

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GSM 900/GSM 1800/CDMA FREKANSI RADYO DALGALARININ BİNA İÇİ
İŞİMA DAVRANIŞLARI

Sami ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2011

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GSM 900/GSM 1800/CDMA FREKANSI RADYO DALGALARININ BİNA İÇİ
IŞIMA DAVRANIŞLARI

Sami ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTİRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

2011

**GSM 900/GSM 1800/CDMA FREKANSI RADYO DALGALARININ BİNA İÇİ
IŞIMA DAVRANIŞLARI**

Sami ÇELİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 2011.02.0121.011 proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel
Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.**

2011

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GSM 900/GSM 1800/CDMA FREKANSI RADYO DALGALARININ BİNA İÇİ
IŞIMA DAVRANIŞLARI

Sami ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez ^{13/9}.././2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (99) not takdir edilerek Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Selçuk HELHEL (Danışman)

Yrd.Doç.Dr.Mehmet Fatih ÇAĞLAR

Doç.Dr. Şükrü ÖZEN



ÖZET

GSM 900/GSM 1800/CDMA FREKANSI RADYO DALGALARININ BİNA İÇİ IŞIMA DAVRANIŞLARI

Sami ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Selçuk HELHEL

Eylül 2011, 49 sayfa

Günümüzde kablosuz iletişim tekniklerinin hızlı gelişmesi sonucu gezgin haberleşmenin önemi her geçen gün artmaktadır. Ses ve veri kullanıcılarının artması sonucu cep telefonu operatörleri özellikle dahili kapsama diye nitelendirilen bina içlerindeki 2G ve 3G kapsamaları artırma eğilimine girmişlerdir. Bu durumun sonucunda bina içi mikro hücre sayısı önemli oranda artmıştır.

Diğer taraftan, şehir merkezlerinde dahili mikro hücre sayısının artması sonucu dahilden hariciye olan girişim, EMG (Elektromanyetik Girişim) problemlerine neden olmuştur. Bu nedenle gezgin operatörlerin şebeke kurulumunda dahilden hariciye olan girişimi de dikkate almaları ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Literatürde hariciden dahiliye ışıma ile ilgili bir çok çalışma olmasına karşın, dahilden hariciye doğru ışıma ile ilgili yapılan fazla çalışma yoktur.

Bu tez çalışmasında, deneysel teknikler kullanılarak, GSM900, GSM1800, ve CDMA2100 frekansındaki radyo dalgalarının bina içinden bina dışına (dahilden hariciye) saçılma davranışları incelenerek ölçümsel saçılma modeli geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: GSM900/GSM1800/CDMA2100, duvar zayıflama kaybı, mikro hücre, dahiliden hariciye saçınım modeli, ölçümsel saçınım kaybı

JÜRİ: Yrd.Doç.Dr.Selçuk HELHEL

Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

Yrd.Doç.Dr.Mehmet Fatih ÇAĞLAR

ABSTRACT

IMPROVEMENT OF INDOOR TO OUTDOOR PROPAGATION MODEL AT GSM900/GSM1800/CDMA-2100

Sami ÇELİK

M. Sc.Thesis in Electrical and Electronics Engineering

Adviser: Assist. Prof. Dr. Selçuk HELHEL

September, 2011, 49 pages

Mobile communication has becoming more popular with the help of rapidly growing new wireless technologies. Due to the increasing the number of the speech and data users, the wireless network operators tends to increase the number of their indoor base stations and femtocells instead of macro base stations.

On the other hand, in the city centers, increasing the number of indoor base stations leads to increase indoor to outdoor interference as well as EMG problems which must be taken into consideration when designing wireless network, especially in hotspot areas. In literature, there are studies about indoor propagation, outdoor to indoor propagation loss calculations, but there are a few studies considering about indoor to outdoor propagation.

In this study, test microcell with one indoor omni antenna was installed in the first floor of a building, and indoor to outdoor propagation loss was measured along the outer periphery of a building at GSM900, GSM1800 and CDMA 2100, respectively. A new indoor to outdoor empirical penetration formula has been derived from outdoor to indoor propagation model.

KEY WORDS: 900MHz, 1800 MHz, 2100 MHz wall penetration loss, femtocells, cellular radio, indoor to outdoor propagation, propagation loss measurement

COMMITTEE: Asst.Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Assoc.Prof.Dr. Şükrü ÖZEN

Asst.Prof. Dr. Mehmet Fatih ÇAĞLAR

ÖNSÖZ

Bu tezin yapılandırılmasında ve tüm aşamalarında gerekli ortamı sağlayan ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Yrd.Doç.Dr.Selçuk HELHEL'e, bina içindeki test düzeneğinin kurulması ve ölçüm çalışmalarının yapılması sürecindeki desteklerinden dolayı Elektrik-Elektronik mühendisleri Osman KURNAZ, Yunus Emre YÖRÜK, Murat BİTİRGAN ve İ. Bahadır BAŞYİĞİT'e teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitimim konusunda beni hiç yalnız bırakmayan ve hep destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SIMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI	4
2.1. Dahili alan kavramı.....	4
2.2. Dahili Alanlarda Işıma Analizi.....	4
2.3 Dahili Alanlar İçin Toplam Alan ve Yol Kaybı Hesabı.....	5
2.4. Kaynaktan Çıkan Işın Demetinin Kırınım ve Yansıma Davranışları.....	7
2.5. Dahili Alanlarda Kullanılan Işıma Modelleri.....	8
2.5.1 Deneysel (Ölçümsel) Modeller.....	10
2.5.2 Radyo Kaynağına Özel Modeller.....	11
2.5.2.a. Işın İzleme Modeli.....	12
2.6. Dahiliden Hariciye Saçınım Modellemesi.....	16
3. MATERYAL ve METOT	22
3.1. Ölçüm Düzeneği	23
3.1.1. Sinyal verici cihazı özellikleri.....	23
3.1.2. Sinyal alıcı (Nemo) test telefonu özellikleri.....	25
3.1.3. Verici Anteninin Özellikleri.....	26
3.2. Ölçüm Düzeneği ve Yöntemi.....	28
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	32
5. SONUÇ	40
6. KAYNAKLAR.....	41
7. EKLER	44
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

RF	Radyo Frekans
1G	Birinci Nesil Gezgin Haberleşme
2G	İkinci Nesil Gezgin Haberleşme
3G	Üçüncü Nesil Gezgin Haberleşme

Kısaltmalar

A_{mn}	Serbest uzay zayıflatması (dB)
CDMA	3. Nesil Kod Bölmeli Çoğullamalı Erişim
Dahili Işıma	Kapalı alan bina içi dalga ışıması (indoor propagation)
D	Kırınım (Diffraction)
DOGA	DO ğrudan G örüş Alanı- (line of sight)
DOLGA	DOL aylı G örüş Alanı- (non line of sight)
d	Cep telefonunun (MS) binanın dış çephesine olan uzaklığı
EMG	Elektromanyetik Girişim
EMUMAM	Endüstriyel ve Medikal Uyg. Mikrodalga Uyg. ve Araş.Merk.
FDMA	Frekans Bölmeli Çoğullama Erişim
GSM	Gezgin Haberleşme Sistemleri
GO	Geometrik Optik
G_t	Verici sistem anten kazancı (dBi),
G_r	Alıcı sistem anten kazancı (dBi),
G_n	kat zayıflama katsayısı (kat yüksekliği 4-5 m olan binalar için 4-7 dB/kat olarak kabul edilmiştir)
G_h	kat yüksekliği zayıflama katsayısı (kat yüksekliği 4-5m olan binalar için 1.1-1.6 dB/m arasında alınmıştır)
$G_{(ht)}$	Verici sistem efektif anten açıklığı kazanç faktörü,

$G_{(hr)}$	Alıcı sistem efektif anten açıklığı kazanç faktörü,
G_{area}	Çevreye bağlı kazanç (dBi)
Harici Işıma	Bina dışı dalga ışıması (outdoor propagation)
K	Serbest Uzay yol kaybı
L_f	Serbest uzay yol kaybı (dB)
Loss(in)	dahiliden bina içine ışıma sırasındaki bina içindeki zayıflama kaybını (dB)
Loss(out)	binanın dış duvarına kadar olan zayıflama kaybını (dB)
W_e	bina dış duvarına dik gelen ışının zayıflaması (dB)
W_{ge}	COST 231'den gelen açığa bağlı olan bina duvarı zayıflaması (dB)
W_i	bina içi duvar sayısından kaynaklanan zayıflama (dB)
ρ	sinyalin geçtiği duvar sayısı
P_G	Çıkış gücü (dBm)
P_O	Alıcı tarafında okunan güç (dBm)
P_t	Verici sistem tarafından transfer edilen güç (W)
P_r	Alıcı tarafında okunan güç (W)
λ	Dalga boyu (m)
R	Yansıma (Reflection)
S	Saçılma (Scattering)
θ	Çarpma açısı
W_e	Işıma yönüne dik bakan bina duvarındaki kayıp (dB) $\theta= 0^\circ$
W_{Ge}	Işıma yönüne paralel bakan bina duvarındaki kayıp (dB) $\theta= 90^\circ$
α	özel indoor yansıma katsayısı (dB/m)
TDMA	Zaman Bölmeli Çoğullamalı Erişim
UMTS	3.Nesil Gezgin Haberleşme Sistemleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Şehir merkezlerinde makro ve mikro hücrelerden oluşan çalışma alanı.....	3
Şekil 2.1. DOGA ve DOLGA ışıma yayılımları.....	5
Şekil 2.2. K noktasındaki kaynağın, G gözlem noktasında oluşturduğu alan.....	6
Şekil 2.3. Çokyollu Işıma.....	7
Şekil 2.4. COST 231 MODELİ.....	10
Şekil 2.5. Sanal Yöntem.....	12
Şekil 2.6 Binada oluşan sanal kaynak ve etki alanı.....	13
Şekil 2.7. Birinci derece yansıyan sinyal.....	14
Şekil 2.8. İkinci derece yansıyan sinyal.....	14
Şekil 2.9. İki boyutlu alıcı küresi.....	15
Şekil 2.10. Kaynaktan çıkan ışınların iki boyutlu düzlemde ışınların θ açısı ile dağılımı.....	15
Şekil 2.11. 900 MHz’de mesafeye bağlı kayıp grafiği	17
Şekil 2.12. 1800 MHz’de mesafeye bağlı kayıp grafiği.....	17
Şekil 2.13. CDMA 2100MHz’de mesafeye bağlı kayıp grafiği	18
Şekil 3.1. EMUMAM Binası.....	22
Şekil 3.2. Test sinyal üretici cihazı ve yönlü ve yönsüz dipole antenler	24
Şekil 3.3. Nome ekranında GSM banttest sinyal üreticinin kontrol çıktısı.....	24
Şekil 3.4. Nome CDMA Test Ekranı.....	25
Şekil 3.5. Alıcı test telofonu.....	27
Şekil 3.6. Verici ahili alan yönsüz dipole anteni.....	27
Şekil 3.7. Ölçüm düzeneği.....	28
Şekil 3.8. EMUMAM Binası üst kat verici ve ölçüm noktaları çizimleri.....	30
Şekil 3.9. Map Info örnek tap dosyası çıktısı.....	30
Şekil 3.10. EMUMAM binası ve çevresi boyunca alınan ölçümler.....	30
Şekil 4.1. 900 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx1 için).....	32
Şekil 4.2. 1800 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx1 için).....	33
Şekil 4.3. CDMA 2100 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx1 için)....	33

Şekil 4.4. Test Vericisi TX1 nolu noktada iken standart sapma.....	34
Şekil 4.5. 900 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx2 için).....	34
Şekil 4.6. 1800 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx2 için).....	35
Şekil 4.7. CDMA 2100 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx2 için)....	35
Şekil 4.8. Test Vericisi TX2 nolu noktada iken standart sapma	36
Şekil 4.9. 900 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (TX3 için).....	36
Şekil 4.10. 1800 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx3 için).....	37
Şekil 4.11. CDMA 2100 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx3 için)....	37
Şekil.4.12. Test Vericisi TX3 nolu noktada iken standart sapma	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Matematiksel hesaplamalarda kullanılan değerler	21
Çizelge 3.1. ANDREW CELLMAX-O-25 Yönsüz Dipol Anten Özellikleri.....	27
Çizelge 3.2. Ölçümler ile ilgili teknik bilgiler	28
Çizelge 4.1. Işıma Modeli ile Pratik Ölçümler arasındaki Ortalama Hata ve Standart Sapma.....	39

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ile cep telefonlarının ve kullanılan diz üstü bilgisayarların boyutlarının küçülmesi sonucu mobil iletişim yaşamın her alanında kullanılmaya başlamıştır. Mobil sistemler önceleri sadece ses iletimine kullanılmakta iken, geliştirilen her yeni nesil haberleşme sistemi sayesinde (3G, LTE, Wimax, v.b.) verilen hizmetlerin sayısı ve çeşitliliği de artmıştır. 3G haberleşme teknolojisi ses iletişimin yanında geniş band (5MHz) veri iletişimi konusunda katma değeri yüksek yeni uygulama ve hizmetleri de gündeme getirmiştir. Bunların sonucunda bina içi kapsama amaçlı kurulan ve dahili alan veya mikro hücre diye isimlendirilen istasyonların sayısı önemli oranda artmıştır. Bina içi kapsamaya örnek olarak, oteller, AVM'ler (Alışveriş Merkezleri), hastaneler, havalimanları, fabrikalar, asansörler ve dahili otoparkları verebiliriz. Bina içlerine kurulan mikro istasyon sayısı arttıkça bu istasyonlardan dışarıya girişim yapan sinyallerde artmaktadır. Bu durum EMG (Electromanyetik girişim) problemlerinin artmasına neden olmaktadır.(Helhel, 2011)

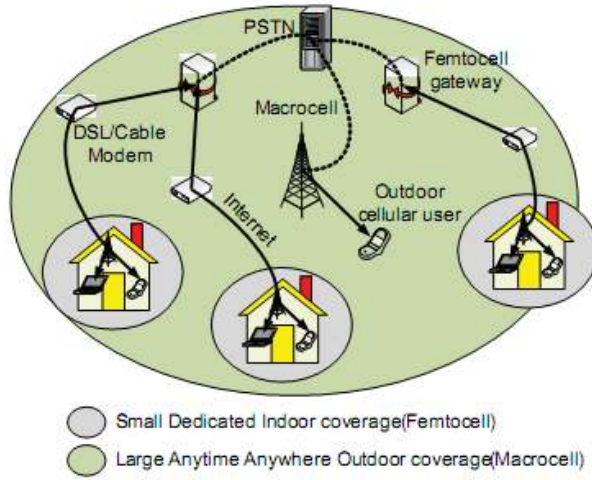
Literatürde, dışarıdan bina içine doğru ışıma modellemesi ile ilgili birçok yayın olmasına karşın yukarıda bahsedilen EMG problemlerine yol açan, bina içinden dışarıya doğru (Dahilden hariciye) saçınım yapan sinyalleri inceleyen çalışma sayısı fazla değildir. (P.Kyösti 2007, Valcarce vd 2010,)

Bu kapsamda Miura vd , (2002) bina dışından-bina içine ışıma kayıplarını hesaplamak için COST 231 modelinden daha kesin sonuca yaklaşan yeni bir ışıma modeli önermişlerdir. COST 231 modeli radyo dalgalarının bina dışından bina içine ışıma yaparken alıcıya en yakın noktadan kırılarak giriş yaptığını kabul eder. Miura vd , (2002) önerdiği yeni model ise bina dışından bina içine ışımda pencere, kapı gibi duvar açıklıklarından yansıyarak veya kırılarak giriş yapan sinyallerin duvardan giriş yapanlara göre daha kuvvetli olması prensibine dayanır. Katar vd, (2008), bina dışında içeriye (hariciden dahiliye) saçınım modelini dört adet binada yaptığı ölçümlerde incelemiştir. Katar vd, (2008) binaların düzgün olmayan yapısını modelleyebilmek için binaları çok küçük sanal parçalara bölmüş ve buraya ışıma yapan harici sinyalleri COST

231 modeli yardımı ile modellemeye çalışmıştır. Bu çalışma sonucunda verici ve alıcı arasında **DOğrudan Görüş Alanı- “DOGA”** ve **DOLaylı Görüş Alanı- “DOLGA”** olması durumundaki ışıma yayılımlarını ayrı ayrı değerlendirmiştir. Fakat, geliştirilen model GSM900'den daha yüksek frekans aralığını incelemeyeği için güncel 3G uygulamalarında yetersiz kalmaktadır.

Valcarce vd (2010) dahili ortamdan hariciye saçınım yapan model geliştirmesine karşın, deneysel düzeneğinde verici anteni pencerenin hemen yanına konumlandırmıştır. Bunun sonucunda bina içlerinden dışarıya saçınım yapan sinyaller bina içine nüfuz etmesi tam olarak sağlanamadığı için modelin hassasiyeti ve güvenilirliği tartışmalıdır. Bir başka çalışmada Kyösti'nin (2007) Winner projesidir. Kyösti (2007) dahili ortamdan hariciye girişim yapan mikro hücrelerin davranışlarını ölçümsel sonuçlara dayanarak COST 231 modeli yardımı ile modellemiştir ama ölçümsel sonuçlarını 2-6 GHz aralığında yaptığı için GSM900 gibi daha düşük frekanslar bu modelin kapsamı içine girmemiştir.

Güncel uygulamalarda özellikle hızlı veri transferi için kullanılan 3G şebekelerde cep telefonundan baz istasyonuna doğru sinyalleşme (uplink) yönünde olan girişim önem kazanmaktadır. Bu girişimin artması sonucu ortamdaki gürültü eşik değeri (Noise Level) artmaktadır. Gürültü eşik değeri belli bir değere ulaştığı zaman tüm 3G şebekesi tekrar eski değerine düşünceye kadar kullanılamaz duruma gelmektedir. CDMA (3G) şebelerindeki dahilden harici yönde olan EMG problemlerinin bu konudaki etkisini Chandrasekhar vd (2009) yazdıkları makalede incelemiştir. Çalışmalarında dahili ortamdan bulunan mikro hücrelerin harici ortamda bulunan makro hücrelere olan girişimlerini belli bir çalışma alanı (operating contour) tanımlayarak Sekil 1.1'de olduğu gibi incelemişler ve bu girişimden kaçınmak için bir yöntem (uplink interference avoidance strategy) geliştirmişlerdir. Bu yöntemde şebeke kurulumunda yönlü (sector) dahili anten kullanılması, 360 derece yönsüz (omni) dahili anten kullanılmasına göre ortamdaki toplam girişimi ortalama 7 kat azalttığını göstermişlerdir.



Şekil 1.1. Şehir merkezlerinde makro ve mikro hücrelerden oluşan çalışma alanı

Bu tez çalışmasında radyo dalgalarının dahili ortamdan hariciye olan ışıma davranışları, mobil haberleşme operatörlerinin kullandığı frekans aralıklarında (GSM 900MHZ, 1800MHZ ve UMTS 2100MHZ) kurulan test düzeneğinde uygun modeller seçilerek incelenmiştir. Okamoto vd (2009) nin geliştirdikleri harici ortamdan dahiliye ışıma modeli referans alınarak dahiliden hariciye ölçümsel ışıma modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modele ölçüm sonuçlarından bulunan BW (Band genişliği) etkisi eklenmiştir. Bu çalışma boyunca üretilen model ile test ortamındaki ölçümler kıyaslamalı olarak verilmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

Bu bölümde dahili alan “indoor” kavramı ve elektromanyetik radyo sinyallerinin kapalı bir ortam olan koridorlar için ışıma, yansıma ve kırınım mekanizmaları açıklanacaktır. Günümüzde dahili alanlar için yaygın olarak kullanılan ışıma modelleri incelenecek ve karşılaştırılmaları yapılacaktır.

Son kısımda ölçümsel sonuçlardan elde edilen hariciden dahiliye ışıma modeli üzerinden dahiliden hariciye ışıma modeli teorik olarak geliştirilmesi anlatılmaktadır.

2.1. Dahili alan kavramı

Kablosuz haberleşme sistemlerinin gelişmesi ve ses iletişimin yanında veri ve internet haberleşmelerinin de hareketli hale gelmesi sonucu günümüzde kullanılan kapalı yaşam alanlarında yeterli ve kaliteli radyo sinyalinin sağlanması ihtiyacını öne çıkarmıştır. Dahili alan kavramı ile haberleşme sistemlerinin konutlarda, fabrikalarda, ofislerde, otellerde, asansörlerde, metro ve tünellerde, alışveriş merkezlerinde ve yakın gelecekte uçak içlerinde oluşturdukları işaretin seviyesi anlatılmaktadır. Dahili alan kavramının bu kadar geniş bir yelpazeyi kapsaması sonucunda her bir kapalı yaşam alanında farklı kapsama kriterleri ve ihtiyaçları olacağı muhtemeldir. Bu nedenlerle radyo sinyallerinin dahili ortamdaki davranışlarının iyi analiz edilmesi gerekmektedir. (Tam ve Tran, 1995)

2.2. Dahili Alanlarda Işıma Analizi

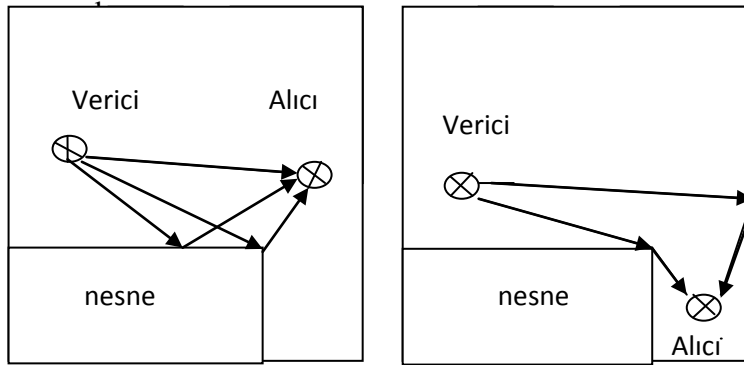
3G(3.nesil) sistemlerinin 1G ve 2G sistemlerine göre yüksek hızda veri ve internet sağlama avantajlarına karşın, kullanılan frekans aralığından (2,1 GHz) kaynaklanan özellikle dahili alanlara nüfuz etme ve yayılma konusunda problemler ve operasyonel sıkıntılar ile karşılaşilmektedir. Bununla birlikte dahili alanlardaki radyo dalgaları çevresel ve dış etkenlerden (kar, yağmur, sis, bulutlar, aşırı sıcaklık değişimleri gibi.) fazla etkilenmezler ama onun yerine bina yapısına, kullanılan yapı malzemelerine,

odaların düzenine, mobilyalara göre değişkenlik gösterirler. Örneęin bir fabrika binası ile ofis binasında dahili alan radyo sinyalin ışıma özellikleri birbirinden farklılık gösterir.

Bu nedenlerle günümüzde gezgin haberleşme sistemlerinde radyo sinyallerinin dahili alanlarda ışıma davranışlarının incelenmesi ve karakteristiklerinin analiz edilmesi önem arz etmektedir.

2.3 Dahili Alanlar İçin Toplam Alan ve Yol Kaybı Hesabı

Alıcı antenine doğrudan veya dolaylı olarak gelen sinyaller birleşerek girişim yaparlar ve vericide radyo sinyalinin bozulmuş versiyonunu oluştururlar. Sürekli dalga yayılımlarında, Alıcı ve Verici arasında **DOğrudan Görüş Alanı**- “DOGA” olan durumlarda Deneyisel Modeller daha kullanışlı iken **DOLaylı Görüş Alanı**- “DOLGA” olması durumunda alıcı tarafında Rayleigh Dağılımı oluşur. (Helhel,1997)

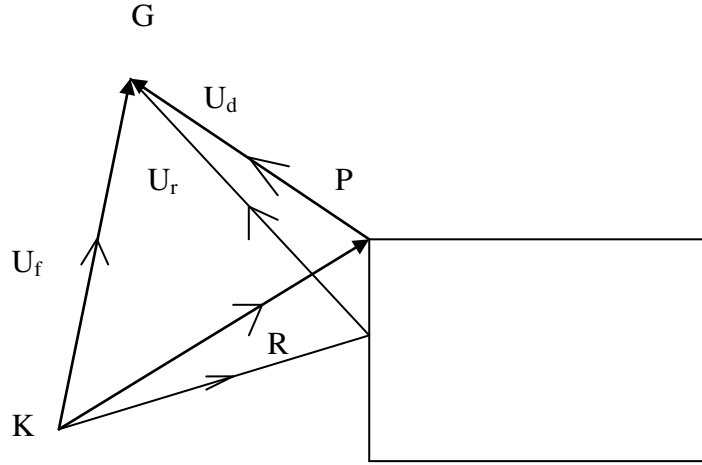


Şekil 2.1. DOGA ve DOLGA ışıma yayılımları

Bir G gözlem noktasında okunan toplam elektomanyetik alan, Şekil 2.2’ de gösterildiği gibi; kırınarak, yansıyarak ve hiçbir değişime maruz kalmadan doğrudan ulaşan alanların toplamına eşittir. (Helhel, 1997)

$$U_{top} = U_r + U_d + U_f \quad (1)$$

Burada Şekil 2.2 'deki K noktasındaki kaynak (verici) vasıtası ile oluşan toplam alan U_{top} : R noktasından yansıyarak U_r , P noktasından kırınarak U_d ve direk gelen U_f alanlarının toplamıdır.



Şekil 2.2.K noktasındaki kaynağın, G gözlem noktasında oluşturduğu alan(Helhel,1997)

Okunan ve okunması gereken değerler ile vericimizin çıkış gücünü bildiğimizden, K serbest uzay yol kaybı logaritmik olarak;

$$K=10\log\left(\frac{P_G}{P_0}\right) \quad (2)$$

ile ifade edilir. Burada sırası ile

K serbest uzay yol kaybını,

P_G çıkış gücünü

P_0 alıcı tarafında okunan gücü ifade eder.

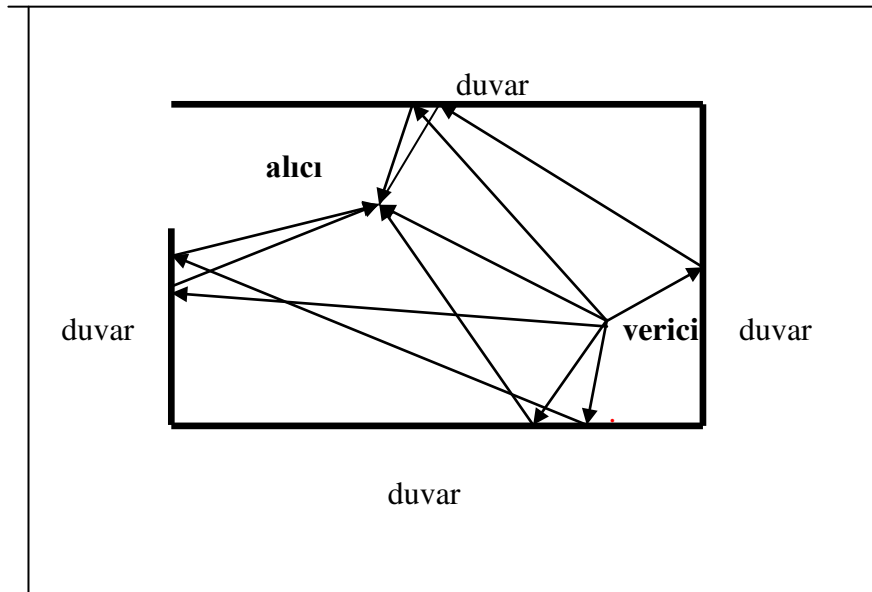
Herhangi bir radyo sinyal vericisinden d kadar uzaklıktaki oluşturduğu ışıma gücü d 'nin azalan fonksiyonu olarak ifade edilir. Yani $P = \frac{1}{d^m}$. Serbest uzayda, $m=2$ olur. Fakat kapalı bir alan içerisinde bu her zaman doğru değildir. Saleh vd

(1987), alıcı ve verici sistemleri aynı kapalı koridora yerleştirilmesi durumunda güç düşme hesabında m in alacağı değerleri 1-5 ile 1-8 arasında değişeceği ve alıcının koridor yerine odaya yerleştirilmesi durumunda m 'nin 3-4 olacağını göstermişlerdir. Güç kaybı aynı zamanda frekansa göre de değişiklik gösterir. Owen vd (1989), ofis binaları içinde 900 MHz ile 1650 MHz arasında yaptıkları ölçümlerde frekans yükseldikçe zayıflamanın arttığını göstermişlerdir. Milimetre dalga boyunda radyo sinyallerinin günümüzde yaygın olarak kullanılan tuğla veya beton bloklardan geçiş yapamadığı ve sinyal zayıflamasının arttığı bulunmuştur.

2.4. Kaynaktan Çıkan Işın Demetinin Kırınım ve Yansıma Davranışları

Tipik bir dahili alan sisteminde belli bir yükseklikten yayın yapan dahili antenden çıkan radyo dalgaları alıcıya **yansıma**, **kırılma** ve **saçılma** yaparak birden fazla yoldan ulaşır. Buna **çokyollu ışıma** denir. (Bkz. Şekil 2.3)

- Yansıma (R) : Kaynaktan çıkan sinyalin dalga boyuna oranla çok daha büyük bir cisme çarpması sonucu yansımasıdır.
- Kırılma (D) : Kaynaktan çıkan sinyalin dalga boyuna oranla çok daha büyük bir cismin köşesine çarparak kırılmaya maruz kalmasıdır.
- Şaçılma (S): Kaynaktan çıkan sinyalin dalga boyu ile orantılı ya da daha küçük bir cisme çarparak saçılma yapmasıdır.



Şekil 2.3. Çokyollu Işıma

Sonuç olarak dahili alanlarda elektromanyetik dalgaların ışıması binanın büyüklüğüne, şekline, odaların yerleşim durumuna ve daha da önemlisi binanın yapı maddesine göre farklılık gösterir.

2.5. Dahili Alanlarda Kullanılan Işıma Modelleri

Kablosuz haberleşme sistemlerinden yeterli performansın sağlanabilmesi için dahili alanlarda radyo ışıma karakteristiklerinin incelenerek düşük maliyet alternatifine göre uygun modelin seçilmesi gerekmektedir. Gezgin haberleşme sistemlerini üreten firmalar ve servis veren operatörlerin özellikle 3G teknolojisinin gelmesi ile önemi daha da artan dahili alan sinyal ışıma karakteristiklerini iyi analiz etmeleri ve sistemlerini abone memnuniyetini de sağlayacak şekilde projelendirmeleri gerekmektedir.

Dahili alanlardan önce bina dışı kapsama analizlerinde Serbest Uzay Işıma Modeli kullanılmaktadır. Serbest Uzay Işıma modelinde alıcı ile verici arasında engellerin olmadığı durumlarda yani DOGA olan durumlarda alınan sinyal seviyesini kestirmede ve kablosuz sisteme ilişkin serbest uzay kaybını hesaplamada kullanılır. Friis Eşitliği olarak da bilinir. Verici antenden d mesafesi kadar uzaktaki serbest uzay yol kaybı ;

$$P_L(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (3)$$

Burada sırası ile ;

P_t verici sistem transfer edilen güç (W),

P_r alıcı tarafında okunan güç (W)

P_L ışımadan bağımsız sistem kaybını,

G_t verici sistem anten kazancı (dBi),

G_r alıcı sistem anten kazancı (dBi),

λ dalga boyu (m) olarak ifade etmektedir. (Rappaport vd, 2002)

Ancak bu model dahili alanlar için yeterli değildir. Çünkü yayın yapan sinyalin **DOLaylı Görüş Alanı**-“ DOLGA” içinde oluşturduğu elektromanyetik alan ışıması da hesaba katılmalıdır.

Bir diğer model ise OKUMURA Modelidir.(Okumura vd, 1968) Okumura Modeli 150 ile 1920 MHz frekans aralığında yapılan ölçümler sonucuna göre 1-100 km hücre çapı referans alınarak geliştirilmiştir. Formülasyonu aşağıdadır:

$$L_{50}(dB) = L_f + A_{mn}(f, d) - G(h_t) - G(h_r) - G_{area} \quad (4)$$

Burada:

$L_{50}(dB)$	50.yüzdelik yol kaybı ışıma değeri (dB),
L_f	serbest uzay yol kaybı (dB),
A_{mn}	serbest uzay zayıflatması (dB),
$G_{(ht)}$	verici sistem efektif anten açıklığı kazanç faktörü,
$G_{(hr)}$	alıcı sistem efektif anten açıklığı kazanç faktörü,
G_{area}	çevreye bağlı kazanç (dBi) ile ifade edilir.

Melbourne Teknoloji Enstitüsünden W.K.Tam ve V.N.Tran dahili alanlar için kullanılan ışıma modellerini iki önemli kategoride sınıflandırmıştır: (Tam vd 1995) Deneysel(İstatiksel) Modeller ve Kaynağa özel olarak değişen Elektromanyetik Dalga Teorisine dayanan modeller.

2.5.1 Deneysel (Ölçümsel) Modeller

İlk istatistiksel model çalışmaları Turin tarafından yapılmıştır. (Turin vd 1956) Turin'in ölçümsel radyo sinyallerini modellemeleri diğer araştırmacılara bu alanda ışık tutmuştur.

Saleh ve Valenzuela (1987) orta büyüklükteki iki katlı ofis binaları için dahili alan ölçümleri yapmış ve bunları diğer araştırmacıların bu konudaki çalışmaları ile birleştirerek deneysel model geliştirmişlerdir. Bu model çokyollu yansıyan dalgaların parçalar halinde geldiğini varsaymıştır. Alıcı tarafındaki sinyal seviyesi Rayleigh yansımasından bağımsız olarak zamana göre değişerek logaritmik biçimde azalır. Her parçadaki çokyollu yansıma bileşenleri alıcıya ulaşma zamanları logaritmik olarak dağılım göstermektedir. Kapalı bina içinde alıcı ve vericinin olmadığını varsayımından hareketle her parçadaki çokyollu bileşenleri nesnelerden gelen yansımalarından oluşturulur. Bu modelin parça parametrelerinin değiştirilmesi sonucu diğer ofis binaları için de kullanılabilirliği bulunmaktadır. Saleh ve Valenzuela (1987) modeli simülasyon için basit olmasından dolayı küçük ofis binalarında kullanışlı olmasına karşın büyük fabrika binalarında veri toplaması zor olduğu için uygun değildir. Yakın zamanda, dahili alan radyo ışıma modellemesinde etki-tepki yaklaşımı Keenan ve Motley (1990) tarafından bazı bina parametreleri kullanılarak formüle edilmiştir.

İstatistiksel modellerden en kullanışlılarından birisi de ölçüm sonuçlarına dayanan **COST 231** modelidir. **COST231** modelinde girişim noktası, duvar yapısından bağımsız olarak istasyonu **DOğrudan Görüş Alanı** içinde olan **DOGA** noktadır. Baz istasyonundan yayılan radyo dalgaları bina cephesine bu noktadan giriş yapıp, binanın içindeki cep telefonuna (MS) ışıma yaparlar. Bina dışından bina içine **COST 231** modeli kullanılarak ışıma kaybını NTT DoCoMo'dan Miura vd (2002) aşağıdaki formül ile hesaplanacağını bildirmişlerdir:

$$L_p = L_f(S + d) + W_e + W_g(1 - \cos\theta)^2 + \alpha(d - 2)(1 - \cos\theta)^2 \quad (5)$$

Burada,

bu yaklaşım tarzı çok karışık matematik işleri içermekle birlikte güncel bilgisayarların hesaplama gücünü de zorlayacak sayıda işlem içerir. Bu nedenle bu hesaplama tarzı dahili alan elektromanyetik dalga ışıma analizi için uygun değildir.

Sonuçta günümüzde yaklaşımsal sayısal metotların kullanılması tercih edilmektedir. Bu metotlardan en yaygın olarak kullanılanı: Işın İzleme Modeli'dir.

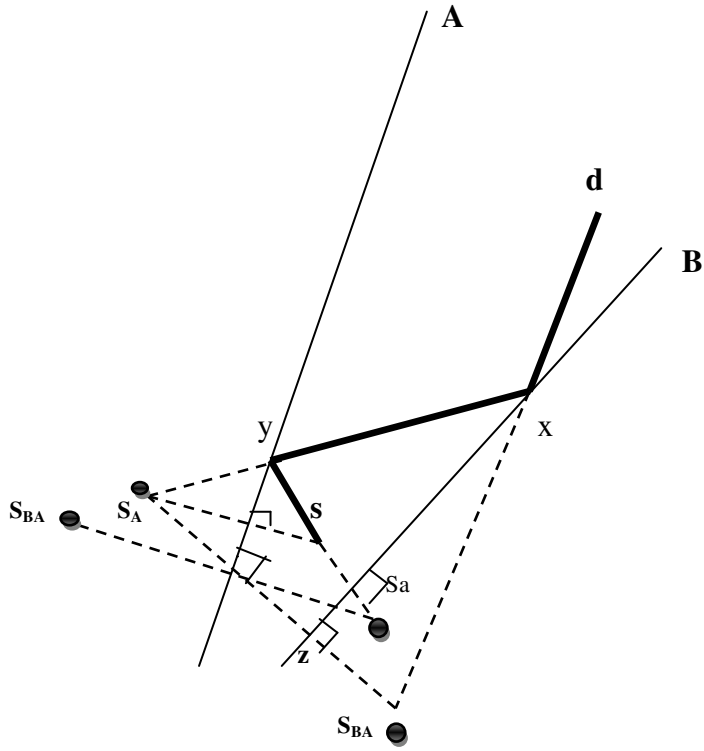
2.5.2.a. Işın İzleme Modeli

Işın İzleme modeli her ortamda uyum sağlayan, dahili alan radyo kapsamasını hızlı ve daha kesin bir şekilde hesaplama olanağı sunan kaynağa özel ışıma modelidir.

Işın İzleme temelinde yüksek frekansta yayılım yapan elektromanyetik alanların seyyesinin tahmin etmek için kullanılan Geometrik optik (GO) yöntemi yer alır. GO yönteminde elektromanyetik enerjinin çok küçük ışın tüpleri halinde ışıma yaptığı kabul edilir. Bu ışınlar ışıma yönü boyunca düz bir çizgi halinde hareket ederler. Bunların geometrik nesneler ile ilgili ilişkilerini incelemek için yansıma ve kırılma özellikleri kullanılır. Işın İzleme metodu özellikle verici ve alıcı arasında çok fazla dalga boyu kadar uzaklık varsa daha kesin sonuç verir. Buradan Işın İzleme metodunun yüksek frekanslarda ışıma modellemesi için çok uygun olduğu sonucu çıkmaktadır.

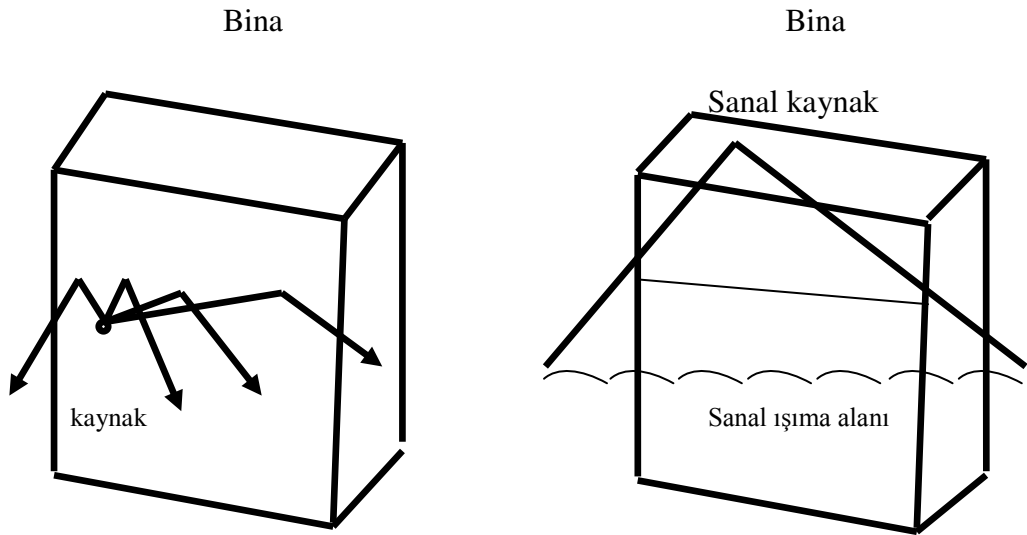
Genelde iki çeşit Işın izleme yöntemi kullanılır: Sanal Yöntem ve Kaba kuvvet ışın izleme yöntemi

Sanal yöntemde Şekil 2.5' de görüldüğü gibi her iki yansıma alanı arkasında ayna varmış gibi sanal kaynaklar oluşturulması prensibine dayanır.



Şekil 2.5. Sanal Yöntem

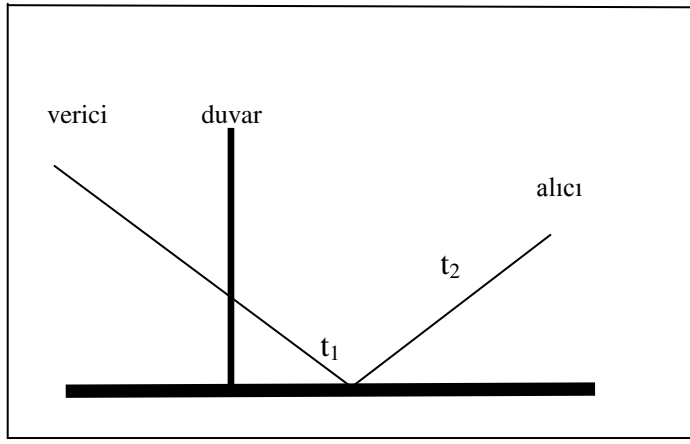
Sanal Yöntem basit geometrik şekillerin olduğu ortamlar ve az sayıda yansıma olan durumlarda kullanışlıdır. Aşağıdaki Şekil 2.6 da bir binada oluşan sanal kaynak ve onun ışıma alanı görülmektedir.



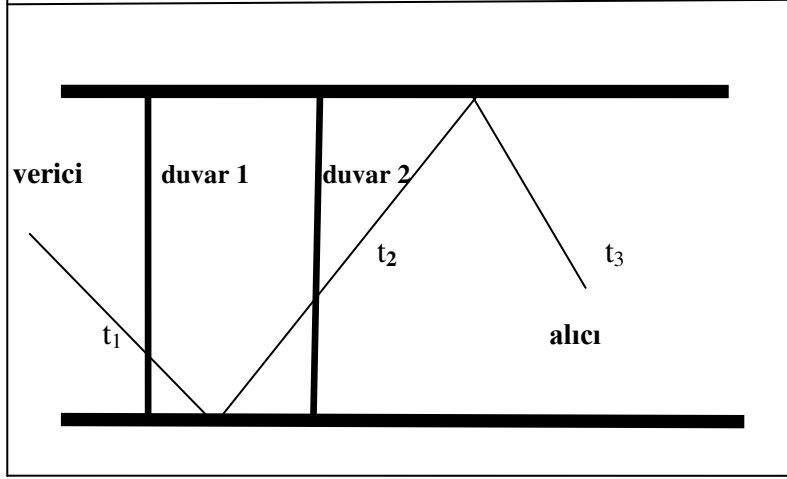
Şekil 2.6 Binada oluşan sanal kaynak ve etki alanı

Kaba kuvvet ışın izleme yöntemi verici ışın yığınlarını ele alır. Bunlardan bazıları alıcıya ulaşırlar bazıları ulaşmazlar. Işın demetindeki ışınların sayısı ile verici ve alıcı arasındaki mesafe bu modelin hassasiyetini belirler. Bu method sanal metoda göre daha fazla hesaplama gerektirir. Vericiden sınırlı sayıda ışına yönü seçilir. Eğer bir ışın bir nesneye çarpar ise yansıma ve kırılma mekanizması oluşur. Işının nesnelerin uç kısmına çarpması sonucunda saçılma mekanizmasından söz edilir.

İlk önce model DOGA olup olmadığına karar verir. DOGA olması durumunda alıcı sinyali hesaplamasını yapar. Daha sonra ışının belli bir yönde gidişini inceleyerek bir nesneye çarpıp çarpmadığına karar verir. Eğer çarpma varsa işlem durur ve kaynaktan ilk ışına yönü ile belli bir açı yapan (θ) ikinci bir ışın gönderilir. Bunda da çarpma olursa bu durumda burada daha önce yeri girilmiş olan bir alıcı olup olmadığı incelenir. Alıcı olması durumunda alıcı sinyali hesaplanır. Alıcı yoksa gelen ışın, yansıyan ve transfer edilen ışın olarak ikiye ayrılır ve daha önceki işlemler bunlar için ayrı ayrı yapılır. Bu durum aşağıdaki Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 de gösterilmiştir.

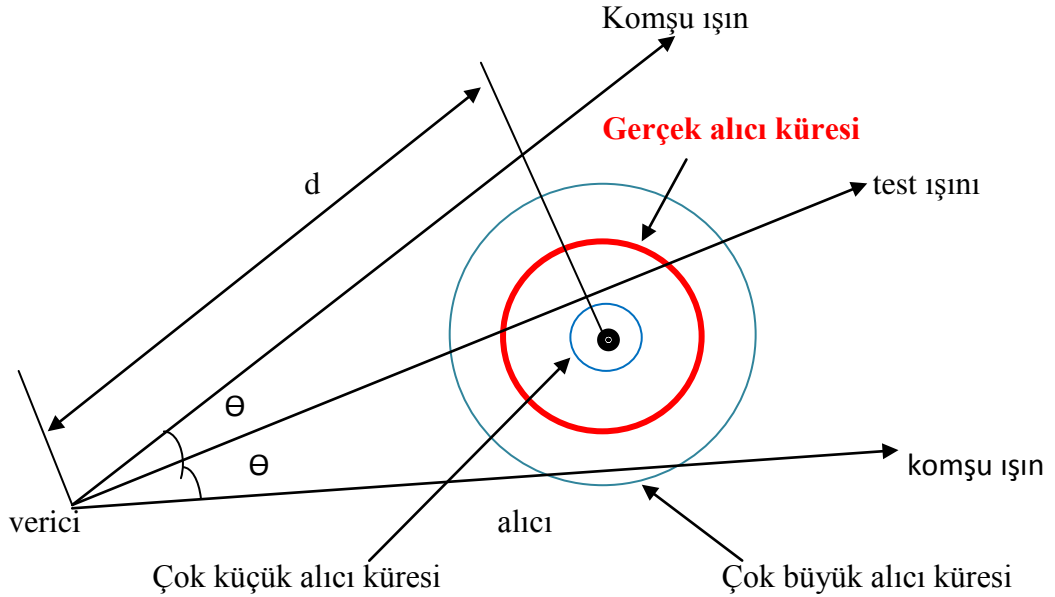


Şekil 2.7. Birinci derece yansıyan sinyal



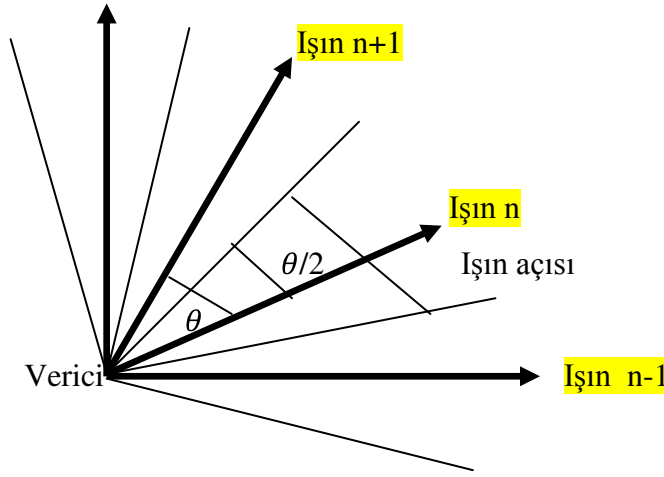
Şekil 2.8. İkinci derece yansıyan sinyal

Her yansımada alıcı için yeterli koşulların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Bunu yapmak için alıcının bulunduğu noktada **alıcı küresi** oluşturulur. Alıcı küresinin yarıçap seçiminde verici tarafında iki komşu ışın arasında oluşan θ açısının ve alıcı ile verici arasındaki d mesafesinin iyi ayarlanması gerekmektedir. İki boyutlu alıcı küresi Şekil 2.9’da sunulmuştur.



Şekil 2.9. İki boyutlu alıcı küresi

Alıcı küresi yarıçapı R nin çok büyük seçilmesi durumunda alıcı hesaplanacak alana bir den fazla ışın girmektedir. Aksi durumunda çok küçük olması durumunda ise hiçbir ışın girmemektedir. Uygun yarıçapı sağlamak için Şekil 2.10 da gösterildiği gibi yarıçapı $r = \theta d/2$ seçilme durumunda yalnızca bir adet ışın alıcı küresi içine girecektir.



Şekil 2.10. Kaynaktan çıkan ışınların iki boyutlu düzlemde ışınların θ açısı ile dağılımı

Sonuç olarak Işın İzleme yönteminin hassasiyeti ışıma yapan ortamın karakteristiklerin iyi analiz edilmesine ve kullanılan grafik işlemcilerin gücüne bağlı olarak değişmektedir.

2.6. Dahiliden Hariciye Saçınım Modellemesi

Önceki bölümlerde dahili alan kavramı, dahili alanlarda ışın demetinin davranışları ve literatürde kullanılan ışıma modelleri incelenmiştir. Bu bölümde uygun hariciden dahiliye ölçümsel saçınım modelinden dahiliden hariciye saçınım modeli geliştirilecektir.

Radyo dalgaları dahili ortamdaki mikrocellden ilk önce bina içinde daha sonra binanın dış duvarından ve son olarakta bina dışındaki alıcı antene doğru saçınım yaparlar. DOLGA olması durumunda zayıflama kaybı formülü, COST 231 modeli referans alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır: (Okamoto vd , 2009)

$$\Delta\text{Loss} = \text{Loss}(\text{in}) - \text{Loss}(\text{out}) \quad (6)$$

$$\Delta\text{Loss} = W_e + W_{ge} + \max(\Gamma_1, \Gamma_3) - G_{FH} \quad (7)$$

$$\Gamma_1 \equiv W_i \times \rho \quad (7a)$$

$$\Gamma_3 \equiv \alpha \times d \quad (7b)$$

$$G_{FH} = n \times G_n \text{ veya } h \times G_h \quad (7c)$$

Burada,

Loss(in) dahiliden bina içine ışıma sırasındaki bina içindeki zayıflama kaybını (dB)

Loss(out) binanın dış duvarına kadar olan zayıflama kaybını (dB)

W_e bina dış duvarına dik gelen ışının zayıflaması (dB)

W_{ge} COST 231'den gelen açığa bağlı olan bina duvarı zayıflaması (dB)

W_i bina içi duvar sayısından kaynaklanan zayıflama (dB)

ρ sinyalin geçtiği duvar sayısı

α nüfüz etme katsayıdır (0.6 dB/m olarak alınmıştır)

d saçınım mesafesi (m)

G_n kat zayıflama katsayısı (kat yüksekliği 4-5 m olan binalar için 4-7 dB/kat olarak kabul edilmiştir)

G_h kat yüksekliği zayıflama katsayısı (kat yüksekliği 4-5m olan binalar için 1.1-1.6 dB/m arasında alınmıştır)

n kat sayısını (Zemin kat için $n = 0$ alınır.)

h yer seviyesinden yüksekliğini (m) gösterir. (Okamoto vd , 2009)

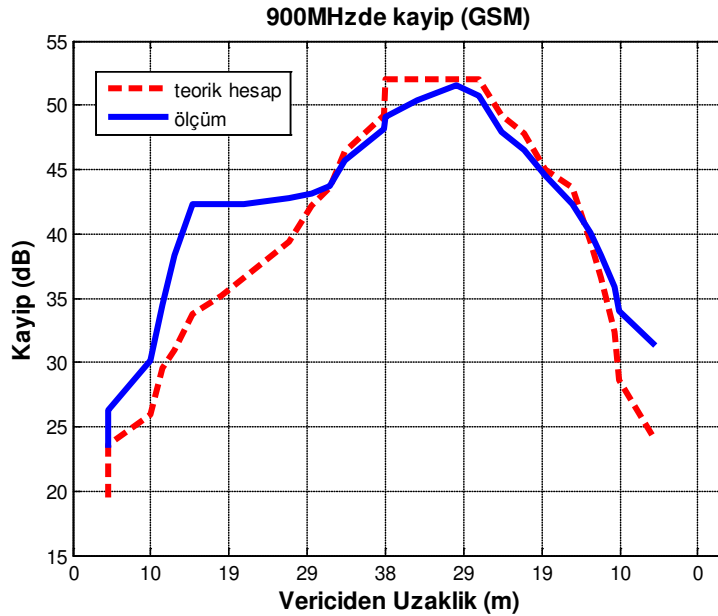
Bu tez çalışmasında dahiliden hariciye olan ışıma modelini geliştirmek için eşitlik (6) daki zayıflama kaybı :

$$\Delta\text{Loss} = \text{Loss}(\text{in}) - \text{Loss}(\text{out}) \quad (8)$$

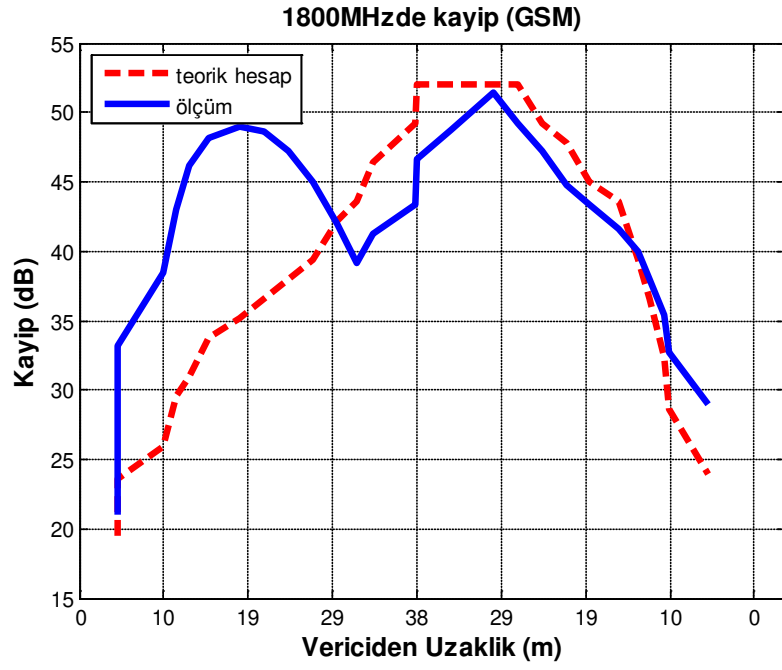
olarak hesaplanmıştır. Buradan aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$\Delta\text{Loss} = W_e + W_{ge} + \max(\Gamma_1, \Gamma_3) - G_{FH} \quad (9)$$

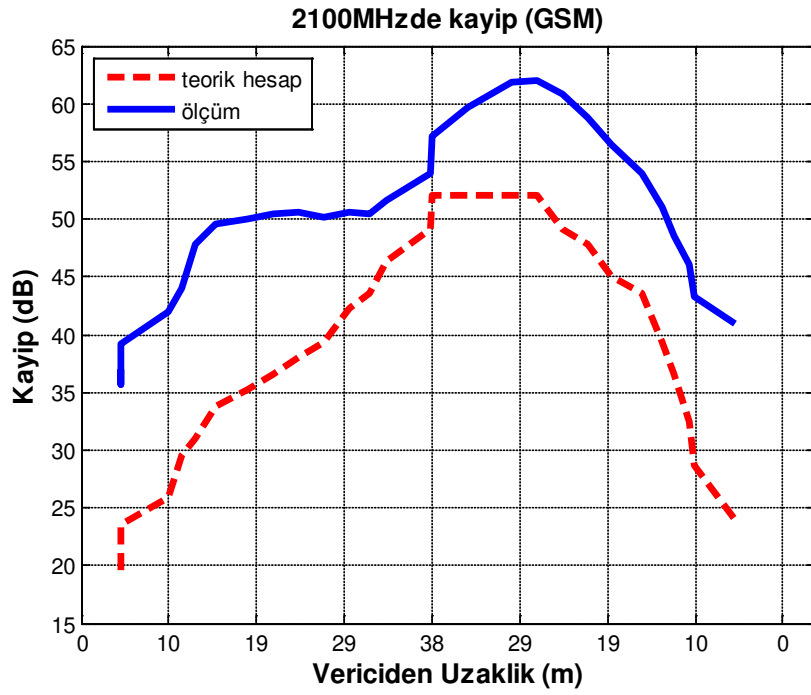
Bu tez çalışmasında ölçümler, Okomota vd (2009)'nin çalışmasından farklı olarak radyo dalgalarının dahili ortamdan hariciye olan ışıma davranışları, GSM 900MHZ ve 1800MHZ frekansları için 200 KHz band genişliğinde (BW), UMTS 2100MHZ için 3,84 MHz band genişliğinde (BW) yapılmıştır. Kullanılan farklı modülasyonların ışıma modeline etkisini hesaplamak için ölçüm sonuçları ile eşitlik (9) daki hesaplanan teorik değerler aşağıdaki Şekil 2.11, Şekil2.12 ve Şekil 2.13' de karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.11. 900 MHz'de mesafeye bağlı kayıp grafiği



Şekil 2.12. 1800 MHz’de mesafeye bağlı kayıp grafiği



Şekil 2.13. CDMA 2100 MHz’de mesafeye bağlı kayıp grafiği

Daha sonra band genişliğinin etkisini geliştirilecek modele dahil etmek için Matlab programındaki “Eğri Uydurma” özelliğinden yararlanılmıştır. “Eğri Uydurma” uygulaması ilgili verilerin programa aktarılması ile birlikte belirlenen değişkene göre üssel formda , Fourier serileri formunda, Gaussian formda, Polinomal formda, Güç serileri formunda, Rasyonel formda, Sinüs toplamları formunda, Weibull dağıtımı formunda gibi fonksiyonlar üretebilmektedir. “Eğri Uydurma” uygulaması verilere uygun bir veya daha fazla model üretebilmek için katsayıları kullanır. Veriler istatistiksel değerlerdir ve iki bileşene ayrılır: Deterministik bileşen ve Rastlantısal bileşen.

$$\text{veri} = \text{deterministik bileşen} + \text{rastlantısal bileşen} \quad (10)$$

Deterministik bileşen verilere ait modellemeyi verirken rastlantısal bileşen genellikle veri ile ilgili hata olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{veri} = \text{model} + \text{hata} \quad (11)$$

Modelleme bağımsız bir değişken için bir veya daha fazla katsayı içeren bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. Hata belirli bir olasılık dağılımı için (genellikle Gauss) rastgele varyasyonlar gösterebilir. Varyasyonlar çok farklı kaynaklardan gelen, ancak elde edilen değerler ile bağlantılı olarak türetilen bir yapı gösterir. Sistemik varyasyonlar da bulunabilir, ancak bu tip varyasyonlar verilerle tam uyumlu bir modelleme çok zor sağlanmaktadır. Modellemeyi oluşturan katsayılar fiziksel önem taşımaktadır . (Matlab R2009B Eğri Uydurma uygulamaları 2009)

Sonuç olarak band genişliği etkisi olarak eşitlik (9)’a “Eğri Uydurma” uygulamasından bulunan

$$5 + \text{Log}_{10}(f) \times \ln(BW) \quad (12)$$

ilave edilmesi sonucu;

$$\Delta\text{Loss} = W_e + W_{ge} + \max(\Gamma_1, \Gamma_3) - G_{FH} + 5 + \log_{10}(f) \times \ln(BW) \quad (13)$$

elde edilmiştir.

Burada f frekans ve (BW) Band genişliği birimi MHz'dir.

Hesaplamalarda kullanılan binanın yapısal karakteristiklerine göre W_e , α , W_i , BW ve G_{FH} aldığı değerler Çizelge 2.1 de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Matematiksel hesaplamalarda kullanılan değerler (Okamoto vd, 2009)

W_e (dB)	BW (MHz)			α (dB/m)	W_i (dB)	G_{FH} (dB)
	GSM900	GSM1800	CDMA2100			
7	0.2	0.2	3.84	0.6	7	5

Eşitlik (13) te verilen değerler yerine konularak her alıcı noktası için yol kaybı hesabı yapılmıştır. Burada " ρ "(sinyalin geçtiği duvar sayısı) katsayısı Şekil 3.8 ' de verilen üst kat bina planları yardımı ile hesaplanmıştır. " ρ "(sinyalin geçtiği duvar sayısı) hesaplanırken vericiden ışıma yapan sinyalin pencere, kapı, kodidor camı gibi bina açıklıklarından COST 231 modeline göre daha fazla geçmesi prensibi referans alınmıştır. Her bir ölçüm noktası için hesaplanan bu " ρ " (sinyalin geçtiği duvar sayısı) değerleri EK-1 deki tabloda ayrı bir sütun halinde gösterilmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada GSM 900, GSM 1800 ve CDMA(2100) MHz frekanslarında radyo dalgalarının dahiliden bina dışına ışıma davranışları kurulan deney düzeneğinde ölçümlenmiştir. Bu çalışma için Şekil 3.1. deki 2 katlı EMUMAM (Endüstriyel ve Medikal Uyg. Mikrodalga Uyg. ve Araş. Merkez) binası pilot dahili alan olarak seçilmiştir.

Bina özellikleri: EMUMAM Binası iki katlıdır. Her katın planı ve yapı malzemesi birbirinden farklıdır. Binanın dış duvarları kuvvetlendirilmiş betondan yapılmıştır. Bina 48 adet 40cm X 40cm çelik kolonlar içermektedir ama tavanlar alçıdan iç duvarlar kırmızı delikli tuğladan yapılmıştır. Her ofis odasında ortalama bir pencere (çift camlı) pencere vardır. Ortalama pencere boyutları: genişlik 2.3 m yükseklik 2 m olarak alınmıştır. Ofis odalarında hocaların ortalama 2 x 3 m boyutlarında için dolu kitaplıkları ve masaları bulunmaktadır.



Şekil 3.1. EMUMAM Binası

3.1. Ölçüm Düzeneği:

Ölçüm düzeneğinde aşağıdaki cihaz ve ekipmanlar kullanılmıştır.

- Verici test cihazı (Test Vericisi)
- “Nemo” yazılımı bulunan alıcı telefon (N95)
- Dahili alan anteni (indoor anten)
- Tripod ve yardımcı montaj ekipmanları

3.1.1. Sinyal verici (Test Vericisi) cihazı özellikleri

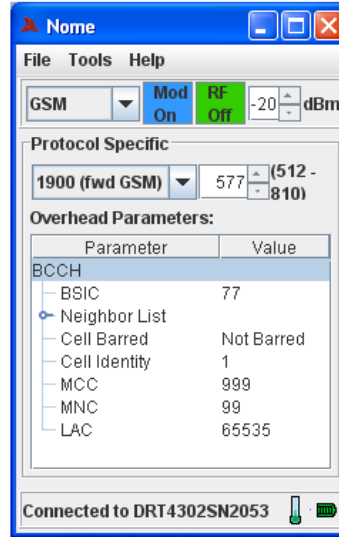
Dahili alan ölçümlerinde sinyal verici kaynak olarak ANDREW marka çalışma aralığı 800-2100 MHZ band aralığında çalışan ve GSM-CDMA modülasyonlarında sinyal üretebilen test sinyal vericisi kullanılmıştır. Besleme gerilimi olarak 12 V DC ile çalışmaktadır.

Bu cihazın en önemli avantajı küçük boyutlarına karşın (4.65 cm yükseklik x 9.40 cm Enx 25.76 cm Boy) geniş frekans aralığında yayın yapabilmesidir. Bilgisayara yüklenen “NOME” adı verilen özel bir yazılım ile cihaz istenilen frekans, modülasyon ve güç çıktılarına sahip sinyal üretmektedir. Üretilen sinyalin çıkış gücü -20 dbm ile 21 dbm arasındadır. Kablosuz veya kablolu bağlantı ile sinyal üretecine bağlanılabilmektedir. Kablolu bağlantı sinyal üretici üzerinde bulunan RJ-45, 10/100 ethernet portu ile yapılabilmekte, kablosuz bağlantı ise 802.11 B/G uzaktan erişim protokolüne göre gerçekleşmektedir. Sinyal üretici değiştirilebilen statik bir IP adresine sahiptir. Sinyal üretecine bağlanabilmek için bu IP adresinin bilinmesi gereklidir. İstenildiğinde bu IP adresi yine bilgisayara yüklenebilen YUKON adı verilen bir yazılım ile değiştirilebilir. Şekil 3.2.’de test sinyal verici cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Test sinyal üretici cihazı yönlü ve yönsüz dahili antenler

Nome yazılımı kullanarak bilgisayardan cihaza bağlanıp istenilen GSM veya CDMA frekanslarında ve istenilen sinyal güç aralığında (-21 ile + 21dBm arası) yayın yapmak mümkündür. Aşağıdaki resimde sinyal üretici cihazın Nome ekranından bağlantı yapılmış hali gösterilmiştir.

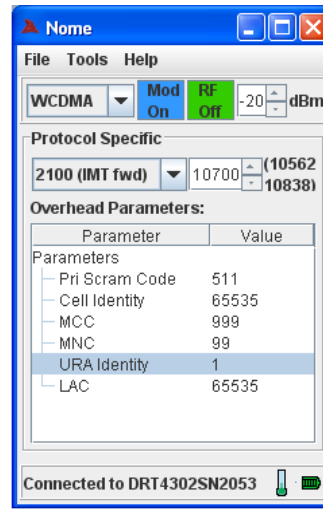


Şekil 3.3. Nome ekranında GSM banttest sinyal üreticinin kontrol çıktısı

GSM bandında yayın yapan kanallar:

- 1800 Band – Kanallar 512 - 855
- 1900 Band – Kanallar 512 - 810
- 2100 Band – Kanallar 10551 - 10849
- 850 Band – Kanallar 128 - 251
- 900 Band – Kanallar 0 - 124 ve 975 - 1023

Nome yazılımı ile sinyal üretici tarafından üretilen CDMA kanalları aşağıdadır. Bu kanallara denk gelen frekanslar ekte gösterilmiştir. CDMA için frekans parametresi ile birlikte birincil karışım kodu (0-511) parametresi girilmeside gereklidir. (Bkz. Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Nome CDMA Test Ekranı

CDMA bandında yayın yapan kanallar:

- 2100 Band – Kanallar 10562 - 10838

3.1.2. Sinyal alıcı (Nemo) test telefonu özellikleri

Sinyal alıcı olarak içinde “NEMO” adı verilen yazılım bulunan ve bu sayede cep telefonundan istenilen modülasyon ve frekansa kilitlenmeyi sağlayan Nokia N95 marka cep telefonu kullanılmıştır. Cihaz işletim sistemi Symbian OS 9.2, S60 rel. 3.0 kullanılmaktadır. Ölçümler için kullanılan NEMO yüklü telefonda yol kaybı için ölçüm doğruluğu ± 1 dB’dir. Alınan sinyal ölçüm aralığı 0 dBm den 110 dBm’e

kadardır. Burada 110 dBm gürültü katıdır. 480 ms çoklu bölmede bir kontrol kanalı içerisinde ölçülen ortalama sinyal gücüdür. Toplamda, yaklaşık olarak, bir çoklu bölme içerisine 100 örnek alır. Ayrıca bu yazılım GPS bağlantısı yaparak ölçümlendiği verileri koordinat bazlı olarak hafızasına alabilmektedir. (NEMO 2010).

Telefonunu anten kazancı ortalama 0 dB olarak alınmıştır. İnsan vücudundan kaynaklanan kayıplar 3dB olarak belirlenmiştir. Ölçümlerdeki insan ve çevre etkisinden kaynaklanan hata payını azaltmak için Test telefonu 1,5 m yükseklikteki tahtadan yapılmış çıtaya sabitlenmiş ve ölçümler hep bu yükseklikten ve telefon yere dik konumda iken alınmıştır. Alıcı test telefonu resmi aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.5. Alıcı test telefonu

3.1.3. Verici antenin özellikleri

Test sinyal üretici cihazda dahili alan verici anteni olarak Andrew firmasına ait CELLMAX-O-25 adlı yönsüz dipol anten kullanılmıştır. (Bkz. Şekil 3.6)



Şekil 3.6. Verici ahili alan yönsüz dipole anteni

Anten ile ilgili teknik özellikler aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. ANDREW CELLMAX-O-25 Yönsüz Dipol Anten Özellikleri

MODEL	CELLMAX-O-25	EMPEDANS(OHM)	50
FREKANS ARALIĞI	806-960 ve 1710-2100	KONNEKTÖR	N-DİŞİ
DURAN DALGA ORANI	<1.5	MAKSİMUM GİRİŞ GÜCÜ(W)	50
KAZANÇ(DBI)	3	BAĞLANTI KABLOSU UZUNLUĞU(MM)	300
YATAY BAND GENİŞİLİĞİ	360°	AĞIRLIK(KG)	0.6
DİKEY BAND GENİŞİLİĞİ	360°	BOYUTLAR(MM)	210*180*44
POLARİZASYON	DİKEY	SICAKLIK(°C)	-40 --- +60

3.2. Ölçüm Düzeneği ve Yöntemi

Ölçüm düzeneği Şekil 3.7’ de gösterilmiştir. Verici antenlerin ölçüm süresince aynı yükseklikte kalması için test sinyal üretici cihazı anteni tripod ayak yardımı ile 2m yükseklikte monte edilmiştir.



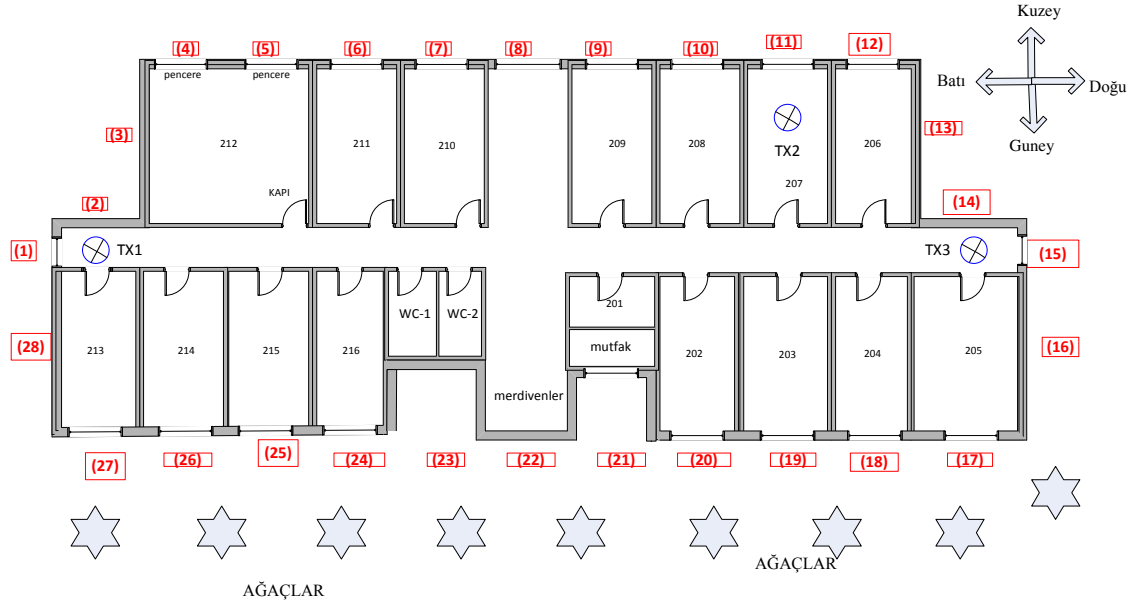
Şekil 3.7. Ölçüm düzeneği

Ölçümler ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ölçümler ile ilgili teknik bilgiler

Frekans aralığı	900-1800-2100 Mhz
Güç	+21dBm
Verici anten yüksekliği	2 m
Alıcı anten(Nemo telefonu) yüksekliği	1.5 m
Kat yüksekliği	4.5 m (zeminden)

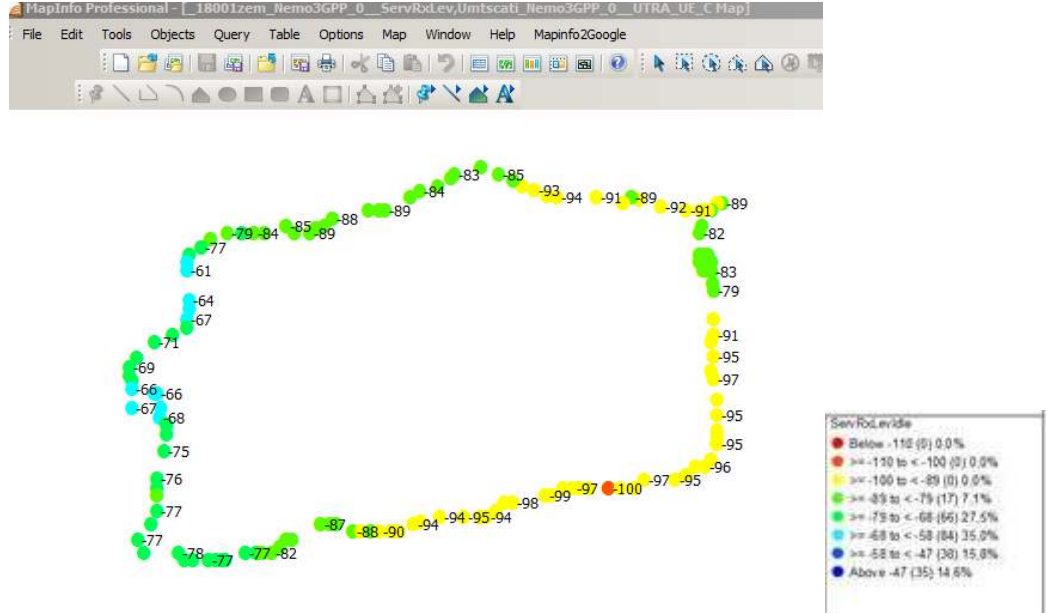
Ölçümler EMUMAM binasının birinci katındaki Şekil.3.8 de gösterilen rastgele seçilmiş olan 3 ayrı noktasında (Tx1, Tx2, Tx3) yapılmıştır. Ölçüm saatleri olarak akşam veya hafta sonu seçilerek insan vücudundan oluşan alıcıdaki zayıflatıcı etkinin bertaraf edilmesine çalışılmıştır.



Şekil 3.8. EMUMAM Binası üst kat verici ve ölçüm noktaları çizimleri

Nemo test telefonunda bulunan dahili GPS yardımı ile binanın dış duvarından ortalama 1 m uzaklaşarak bina çevresi boyunca her verici noktası için GSM900, GSM1800 ve CDMA2100 frekans bandlarında ayrı ayrı alınmıştır.

Toplam 3 verici noktası (Tx1,Tx2,Tx3) için $3 \times 3 = 9$ adet bina çevresi ölçüm verisi kaydedilmiştir. Nemo test telefonundaki bu ölçümler Actix programı kullanılarak MAP INFO Tap file formatına aşağıdaki Şekil 3.9 da gösterildiği gibi örnek harita çıktısına dönüştürülmüştür.



Şekil 3.9. Map Info örnek tap dosyası çıktısı

Daha sonra MapInfo tab dosyaları “kml” formatına çevrilerek aşağıdaki örnek uydu haritası üzerinde açılarak analiz edilmiştir. (Bkz Şekil 3.10) Ölçümlerdeki çevresel etmenlerden oluşabilecek hata payını en az düzeye indirmek için ölçümler birçok kez tekrarlanmıştır.



Şekil 3.10. EMUMAM binası ve çevresi boyunca alınan ölçümler

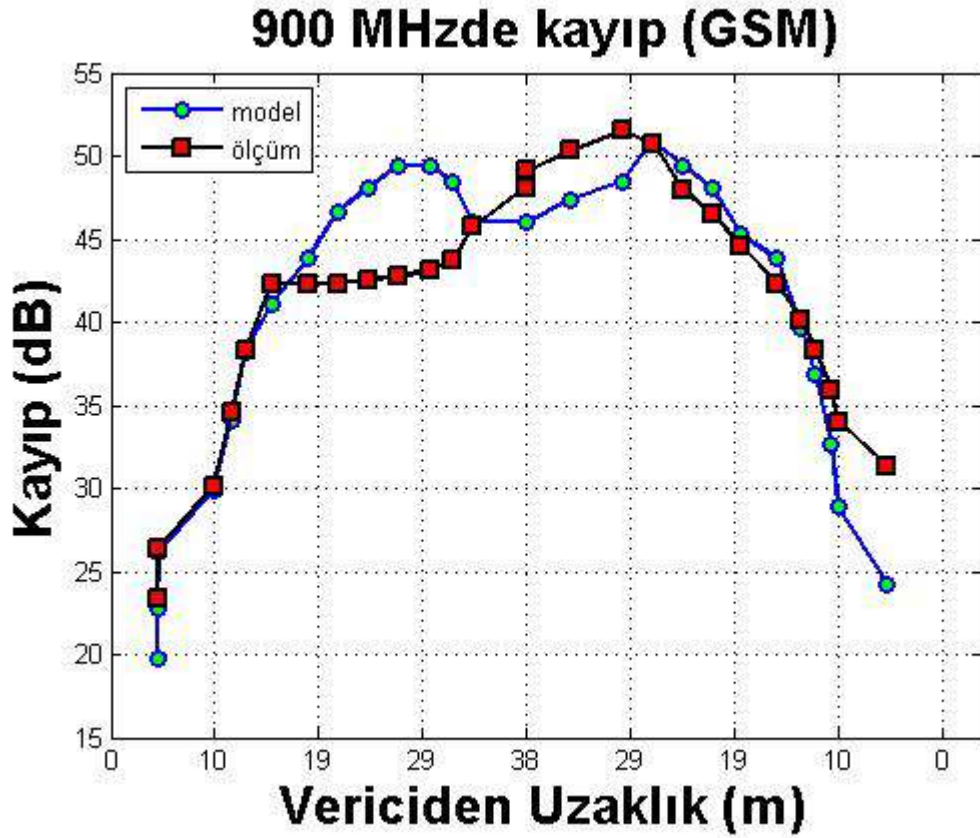
Bina üst kat çiziminin olduğu Şekil 3.8 de gösterilen her verici noktası için (Tx1,Tx2,Tx3) en yakın duvardan saat yönünde şekilde gösterildiği gibi 28 adet alıcı noktası için ortalama sinyal kaybı hesaplanmıştır. Daha sonra test vericisi ve her alıcı noktası arasındaki mesafe (d), Pisagor teoremi kullanılarak Matlab programında hesaplatılmıştır.

Alınan ortalama ölçüm sonuçları EK-1' de sunulmuştur.

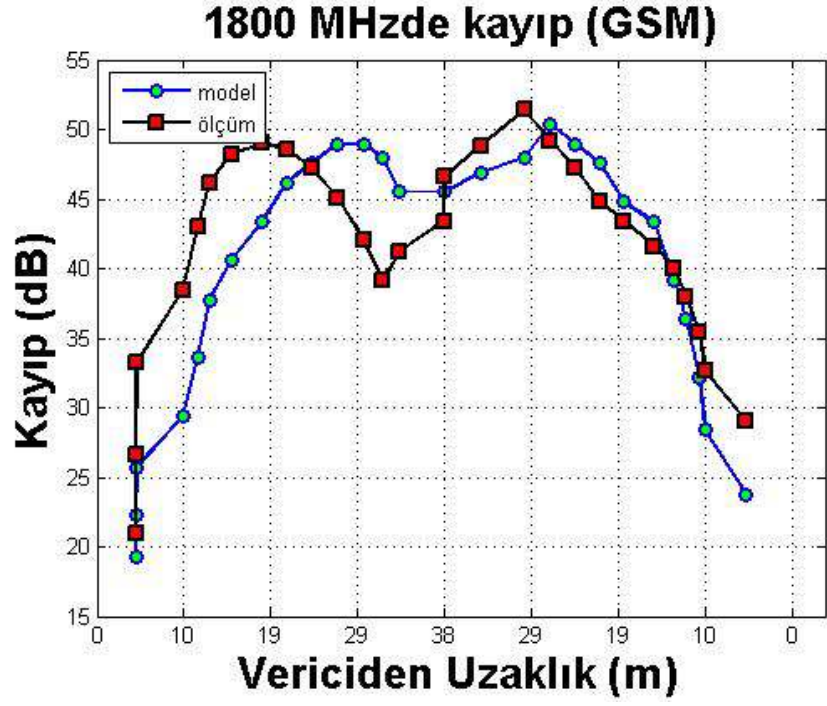
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Ölçüm sonuçlarında beklenildiği gibi alıcıdaki sinyal seviyesi büyükten küçüğe doğru sırası ile GSM900, GSM1800, CDMA2100 MHz frekans aralığında gerçekleşmiştir. Buradan modülasyon tekniğinden bağımsız olarak frekans arttıkça dahili alanlarda oluşan yansıma kırılma ve saçılmalar sonucundaki sinyal zayıflamasının artması sonucu alıcı sinyal seviyesinde azalma görülmüştür. Bu frekans bandlarından yayın yapan operatörlerin bina içi yeterli kapsamayı sağlayabilmeleri dahili alan sistemi projesini en fazla sinyal kayıplarına maruz kalan CDMA 2100 MHz frekans bandına göre dizayn etmeleri gerekmektedir.

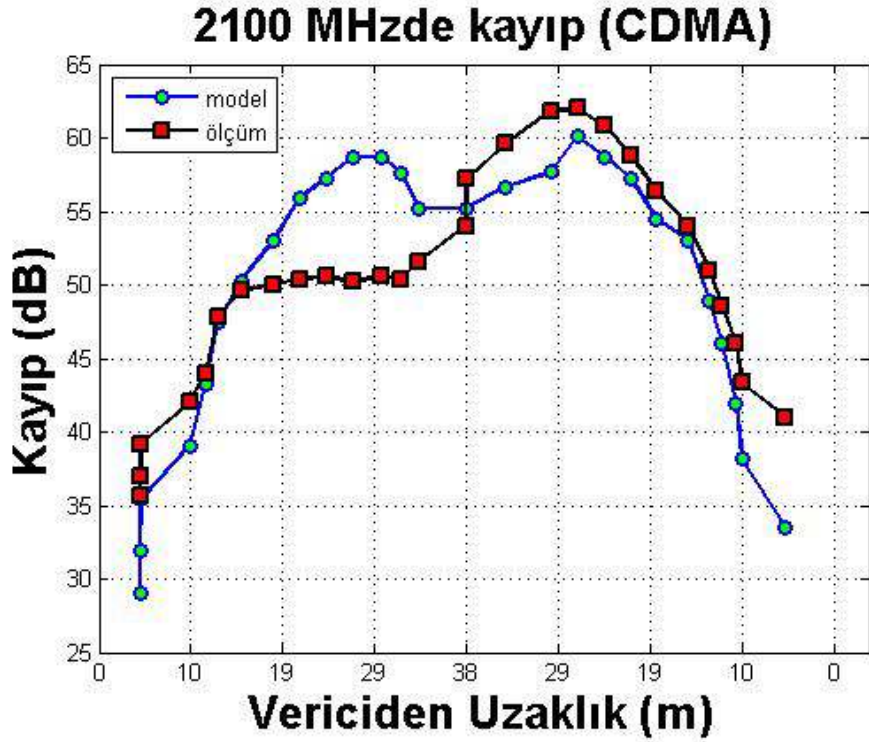
Her verici noktası için (Tx1, Tx2, Tx3) ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılmalı grafikleri aşağıdaki şekillerde sunulmuştur. Hesaplamalar ve grafik çizimleri için Matlab 7.1 paket programı kullanılmıştır. Yazılan Matlab kodları EK-2 de verilmiştir.



Şekil 4.1. 900 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx1 için)

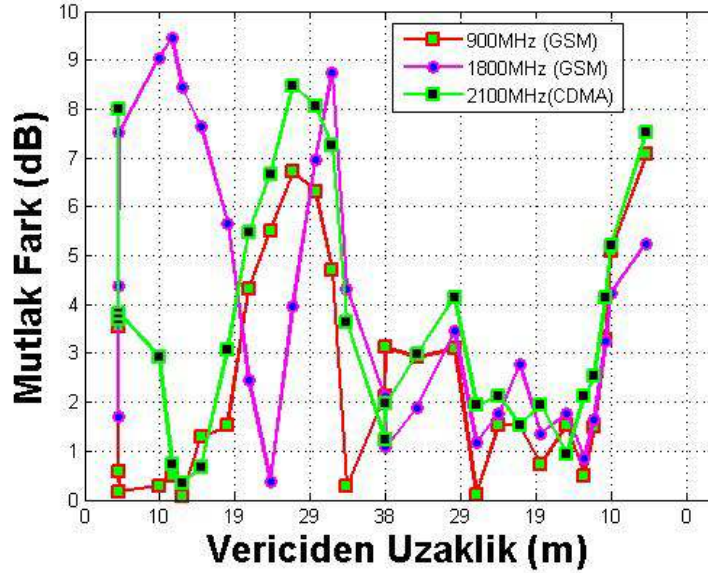


Şekil 4.2. 1800 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx1 için)



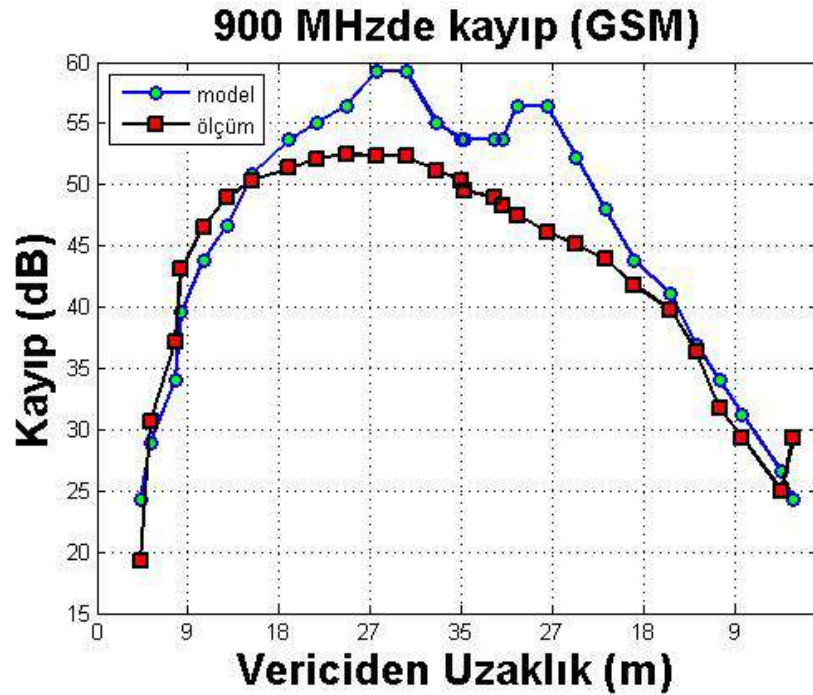
Şekil 4.3. CDMA 2100 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx1 için)

Tx1 verici noktası için alınan ölçümler ve teorik hesaplamaların grafikleri yukarıda gösterilmiştir. Bu nokta için standart sapma grafiği aşağıdadır. GSM 1800 için standart sapmanın biraz fazla olması gidiş yönündeki ağaçların etkisinden kaynaklanmış olabilir. GSM 900 ve CDMA 2100 için model ölçüm sonuçları ile uyum içindedir.

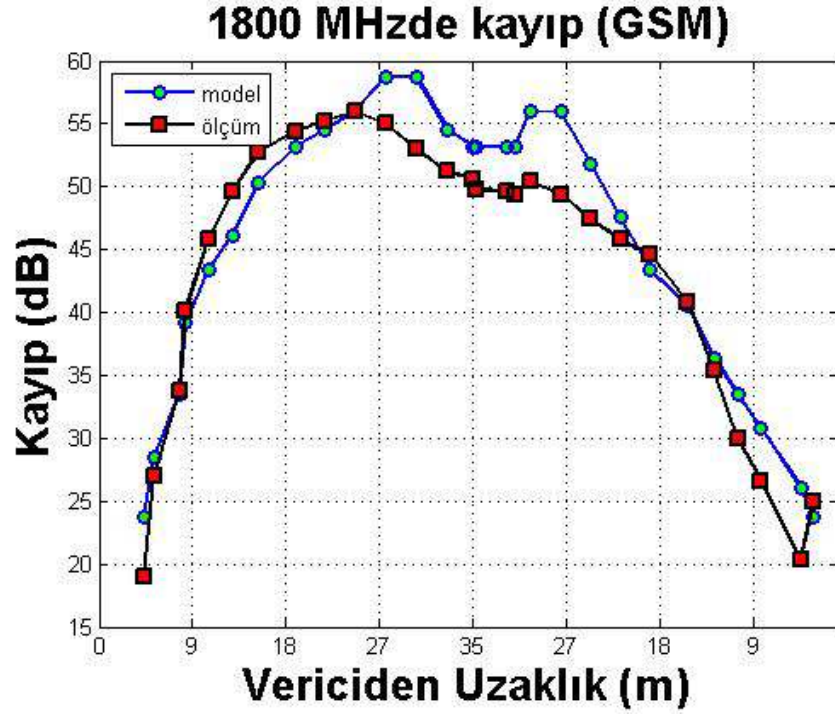


Şekil 4.4. Test Vericisi Tx1 nolu noktada iken standart sapma

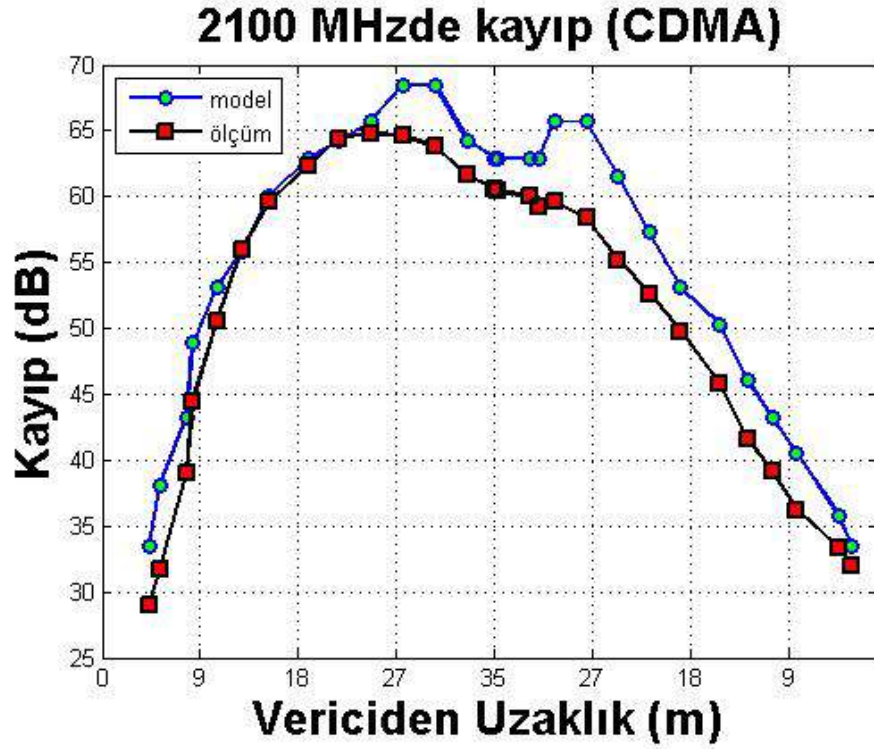
Tx2 verici noktası için alınan ölçümler ve teorik hesaplamaların grafikleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.5. 900 MHz'de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx2 için)

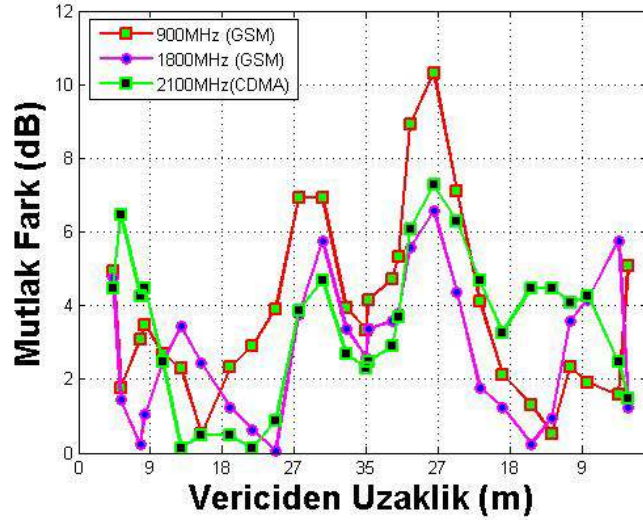


Şekil 4.6. 1800 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx2 için)



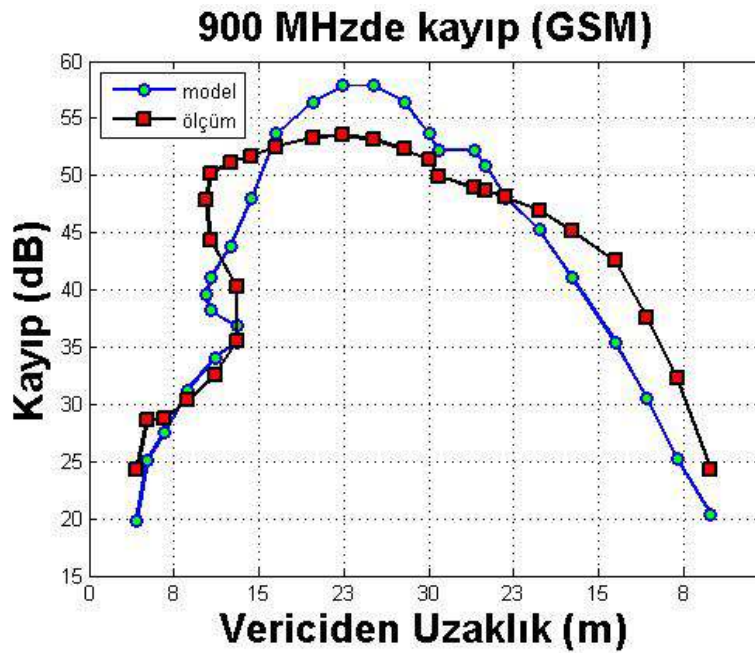
Şekil 4.7. CDMA 2100 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx2 için)

Tx2 noktası için yukarıdaki grafikler incelendiğinde teorik hesaplarda sinyal kaybının (Path Loss) en fazla olması beklenen tepe noktalarında ölçülen değerin beklenilenden daha az olması sinyalin bina açıklıklarından beklenen daha fazla kaçtığını göstermektedir. Tx2 noktası için Mutlak fark grafiği aşağıdadır.

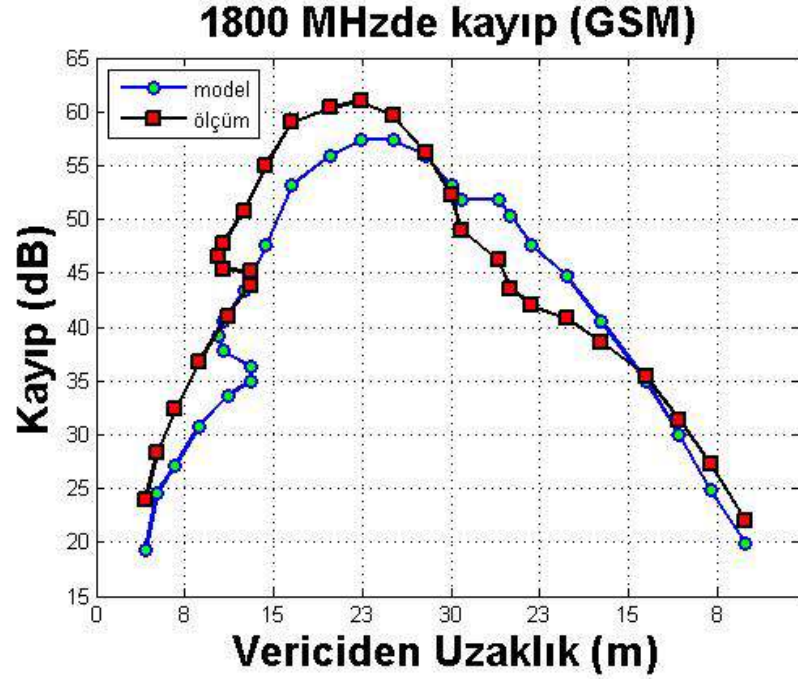


Şekil 4.8. Test Vericisi Tx2 nolu noktada iken standart sapma

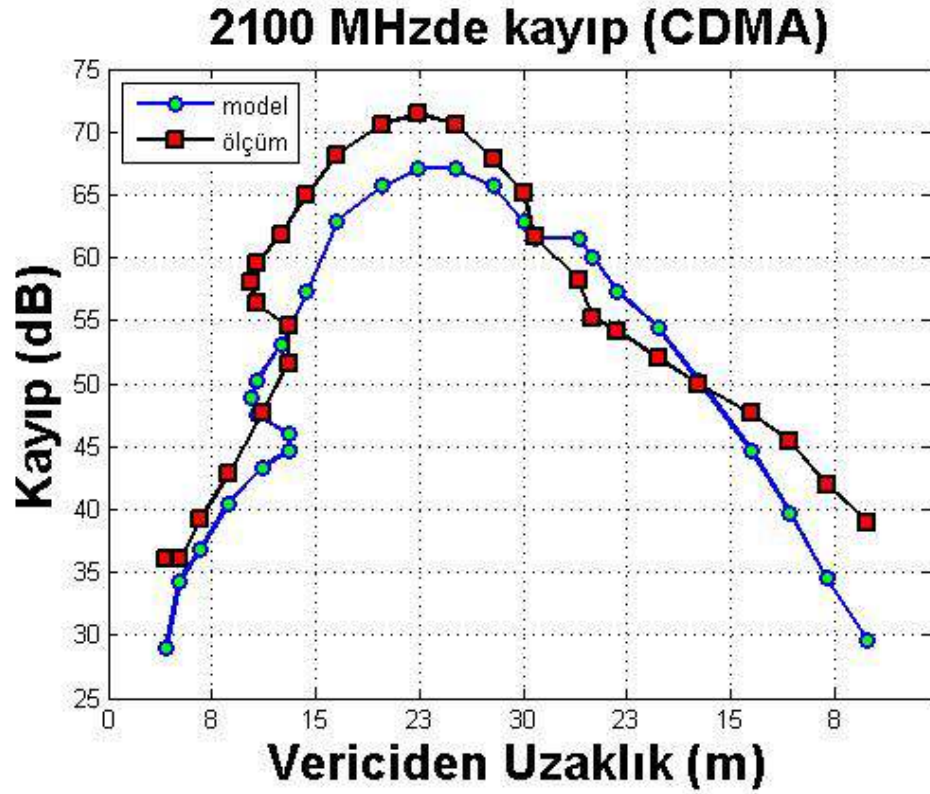
Tx3 verici noktası için alınan ölçümler ve teorik hesaplamaların grafikleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.9. 900 MHz'de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx3 için)

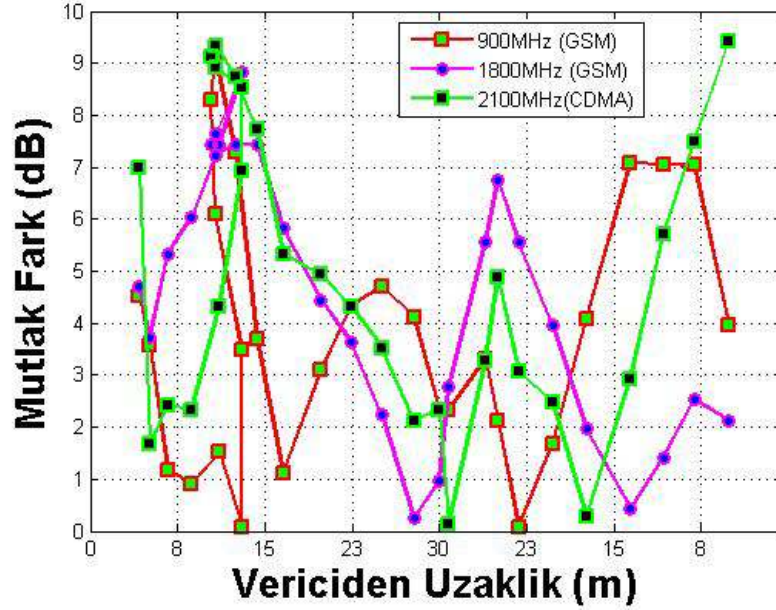


Şekil 4.10. 1800 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx3 için)



Şekil 4.11. CDMA 2100 MHz’de vericiye olan mesafe için kayıp grafiği (Tx3 için)

Tx3 noktası için yukarıdaki grafikler incelendiğinde Tx2 deki gibi benzer durumla karşılaşmıştır. Tx3 için Standart sapma grafiği aşağıdadır.



Şekil 4.12. Test Vericisi Tx3 nolu noktada iken standart sapma

Aşağıdaki Çizelge 4.1. incelendiğinde vericinin farklı noktalardaki (Tx1,Tx2,Tx3) her üç frekans bandı için tasarımı yapılan ışıma modeli ile pratik ölçümler arasındaki ortalama ilişkili hata ve standart sapma değerleri görülmektedir. En yüksek ortalama hata yüzdesi test vericisinin Tx2 konumundaki GSM 900 frekans band aralığında (% 6.0445) olduğu görülmüştür. Standart sapma için ise en yüksek değer (4.0782) vericinin Tx1 konumundaki GSM 1800 frekans aralığında görülmüştür.

Çizelge 4.1. Işıma Modeli ile Pratik Ölçümler arasındaki Ortalama Hata ve Standart Sapma

Verici Konumu	Modulasyon/Frekans Bandı	Ortalama İlişkili Hata(%)	Standart Sapma
Tx1	GSM 900	4.3740	3.1272
Tx2	GSM 900	6.0445	2.9519
Tx3	GSM 900	5.2445	3.5634
Tx1	GSM 1800	5.8848	4.0782
Tx2	GSM 1800	5.1603	3.6006
Tx3	GSM 1800	5.5602	3.2260
Tx1	CDMA 2100	4.6344	3.4769
Tx2	CDMA 2100	4.6901	3.2436
Tx3	CDMA 2100	5.8820	3.1765

5. SONUÇ

Günümüzde yeni nesil teknolojilerin kullanılması sonucu özellikle şehir merkezlerindeki çok katlı binalarda ses ve veri haberleşmesinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Dahili alanlardaki artan ses ve veri ihtiyacı sonucu mikro istasyon sayısı da artmakta ve bunların dış ortama etkisi sonunu sistemdeki toplam EMG (Electromanyetik girişim) buna bağlı olarak artmaktadır. (Helhel, 2011) Buna karşın literatürde mikro istasyonların dahiliden hariciye olan girişimlerini inceleyen çalışma sayısı fazla değildir. Bu kapsamda yaptığımız tez çalışmasında (900-2100) MHz frekans aralığı için geçerli olan dahiliden hariciye ölçümsel ışıma modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model aynı zamanda günümüzde gezgin haberleşme operatörlerinin kullandığı GSM900, GSM1800 için 200 kHz ve 3G (3.nesil) için kullanılan 3, 84 MHz gibi daha geniş band aralığının (BW) ışıma modeline etkisini de içermektedir.

Ölçümsel model pilot bina olarak seçilen EMUMAM binası birinci katındaki 3 farklı noktada test ve ölçüm yapılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde referans olarak Okamoto vd'nin , (2009) hariciden dahiliye ölçümsel modeli kullanılmıştır. (Eşitlik: 6 ve 7) Daha sonra band genişliği (BW) etkisi ölçüm sonuçlarından Matlab programındaki “Eğri Uydurma“ özelliği kullanılarak modele dahil edilmiştir. (Eşitlik: 13) Son olarak her verici noktası için teorik hesaplanan değerler ile ölçümsel değerler karşılaştırılmalı olarak grafiklerde gösterilmiştir. Geliştirilen bu model binaların pencere, kapı ve duvar sayısı gibi yapısal özelliklerinin yanında kullanılan malzemelerin tiplerini de (beton, ağaç, alçı gibi) kapsamaktadır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmanın ileride yeni teknolojilerin (LTE, WİMAX, gibi) yaygınlaşmasıyla farklı frekans aralıklarında ve band genişliklerinde (BW) tekrarlanarak, özellikle çok katlı binalarda kat zayıflamasının (G_{FH}) bina dışına olan etkilerinin hesaplanmasında yapılacak çalışmalara ışık tutacağı öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

CHANDRASEKHAR, V. and ANDREWS, J.G. 2009. Uplink Capacity and Interference Avoidance for Two-Tier Femtocell Networks. S. IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.8, No.7, pp.3498-3509.

ÇELİK, S. , BAŞYİĞİT, B. ve HELHEL, S. Ekim 2009. 3.Nesil Şebekeler için parameter ve performans analizi. EMO IV.iletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, Antalya Merkez Çalışması, Sayfa 151-156, Adana.

ÇELİK, S. , YÖRÜK, Y.E. , BİTİRGAN, M. , BAŞYİĞİT, B. ve HELHEL, S. A 2010. 3.Nesil Şebekelerde Aynı Hücrede İki Farklı Taşıyıcı Frekans Kullanılması.. V.URSI Türkiye 2010 Bilimsel Kongresi, Sayfa 57-67, ODTU Kuzey Kıbrıs Kampusu, KKTC.

ÇELİK, S. , HELHEL, S. , YÖRÜK, Y.E. , BİTİRGAN, M. , BAŞYİĞİT, B. and ÖZEN, Ş. 2011. Indoor to Outdoor Propagation Model Improvement for GSM900/GSM1800/CDMA-2100. URSI GASS Oral Presentations, pp 124, İstanbul/TURKEY.

HELHEL, S. , ÖZEN, Ş. , BAŞYİĞİT, B. , KURNAZ , O. , YORUK, Y.E. , BİTİRGAN, M. and ÇOLAK, Z. Haziran 2011. Radiated Susceptibility Of Medical Equipments In Health Care Units;2G And 3G Mobile Phones As An Interferer. Microwave and Optical Technology Letters, pp 150.

HELHEL, S. Comparison of 900MHz and 1800MHz Indoor Propagation Deterioration. 2006. IEEE, Transactions on Antennas and Propagation, , pp.3921-3924.

HELHEL, S. 1997. 900 MHz dalga boyunda elektromanyetik alanların kapalı ortamda ışıması. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

KAKAR, F.A. , KHALİD, M. and SURİ, F.S. March 2008. Enhanced Outdoor-to-Indoor Coverage Estimation in Microcells. Loughborough Antennas & Propagation Conference, pp 17-18.

KEENAN, J.M. and MOTLEY, A.J. 1990. Radio coverage in buildings. Br.Telecom.Technol.J. , vol: 8, pp.19-24.

KYÖSTİ, P. 2007. WINNER II channel models. WINNER II Public Deliverable, pp.42-44.

MIURA, Y. , ODA, Y. and TOKİO, T. 2002. Outdoor-to-Indoor Propagation Modeling with the Identification of Path Passing Through Wall Openings. In Proc.IEEE PIMRC, vol.1, pp.130-134.

OKAMOTO, H. , KİTAO, K., and İCHİTSUBO, S. March 2009. Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area. IEEE Transactions on vehicular Technology, vol.58, No.3, pp.128-132.

OKUMURA, E., OHMORİ, T., KAWANO,K. and FUKUA, S. 1968. Field strength and its variability in UHF and VHF land-mobile radio service. Rev. Elec. Commun. Lab. , vol. 16, no. 9.

OWEN, F.C. and PUNDEY, C.D. 1989. In – building propagation at 900 MHz and 1650MHz for digital cordless telephone. 6 th Int. conf. on Antennas and Propagation, ICAP 89, Part2: Propagation, pp.276-281.

MATLAB R2009B. 2009. Yardım Dökümanı Eğri Uydurma Uygulamaları.

NEMO. 2009. Nokia N 95 Cep Telefonu Yardım Dökümanı.

RAPPAPORT, T. S. 2002. Wireless Communications Principles and Practice. Second Edition, Prentice Hall, Free Space Propagation Model, pp. 107-109.

SALEH, A.A.M. and VALENZUELA, R.A. February 1987. A Statistical model for indoor multipath propagation. IEEE J . Sel. Areas Communication, vol: SAC-5, (2). pp. 128-137.

SARKAR, T.K. , ZHONG, J., KYUNGJUNG, K. , ABDELLATIF, M. and MAGDALENA, S.P. 2003. A survey of Various Propagation Models for Mobile Communication. IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol.45, No.3.

SARKAR, J.W. and HAMILTON, R.L. Nov.1991. Ray Tracing as a Desing Tool for Radio Networks. IEEE Network ,vol: 5, pp.27-30.

SEIDEL ,S.Y. and RAPPAPORT, T.S. 1992. A ray tracing technique to predict path loss and delay spread inside buildings. Proc IEEE Globecom' 92 Conference, 6th-9th, pp.649-65, Orlando, USA.

TAM, V.K. and TRAN ,V.N. 1995. Propagation modelling for indoor wireless Communication. IEEE Trans., pp. 221-228.

TURIN, G .L. 1956. Communication through noisy, random-multipath channels. IRE Convention Record, part4, pp.154-166.

VALCARCE, A. and ZHANG J. 2010. Empirical Indoor-Outdoor Propagation Model for Residential Areas at 0.9-3.5 GHz. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.9, pp 682-685.

7. EKLER

EK-1 ÖLÇÜM NOKTALARINDAKİ KAYDEDİLEN ORTALAMA DEĞERLER

TX1 ÖLÇÜM NOKTALARI	GSM 900	GSM 1800	CDMA 2100	p (duvar sayısı)
1	-61	-66	-66	0
2	-65	-71	-68	0
3	-58	-65	-60	1
4	-73	-80	-69	1
5	-75	-85	-78	2
6	-80	-87	-80	2
7	-81	-88	-78	3
8	-76	-84	-79	2
9	-78	-90	-78	3
10	-80	-91	-80	3
11	-82	-90	-82	3
12	-80	-90	-79	4
13	-82	-82	-77	3
14	-85	-82	-80	2
15	-82	-82	-79	1
16	-86	-95	-88	2
17	-88	-95	-91	5
18	-89	-98	-93	4
19	-88	-98	-92	5
20	-87	-97	-90	4
21	-84	-96	-89	5
22	-83	-95	-85	4
23	-78	-94	-83	4
24	-76	-88	-80	3
25	-75	-85	-78	3
26	-72	-79	-74	2
27	-69	-75	-73	2
28	-76	-78	-70	1

TX2 ölçüm noktaları	GSM 900	GSM 1800	CDMA 2100	p (duvar sayısı)
1	-49	-57	-65	1
2	-54	-61	-70	1
3	-57	-66	71	2
4	-52	-69	-69	2
5	-55	-74	-77	2
6	-57	-79	-83	3
7	-65	-82	-87	4
8	-72	-80	-87	4
9	-76	-76	-84	3
10	-75	-75	-86	3
11	-75	-85	-91	4
12	-76	-88	-95	4
13	-77	-95	-98	6
14	-79	-97	-100	7
15	-79	-95	-102	8
16	-79	-92	-103	8
17	-77	-91	-99	7
18	-75	-88	-94	7
19	-75	-80	-86	6
20	-74	-75	-89	6
21	-72	-76	-85	6
22	-72	-77	-82	5
23	-74	-75	-79	4
24	-72	-72	-81	3
25	-68	-69	-78	3
26	-63	-65	-75	2
27	-59	-61	-70	1
28	-49	-55	-68	1

TX3 ÖLÇÜM NOKTALARI	GSM 900	GSM 1800	CDMA 2100	p (duvar sayısı)
1	-44	-52	-58	1
2	-58	-58	-59	2
3	-64	-70	-65	2
4	-70	-74	-77	3
5	-73	-80	-81	4
6	-74	-84	-85	5
7	-75	-86	-90	5
8	-76	-89	-92	4
9	-77	-90	-95	6
10	-78	-88	-95	6
11	-78	88	-95	7
12	-77	-90	-92	8
13	-75	-84	-91	7
14	-77	-80	-91	7
15	-72	-73	-84	3
16	-74	-85	-90	5
17	-73	-86	-91	6
18	-72	-83	-89	7
19	-74	-79	-87	6
20	-68	-84	-86	5
21	-67	-80	-84	5
22	-68	-76	-75	3
23	-66	-75	-76	3
24	-63	-73	-73	3
25	-58	-65	-66	3
26	-50	-53	-63	2
27	-45	-49	-63	1
28	-54	-58	-61	1

EK-2 (Hesaplama Kodları)

```
clc; clear all;
load koordinatyeni.dat; load koridor.dat; load bosoda.dat;

cizimmesafeli(28,0,1) %ilk ölçüm için çizim
cizimmesafeli(28,1,2) %koridor için çizim
cizimmesafeli(28,1,3) %bosoda için çizim

clc; clear all; load koordinatyeni.dat;

ref9=-18; ref18=-21; ref21=-29;
we=7; wge9=1; wge18=1; wge21=1; alfa=0.6; wi=7; gfh=5;

for i=1:28
    x(i)=koordinatyeni(i,2); y(i)=koordinatyeni(i,3); z(i)=3;
    d(i)=sqrt((x(i)^2)+(y(i)^2)+(z(i)^2)); %mesafe
end
[maks,indis]=max(d); %%%%% maksimum mesafe ve indisi
mesafe=d;
for i=1:28 %%%%% maksimum mesafeden sonra d=maks+(maks-d)
    uygulanıyor
    if i<(indis+1) %%%%%%%%% x eksenini gidiş-dönüş tam çıkartabilmek için
        x(i)=koordinatyeni(i,2); y(i)=koordinatyeni(i,3); z(i)=3;
        d(i)=sqrt((x(i)^2)+(y(i)^2)+(z(i)^2));
    else
        d(i)=2*maks-sqrt((x(i)^2)+(y(i)^2)+(z(i)^2));
    end
end

for i=1:28 %verici zemin katta
    x(i)=koordinatyeni(i,2); y(i)=koordinatyeni(i,3); z(i)=0;
    olcum9(i)=koordinatyeni(i,4); olcum18(i)=koordinatyeni(i,5);
    olcum21(i)=koordinatyeni(i,6);
    p(i)=koordinatyeni(i,16); %duvar sayisi

    teori9(i)=we+wge9+max(alfa*d(i),wi*p(i))+log10(900)*log(0.2)+5;
    %+(10.81*sqrt(0.9)-9.51); %teorik hesaplama
    teori18(i)=we+wge18+max(alfa*d(i),wi*p(i))+log10(1800)*log(0.2)+5;
    teori21(i)=we+wge21+max(alfa*d(i),wi*p(i))+log10(2100)*log(3.84)+5;
    %+(10.81*sqrt(2.1)-9.51);
    pratik9(i)=ref9-olcum9(i); %olcumler
    pratik18(i)=ref18-olcum18(i); %olcumler
    pratik21(i)=ref21-olcum21(i); %olcumler
end

figure;
```

```

plot(d,smooth(teori9),'--r','LineWidth',3); hold on;
plot(d,smooth(pratik9),'LineWidth',3);
set(gca,'XTick',0:maks/4:2*maks);
set(gca,'XTickLabel',{ '0',round(maks/4),round(maks/2),round(3*maks/4),round(maks),round(3*maks/4),round(maks/2),round(maks/4),'0' });
xlabel('Distance from Verici (m)','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Loss (dB)','fontsize',16,'fontweight','b');
title('Loss at 900MHz (GSM)','fontsize',16,'fontweight','b');
h = legend('theoretical calculation','measurement',2); set(h,'Interpreter','none'); grid;

figure;
plot(d,smooth(teori18),'--r','LineWidth',3); hold on;
plot(d,smooth(pratik18),'LineWidth',3);
set(gca,'XTick',0:maks/4:2*maks);
set(gca,'XTickLabel',{ '0',round(maks/4),round(maks/2),round(3*maks/4),round(maks),round(3*maks/4),round(maks/2),round(maks/4),'0' });
xlabel('Distance from Transmitter (m)','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Loss (dB)','fontsize',16,'fontweight','b');
title('Loss at 1800MHz (GSM)','fontsize',16,'fontweight','b');
h = legend('theoretical calculation','measurement',2); set(h,'Interpreter','none'); grid;

figure;
plot(d,smooth(teori21),'--r','LineWidth',3); hold on;
plot(d,smooth(pratik21),'LineWidth',3);
set(gca,'XTick',0:maks/4:2*maks);
set(gca,'XTickLabel',{ '0',round(maks/4),round(maks/2),round(3*maks/4),round(maks),round(3*maks/4),round(maks/2),round(maks/4),'0' });
xlabel('Distance from Transmitter (m)','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Loss (dB)','fontsize',16,'fontweight','b');
title('Loss at 2100MHz (CDMA)','fontsize',16,'fontweight','b');
h = legend('theoretical calculation','measurement',2); set(h,'Interpreter','none'); grid;

figure;
fark1=pratik9-teori9; fark2=pratik18-teori18; fark3=pratik21-teori21;
error1=abs(100*(fark1./pratik9)); error2=abs(100*(fark2./pratik18));
error3=abs(100*(fark3./pratik21));
plot(d,abs(smooth(fark1)), 'r*', 'LineWidth',3); hold on;
plot(d,abs(smooth(fark2)), 'bo', 'LineWidth',2);
plot(d,abs(smooth(fark3)), 'g+', 'LineWidth',5);
set(gca,'XTick',0:maks/4:2*maks);
set(gca,'XTickLabel',{ '0',round(maks/4),round(maks/2),round(3*maks/4),round(maks),round(3*maks/4),round(maks/2),round(maks/4),'0' });
xlabel('Distance from Transmitter (m)','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Absolute Deviation','fontsize',16,'fontweight','b');
title('The Difference between Theoretical Calculation and Measurement','fontsize',16,'fontweight','b');
h = legend('900MHz (GSM)', '1800MHz (GSM)', '2100MHz(CDMA)',3);
set(h,'Interpreter','none'); grid;

```

```
%ortalama=[mean(error1);mean(error2);mean(error3)]  
%sapma=[std(error1);std(error2);std(error3)]  
  
%ortalamafark=[mean(abs(fark1));mean(abs(fark2));mean(abs(fark3))]  
%sapmafark=[std(abs(fark1));std(abs(fark2));std(abs(fark3))]
```

ÖZGEÇMİŞ

Sami ÇELİK 1971 yılında Antalya'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Antalya'da tamamladı. 1988 yılında girdiği Ortadoğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 1993 yılında mezun oldu. 1993- 1994 yılları arasında, Sabancı Holding Bossa Fabrikasında Elektronik Mühendisi olarak çalıştı. 1997-2000 yıllarında HAVELSAN A.Ş.'de Avionik projesinde çalıştı. 2000 yılından beri TURKCELL A.Ş. 'de planlama ve optimizasyon mühendisi olarak görev yapmaktadır.