değişken öğrenme oranı ile gradyant düşürme algoritmasından tek farkı momentum katsayısının bu algoritmada tanımlı olmasıdır. Bu algoritma, değişken öğrenme oranlı eğitim algoritması ile momentum kullanarak gradyant düşürme algoritmasının birleştirilmesi olarak düşünülebilir.

5.10.2 Esnek Geri Yayılm Algoritması(‘ trainrp ’)

Çok katmanlı ağ yapıları tipik olarak saklı katmanlarında sigmoid transfer fonksiyonlarını kullanırlar. Bu fonksiyonlar girişlerinde sürekli aldıkları değerleri önceden belirlenmiş bir değer aralığında çıkışlarına verir. Sigmoid fonksiyonlarının giriş değerleri çok büyük olduğu zaman eğrilerin eğimleri 0’a yaklaşır. Bu durum gradyant düşürme eğitim algoritmalarında

sorun yaratmaktadır. Çünkü ağırlık değerleri optimum durumlarından çok uzak dahi olsalar fonksiyonun türev değeri çok küçük olacağından ağırlıklarda çok küçük değişimler gerçekleşecektir. Esnek geri yayılım eğitim algoritmasının amacı kullanılan sigmoid fonksiyonlarının bu dezavantajını ortadan kaldırmaktır. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için ağırlık değiştirme denkleminde ufak bir değişiklik yapılır. Ağırlık değeri değiştirmede türev fonksiyonunun sadece işareti etkili olur. Türev değerinin büyüklüğünün ağırlık değerinin değişmesinde herhangi bir etkisi olmaz. Başlangıçta ağırlık değişiminin hangi büyüklükte olacağı ağırlık değiştirme parametresi “delta0” ile belirlenir.

Eğer üst üste iki ağırlık değiştirmede türev değeri aynı işarete sahip olduysa ağırlık değiştirme oranı `delt_inc` parametresi ile belirlenen oranda arttırılır. Eğer üst üste iki ağırlık değişiminde türev değeri farklı işarete sahip olursa ağırlık değiştirme oranı `delta_dec` parametresi ile belirlenen oranda azalır. Hazır fonksiyon kümesine sahip bu parametrelerin sisteme girişi aşağıdaki örnekte gösterilmiştir.

```
net.trainParam.delta0=0.07;
```

```
net.trainParam.delt_inc=1.2;
```

```
net.trainParam.delt_dec=0.5;
```

5.10.3 Konjuge Gradyant Algoritmaları

Temel geri yayılım algoritmaları ağırlık değerlerini, eğimin negatif yönünde hareket ettirerek optimum sonucu bulmaya çalışırlar. Bu performans fonksiyonunun en hızlı şekilde düştüğü yöndür. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki performans fonksiyonu gradyant yönünün negatif yönünde en düşük değeri almasına rağmen bu tür bir yaklaşımın hızlı bir şekilde optimum ağırlık değerlerine ulaşmadığı görülmüştür. Konjuge gradyant algoritmalarında konjuge yönlerde de bir arama yapılır. Bu sayede temel gradyant düşürme tekniğine göre optimum değerlere daha hızlı bir yaklaşım sağlanır.

Şu ana kadar incelediğimiz eğitim algoritmalarında ağırlık değişiminin ne büyüklükte olacağı bir öğrenme oranı ile belirlenmişti. Çoğu konjuge eğitim algoritmasında adım büyüklüğü her bir karşılaştırmada değişime uğratılır. Konjuge gradyant yönünde yapılan bir arama o yönde performans fonksiyonunu minimize edebilecek adım büyüklüğünün elde edilmesini sağlar. Burada inceleyeceğimiz konjuge gradyant algoritmalarının hepsi varsayılan bir arama fonksiyonuna sahiptir. Bu arama fonksiyonları istenirse kullanıcı tarafından değiştirilebilir.

5.10.3.1 Fletcher-Reeves Güncellemesi ('traincgf')

Bütün konjuge gradyant algoritmaları ilk ağırlık değişiminde gradyantın negatif değerini arayarak eğitime başlarlar.

$$P_0 = -g_0 \quad (5.33)$$

Bu süreçte, belirlenen yönde gidebilecek optimum mesafe için bir arama yapılır.

$$x_{k+1} = x_{k+1} + \alpha_k P_k \quad (5.34)$$

Daha sonra, bir sonraki arama yönü, bir önceki arama yönüne konjuge olacak şekilde belirlenir. Yeni arama yönünü belirlemek için kullanılan genel prosedür yeni negatif gradyant yönünün bir önceki arama yönü ile bir araya getirilmesi işleminden oluşur.

$$P_k = -g_k + \beta_k P_{k-1} \quad (5.35)$$

Değişik konjuge gradyant algoritmaları arasındaki fark yukarıdaki beta değerinin farklı şekillerde hesaplanmasından kaynaklanmaktadır. Fletcher-Reeves güncelleme yöntemi için beta değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\beta_k = \frac{g_k^T g_k}{g_{k-1}^T g_{k-1}} \quad (5.36)$$

5.10.3.2 Polak-Ribiere Güncellemesi ('traincgp')

Polak-Ribiere konjuge gradyant eğitim algoritması için beta değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\beta_k = \frac{\Delta g_{k-1}^T g_k}{g_{k-1}^T g_{k-1}} \quad (5.37)$$

5.10.3.3 Powell- Beale Güncellemesi ('traincgb')

Bütün konjuge gradyant algoritmalarında arama yönü periyodik olarak gradyantın negatif yönüne tekrar gelecektir. Bu olay eğitim setinin üzerinden ağdaki ağırlık ve bias değerleri sayısı kadar geçildiğinde meydana gelir. Bu işlemi farklı şekillerde hayata geçirerek eğitim işleminin verimini arttırmak mümkündür. Bunun için önerilen yöntemlerden biri Powell-Beale güncellemesidir. Bu teknikte bir önceki eğitimde kullanılan gradyant ile o andaki gradyantın aralarındaki ortogonalite test edilir. Eğer iki vektör arasındaki ortogonalite çok küçülmüşse ağ başlangıçtaki gradyantın negatif yönüne geri döner. Bu aşağıda verilmiş olan eşitsizlikle test edilir.

$$|g_{k-1}^T g_k| \geq 0.2 \|g_k\|^2 \quad (5.38)$$

5.10.3.4 Ölçeklenmiş Konjuge Gradyant ('trainscg')

Şu ana kadar incelediğimiz bütün konjuge gradyant algoritmaları her safhada bir arama yapılmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu arama süreci hesaplama bakımından çok fazla zaman almaktadır. Çünkü her arama sürecinde çizgi boyunca eğitim seti değerlerinin defalarca hesaplanması gerekmektedir. Moller tarafından geliştirilen ölçeklenmiş konjuge gradyant algoritması bu fazla hesaplamaların yükünü azaltmak için geliştirilmiştir.

5.10.4 Quasi-Newton Algoritmaları

Bu bölümde Quasi-Newton algoritmalarına değinilecektir.

5.10.4.1 BFGS Algoritması (trainbfg)

Newton metodu konjuge gradyant metotlarına alternatif olabilecek bir algoritma tekniğidir. Aşağıda Newton metodunun temel adım yapısı verilmiştir.

$$\mathcal{X}_{k+1} = \mathcal{X}_k - A_k^{-1} g_k \quad (5.39)$$

Burada A_k kullanıldığı an için performans indeksinin Hessian matrisi (ikinci türevi)'dir. Ama ileri beslemeli ağlar için Hessian matrisini hesaplamak çok pahalı ve de zaman alan bir iştir. Elimizde Newton'un tekniğine dayanan fakat ikinci türevi hesaplamak zorunda olmayan teknikler bulunmaktadır. Bu tekniklere Quasi-Newton adı verilmektedir. Ağırlık değiştirme büyüklüğü yaklaşık Hessian matrisi hesaplanarak bulunur. Bu algoritma konjuge gradyant algoritmalarına göre daha fazla hafızaya ve hesaplama ihtiyacı duymaktadır. Ama genel olarak konjuge gradyant algoritmalarına göre daha hızlı optimum değere yaklaşabilmektedir. Yaklaşık Hessian matrisinin hafızaya alınması gerekmektedir ve bu matrisin boyutları $n^2 \times n^2$ 'dir. Burada n ağ içerisindeki ağırlık ve bias adetlerinin toplamıdır. Çok büyük ağlar için konjuge yöntemlerin kullanmak daha faydalı olacaktır. Ama ağ küçük boyutlarda ise bu algoritma kullanılabilir.

5.10.4.2 Tek Adım Algoritması (trainoss)

BFGS eğitim algoritması fazla hesaplama ve de fazla hafızaya ihtiyaç duyduğundan dolayı konjuge gradyant algoritmaları ile Quasi-newton algoritmaları arasında köprü görevi görecek

bir eğitim algoritmasına ihtiyaç vardır. Tek adım algoritması bu açığı kapatmak için geliştirilmiştir. Bu algoritma Hessian matrisinin tamamını saklamaz. Ayrıca her bir ağırlık değişimi durumunda bir önceki Hessian matrisini birim matrisi olarak kabul eder. Bunun avantajı yeni arama yönünü matrisin tersini almaya gerek kalmadan hesaplayabilmesidir. Tek adım algoritması BFGS algoritmasına göre daha az, konjuge gradyant algoritmalarına göre ise biraz daha fazla hafızaya ihtiyaç duymaktadır.

5.10.5 Levenberg-Marquardt Algoritması ('trainlm')

Quasi-Newton teknikleri gibi, Levenberg-Marquardt tekniği de performans indeksinin ikinci türevine, Hessian matrisini hesaplamadan ulaşmaya çalışır. Levenberg-Marquardt algoritmasından daha önceki bölümde ayrıntısıyla bahsedildiğinden bu bölümde algoritma içinde tanımlı parametrelerden ve hazır fonksiyon kümesine sahip bu parametrelerin kullanıcı tarafından nasıl sisteme girildiğinden bahsedilecektir.

(5.29)'daki μ parametresi Levenberg-Marquardt algoritmasının performansını doğrudan etkilemektedir. μ parametresi değeri sıfıra eşit olduğunda eşitlik yaklaşık Hessian matrisini kullanan Newton metodunu ifade etmektedir. Başlangıçta μ parametresi değerinin hangi büyüklükte olacağı, hazır fonksiyon kümesine sahip "mu" fonksiyonu ile belirlenir. Her başarılı adımdan sonra yani $E(x)$ ifadesinin azaltışında μ parametresinin değeri "mu_dec" düşürülür. $E(x)$ ifadesinin artma durumunda ise μ parametresinin değeri "mu_inc" arttırılır. μ parametresinin değerinin sabit bir değere (β) bölünmesi ile değeri düşürülür, sabit bir değerle (β) çarpılması ile değeri arttırılır. μ büyükse algoritma adım düşümü ($1/\mu$ adımı ile) olur, küçük μ parametresi için algoritma Gauss-Newton olur. Hazır fonksiyon kümesine sahip bu parametrelerin sisteme girişi aşağıdaki örnekte gösterilmiştir.

```
net.trainParam.mu=0.001;
```

```
net.trainParam.mu_inc=10;
```

```
net.trainParam.mu_dec=0.1;
```

5.11 Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları

Son yıllarda YSA'ları, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan ya da ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmiştir. Aşağıda listelenen uygulama alanlarının çoğaltılması ve

hemen hemen her alanda örneklerini görmek mümkündür.

- Arıza analizi ve tespiti

Bir sistemin cihazın yada elemanın düzenli (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir YSA yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlama olanağı vardır. Bu amaçla YSA; elektrik makinalarının, uçakların yada bileşenlerinin, entegre devrelerin v.s. arıza analizinde kullanılmıştır.

- Tıp Alanında

EEG ECG gibi tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu v.s gibi uygulama yeri bulmuştur.

- Savunma sanayi

Silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesneleri / görüntüleri ayırma ve tanıma, yeni algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme v.s. gibi alanlara uygulanmıştır.

- Haberleşme

Görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi v.s. gibi alanlarda uygulama örnekleri vardır.

- Üretim

Üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin (entegre, kağıt, kaynak) kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi v.s. alanlarına uygulanmıştır.

- Otomasyon ve Kontrol

Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma / gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemleri kontrolü v.s. gibi yaygın uygulama yeri bulmuştur.

- Çevresel

Numuneleri analiz etmede ve hava tahmininde uygulama alanları vardır.

- Finans

Kredi riski değerlendirilmesi, sahte para ve evrak tanımı, el yazısı formların değerlendirilmesi, yatırım eğilimleri ve portföy analizinde uygulama örnekleri mevcuttur.

- Elektronik

Elektronik elemanların modellenmesinde, proses parametrelerinin ve transistör boyutlarının

belirlenmesinde, dijital devrelerdeki gecikmelerin kestiriminde kullanılmaktadır.

- Elektromagnetik

RF/ Mikrodalga düzlemsel iletim hatlarının analiz ve sentezinde, Mikroşerit antenlerin tasarımında, Mikrodalga transistörlerin modellenmesinde, ortamdaki elektromagnetik alan şiddetinin tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır.

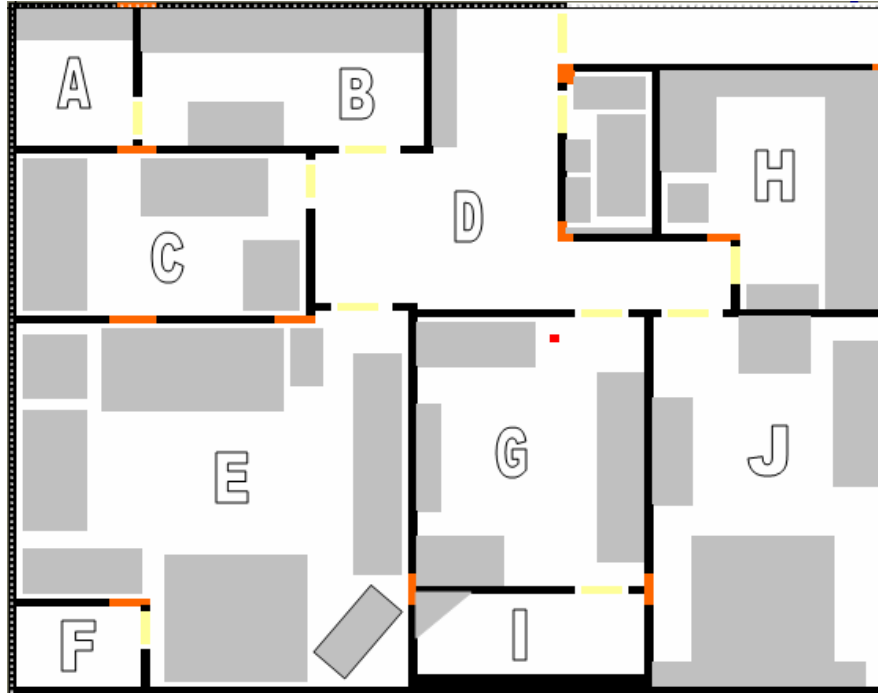
6. ELEKTROMAGNETİK ALAN ÖLÇÜM İŞLEMİ

Elektromagnetik alan ölçüm işlemi için iki farklı bina içi ortamda farklı donanımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde seçilen iki farklı bina içi ortamın özelliklerinden bahsedilecek, ölçüm işleminde kullanılan yazılım ve donanımların teknik özellikleri verilecek ve ölçüm yöntemi ayrıntılarıyla anlatılacaktır.

6.1 Ölçüm Yapılan Bina İçi Ortamların Özellikleri

6.1.1 Ölçüm Yapılan 1. Bina İçi Ortamın Özellikleri

Ölçüm yapılan birinci ortam 4 katlı bir binanın 3. katında bulunmakta, 120 metrekare alana sahip ve 10 adet odadan oluşmaktadır. Bu ortamın en önemli özelliği alıcı ve verici arasında doğrudan görüşün olmaması ve propagasyon yolu boyunca çeşitli fiziksel engellerin (duvar, eşya vs.) bulunmasıdır. Dairenin krokisi Excel’de, bir hücre 10x10 cm kabul edilerek çizilmiştir. Odalar alfabetik harflerle adlandırılmışlardır. Odaların hepsinde tavan yüksekliği 275 cm’dir. Kırmızı ile belirtilen yerde ASUS WL300g vericisi, turuncu ile belirtilen yerlerde binanın kolonları ve açık sarı renkle belirtilen yerlerde kapılar bulunmaktadır. Ölçüm esnasında daire içindeki doğal ortam korunmuş, hiç bir eşyanın yeri değiştirilmemiş ve böylece gerçek bir ortamda modelleme yapılabilmesi sağlanmıştır. Bu eşyalar şekilde gri renk ile belirtilmiştir.



Şekil 6.1 Birinci bina içi ortamın krokisi

Zemin farklılıkları ve duvar kalınlıkları radyo propagasyonunu doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle ölçülen değerlerin yorumlanmasında yol gösterici olacağı düşüncesi ile seçilen bina içi ortamın zemin özellikleri ve duvar kalınlıkları aşağıda belirtilmiştir.

Zemin özellikleri:

D , B: Mermer

A , F , I , H: Fayans

C , E , G , J: 2 cm kalınlığında ahşap parke ve üzerinde 0,8 cm kalınlığında halı

Duvar kalınlıkları:

A – B 12 cm E – F 23 cm J – H 12 cm

A – C 12 cm E – G 27 cm H – D 12 cm

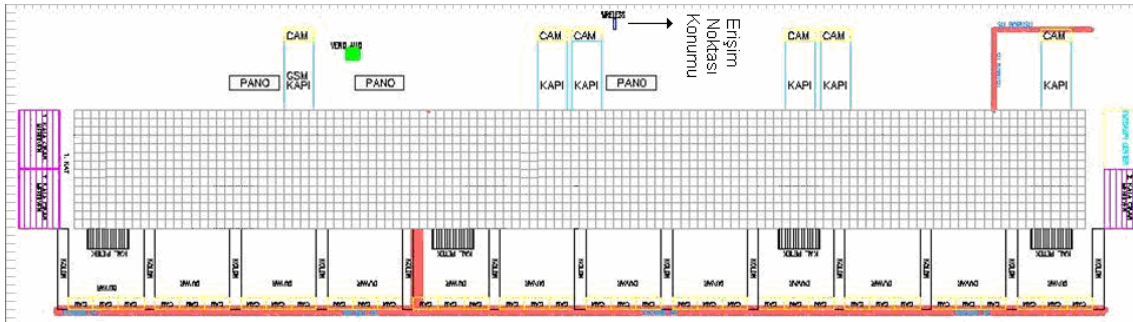
B – D 23 cm G – I 18 cm B – C 12 cm

C – D 12 cm G – D 12 cm

C – E 12 cm G – J 27 cm

6.1.2 Ölçüm Yapılan 2. Bina İçi Ortamın Özellikleri

Ölçüm yapılan ikinci ortam olarak Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş Kampüsü T Blok Zemin ve 1. katları seçilmiştir. Koridor uzunluğu 36,75 m, koridor yüksekliği 287 cm'dir. Koridor zemini birbirine eş parkelerle döşendiği için ölçüm noktaları kolayca tespit edilmiştir.



Şekil 6.2 İkinci bina içi ortamın AutoCAD ile çizilmiş krokisi

6.2 Ölçüm İşleminde Kullanılan Yazılım ve Donanımlar

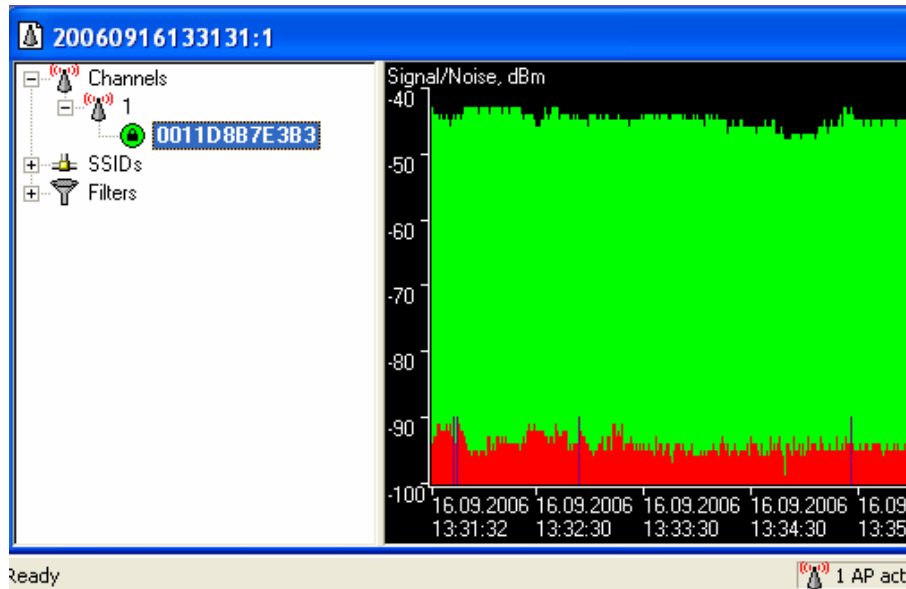
6.2.1 Ölçüm İşleminde Kullanılan Yazılım

Bu çalışmada, ölçüm yazılımı olarak Netstumbler 0.4.0 programı kullanılmıştır. Netstumbler; yakın çevrede aktif olarak çalışan, 802.11a, 802.11b ve 802.11g standartlarını kullanan kablosuz ağları tespit etmeye yarayan bir programdır. Windows altında çalışan bu program

desteklediği kartlarla çalışması durumunda gürültü, RSSI ve SNR değerlerini doğru olarak raporlayabilmektedir. Programın genel özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- MAC adresine ve SSID'ye göre kapsama alanına girdiği kablosuz ağları listeleyebilir.
- dBm cinsinden anlık olarak sinyal seviyesini ölçer. 0,5 örnek/sn - 2 örnek/sn arası tarama hızı ayarlanabilir.
- Bir kablosuz ağda hangi tip şifreleme kullanıldığını belirtir.
- Bir GPS cihazı ile beraber çalıştırılıp, ölçüm değerlerini kordinat değerleri ile beraber raporlayabilir.
- Zaman domeninde dBm cinsinden sinyal seviyesi grafiği anlık olarak görüntüleyebilir.
- “ORiNOCO Gold Classic Card” gibi kablosuz ağ kartlarıyla çalıştırılırsa gürültü değerlerini doğru olarak raporlayabilir.
- Grafik değerlerini Excel formatındaki bir dosyaya aktarabilir.
- Kapsama alanında bulunduğu tüm kablosuz ağların hangi kanalı kullandığını görüntüleyebilir. Böylece enterferansa sebep olabilecek kanallar tespit edilip, kanal ayarlaması yapılabilir.

Netstumbler 0.4.0 programının çalışması durumundaki ekran görüntüsü Şekil 6.3'te verilmiştir. Yeşil çizgiler RSSI sinyal seviyesini, kırmızı çizgiler gürültü değerlerini vermektedir. İkisi arasındaki fark SNR değerlerini vermektedir.



Şekil 6.3 Netstumbler 0.4.0 Programının çalışma durumundaki ekran görüntüsü

6.2.2 Ölçüm İşleminde Kullanılan Donanımlar

Bu bölümde, ölçüm işleminde kullanılan Erişim Noktası Cihazları ve Kablosuz Ağ Kartları tüm teknik özellikleri ile beraber incelenmiştir.

6.2.2.1 Ölçüm İşleminde Kullanılan Erişim Noktaları

Erişim Noktaları, kablosuz cihazların internet veya ağ bağlantısını sağlamaya yarayan cihazlardır. Birinci bina içi ortamında ASUS WL300g erişim noktası, ikinci bina içi ortamında ise Cisco Aironet 1100 Series Erişim Noktası kullanılmıştır.

6.2.2.1.1 ASUS WL300g Erişim Noktası

Asus WL300g; 802.11b ve 802.11g standartları ile tamamen uyumlu bir kablosuz erişim noktası cihazıdır. Cihazın görüntüsü Şekil 6.4’te verilmiştir.



Şekil 6.4 ASUS WL300g görüntüsü

Cihazın teknik spesifikasyonları Çizelge 6.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.1 ASUS WL300g teknik spesifikasyonları

Veri Hızı	802.11g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps
	802.11b: 1, 2, 5.5, 11Mbps
Menzil	Kapalı ortamda 130 ft (40 m), açık havada (LOS, Line-Of-Sight)
	1000 ft (310 m) 11Mbps hızı elde edilebilir
	Kapalı ortamdır 80 ft (25 m), açık havada (LOS, Line-Of-Sight)
	200 ft (60 m) at 54Mbps
	Menzil, değişik ortamlarda farklılık gösterebilir
Alıcı Hassasiyeti	11Mbps: -82 ~ -85 dBm; 5.5Mbps: -85 ~ -88 dBm
	2 Mbps: -88 ~ -91 dBm; 1 Mbps: -91 ~ -93 dBm

Şifreleme	64/128-bit WEP
	TKIP, AES, WPA, WPA-PSK
Anten	İkili dahili polarizasyon diversity antenleri
	Harici anten için bir adet RF konektörü
Anten Tipi	Microstrip Patch
Anten Kazancı	6dBi
Polarizasyon	Dikey
Hüzme Genişliği	H-Düzlemi 3dB hüzme genişliği: 70 derece
	E-Düzlemi 3dB hüzme genişliği: 90 derece
Fron to Back Kazanç oranı	13 dB
Frekans Aralığı	2,4 - 2,4835 GHz
RF Çıkış Gücü	12-15 dBm (yazılımsal olarak 0-84 arası değerler verilebilir: 84=15 dBm)
Çalışma sıcaklığı	0-55 °C

6.2.2.1.2 CISCO Aironet 1100 Series Erişim Noktası

802.11b ve 802.11g standartlarını destekleyen, yüksek hızlı, güvenli, kurulumu ve kullanımı kolay bir kablosuz ağ erişim noktası cihazıdır. 2 adet entegre dipol antene sahiptir. Cihazın görüntüsü Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5 CISCO Aironet 1100 görüntüsü

Cihazın teknik spesifikasyonları Çizelge 6.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.2 CISCO Aironet 1100 teknik spesifikasyonları [2]

Frekans bandı	2,412-1,484 GHz
Desteklediği kablosuz ağ standartları	802.11b, 802.11g
Maks. Veri oranları	802.11b için 1, 2, 5,5 ,11Mbps 802.11g 1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48 ve 54 Mbps
Anten tipi	Entegre diversity dipol antenleri Her türlü uygulamaya müsait küresel kapsama alanı Özellikle ofis ortamlarında, çok yönlü yayılamayı engelleyen diversity özelliği
Anten kazancı	2,2 dBi
Veri iletim tipi	802.11g için OFDM 802.11b için DSSS
Ortak erişim protokolü	CSMA/CA (Çarpışma engelli)
Modülasyon tipleri	OFDM: BPSK (6,9 Mbps), QPSK (12-18 mBPS), 16-QAM (24,36 Mbps), 64-QAM(48,54 Mbps) DSSS: DBPSK(1 Mbps), DQPSK (2Mbps), CCK (5,5 , 11 Mbps)
Alıcı hassasiyeti	802.11b: – 1 Mbps: -94 dBm – 2 Mbps: -91 dBm – 5.5 Mbps: -89 dBm – 11 Mbps: -85 dBm 802.11g: – 1 Mbps: -95 dBm – 2 Mbps: -91 dBm – 5.5 Mbps: -89 dBm – 6 Mbps: -90 dBm – 9 Mbps: -84 dBm – 11 Mbps: -88 dBm – 12 Mbps: -82 dBm – 18 Mbps: -80 dBm – 24 Mbps: -77 dBm – 36 Mbps: -73 dBm – 48 Mbps: -72 dBm – 54 Mbps: -72 dBm
Uygun iletim gücü ayarları	802.11b: • CCK: – 100 mW (20 dBm) – 50 mW (17 dBm) – 30 mW (15 dBm) – 20 mW (13 dBm) – 5 mW (7 dBm) – 1 mW (0 dBm) 802.11g: • CCK: – 100 mW (20 dBm) – 50 mW (17 dBm) – 30 mW (15 dBm) – 20 mW (13 dBm) – 10 mW (10 dBm)

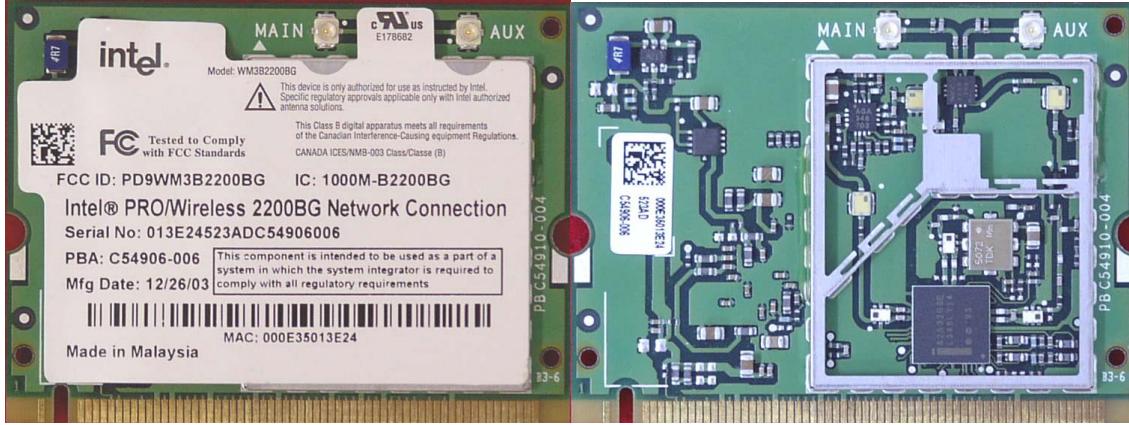
	– 5 mW (7 dBm)
	– 1 mW (0 dBm)
	• OFDM:
	– 30 mW (15 dBm)
	– 20 mW (13 dBm)
	– 10 mW (10 dBm)
	– 5 mW (7 dBm)
	– 1 mW (0 dBm)
Menzil	Kapalı ortam: Açık ofis ortamı
	• 90 ft (27 m) @ 54 Mbps
	• 95 ft (29 m) @ 48 Mbps
	• 100 ft (30 m) @ 36 Mbps
	• 140 ft (42 m) @ 24 Mbps
	• 180 ft (54 m) @ 18 Mbps
	• 210 ft (64 m) @ 12 Mbps
	• 220 ft (67 m) @ 11 Mbps
	• 250 ft (76 m) @ 9 Mbps
	• 300 ft (91 m) @ 6 Mbps
	• 310 ft (94 m) @ 5.5 Mbps
	• 350 ft (107 m) @ 2 Mbps
	• 410 ft (125 m) @ 1 Mbps
	Açık ortamı
	• 110 ft (34 m) @ 54 Mbps
	• 200 ft (60 m) @ 48 Mbps
	• 225 ft (69 m) @ 36 Mbps
	• 325 ft (100 m) @ 24 Mbps
	• 400 ft (122 m) @ 18 Mbps
	• 475 ft (145 m) @ 12 Mbps
	• 490 ft (150 m) @ 11 Mbps
	• 550 ft (168 m) @ 9 Mbps
	• 650 ft (198 m) @ 6 Mbps
	• 660 ft (201 m) @ 5.5 Mbps
	• 690 ft (210 m) @ 2 Mbps
	• 700 ft (213 m) @ 1Mbps

6.2.2.2 Ölçüm İşleminde Kullanılan Kablosuz Ağ Kartları

Kablosuz Ağ Kartları RF veya kızılötesi kullanarak takılı bulunduğu cihaz ile Erişim Noktası arasındaki bağlantıyı sağlayan cihazlardır. Birinci bina içi ortamında Intel PRO/Wireless 2200BG Network Connection, ikinci bina içi ortamında ise ORiNOCO CLASSIC GOLD PC CARD kablosuz ağ kartları kullanılmıştır.

6.2.2.2.1 Intel PRO/Wireless 2200BG Network Connection

802.11b/g standartlarını destekleyen ve genellikle diz üstü bilgisayarlarda kullanılan mini PCI tipi, kablosuz LAN adaptörüdür. Toshiba SA50-111 marka diz üstü bilgisayarında entegre olarak bulunmaktadır. Kartın ön ve arka görüntüsü Şekil 6.6’da verilmiştir.



Şekil 6.6 Intel PRO/Wireless 2200BG ağ kartının ön ve arka görüntüsü

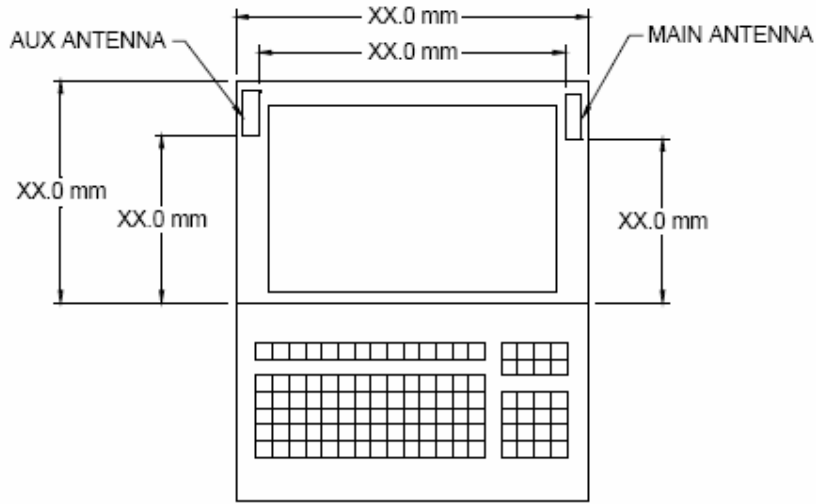
Cihazın teknik spesifikasyonları Çizelge 6.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 6.3 Intel PRO/Wireless 2200BG Network Connection teknik spesifikasyonları [3]

Desteklenen kablosuz ağ standartları	IEEE 802.11b, IEEE802.11g
Frekans bandı	2,4 GHz, 14 Kanal
Veri Hızları	802.11b: 1, 2, 5.5, 11 MB/s 802.11g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Transmisyon Tipi	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
Modülasyon Tipleri	DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM
Güvenlik	64- ve 128-bit WEP, WPA, WPA2, donanım-ivmeli AES, 802.1x doğrulama tipleri EAP-TLS, EAP-TTLS, PEAP-GTC, PEAP-MSCHAPv2, LEAP, EAP-FAST.
Ortam erişim protokolü	CSMA/CA (Çarpışma engelli) ACK'ya sahip
Çıkış Gücü 802.11b için	17 dBm
Çıkış gücü (802.11g için;güç, data oranıyla değişkenlik gösterir)2	16 dBm
Güç tüketimi	İletim: 1.8 Watts (maks) Alış: 1.4 Watts (maks) Boşta: 75 mW (nominal) Uyku Modu: 60 mW
Alıcı hassasiyeti	54 Mbps: -72 dBm, 11 Mbps: -88 dBm , 1 Mbps: -97 dBm
Anten tipi	Yüksek verimliliğe sahip çift band anteni, diversity polarizasyonlu, ekranın arkasına, 2 köşeye yerleştirilmiştir
Menzil	802.11 b - Tipik (@1 Mbps) 1200 feet - Açık havada 300 feet - Kapalı, ofis ortamında 802.11 g - Tipik (@1 Mbps) 1200 feet - Açık havada 300 feet - Kapalı, ofis ortamında

Yüksek verimliliğe sahip çift band anteni, diversity polarizasyonuna sahiptir ve ekranın arkasına 2 köşeye Şekil 6.7'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Anten boyutları 27x12x1

mm'dir.



Şekil 6.7 2200BG antenlerinin Toshiba marka dizüstü bilgisayarındaki konumu

Antenlerin teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Dönüş kaybı (VSWR) -10 dB'den daha düşüktür.
- Anten kazançları:

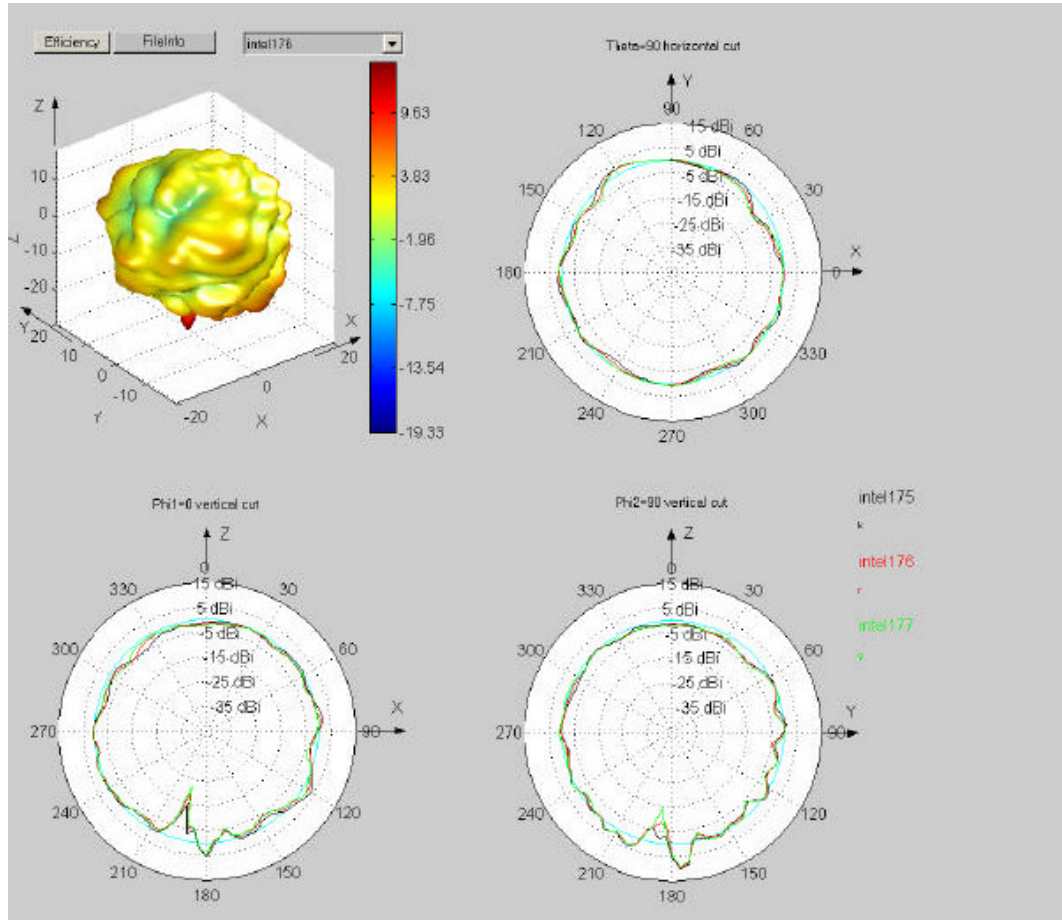
Main anten = -2.20 dBi

AUX anten = -0.20 dBi

- 2 anten de Omni Directional Işıma Diagramına yakındır.

2200BG antenlerinin 2.39, 2.44 ve 2.49 GHz frekanslarında ışıma diagramları Şekil 6.8'de verilmiştir. Sol üstteki 3 boyutlu gösterim 2,45 GHz frekansına aittir. Işıma diagramlarından da görüldüğü üzere 2200BG antenleri omni-directional olduğu varsayılarak ölçümlerde dizüstü bilgisayarın yönüne önem verilmemiştir.

Netstumbler programı 2200BG ile çalışırken gürültüyü ölçmemektedir. Bundan dolayı program, SNR hesabı yaparken gürültüyü -100dBm olarak kabul etmektedir. Netstumbler programı ile tamamen uyumlu çalışabilen Orinoco Gold Classic Card ile ev içinde farklı yerlerde gürültü ölçümleri yapılmış, gürültü değerinin -97 dBm ile -102 dBm arasında olduğu belirlenmiştir. Ortalama değer de -100 dBm civarı hesaplanmıştır. Bu nedenle 2200BG kartı ile ev içinde yapılan ölçümlerin, gürültünün ölçülememesine rağmen gerçek SNR değerlerine çok yakın olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 6.8 2200BG antenlerinin ışıma diagramları

6.2.2.2.2 ORiNOCO GOLD CLASSIC (WD-8410) PCMCIA Kablosuz Ağ Kartı

Diz üstü bilgisayarlar için geliştirilmiş, PCMCIA arabirime sahip, 802.11b destekli kablosuz ağ kartıdır. HERMES chipseti kullanılmaktadır. Kartın ön görüntüsü Şekil 6.9’da verilmiştir

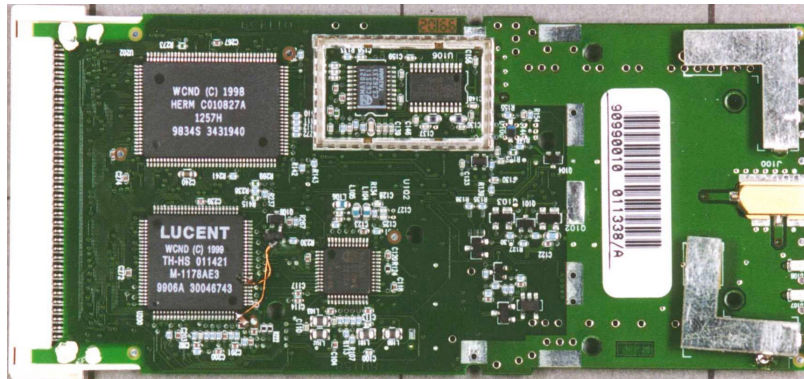


Şekil 6.9 ORiNOCO Classic Gold Card ön görüntüsü

Çizelge 6.4 ORiNOCO Classic Gold Card teknik Spesifikasyonları [3]

Desteklenen kablosuz ağ standartları	IEEE 802.11b			
Frekans bandı	2,4 GHz, 14 Kanal			
Veri Hızları	802.11b: 1, 2, 5.5, 11 MB/s			
Transmisyon Tipi	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)			
Modülasyon Tipleri	DQPSK, CCK			
Güvenlik	64- ve 128-bit WEP, WPA, WPA2, donanım-ivmeli AES, 802.1x doğrulama tipleri			
Ortam erişim protokolü	CSMA/CA (Çarpışma engelli) ACK'ya sahip			
Çıkış Gücü, 802.11b için	15 dBm			
Güç tüketimi	İletim: 280 mA			
	Alış: 180 mA			
	Uyku Modu: 10 mA			
Anten tipi	Omni-Directional, 0dBi Kazanca sahip, diversity polarization'a sahip Hor/Ver			
Menzil / İletim Hızı	Yüksek Hız/ 11 Mb/s	Orta Hız/ 11 Mb/s	Standard Hız/ 11 Mb/s	Düşük Hız/ 11 Mb/s
Açık Ofis Ortamı	160m	270m	400m	550m
Yarı-Açık Ofis Ortamı	50m	70m	90m	115m
Kapalı Ofis Ortamı	25m	35m	40m	50m
Alıcı hassasiyeti	-83 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm

Harici anten takılarak kartın performansında %50'ye varan artış gözlenebilir. Orinoco kartın en önemli özelliği, Netstumbler 0.4.0 programının tamamen desteklediği birkaç karttan biri olmasıdır. Literatürde bu kartın kullanıldığı birçok akademik çalışma mevcuttur(Qiu, 2005). Diğer kartlardan farklı olarak Netstumbler programı ile gürültü doğru bir şekilde ölçülebilmekte ve doğru SNR değerleri elde edilebilmektedir. Kartın PCB görüntüsü Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10 ORiNOCO Classic Gold Card PCB görüntüsü

6.3 Ölçüm Yöntemi

İki farklı bina içi ortamda iki farklı yöntem kullanılarak ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.3.1 1. Bina İçi Ortam için Ölçüm Yöntemi

ASUS WL300g Erişim Noktası bulunan birinci bina içi ortamda Toshiba marka diz üstü bilgisayarın içinde bulunan Intel PRO/Wireless 2200BG ağ kartı ile ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm aralığı 40 cm olarak belirlenmiş ve ölçülecek noktalar zemin üzerinde numaralandırılarak Şekil 6.11’de gösterildiği gibi işaretlenmiştir.



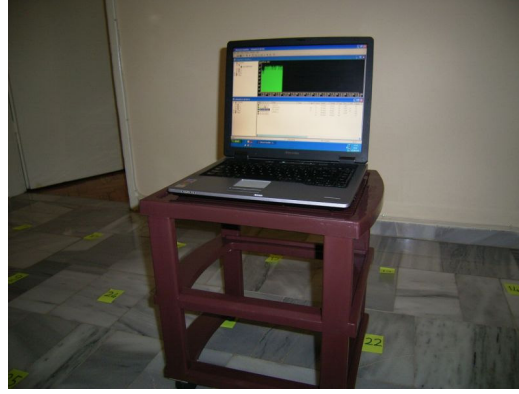
Şekil 6.11 Zemin üzerinde işaretlenmiş ölçüm noktaları

ASUS WL300g zeminden 60 cm yükseklikteki bir sehpa üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 ASUS WL300g'nin ölçüm esnasındaki konumu

Ölçüm cihazı olarak kullanılan dizüstü bilgisayar, zeminden 45 cm yüksekliğinde plastik bir sehpa üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 6.13). Verici maksimum güçte 15 dBm de çalıştırılmıştır. Netstumbler programında saniyede 2 örnek alınacak şekilde ayar yapılmış, bir dakikalık ölçüm boyunca 120 ölçüm değeri alınabilmiş ve her bir nokta için ölçüm başlangıç ve bitiş zamanları tablolanmıştır (Şekil 6.14).

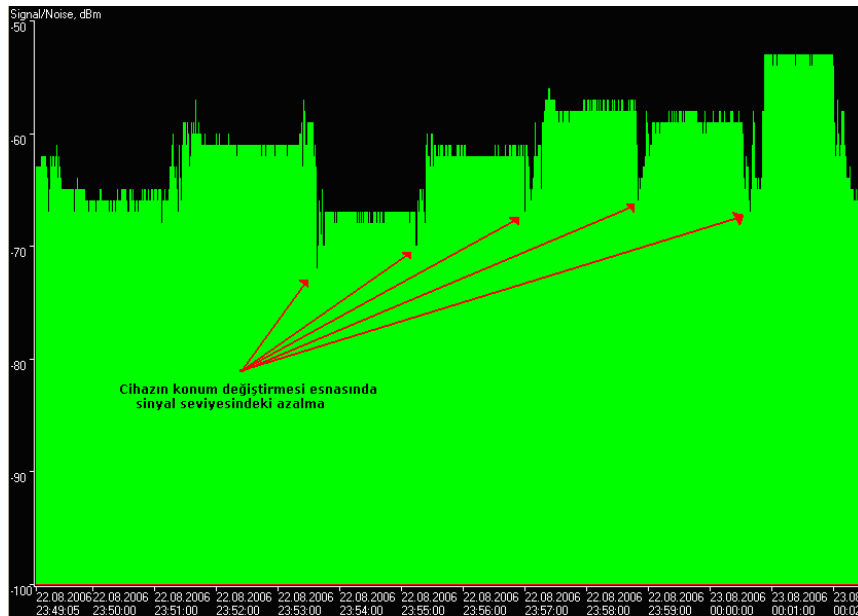


Şekil 6.13 Dizüstü bilgisayarın ölçüm esnasındaki konumu

A	B	C	D
Ölçüm Noktası	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Ölçülen Ort. Değer
1	23:49:35	23:50:50	
2	23:51:10	23:52:50	
3	23:53:40	23:54:50	
4			

Şekil 6.14 Ölçüm başlangıç ve bitiş zamanlarının işlendiği Excel tablosu örneği

Bir ölçüm noktasından diğerine geçilirken hareketsiz ortamın tekrar sağlanması için yaklaşık 20 saniye beklenilmiştir. Diğer ölçüme geçilirken, ölçüm cihazının konumunun değiştirilmesi esnasında sinyal seviyesinde azalma görülmektedir. Bu, gelen sinyalin bir kısmının insan vücudu tarafından absorbe edildiği şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 6.15 Ölçüm cihazının konum değiştirilmesi esnasında sinyal seviyesindeki azalmalar

Bir odanın ölçümleri bittikten sonra ölçülen RSSI değerleri bir Excel dosyaya gönderilmiş, daha önce not edilen ölçüm başlangıç ve bitiş zaman aralıklarına göre her bir noktadaki ortalama RSSI değeri dBm cinsinden tabloya işlenmiştir (Şekil 6.16).

A	B	C	D
Ölçüm Noktası	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Ölçülen Ort. Değer
1	23:49:35	23:50:50	-66,19
2	23:51:10	23:52:50	-61,84
3	23:53:40	23:54:50	-67,55

Şekil 6.16 Ortalama RSSI değerlerinin girildiği Excel tablo örneği

6.3.2 2. Bina İçi Ortam için Ölçüm Yöntemi

Cisco Aironet 1100 Series Erişim Noktası bulunan ikinci bina içi ortamda Toshiba marka diz üstü bilgisayarına PCMCIA arabirimi ile haricen takılan ORiNOCO Classic Gold Card ağ kartı ile ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm aralığı 90 cm olarak belirlenmiş ve ölçülecek noktalar zemin üzerinde numaralandırılarak işaretlenmiştir. Cisco Aironet 1100 ölçüm yapılan koridor üzerinde, $x=86$, $y=0$ kordinatlarında yerden 290 cm yükseklikte konumlandırılmıştır(Şekil 6.17).



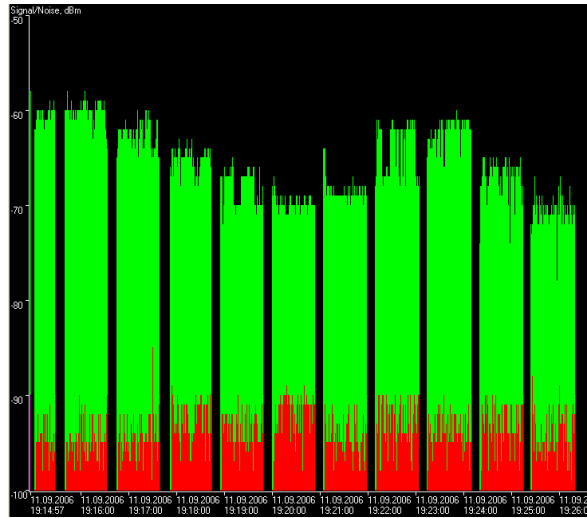
Şekil 6.17 Erişim Noktasının konumu

Ölçüm cihazı yerden 105 cm yüksekliğindeki bir sehpa üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 6.18).



Şekil 6.18 Ölçüm yapılan ortamın görüntüsü

Netstumbler programı ile ölçüm noktalarında 50-60 saniye zaman süresince ölçüm yapılmıştır. Örnek Netstumbler RSSI/Gürültü grafiği Şekil 6.19’da görülmektedir. Birinci bina içi ortamda kullanılan yöntemine benzer şekilde ölçüm başlangıç ve bitiş zamanları Excel tabloya kaydedilmiştir. Ölçülen değerler Excel dosyaya gönderilmiş ve her bir nokta için ortalama SNR değeri hesaplanarak tablo tamamlanmıştır.



Şekil 6.19 Örnek Netstumbler RSSI/Gürültü grafiği ekran görüntüsü

7. MODELLEME İŞLEMİ

Modelleme işleminde yapay sinir ağları kullanılarak, seçilen bölgelerin koordinat eksenlerine göre elektromagnetik alan şiddeti haritasının çıkarılması amaçlanmıştır. Veri kümesi oluşturulma süreci, ölçme yönteminin açıkladığı Bölüm 6.3'te ayrıntısı ile bahsedilmiştir. Seçilen iki farklı bina içi ortamında uygulanan farklı yöntemlerle ayrı ayrı modelleme yapılmış ve simülasyon sonuçları ile bölgelerin elektromagnetik alan şiddetininin değişimini gösteren harita görüntüleri elde edilmiştir. Modelleme işleminde MATLAB 6.1 programında farklı ağ tipleri ve öğrenme algoritmaları için hazır fonksiyon kümesine sahip programlar kullanılmıştır (Neural Network Toolbox).

7.1 1. Bina içi Ortam için Modelleme Sonuçları

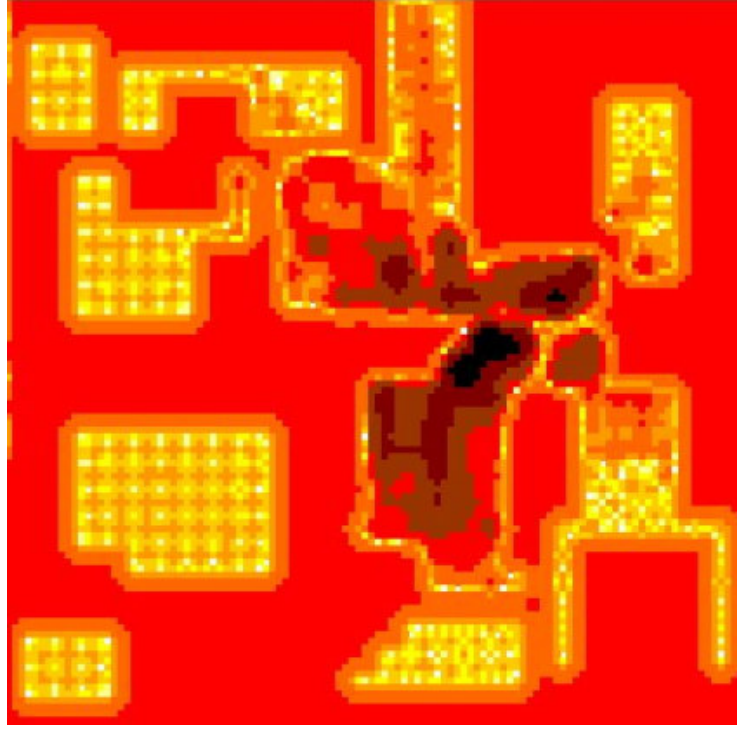
Ölçüm yönteminde de açıklandığı gibi 1. bina içi ortamında zemin numaralandırılarak, her bir ölçüm noktasının elektromagnetik alan şiddeti değeri ölçülmüştür. 1.bina içi ortamında toplam 320 ölçüm noktası için alan şiddeti değeri elde edilmiştir. Modellemede kullanılacak yapay sinir ağının veri kümesini oluşturan ölçüm noktaları, 295 tanesi eğitim işleminde 25 tanesi test işleminde kullanılmak üzere rastgele seçilmiştir. Modelleme işleminde çok katmanlı algılayıcı, radyal temelli fonksiyonlu sinir ağları ve genelleştirilmiş regresyonlu sinirsel ağları kullanılmıştır. Çok katmanlı algılayıcı yapısında ise farklı öğrenme algoritmaları ile eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. İteratif öğrenme algoritmalarında kararlılığı sağlamak üzere, program 10 kez çalıştırılmış ve sonuçların ortalaması elde edilen 10 değer üzerinden alınmıştır. Simülasyon sonuçları Çizelge 7.1 'de özetlenmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde radyal temelli fonksiyonlu sinir ağları, seçilen bölge için modellemede en iyi başarıyı vermiştir. Yapılan simülasyonlarda, radyal temelli fonksiyon ağlarında performansı belirleyen genişlik (spread) değerinin optimum değeri $\sigma = 2$ olarak belirlenmiştir. Radyal temelli fonksiyon ağlarından sonra en iyi başarıyı genelleştirilmiş regresyonlu sinirsel ağları vermiştir. Bu ağ yapısında is spread değerinin optimum değeri $\sigma = 0.5$ olarak belirlenmiştir. Bu bölgenin elektromagnetik haritasının çıkarımında, modelleme işleminde en iyi başarıyı veren radyal temelli fonksiyonlu sinir ağları kullanılmıştır. 1. Bina içi ortam için elde edilen elektromagnetik alan alan şiddeti haritası Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Haritası çıkarılan bölgenin krokisi ise Şekil 7.2'de gösterilmiştir. 1. Bina içi ortamı için harita çıkarımında kullanılan renk skalasının sinyal seviyesi ile değişimi Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 1.Bina içi ortam için simülasyon sonuçları

Ağ Yapısı	Katman Sayısı	Eğitim Algorit.	lr	mc	İterasyon Sayısı	Maksimum Hata		Minimum Hata		Ortalama Hata	
MLP						Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim
	30-15-1	traingd	0.01	---	2000	8.86	7.69	0.72	0.052	5.52	3.35
	30-15-1	traingdm	0.01	0.2	2000	8.36	11.2	0.49	0.054	4.73	4.2
	30-15-1	traingda	0.01	---	2000	8.61	10.12	0.038	0.0399	4.72	3.37
	30-15-1	traingdx	0.01	0.1	2000	8.49	10.49	0.3	0.0263	4.66	3.21
	30-15-1	traingcf	---	---	2000	12.11	0.5	0.8	0.00003	6.39	0.081
	30-15-1	traingcp	---	---	2000	11.7	4.93	0.39	0.0014	6	0.71
	30-15-1	traingcb	---	---	2000	12.13	0.93	0.78	0.00001	6.49	0.0836
	30-15-1	trainscg	---	---	2000	10.25	$\cong 0$	0.25	$\cong 0$	5.95	$\cong 0$
	30-15-1	trainbfg	---	---	2000	11.46	$\cong 0$	3.34	$\cong 0$	6.73	$\cong 0$
	15-1	trainlm	---	---	1000	11.83	3.41	3.01	$\cong 0$	7.5	0.67
	30-15-1	trainoss	---	---	2000	12.51	6.09	0.57	$\cong 0$	5.2	0.45
RBF		newrbe	-	-		5.45	$\cong 0$	0.379	0	3.67	$\cong 0$
GRNN		newgrnn	-	-		5.77	0	0.45	0	4.02	0

Çizelge 7.2 1.Bina içi ortam için renk skalasının sinyal seviyesi ile değişimi

BAŞ.[-dBm]	BİTİŞ[-dBm]	RENK
23.75	28.15	
28.15	32.55	
32.55	36.95	
36.95	41.35	
41.35	45.75	
45.75	50.15	
50.15	54.55	
54.55	58.95	
58.95	63.35	
63.35	67.75	



Şekil 7.1 1.Bina içi ortam için elde edilen elektromagnetik alan şiddeti haritası



Şekil 7.2 Haritası çıkarılan bölgenin krokisi

7.2 2. Bina içi Ortam için Modelleme Sonuçları

2.Bina içi ortamda ise farklı katlardaki iki koridor için ölçüm değerleri alınmıştır. Binada bulunan her bir kat için 160 adet ölçüm noktası belirlenmiştir. Koordinatlara bağlı modellemede x ve y koordinat girişlerine ilave olarak yükseklik girişi z eklenmiştir. Her iki katta bulunan ölçüm değerleri birleştirilerek modelleme gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 320 ölçüm noktasından 295 tanesi eğitim işleminde 25 tanesi test işleminde kullanılmak üzere rastgele seçilmiştir. Seçilen bu bölgedeki elektromagnetik alan şiddetinin modellenmesinde de çok katmanlı algılayıcı, radyal temelli fonksiyonlu sinir ağları ve genelleştirilmiş regresyonlu sinirsel ağları kullanılmıştır. Çok katmanlı algılayıcı yapısında ise farklı öğrenme algoritmaları ile eğitim işlemi gerçekleştirilmiştir. İteratif öğrenme algoritmalarında kararlılığı sağlamak üzere, program 10 kez çalıştırılmış ve sonuçların ortalaması elde edilen 10 değer üzerinden alınmıştır. Simülasyon sonuçları Çizelge 7.4 'te özetlenmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde genelleştirilmiş regresyonlu sinirsel ağları, seçilen bölge için modellemede en iyi başarıyı vermiştir. Yapılan simülasyonlarda, genelleştirilmiş regresyonlu sinirsel ağlarında performansı belirleyen genişlik (spread) değerinin optimum değeri $\sigma = 1$ olarak belirlenmiştir. Bölgenin elektromagnetik haritasının çıkarımında, modelleme işleminde en iyi başarıyı veren genelleştirilmiş regresyonlu sinirsel ağları kullanılmıştır. 2. Bina içi ortam için elde edilen elektromagnetik alan şiddeti haritası ve haritası çıkarılan bölgenin krokisi Şekil 7.3'de gösterilmiştir. 2. Bina içi ortamı için harita çıkarımında kullanılan renk skalasının sinyal seviyesi ile değişimi Çizelge 7.3'te verilmiştir

Çizelge 7.3 2.Bina içi ortam için renk skalasının sinyal seviyesi ile değişimi

BAŞ.[dB]	BITİŞ.[dB]	RENK
54.377	60.28	
48.474	54.377	
42.571	48.474	
36.668	42.571	
30.765	36.668	
24.862	30.765	
18.959	24.862	
13.056	18.959	
7.153	13.056	
1.25	7.153	

Çizelge 7.4 2.Bina içi ortam için simülasyon sonuçları

Ağ Yapısı	Katman Sayısı	Eğitim Algorit.	lr	mc	İterasyon Sayısı	Maksimum Hata		Minimum Hata		Ortalama Hata	
MLP						Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim
	30-15-1	traingd	0.01	---	2000	10.02	8.12	0.9	0.08	7.85	5.52
	30-15-1	traingdm	0.01	0.2	2000	9.82	10.13	0.86	0.06	6.42	6.92
	30-15-1	traingda	0.01	---	2000	8.86	9.85	0.05	0.071	5.92	6.12
	30-15-1	traingdx	0.01	0.1	2000	8.2	10.12	0.2	0.062	5.23	4.82
	30-15-1	traingcf	---	---	2000	13.07	1.2	0.52	≅0	8.2	0.03
	30-15-1	traingcp	---	---	2000	12.2	5.63	0.6	≅0	7.81	2.34
	30-15-1	traingcb	---	---	2000	13.17	0.94	0.0042	≅0	5.621	≅0
	30-15-1	traingcg	---	---	2000	8.2	0.01	0.42	≅0	4.21	≅0
	30-15-1	traingbfg	---	---	2000	10.12	0.033	2.14	≅0	5.35	≅0
	15-1	trainlm	---	---	1000	11.59	4.75	2.72	≅ 0	4.56	1.27
	30-15-1	trainoss	---	---	2000	9.15	5.2	0.6	≅ 0	4.92	1.77
RBF		newrbe	-	-		8.26	≅0	0.619	≅ 0	5.42	≅ 0
GRNN		newgrnn	-	-		5.496	0.622	0.169	≅ 0	2.622	0.07

Şekil 7.3 Elektromagnetik alan şiddeti haritası ve haritası çıkarılan bölgenin krokisi

SONUÇLAR ve YORUMLAR

Bu tez çalışmasında pilot olarak secilen iki farklı bina içi ortamın elektromagnetik alan şiddeti haritasının yapay sinir ağları kullanılarak çıkartılması amaçlanmıştır. Yapay sinir ağları, var olan geleneksel modellere göre çok karmaşık problemlere hızlı ve iyi yaklaşıklıkla çözüm üretebilme kabiliyetine sahip olması nedeniyle modellemede tercih edilmiştir. Secilen bina içi ortamlarda ölçüm sırasında 2 farklı ölçüm yöntem uygulanmıştır. Ölçüm esnasında elde edilen elektromagnetik alan şiddeti değerleri modellemede kullanılan yapay sinir ağlarının veri kümesini oluşturmuştur. Çok katmanlı algılayıcı, radyal temelli fonksiyonlu sinir ağları ve genelleştirilmiş regresyonlu sinirsel ağları ile eğitim ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. 1.Bina içi ortamında radyal temelli fonksiyonlu sinir ağları ve 2.Bina içi ortamında ise genelleştirilmiş regresyonlu sinirsel ağları eğitim ve test işleminde en yüksek başarıyı vermişlerdir. Bu nedenle ilgili bölgenin haritası en yüksek performansın elde edildiği ağ yapıları ile çıkartılmıştır.

Elektromagnetik alan şiddeti haritası incelendiğinde erişim noktasına yakın mesafelerde en yüksek sinyal seviyeleri gözlenmiştir. Saçılma, yansıma ve kırınım gibi propagasyon mekanizmalarından dolayı bazı noktalarda beklenilenin çok üstünde veya çok altında sinyal seviyeleri görülmüştür. Ayrıca 2. Bina içi ortamın 1. katının büyük bir bölümünde SNR 10 dB'nin altına düştüğü için bu kata ilave Erişim Noktası konulması gerektiği belirlenmiştir.

Elektromagnetik alan şiddeti haritası kablosuz ağ kurulumuna başlamadan önce planlama aşamasında yol gösterici olacağı ve kablosuz iletişimin verimliliğini arttıracığı düşünülmektedir. Ayrıca kampüs içinde veya kamusal alanlarda belirli noktalara yerleştirilen elektromagnetik alan şiddeti haritaları kablosuz ağ cihaz kullanıcıları için yönlendirici nitelikte olacaktır.

KAYNAKLAR

Chen Z., Bertoni H. L., and Delis A., (2004) "Progressive and approximate techniques in ray-tracing-based radio wave propagation prediction models," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, no.1, pp. 240–251.

Haykin, S., (1994) "Neural Networks A Comprehensive Foundation", MacMillan College Publishing Company, New York.

Ikegami F., Takeuchi T., and Yoshida S., (1991) "Theoretical prediction of mean field strength for urban mobile radio," IEEE Transaction on Antennas Propagation, vol. 39, pp. 299–302.

Kavas A., (2003) "Investigation of Indoor Propagation Models at 900 1800 and 1900 MHz Bands" WSEAS Transactions on Communications, Issue 4, Vol.2. pp:444-447.

Lei Qiu; Danchi Jiang; Hanlen, L.; (2005) "Neural network prediction of radio propagation" Communications Theory Workshop, 2005. Proceedings. 6th Australian, pp: 272 – 277.

Öztemel, E., (2003) "Yapay Sinir Ağları", Papatya Yayıncılık, İstanbul.

Öztürk E., (2004) "Wlan Kablosuz Yerel Alan Ağları Teknolojisinin İncelenmesi, Mevcut Düzenlemelerin Değerlendirilmesi Ve Ülkemize Yönelik Düzenleme Önerisi" Telekomünikasyon Kurumu, Uzmanlık Tezi.

Popescu, I.; Kanstas, A.; Angelou, E.; Naornita, L.; Constantinou, P.; (2002), "Applications of generalized RBF-NN for path loss prediction" Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002. The 13th IEEE International Symposium on, vol. 1, pp:484 – 488.

Popescu, I.; Constantinou, P.; Naornita, M.; Naornita, I.; (2004) "Generalized regression neural network prediction model for indoor environment" Computers and Communications, 2004. Proceedings. ISCC 2004. Ninth International Symposium on, Vol 2, pp:657 - 661 28

Rappaport T., (1996) "Introduction to Wireless Communications" New Jersey, Prentice Hall, USA,

Seidel S. Y., Rappaport T. S., Jain S., Lord M. L., and Singh R., (1991) "Path loss, scattering, and multipath delay statistics in four european cities for digital cellular and microcellular radiotelephone," IEEE Transactions on Vehicular Technology., vol. 40, pp. 721–730.

Specht, D.F., (1991) "A General Regression Neural Network", IEEE Transactions on Neural Networks, vol.2, pp: 568-576.

Turin, G.L., Clapp, F.D., Johnston, T.L., Fine, S.B., Lavry, D., (1972) "A statistical model of urban multipath propagation," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 21, pp. 1–9.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.mathworks.com>

[2] <http://www.cisco.com>

[3] <http://www.fcc.gov>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi:	31.07.1977	
Doğum yeri	Çorum	
Lise	1988-1995	Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesi
Lisans	1995-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Müh. Böl.
Yüksek Lisans	1999-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı Haberleşme Programı
Çalıştığı Kurumlar	1999-2002 2003-2004 2004-...	ASYA Telekomunikasyon A.Ş – Servis Mühendisi KVK – Eğitim ve Teknik Destek Uzmanı Samsung Electronics – Teknik Süpervizör