

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GSM 900/GSM 1800/CDMA FREKANSLI RADYO DALGALARININ
ORMANLIK ALANDA IŞIMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Murat BİTİRGAN

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

2011

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GSM 900/GSM 1800/CDMA FREKANSLI RADYO DALGALARININ
ORMANLIK ALANDA IŞIMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Murat BİTİRGAN

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

2011

ÖZET

GSM 900/GSM 1800/CDMA FREKANSLI RADYO DALGALARININ ORMANLIK ALANDA IŞIMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Murat BİTİRGAN

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Selçuk HELHEL

Eylül 2011, 55 sayfa

Gelişen iletişim teknolojileri ile çeşitli frekans ve modülasyonlarda yayın yapan baz istasyonları kapsama ve kapasitenin önemli olduğu bir haberleşme sisteminin gerekliliğine işaret etmektedir. Bu yüzden doğru yapılan bir ışıma modellemesi en kaliteli hizmetin en uygun koşullarda verilmesi için temel şarttır. Işıma modelini oluşturan temel kıstaslardan biride sinyalin yayıldığı ortamdır. Bu yüzden en doğru şekilde baz istasyonlarını konumlandırmak isteyen servis sağlayıcı firmalar istasyonun servis verdiği çevresel koşullara en uygun ışıma modelini kullanmak istemektedirler.

Bu çalışmada hücrel bir baz istasyonu ile aynı şekilde çalışan genliği ve polarizasyonu bilinen bir yönsüz dipol anten kullanarak belirlenen frekans (GSM 900, GSM 1800 ve CDMA 2100) ve modülasyonda (GSM-CDMA) elektromanyetik dalgalar üreten bir verici vasıtasıyla ormanlık alanda ışıma mekanizması incelenmiştir. Ölçüm için kullandığımız alıcı sistem verici sistem ile kilitlenebilme özelliğine sahip bir yazılım (NEMO) içermektedir. Ölçüm sonuçları ACTIX adı verilen bir program ile görsel tablolara ve koordinat bazlı haritalara dökülerek analiz edilmiştir. Yaptığımız ölçümleri yinelenerek hata payının azaltılması sağlanmıştır. Ölçümler deneysel yöntemle bir ışıma modeli elde edilmesinde kullanılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: GSM 900/GSM 1800/CDMA, ışıma modellemesi, ormanlık alan

JURİ: Yrd. Doç. Dr. Selçuk HELHEL (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih ÇAĞLAR

Doç. Dr. Şükrü ÖZEN

ABSTRACT

PROPAGATION MODELS OF RADIO WAVES FOR FOREST ENVIRONMENT AT GSM 900/GSM 1800/CDMA

Murat BİTİRGAN

M. Sc. Thesis in Electrical and Electronics Engineering

Adviser: Assist. Prof. Dr. Selçuk HELHEL

September, 2011, 55 pages

Mobile communication is widespread all over the world, recently. So, planning and optimization of mobile networks are important for coverage and quality. Planning tools which have been using propagation path loss model is generally based on building areas. Radio propagation through forest environment, effects of trees and weather conditions on radio propagation are important as well as other environment. A special setup designed for GSM operators for field tests have been used. It is simulating base station transmitter units including certain frequency and certain modulation techniques in mobile communication.

In this study, we investigated a propagation model on forested area to use the transmitter which produces electromagnetic waves at chosen frequency (GSM 900, GSM 1800 and CDMA 2100) and modulation (GSM-CDMA). The transmitter works like cellular base station. Transmitter part includes test transmitter (Andrew), bi-directional antenna and feeder for connection and receiver part includes simple mobile phone with Nemo Handy software. Experiments are performed in three different frequency; GSM 900, GSM 1800 and CDMA 2100 which are more common in the world. The data collected and logged with GPS (Global Positioning System) coordinates by the help of Nemo Handy. These raw data imported and analyzed with Actix software. The measurements have been used to mathematical calculations of empirical propagation model.

KEY WORDS: GSM 900/GSM 1800/CDMA, propagation model, forest environment

COMMITTEE: Assist. Prof. Dr. Selçuk HELHEL (Adviser)

Assist. Prof. Dr. Mehmet Fatih ÇAĞLAR

Assoc. Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

ÖNSÖZ

Bu tezin tüm aşamalarında gerekli desteğini sürekli hissettiğim danışman hocam Dr. Selçuk HELHEL' e, ölçümlerin alınması için yaptığımız çalışmalarda desteğini esirgemeyen iş arkadaşlarım Yunus Emre Yörük ve Sami Çelik'e ve Araştırma Görevlisi Osman Kurnaz'a teşekkürü borç bilirim.

Eğitimim konusunda her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Bu tez 2011.02.0121.007 proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu ve Önemi	1
1.2. Tezin Kapsamı ve İçeriği.....	7
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	8
2.1. Serbest Uzay Yol Kaybı	8
2.2. Açık Alan Yol Kaybı	9
2.3. Okumura Modeli	10
2.4. Hata Modeli	11
2.5. Egli Modeli	12
2.6. Weissberger Modeli.....	13
2.7. ITU-R Modeli.....	14
2.8. Cost 235 Modeli.....	14
3. MATERYAL VE METOD	16
3.1. Işıma Modeli Problemi	16
3.2. Matematiksel Hesaplamalar ve Yöntem	17
3.3. Ölçüm Düzenneği ve Ölçme Alanı	27
3.3.1. Verici Sistem Özellikleri	27
3.3.2. Alıcı Sistem Özellikleri	30
3.3.3. Ölçme Adımları ve Kurallar.....	31
3.3.4. Ölçme Alanı Özellikleri.....	31
3.3.5. Ölçme Alanı Değerlendirmesi.....	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
5. SONUÇ	47
6. KAYNAKLAR.....	48
7. EKLER	51

EK 1.	51
EK 2.	52
EK 3.	54

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_e	Anten Etkin Açıklığı
$A_{(hr)}$	Efektif Anten Açıklığı Düzeltme Faktörü
A_{mn}	Serbest Uzay Zayıflatması
b	Prizmanın Tabanını Oluşturan Dikdörtgenin Eni
d	Alıcı Ve Verici Sistem Arasındaki Uzaklık
d_f	Ağaç Koruluk Mesafesi
e	Prizmanın Tabanını Oluşturan Dikdörtgenin Boyu
f	Frekans
f_c	Taşıyıcı Frekans
G	Anten Kazancı
G_{area}	Çevreye Bağlı Kazanç
G_B	Verici Sistem Anten Kazancı
G_M	Alıcı Sistem Anten Kazancı
G_r	Alıcı Sistem Anten Kazancı
G_t	Verici Sistem Anten Kazancı
$G_{(hr)}$	Alıcı Sistem Efektif Anten Açıklığı Kazanç Faktörü
$G_{(ht)}$	Verici Sistem Efektif Anten Açıklığı Kazanç Faktörü
h	Konin yüksekliği
h_B	Verici Sistem Anten Yüksekliği
h_r	Alıcı Sistem Anten Yüksekliği
h_M	Alıcı Sistem Anten Yüksekliği
L_f	Serbest Uzay Yol Kaybı
L_{urb}	Şehir Merkezi İçin Yol Kaybı
L_{ITU-R}	ITU-R Modeli Yol Kaybı

L_{veg}	Frekansa bağı kayıp faktörü
L_W	Weissberger Modeli Yol Kaybı
L_{50}	50.Yüzdelik Yol Kaybı Işıma Değeri
P_{LO}	Ormanlık Alan Yol Kaybı
P_{LA}	Açık Alan Yol Kaybı
P_L	Serbest Uzay Yol Kaybı
P_r	Alınan Güç
P_t	Verici Sistem Transfer Edilen Güç
V_d	Dikdörtgenler Prizmasının Hacmi
V_k	Koninin Hacmi
r	Konin Tabanını Oluşturan Dairenin Yarıçapı
z	Prizmanın Yüksekliği
λ	Dalga Boyu

Kısaltmalar

CDMA	Kod Bölmeli Çoğullama Erişimi
GSM	Mobil Haberleşme Sistemleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yeryüzü üzerinde ışıma	9
Şekil 3.1. Referans ölçüm yapılan açık alan	16
Şekil 3.2. Ölçme alanı ağaç sayısı/yoğunluğu	17
Şekil 3.3. GSM 900 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen rasyonel fonksiyon	20
Şekil 3.4. GSM 1800 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen rasyonel fonksiyon	21
Şekil 3.5. CDMA 2100 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen rasyonel fonksiyon	22
Şekil 3.6. GSM 900 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen sinüs toplamı fonksiyonu	23
Şekil 3.7. GSM 1800 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen sinüs toplamı fonksiyonu	23
Şekil 3.8. CDMA 2100 Eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen sinüs toplamı fonksiyonu	24
Şekil 3.9. Nome GSM test ekranı	28
Şekil 3.10. Nome CDMA test ekranı	28
Şekil 3.11. Verici sistem	29
Şekil 3.12. Alıcı sistem	30
Şekil 3.13. Ölçme alanı	32
Şekil 3.14. Ölçme alanı ağaç modellemesi	32
Şekil 4.1. GSM 900 matematiksel hesaplamalar, ölçüm sonuçları ve bilinen orman modellemeleri arasındaki fark	35
Şekil 4.2. GSM 1800 matematiksel hesaplamalar, ölçüm sonuçları ve bilinen orman modellemeleri arasındaki fark	36
Şekil 4.3. CDMA 2100 matematiksel hesaplamalar, ölçüm sonuçları ve bilinen orman modellemeleri arasındaki fark.....	37
Şekil 4.4. GSM 900 /GSM 1800/ CDMA 2100 matematiksel hesaplamalar ve ölçüm sonuçları arasındaki hata payı	38
Şekil 4.5. Ormanlık alan genel görüntüsü	39

Şekil 4.6. GSM 900 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü	40
Şekil 4.7. GSM 900 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü zamana bağlı değişim	40
Şekil 4.8. GSM 1800 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü	41
Şekil 4.9. GSM 1800 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü zamana bağlı değişim	42
Şekil 4.10. CDMA 2100 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü	43
Şekil 4.11. CDMA 2100 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü zamana bağlı değişimi	43
Şekil 4.12. GSM 900 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü.....	44
Şekil 4.13. GSM 900 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü zamana bağlı değişimi	44
Şekil 4.14. GSM 1800 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü	44
Şekil 4.15.—GSM 1800 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü zamana bağlı değişimi	45
Şekil 4.16. CDMA 2100 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü	46
Şekil 4.17. CDMA 2100 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü zamana bağlı değişimi	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. ANDREW CELLMAX-O-25 yönsüz dipol anten özellikleri	29
Çizelge 3.2. Ölçüm parametreleri	31
Çizelge 4.1. Işıma modeli ve pratik ölçümler arasındaki ortalama hata ve standart sapma.....	38

1. GİRİŞ

1.1. Konu ve Önemi

Mobil iletişim teknolojilerinin yeni gelen asırla birlikte baş döndürücü bir hızla gelişmesi mobil iletişim sektörünü her geçen sene büyüyerek sadece ses iletimiyle sınırlı kalan bir çerçeveden çıkartan internet, uzak erişim uygulamaları, konum belirleme, cep telefonunu merkeze alan bir sistem ile mobil imza, mobil ödeme, akıllı evlerin mobil sistemler ile kontrolü ve daha birçok uygulamada hayatımızın vazgeçilmez parçası haline getirmiştir. Bugün mobil sistemleri kullanan insan sayısı 4,5 milyarı geçerek dünyanın en büyük sektörlerinden birinin mobil iletişim sektörü olduğunu bize göstermiştir (Ericsson İç Eğitim Dokümanları 2010). Mobil iletişimin geleceğine bakıldığında hareketli sistemler ile yüksek veri hızının bir araya geldiği bir gelişim gösterdiği açıkça görülmektedir. Daha yüksek veri hızının elde edilebilmesi için etkin bir kapasite ve kapsama hesaplamasının yapılması mobil servis sağlayıcıları için esastır. Daha fazla iletişim için daha geniş bantlarda yayın yapan baz istasyonları frekans planlamasının hızlı, kaliteli, kesintisiz iletişim için çok önemli olduğunu göstermektedir. Ülkemizdeki mobil iletişim sektörünün gelişimine bakıldığında dünya ile paralel hatta birçok Avrupa ülkesinden çok daha ileri teknolojilere sahip olduğumuz görülmektedir (Ericsson İç Eğitim Dokümanları 2010). Mobil istasyonlarda servis sağlayıcı sistemlerin etkin kullanımı için kapasite ve kapsamanın geniş bant teknolojilerinin kullanılmasının başlamasıyla artan öneminden dolayı farklı kullanıcı profillerine göre servis verilen alanların sadece şehir merkezleri değil giderek kırsal alanlarda da yaygınlaşması servis sağlayıcı firmaları artan maliyetlerin kesintisiz iletişimle dengelenmesini sağlamak için etkin bir planlama sisteminin oluşması yönünde zorlamaktadır. Etkin planlama için ışıma modellemelerinin analitik ve deneysel olarak en az hata oranına sahip bir yapıda olması temel kıstastır (Pey ve Mardeni 2010).

GSM belirli frekans bantları üzerine kurulu mantıksal kanallar aracılığıyla ses ve veri iletiminin hava ortamında sağlandığı mobil istasyonların eş zamanlı olarak birbirleri ile konuşabildiği bir protokol sistemidir. Eş zamanlı iletişim zaman bölmeli çoklama modülasyon tekniği kullanılarak sağlanmaktadır. GSM alt yapısı sistemin kontrol edildiği Operasyon Destek Sistemi, şebeke ile ilgili tüm temel altyapıyı içeren Anahtarlama Sistemi (Santral) ve sahalarda kapsamayı sağlayan Baz İstasyonu Sistemi olarak tanımlanabilir. Ülkemizde GSM 900 ve GSM 1800 bandı olmak üzere 900 MHz ve 1800 MHz 'de iki ayrı bant üzerinden istasyonlar çalışmaktadır. GSM'de kullanılan her bir frekansın bant genişliği 200 KHz'dir ve her bir frekans bir kanal olarak isimlendirilir. GSM sistemi hücresele mantıkla çalışır. Her hücrenin bir kapsama alanı bulunmaktadır. Hücreler şebekenin mobil istasyon ile bağlantı noktasıdır. Farklı frekans ve kodlamalara sahip kimlik bilgilerine sahiptirler. Anahtarlama Sistemi (Santral) tüm baz istasyonlarının kontrol edildiği ve şebekenin dış sistemlere açıldığı kontrol birimlerini ve kapıları içerir. Operasyon Destek Sistemi tüm şebekenin kontrol edildiği açık kod sistemine dayalı bir işletim sistemidir. Şebeke üzerindeki tüm yazılım tanımlamaları bu işletim sistemi üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Anahtarlama Sistemi (Santral) belirli sayıda baz istasyonunu kontrol eden baz istasyonu kontrolörlerini, baz istasyonlarından gelen haberleşme isteklerini karşılayan kapalı devreleri oluşturan mobil servisler anahtarlama sistemlerini, çeşitli kütük birimlerini ve bu birimleri birbirine bağlayan iletim kablolarını içerir. Ayrıca veri paketleri için paket devreleri oluşturan ve bunu internete teslim eden veya alan sistemlerde bulunmaktadır. Tüm sistemler birbirine uyumlu ve eş zamanlı olarak çalışmaktadır. GSM temel olarak ses ve veri iletişimini sırasıyla devre anahtarlama ve paket anahtarlama sistemlerinden gerçekleştirir. Mobil istasyondan bir diğer mobil istasyonla veya sabit telefonla olan konuşma kurulumu sırasıyla tüm bu sistemlerin kendi içinde yaptığı sinyalleşmeler ile sadece bu konuşmaya özel kurulan kapalı bir devre üzerinden şifrelenerek gerçekleşir (devre anahtarlama sistemi). Aynı şekilde veri iletiminde benzer bir yol izlenir fakat kullanılan kanal sadece bir pakete ayrılmaz. Birçok paket aynı kanal üzerinden gideceği yol bildirilerek gönderilir (Paket anahtarlama sistemi) (Ericsson İç Eğitim Dokümanları 2010).

CDMA (UMTS) protokolü GSM protokolünden farklı modülasyon tekniği ve daha yüksek bant genişliğine sahiptir. Bu yüksek bant genişliği hızlı veri indirme imkânı sağlayarak yeni nesil teknolojilerin mobil sistemlerde kullanılmasına olanak verir. CDMA tek bir iletişim kanalı üzerinden birçok eş zamanlı veriyi farklı kodlamalar kullanarak iletebilen bir protokoldür. GSM içinde ifade edilen kanal mantığı CDMA içinde geçerlidir. Fakat bu kanallar GSM gibi 200 KHz bant genişliğine değil 5 MHz bant genişliğine sahiptir. CDMA protokolü hücreli sistemlerden oluşmaktadır. Her hücreyi ifade eden bir taşıyıcı frekans ve özel bir kod bulunmaktadır. Her bir mobil istasyon için ise özel bir kod tanımlaması bulunmaktadır. Böylelikle örneğin Turkcell şebekesi baz istasyonları için 512 tane özel kod tanımlaması hücreleri ifade ederken mobil istasyonları tanımlayan 16 milyondan fazla kod bulunmaktadır. CDMA protokolü radyo ağ kontrolör adı verilen cihazlar vasıtasıyla kontrol edilen baz istasyonlarına sahiptir. Radyo ağ kontrolör, GSM için baz istasyonu kontrolör ile eş değerde olup anahtarlama sisteminin (santral) bir parçasıdır. Tüm istasyonlar paket anahtarlama ve devre anahtarlama alt yapısını gerçekleştirecek şekilde planlanmıştır.

CDMA protokolü aynı frekans üzerinden birçok farklı kullanıcının sinyalleşmelerinin gerçekleştirildiği bir yapıdır. Bu yapı her bir kullanıcıya atanan kodlar ile gerçekleşir. Kullanıcının kimliğini belirleyen yayılma kodu yanında kullanıcının kullandığı kanalı ayıran kanal kodu CDMA protokolünde kullanılan kodlardır. Sonuç olarak sistem belirli bir gürültü seviyesi üzerine çıkarılan sinyalin baz istasyonu ve mobil istasyon tarafından işlenmesi ile iletişimin sağlanmasını sağlar. Bu gürültü seviyesini ortamda iletişimini sağlayan diğer istasyonlar, bozucu kaynaklar vs. belirlemektedir. Fakat gürültü eşiğinin üzerine çıkarılan sinyalleşme kodlar ile bildirilen sinyalleşmedir. CDMA için güç çok önem ifade etmekte ve her bir mobil istasyon güç kullanımı ile kapasiteyi belirlemektedir. Aynı şekilde baz istasyonları canlı bir sistem olduğu için kapsamada mobil istasyonların kullandıkları güce göre değişebilmektedir (Bitirgan vd. 2010, Ericsson İç Eğitim Dokümanları 2010).

GSM ve CDMA protokollerini kullanan sistemlerden oluşan etkin bir şebekenin kurulabilmesi için bu şebekenin planlamasının uygun bir ışıma modeli kullanılarak yapılması büyük önem arz etmektedir. Seçilen ışıma modelini belirleyen temel unsurlardan birinin çevresel etkiler olacağı açıktır. Çünkü ışıma modelini çevresel etkilerden bağımsız düşünmek mümkün değildir. Bu çalışmada da gelecek bölümde bahsedilen analitik hesaplama için kullanılan ışıma modelleri temel olarak mobil iletişim sistemlerinin tasarımında dış kapsamada en çok kullanılan ışıma modelleridir. Kullanılan ışıma modellemeleri sırasıyla Serbest Uzay, Açık Alan, Okumura, Hata, Egli ve ormanlık alanlar için ise Weissberger, ITU-R, COST235 modellemeleridir (Meng vd 2009, 2010, Pey ve Mardeni 2010).

Bu modellemelerde temel olarak yol kaybı hesaplanırken alıcı ve verici sistemler arasındaki mesafe, anten kazançları, frekans, çevre faktörüne bağlı parametreler kullanılmaktadır. (Kovacs vd 1999, Sofos ve Constantinou 2004, Meng vd 2009, 2010, Pey vd 2010). Analitik metotla hesaplama yapmak çok yüklü matematiksel işlemler gerektirmektedir. Yapılan işlemlerde en ufak bir hata payı olması hesaplamalar içinde üstel fonksiyonlar olduğu için pratik ölçümler ile büyük farklar doğurabilir. Bu konuda yapılan bir modelleme çalışmasında Goldman ve Swenson (1999) tarafından ormanlık alanda gerçekleştirilen ışıma esaslarına dayalı yöntemdir (Goldman ve Swenson 1999). Tüm yöntemlerde hesaplanan değerler ile çevresel koşullara bağlı olarak değişim gösteren ölçümlenmiş değerler arasındaki farkı gösteren ortalama ilişkili hatanın en aza indirilmesi ışıma modelinin en doğru sonuç vermesini sağlar (Pey ve Mardeni 2010).

Literatürde ormanlık alanın yol kaybına etkisini gösteren çalışmaları incelediğimizde Şeker ve Kunter'in (2011) dikey ve yatay polarizasyonlu radyo dalgaları kullanarak bizim kullandığımız frekans bandında yaprakların, dalların ve ağaçların polarizasyona bağlı olarak sinyal zayıflatmasını inceledikleri çalışma önemlidir. Çalışma baz istasyonu ve mobil iletişim temellidir. Çalışma dikey polarizasyonlu radyo dalgasının, yatay polarizasyonlu radyo dalgasına göre çalışma yapılan ortamdaki bitki örtüsünden daha az etkilendiğini göstermiştir (Şeker ve Kunter 2011).

Önemli bir çalışmada ultra yüksek frekans ve çok yüksek frekans bandında tipik ormanlık alan modellemelerini kullanarak modellemeleri geliştiren Meng vd (2009) ait çalışmadır. Bu çalışmada palmiye ağaçlarıyla kaplı bir ormanlık alan kullanılarak pratik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bilinen ormanlık alan modellemeleri (ITU-R, Weissberger, COST-235, FITU-R) ile açık alan yol kaybı (Dünya Düzlemi Üzerinde Yol Kaybı) birleştirilerek elde edilen model, ölçümler ile kıyaslanmış ve sonuçta en iyi yakınsamanın FITU-R ve açık alan yol kaybı modellemesi kombinasyonunun sağladığı görülmüştür. Bu modelleme üzerinde açık alan yol kaybı iyileştirilerek modelin daha da doğru sonuç vermesi sağlanmıştır. Ayrıca FITU-R modeli de iyileştirilerek yanal dalga etkisini de içerir şekilde yenilenmiştir. Elde edilen yeni model için LITU-R tanımlaması yapılarak bu modelin ölçümler ile kıyaslamaları da yapılmıştır (Meng vd. 2009). Azavedo ve Santos (2011) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise farklı bitki örtüsünün sinyal zayıflamasına etkisi incelenmiştir. Farklı mesafelerde yapılan ölçümler farklı bitkilerin bulunduğu ortamlarda alınarak zayıflama etkisi mesafeden bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Ölçüm sonuçları çeşitli modeller (Weissberger, ITU-R, FITU-R, LITU-R, COST-235, kayıt-normal) ile yapılan hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kayıt-normal model hesaplamalarda kullanılarak geliştirilmiştir (Azevedo ve Santos 2011).

Işıma modeli için önemli etkenlerden birinin çevre faktörü olduğunu daha önce belirtmiştik. Çevre faktörü sinyalin yayıldığı ortamda zayıflamasını sağlayan temel etkenleri barındırır. Bu etkenler şehir merkezleri için farklı ormanlık alanlar için farklı ya da üzerinde hiçbir ağacın bulunmadığı geniş ovalar ve düz alanlar için farklıdır. Çevre faktörü hesaplamasında yansıma, kırınım ya da kırınmanın büyük önem taşıdığı yoğun binaların olduğu şehir merkezlerinde; bu yansıma ve kırınım veya kırınmayı oluşturan duvar, cam, panel vs. gibi etkenlerin etkisi bir çok çalışmada incelenmiştir (Helhel 1997, Çelik vd 2011). Ormanlık alan için ise bu etkenler ağaçların ve yaprakların yapısı, ağaçların yoğunluğu, gövde kalınlıkları, nem vs. olarak ifade edilmektedir (Kovacks vd 1999, Meng vd 2009, 2010, Bitirgan vd 2011, Şeker ve Kunter 2011, Azevedo ve Santos 2011).

Bu tez çalışmasında, ormanlık alanda analitik hesaplama yöntemleri ile gerçekleştirilen ışıma modellemeleri ile ölçüm değerleri karşılaştırarak sonuçlar incelenmiştir. Seçilen açık alan ışıma modeli için hesaplanan değerler ile ölçümlenen değerler arasındaki anlamlı hata payından yola çıkarak ışıma modelinde iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Farklı modülasyon teknikleri ve frekansların kullanıldığı çalışmamız da modülasyon ve frekans ile çevre koşullarının etkileşimi gözlemlenmiştir. Çalışma boyunca ormanlık alan ölçümleri için en az bozulmaya uğramış Akdeniz Üniversitesi kampüsündeki Ormanlık Alan kullanarak sık iğne yapraklı çam ağaçlarından oluşan bir ortamda sinyal zayıflaması ölçümlenmiştir. Ölçümler sadece ormanlık alanda değil açık alanda da gerçekleştirilerek ormanlık alanda ağaçların etkisi ile oluşan zayıflama analiz edilmiştir. Açık alan ölçümleri yine Akdeniz Üniversitesi kampüsünde Botanik Bahçesinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarımız referans olarak kullandığımız açık alan ölçümleri ile ormanlık alan ölçümleri arasındaki zayıflama farkının ortama bağlı kayıp faktörü olarak belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Ölçümlenen değerler teorik hesaplamalarda ortama bağlı kayıp faktörünü türetmek için kullanılmıştır. Kayıp faktörü hesaplamalarında mesafeye bağlı olarak hesaplanan ağaç yoğunluğu değerlerimiz referans olarak kullanılmıştır. Sonuçta teorik hesaplamalardan elde edilen değerler ile yaptığımız ölçümleri karşılaştırarak arasındaki anlamlı hata payı grafikler yardımıyla incelenmiştir. İlgili hesaplamalar ve grafikler MATLAB yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca ölçüm verilerinin analiz edildiği ACTIX programının grafik ve görsel sunumları tezde yer almaktadır. Tezde başından sonuna kadar uygulanan yöntemler ölçümlere bağlı olarak deneysel metottan faydalanan bir teorik hesaplama tekniğidir. Bu teknik ile ortama bağlı kayıp faktörü hesaplamaları gerçekleştirilmiş yine ölçümlenen değerler ile karşılaştırılmıştır. Dünyada ampirik bir ışıma modeli hesaplaması yapmak için kullanılan yöntemde budur.

Bu tezde ikinci bölümde yaygın olarak kullanılan ışıma modellerinden bahsedilmiştir. Işıma modelleri değerlendirilerek temel alınacak olan ışıma modeli seçilmiştir. Üçüncü bölümde yapılan ölçümlerden faydalanılarak ortama bağlı kayıp

faktörünü içeren temel bir ısıma modelinden türetilerek geliştirilen ampirik bir ısıma modeli elde edilmiştir. Yapılan teorik hesaplamalarda MATLAB eğri uydurma uygulaması kullanılarak pratik ölçümler matematiksel fonksiyonlara dökülmüştür. Dördüncü bölümde ölçme alanı değerlendirmesi yapılarak ölçme için kullanılan cihazların özelliklerinden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde ise ölçümlenen değerler ile teorik hesaplamaların karşılaştırmaları yapılarak sonuçların pratik ölçümlere olan uyumluluğu değerlendirilmiştir. Bu bölüm üç frekans bandı ve iki ayrı modülasyon için geçerli olan analizleri içermektedir.

1.2.Tezin Kapsamı ve İçeriği

Bu tezin amacı ormanlık alanda ölçmeye dayalı ampirik bir ısıma modelinin elde edilmesidir. Bu çalışma dış etkilerden en az etkilenen birbirine kilitlenme özelliğine sahip yazılımlar kullanılan cihazlar yardımıyla gerçekleştirilmiş ve farklı modülasyon ve frekanslardaki sinyal ölçümlemeleri yapılarak zayıflama ölçümlenmiştir.

Çalışma boyunca ölçümler tekrarlanarak hata payı en aza indirilmiş, ölçüm yapılan alan koordinat bazlı işaretlenerek alıcı ve verici kaynakta mesafe hata payı en aza indirilmiştir. Ölçümler açık alan ve ormanlık alanda yapılmıştır. Frekans girişiminden en az etkilenen Türkiye deki servis sağlayıcı firmaların kullanmadıkları frekanslar ölçümlerde GSM 900 / GSM 1800 / CDMA 2100 için kullanılarak bu etki en aza indirilmiştir. Ormanlık alan analizlerinde ölçüm alanı, ağaçların durumu (gövde kalınlığı, yaprak tipi, arazi üzerinde ağaçların dağılımı vd.) incelenerek hesaplamalarda kullanılmıştır. Sonuçlar ayrıntılı olarak analiz edilerek değerlendirmeler grafikler ile desteklenmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. Serbest Uzay Yol Kaybı

Serbest uzay yol kaybı (Rappaport 2002) boşlukta düz bir yol boyunca ilerleyen elektromanyetik dalganın güç kaybını hesaplayan analitik bir teoremdir. Verici antenden d mesafesi kadar uzaklıkta alınan güç aşağıdaki formül ile verilir.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (1)$$

Burada:

P_t verici sistem transfer edilen güç (W),

G_t verici sistem anten kazancı (dBi),

G_r alıcı sistem anten kazancı (dBi),

d alıcı ve verici sistem arasındaki mesafe(m),

λ dalga boyu (m) olarak gösterilmiştir.

Anten kazancı:

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

Burada:

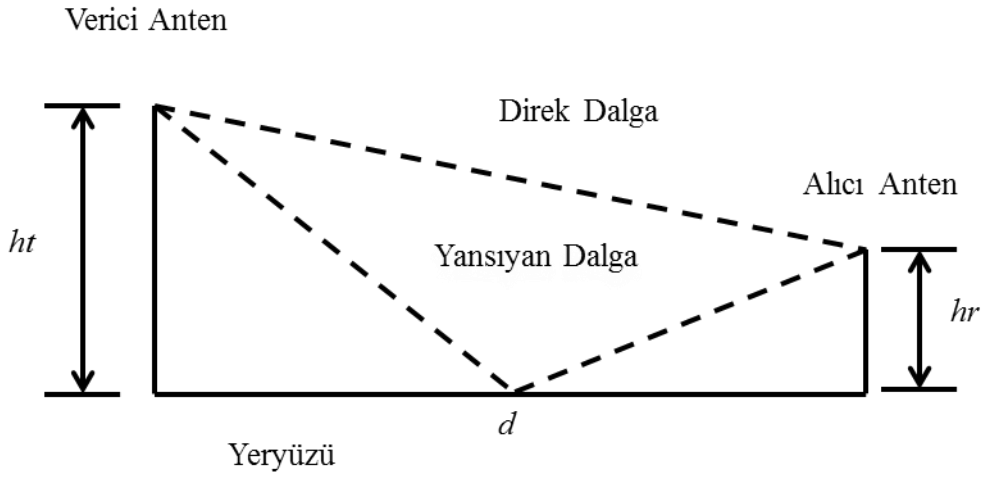
A_e Anten etkin açıklığı (m^2).

Serbest uzay yol kaybı (dB) aşağıda gösterilmiştir.

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

2.2. Açık Alan Yol Kaybı (Dünya Düzlemi Üzerinde Yol Kaybı)

Serbest uzay yol kaybına göre yeryüzü üzerindeki yansıma etkisini de içeren bir model olan açık alan yol kaybı alıcı ile verici arasındaki mesafeye göre net bir sonuç vermektedir (Balanis 2005).



Şekil 2.1. Yeryüzü Üzerinde Işıma

Açık Alan Yol Kaybı (Dünya Düzlemi Üzerinde Yol Kaybı) aşağıdaki formül ile verilir.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4} \quad (4)$$

Burada:

P_t verici sistem transfer edilen güç (W),

G_t verici sistem anten kazancı (dBi),

G_r alıcı sistem anten kazancı (dBi),

h_t verici sistem anten yüksekliği (m),

h_r alıcı sistem anten yüksekliği (m),

d alıcı ve verici sistem arasındaki mesafe(m) olarak gösterilmiştir.

Açık Alan Yol Kaybı (Dünya Düzlemi Üzerinde Yol Kaybı) logaritmik olarak(dB) aşağıda gösterilmiştir (Ericsson İç Eğitim Dokümanları 2010) .

$$P_L(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \frac{G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4} \quad (5)$$

2.3. Okumura Modeli

Okumura modeli (Okumura vd 1968) 150 ile 1920 MHz frekans aralığında belirli frekanslarda yapılan ölçümleri temel alarak geliştirilen bir ışıma modelidir. Okumura modeli hücre çapı 1 ile 100 km arasında olan makro hücreler için geliştirilmiştir. Verici sistem anten yükseklikleri 30 m ile 1000 m arasındadır. Okumura modeli çevresel koşullara bağlı bazı ışıma parametreleri içermektedir.

Okumura alıcı ve vericinin her ikisi için yönlü ve yönsüz antenler kullanarak efektif anten açıklığı verici için 200 m ve alıcı için 3m olan açık alanlarda serbest uzay yol kaybı ile bağlantılı bazı parametreler geliştirmiştir.

Okumura modeli aşağıdaki formül ile verilir (Okumura vd 1968).

$$L_{50}(dB) = L_f + A_{mn}(f, d) - G(h_t) - G(h_r) - G_{area} \quad (6)$$

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).

2.4. Hata Modeli

Hata modeli Okumura modeli tarafından sağlanan yol kayıp verilerini grafiksel ışıma modeli olarak formüle eder. Hata modeli (Hata 1980) hücreli sistemlerin davranışlarının ön izlemesini yapmak için en çok kullanılan frekans ışıma modelidir. Şehir yapılarından kaynaklı saçılma, yansıma, kırınım etkilerini içerir.

Şehir merkezi için ortalama yol kayıp denklemi aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$L_{urb}(dB) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_r - a(h_r) + (44.9 - \log h_t) \log d \quad (7)$$

Burada:

L_{urb} şehir merkezi için yol kaybı (dB),

h_r alıcı sistem anten yüksekliği (m),

h_t verici sistem anten yüksekliği (m) ,

f_c taşıyıcı frekans (Hz),

$a(h_r)$ efektif anten açıklığı düzeltme faktörü.

Geniş alanlar için bu değer aşağıdaki biçimdedir.

$$a(h_r) = 3.2(\log 11.75 h_r)^2 - 4.97 \text{ dB}, \quad f_c > 300 \text{ MHz} \quad (8)$$

2.5. Egli Modeli

Egli modeli (Egli 1957) iki nokta için toplam yol kaybının karasal radyo ışıma modellemesini verir. Egli modeli düzensiz karasal alanlara uygulanabilir. Fakat bitki örtüsüne sahip alanlara uygulanamaz. Egli modeli aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$P_L(dB) = G_B G_M \left[\frac{h_B h_M}{d^2} \right]^2 \left[\frac{40}{f} \right]^2 \quad (9)$$

Burada:

G_B verici sistem anten kazancı (dBi),

G_M alıcı sistem anten kazancı (dBi) ,

h_B verici sistem anten yüksekliği (m) ,

h_M alıcı sistem anten yüksekliği (m) ,

f taşıyıcı frekans (Hz) ,

d alıcı ve verici sistem arasındaki uzaklık (m) olarak verilmektedir.

2.6. Weissberger Modeli

Weissberger modeli (Weissberger 1981) ılıman iklimlerde yapraklı, kuru, yoğun ağaçların bulunduğu ormanlık alanlar için uygulanan bir ışıma modelidir. Weissberger modeli 230 MHz ile 95 GHz frekans aralığında kullanılır. Aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$L_W(dB) = \begin{cases} 1.33 \times f^{0.284} d_f^{0.588} & 14 \text{ m} < d_f \leq 400 \text{ m} \\ 0.45 \times f^{0.284} d_f & 0 \text{ m} \leq d_f < 14 \text{ m} \end{cases} \quad (10)$$

Burada:

f taşıyıcı frekans (GHz),

d_f ağaç koruluk mesafesi (m)

2.7. ITU-R Modeli

ITU-R modeli (CCIR Report 1986) UHF frekansındaki taşıyıcılar kullanılarak ölçümlenerek geliştirilmiş bir ışıma modelidir. Işıma modeli için ağaç gövdelerinin esas alındığı, alıcı ve verici sistemlerinin yakın olduğu ($d_f < 400$ m) sistemler için geliştirilmiştir. ITU-R modelin 200 MHz ile 95 GHz frekans aralığında kullanılır. Aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$L_{ITU-R}(dB) = 0.2 \times f^{0.3} d_f^{0.6} \quad (11)$$

Burada:

f taşıyıcı frekans (MHz),

d_f alıcı ve verici arası ağaç koruluk mesafesi (m)

2.8. COST-235 Modeli

Cost-235 modeli (Karasal telekomünikasyon sistemlerinde yeni nesil sabit radyo servisleri final raporu 1996) ITU-R modellemesini baz alır ama daha kısa mesafeli alıcı ve verici sistemleri için ($d_f < 200$ m) uygulanmaktadır. Aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$L_W(dB) = \begin{cases} 26.6 \times f^{-0.2} d_f^{0.5} & \text{yapraksız} \\ 15.6 \times f^{0.009} d_f^{0.26} & \text{yapraklı} \end{cases} \quad (12)$$

Burada:

f taşıyıcı frekans (MHz),

d_f ağaç koruluk mesafesi (m)

Cost-235 modeli için ölçümler modeli geliştirmek için iki mevsimde yapılmıştır. İlk ölçümler ağaçların yapraklı olduğu mevsimde gerçekleştirilmiş, ikinci ölçümler ise ağaçların yapraksız olduğu mevsimde gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen 8 ışıma modeli dış ortam ışıma modellemeleri için en yaygın kullanılan ışıma modelleridir. Weissberger, ITU-R, Cost-235 modellemeleri ise ormanlık alan için en yaygın olarak kullanılan ışıma modellemeleridir.

3. MATEYAL VE METOD

3.1. Işıma Modeli Problemi

Ormanlık alanda ışıma problemi açık alan ölçümlerinin referans alınarak ışımaya engel ormanlık araziye topluca kayıp faktörü olarak formüle dahil ederek; kullanılan modülasyon ve frekans da ağaç sayısı/yoğunluğunun ışıma modeline etkisinin incelenmesidir. Hesaplama yöntemi ampirik esaslara dayanmaktadır. Teorik hesaplamalar ölçümler kullanılarak elde edilen bir kayıp faktörünün eklenmesi ile oluşturulmuştur. Kayıp faktörü açık alan ölçümleri ile ormanlık alan ölçümlerinin farkından türetilerek oluşturulan bir fonksiyonu ifade etmekte olup, mesafeden bağımsız ağaçların sayı/yoğunluğuna ve frekansa göre mevcut sinyaldeki zayıflamayı göstermektedir. Mesafeye bağlı olarak ağaç sayısı/ yoğunluğu mevcut ölçümlenen alandan elde edilmiştir.

Şekil 3.1. de referans olarak alınan açık alan ölçümlerinin yapıldığı Akdeniz Üniversitesi kampüsü içerisinde bulunan botanik bahçesi görülmektedir.



Şekil 3.1. Referans Ölçüm Yapılan Açık Alan

Şekil 3.2. de mevcut ölçme alanımız için ağaç sayısı/yoğunluğu ölçeklendirmesi görülmektedir.



Şekil 3.2. Ölçme alanı ağaç sayısı/yoğunluğu

Şekil 3.2' de yapılan ölçeklendirme ve mesafeye bağlı hesaplamalar daha ayrıntılı olarak EK-2' de görülebilir. Ormanlık alanda ışıma modellemesi için yapılan hesaplamalarda kullanılan kayıp faktörü ağaç sayısı/yoğunluğu yukarıdaki ölçeklendirme baz alınarak üretilmiştir. Kayıp faktörü için türetilen fonksiyon içinde mesafe değişkenini barındırsa da bu mesafe değişkeni bize ağaç sayısı/yoğunluğunu vermektedir.

3.2. Matematiksel Hesaplamalar ve Yöntem

Açık alan yol kaybı (Dünya Düzlemi Üzerinde Yol Kaybı) denklemi ampirik ışıma modeli hesaplaması için temel çıkış noktası olarak belirlemiştir. Açık alan yol kaybı yeryüzünün yansıma etkilerini de içermektedir (Balanis 1992) .

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4} \quad (13)$$

Burada sırasıyla P_r , P_t , G_t , G_r , h_t , h_r , d alınan güç, iletilen güç, verici anten kazanç değeri, alıcı anten kazanç değeri, verici anten yüksekliği, alıcı anten yüksekliği ve verici anten ile alıcı anten arasındaki mesafeyi belirtmektedir.

Açık alan yol kaybı denklemine ortama bağlı kayıp faktörü (L) eklediğimizde denklemin yeni hali aşağıdaki gibi gösterilir.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} \quad (14)$$

Denklemin yol kaybını (P_r/P_t) ifade edecek bir biçimde yazarsak,

$$PL(dB) = 10 \log(G_t G_r) + 20 \log h_r + 20 \log h_t - 40 \log d - 10 \log L \quad (15)$$

Üsteki denklem baz alınarak ampirik metot kullanarak bu ışıma modelini ormanlık alan için uygulamak istersek açık alanda yaptığımız referans ölçümlere eklediğimiz ortama bağlı kayıp faktörü bize ormanlık alandaki yol kaybını verecektir.

$$P_{Lo} = P_{LA} + L \quad (16)$$

Burada sırasıyla P_{Lo} , P_{LA} , L ormanlık alanda ölçülen güç seviyesi (dBm), açık alanda ölçülen güç seviyesi (dBm), L ise ağaçlara bağlı kayıp faktörüdür.

Matematiksel modeli oluşturmak için iki ayrı alanda ölçümler yapılmıştır. Açık alanda ve ormanlık alanda gerçekleştirilen ölçümler sonucunda ölçümlenen değerler EK-1 ve EK-2’de incelenebilir.

Ölçümler 3 ayrı frekansta ve 2 ayrı modülasyonda gerçekleştirilmiştir (GSM 900/ GSM 1800/ CDMA 2100). Sonuçlar ile alınan değerler kayıp faktörü için deneysel verilerimizi elde etmek üzere kullanılmıştır.

$$L_{900} = P_{LA900} - P_{Lo900} \quad (17)$$

$$L_{1800} = P_{LA1800} - P_{Lo1800} \quad (18)$$

$$L_{2100} = P_{LA2100} - P_{Lo2100} \quad (19)$$

Burada sırasıyla P_{LO} , P_{LA} , L üç ayrı denklem için 900 MHz , 1800 MHz , 2100 MHz frekanslarında gerçekleştirilen ölçüm değerlerini ifade etmektedir. Sonuçlar ile elde edilen değerler bize kayıp faktörünü mesafeye bağlı gösteren bir fonksiyon olarak vermektedir.

Sonuç fonksiyonu için Matlab eğri uydurma uygulaması kullanılmıştır. Matlab 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 toplamaları formunda, Weibull dağıtımı formunda fonksiyonlar üretebilmektedir. Matlab eğri uydurma verilere uygun bir veya daha fazla model üretebilmek için katsayıları kullanır. Veriler istatistiksel değerlerdir ve iki bileşene ayrılır: deterministik bileşen ve rastlantısal bileşen.

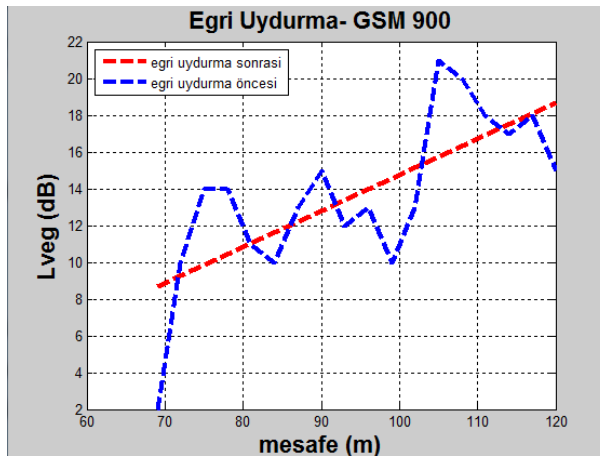
$$veri = deterministik\ bileşen + rastlantısal\ bileşen \quad (20)$$

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

$$veri = model + hata \quad (21)$$

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).

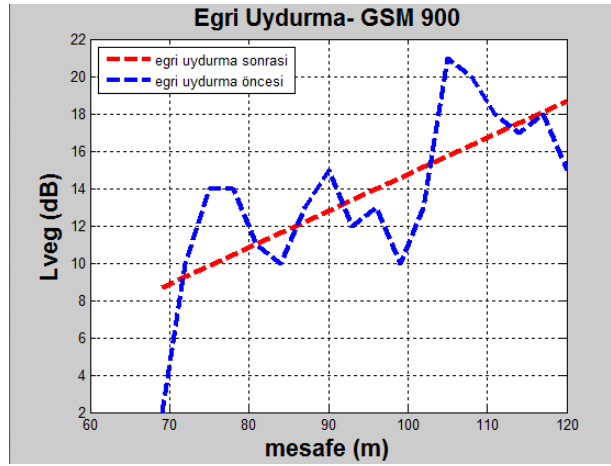
Ağaçlara bağlı kayıp faktörünü hesaplayabilmek için Matlab eğri uydurma uygulamasında çeşitli fonksiyon formları kullanılmıştır. Mevcut veriler ile en uyumlu form sinüs toplamı ile türetilen fonksiyonlarda sağlanmıştır. Şekil 3.2’ de GSM 900 için rasyonel formda fonksiyon ile verilerin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 3.3. GSM 900 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen rasyonel fonksiyon

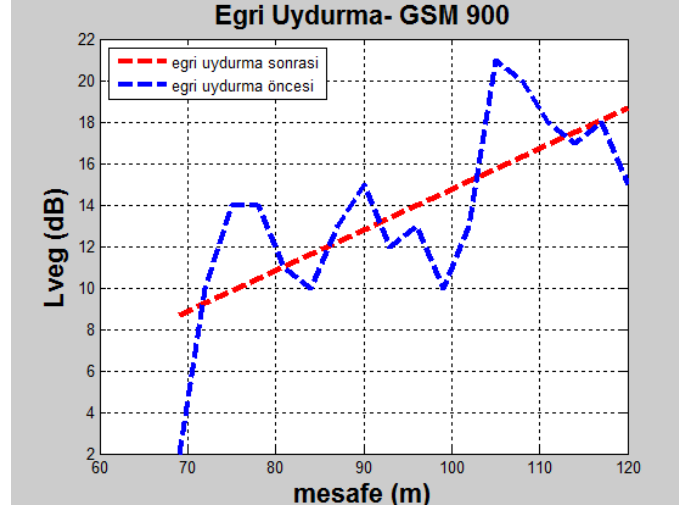
Şekil 3.3.' de kırmızı ile çizdirilen kısım Matlab eğri uydurma uygulaması tarafından türetilen fonksiyonun ürettiği değerler mavi ile çizdirilen kısım ise ölçümlenen değerlerdir.

Şekil 3.4.' de GSM 1800 için rasyonel formda fonksiyon ile verilerin karşılaştırılması görülmektedir. Kırmızı ile çizdirilen kısım Matlab eğri uydurma uygulaması tarafından türetilen fonksiyonun ürettiği değerler mavi ile çizdirilen kısım ise ölçümlenen değerlerdir.



Şekil 3.4. GSM 1800 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen rasyonel fonksiyon

Şekil 3.5.' de CDMA 2100 için rasyonel formda fonksiyon ile verilerin karşılaştırılması görülmektedir. Kırmızı ile çizdirilen kısım Matlab eğri uydurma uygulaması tarafından türetilen fonksiyonun ürettiği değerler mavi ile çizdirilen kısım ise ölçümlenen değerlerdir.



Şekil 3.5. CDMA 2100 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen rasyonel fonksiyon

Rasyonel formda türetilen fonksiyonlar aşağıda gösterilmiştir.

$$L_{900}(d) = 0.1954 \times d - 4.798 \quad (22)$$

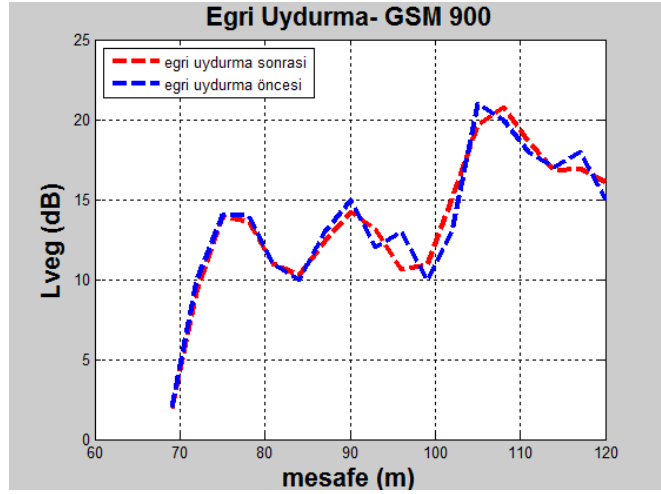
$$L_{1800}(d) = 0.1675 \times d + 12 \quad (23)$$

$$L_{2100}(d) = 0.2537 \times d + 1.387 \quad (24)$$

Aynı şekilde kullanılan diğer fonksiyon formları bize en az hata payına sahip formun sinüs toplamı formunun olduğunu göstermiştir. Işıma modelinde kullanılan ağaçlara bağlı kayıp faktörü sinüs toplamı formunda fonksiyon ile türetilmiştir.

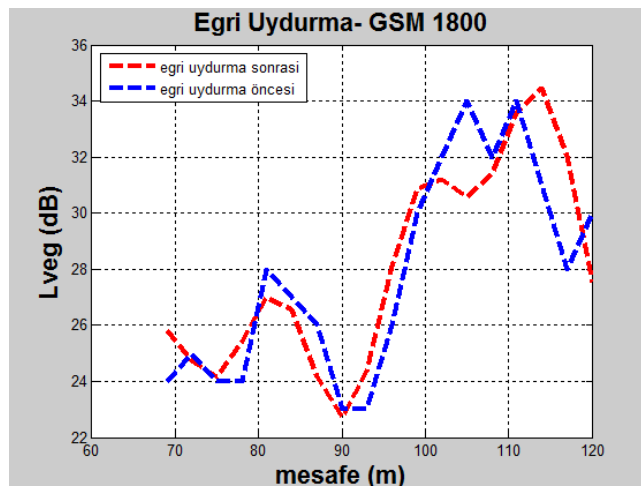
Şekil 3.6.' da GSM 900 için sinüs toplamı formunda fonksiyon ile verilerin karşılaştırılması görülmektedir. Kırmızı ile çizdirilen kısım Matlab eğri uydurma

uygulaması tarafından türetilen fonksiyonun ürettiği değerler mavi ile çizdirilen kısım ise ölçümlenen değerlerdir.



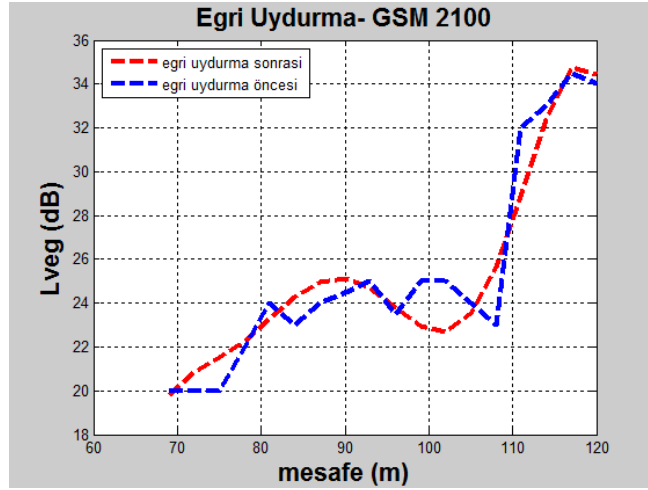
Şekil 3.6. GSM 900 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen sinüs toplamı fonksiyonu

Şekil 3.7.' de GSM 1800 için sinüs toplamı formunda fonksiyon ile verilerin karşılaştırılması görülmektedir. Kırmızı ile çizdirilen kısım Matlab eğri uydurma uygulaması tarafından türetilen fonksiyonun ürettiği değerler mavi ile çizdirilen kısım ise ölçümlenen değerlerdir.



Şekil 3.7. GSM 1800 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen sinüs toplamı fonksiyonu

Şekil 3.8.' de CDMA 2100 için sinüs toplamı formunda fonksiyon ile verilerin karşılaştırılması görülmektedir. Kırmızı ile çizdirilen kısım Matlab eğri uydurma uygulaması tarafından türetilen fonksiyonun ürettiği değerler mavi ile çizdirilen kısım ise ölçümlenen değerlerdir.



Şekil 3.8. CDMA 2100 eğri uydurma uygulaması ölçümlenen değerler ve üretilen sinüs toplamı fonksiyonu

Sinüs toplamı formunda türetilen fonksiyonlar aşağıda gösterilmiştir.

$$L_{900}(d) = 78.68 \times \sin(0.855 \times d - 0.375) + 66.44 \times \sin(0.0987 \times d + 1.548) + 2.7 \times \sin(0.4057 \times d + 8.811) \quad (25)$$

$$L_{1800}(d) = 29.94 \times \sin(0.02284 \times d + 5.479) + 3.717 \times \sin(0.1529 \times d - 2.814) + 2.06 \times \sin(0.393 \times d + 6.795) \quad (26)$$

$$L_{2100}(d) = 79.92 \times \sin(0.0776 \times d + 0.5978) + 223.6 \times \sin(0.1221 \times d - 0.2691) + 169 \times \sin(0.1313 \times d + 8.343) \quad (27)$$

Verici anten için anten kazancımız katalog değerinden,

$$G_t = 10^{0.51} \quad (28)$$

Alıcı anten için anten kazancımız katalog değerinden,

$$G_r = 1 \quad (29)$$

Ölçüm sonuçları kullanılarak Matlab eğri uydurma uygulaması ile üretilen ortalama bağlı kayıp fonksiyonu frekans etkisini içermemektedir. Frekans etkisi için yapılan ölçümler kullanılarak aşağıdaki fonksiyon elde edilmiştir. Frekansa bağlı kayıp faktörü,

$$L_{veg f} = 10 \times \ln\left(\frac{f_c}{f}\right) \quad (30)$$

Burada sırasıyla $L_{veg f}$, f_c , f frekansa bağlı kayıp faktörünü, taşıyıcı frekansı, baz alınan temel frekansı (900 MHz) ifade etmektedir. Frekansa bağlı kayıp faktörü yapılan pratik ölçümlerin analizi yapılarak hesaplanmıştır.

Teorik olarak hesaplamalarımızı 14 numaralı denklemde yerlerine koyduğumuzda elde ettiğimiz denklem mesafeye bağlı olarak bize ormanlık alanda yol kaybımızı vermektedir.

$$P_{LOSS900}(d) = 10 \times LOG_{10} \left(\frac{h_t^2 h_r^2}{d^4} \right) - L_{900}(d) - L_{veg f} \quad (31)$$

$$P_{LOSS1800}(d) = 10 \times LOG_{10} \left(\frac{h_t^2 h_r^2}{d^4} \right) - L_{1800}(d) - L_{veg f} \quad (32)$$

$$P_{LOSS2100}(d) = 10 \times LOG_{10} \left(\frac{h_t^2 h_r^2}{d^4} \right) - L_{2100}(d) - L_{veg f} \quad (33)$$

31, 32 ve 33 numaralı denklemler bize sonuçları mesafeye ve frekansa bağlı olarak vermekle birlikte EK-2' de her bir mesafe değeri için sinyalin zayıflamaya uğradığı ağaç sayısını veren ağaç/m oranı ağaç sayısının mesafeye bağlı değişimini bize göstermektedir.

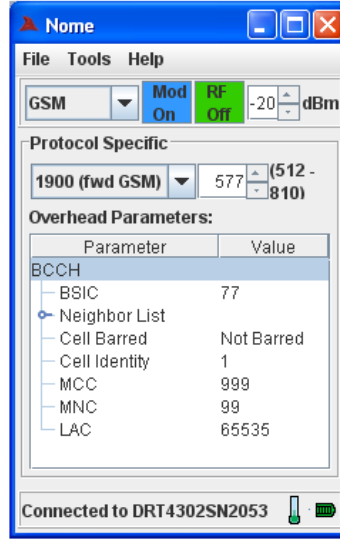
3.3. Ölçüm Düzeneği ve Ölçme Alanı

3.3.1. Verici Sistem Özellikleri

İşaret kaynağı olarak Andrew firmasına ait DRT4302A+-V1—002/SN2179 adlı 800-2100 MHz bant aralığında yayın yapabilen GSM-CDMA modülasyonlarında sinyal üretebilen düşük güçlü, küçük kapsama alanına sahip yönsüz ve yönlü dipol antenler ile kullanılabilen test sinyal üretici kullanılmıştır. İşaret kaynağı Amerika, Avrupa GSM-CDMA iki yönlü bant standartlarına göre tasarlanmıştır. 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 üreticine 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 üreticine bağlanabilmek için bu IP adresinin bilinmesi gereklidir. İstenildiğinde bu IP adresi yine bilgisayara yüklenebilen YUKON adı verilen bir yazılım ile değiştirilebilir. Nome yazılımı ile sinyal üretici tarafından üretilen GSM kanalları aşağıdadır. Bu kanallara denk gelen frekanslar ekler kısmında görülebilir.

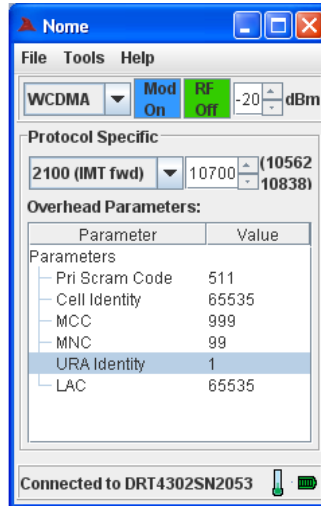
GSM bandında yayın yapan kanallar:

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



Şekil 3.9. Nome GSM test ekranı

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 girilmesinde gereklidir.



Şekil 3.10. Nome CDMA test ekranı

CDMA bandında yayın yapan kanallar:

- 2100 Bant – Kanallar 10562 - 10838

Sinyal üretici ile Andrew firmasına ait yönlü ve yönsüz antenler kullanılarak yayın yapılabilir. Test alınırken Andrew firmasına ait CELLMAX-O-25 adlı yönsüz dipol anten kullanılmıştır. Anten ile ilgili özellikler tabloda 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	MAKSIMUM GİRİŞ GÜCÜ(W)	50
KAZANÇ(DBI)		BAĞLANTI KABLOSU UZUNLUĞU(MM)	300
YATAY BANT GENİŞLİĞİ	360°	AĞIRLIK(KG)	0.6
DİKEY BANT GENİŞLİĞİ	360°	BOYUTLAR(MM)	210*180*44
POLARİZASYON	DİKEY	SICAKLIK(°C)	-100

Test sırasında işaret kaynağı ile verici anten arasında üç bacaklı bir sistem kurulmuştur. Böylelikle anten yüksekliği istenilen değerlere ayarlanarak esnek ölçümlerin yapılması sağlanmıştır.

İşaret kaynağı ile ilgili kurulan sistem aşağıda görülmektedir.



Şekil 3.11. Verici sistem

3.3.2. Alıcı Sistem Özellikleri

Alıcı sistem olarak Nokia N95 marka cep telefonu kullanılmıştır. Cihaz işletim sistemi Symbian OS 9.2, S60 rel. 3.0 kullanmaktadır. Cihaz üzerinde kurulu bulunan NEMO adı verilen özel bir yazılım ile istenilen modülasyon ve frekansa kilitletilebilmektedir. Ayrıca bu yazılım GPS bağlantısı yaparak ölçümlendiği verileri koordinat bazlı olarak hafızasına alabilmektedir.

Alıcı sistem ile ölçümlenen güç 0 dB anten kazancı ile ölçümlenmiştir. Fakat ölçümler sırasında insan vücudundan kaynaklı kayıplar 3 dB olarak belirlenmiştir. Nemo yazılımı ile anlık bazda alınan veriler ACTIX yazılımı ile bilgisayar ortamında açılarak incelenmiştir. Alıcı sistemi verici sistem ile eşlenik hale getirilmek için verici sistemin uzunluğunda bir çubuk ile sabitlenerek dikey polarizasyonda ölçümler yapılmıştır. Alıcı sistem aşağıda görülmektedir.



Şekil 3.12. Alıcı sistem

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. NEMO GPS lokasyon verisini de içerir (NEMO HANDY 2007).

3.3.3. Ölçme Adımları ve Kurallar

Her iki anteninde yerden yüksekliği önem taşıdığı için verici ve alıcı anten yerden yüksekliği sabitlenecek şekilde ölçümler alınmıştır. Verici ve alıcı anten 2 metrelik sabit bir sistem üzerine oturtturularak ölçümler alınmıştır. Alıcı anten sistemi sabit hızla hareket ettirilerek ölçümlemelerin yapılması sağlanmıştır.

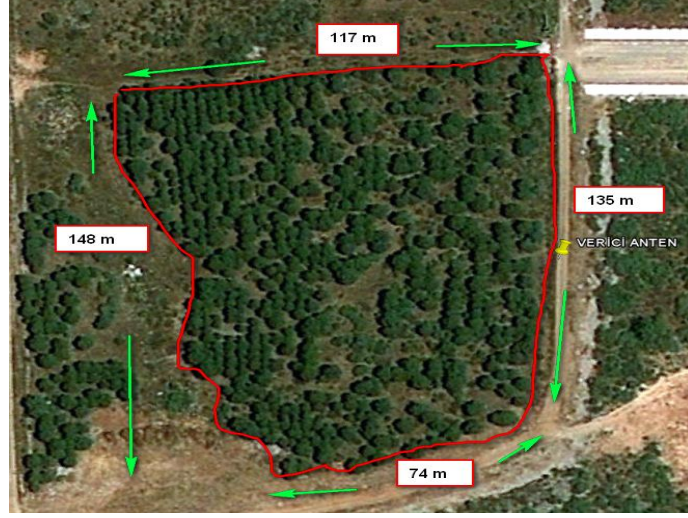
Çizelge 3.2. Ölçüm Parametreleri

Frekans Bandı	900-1800-2100 Mhz
Güç	21 dBm
Verici Anten Yüksekliği	2 m
Alıcı Anten Yüksekliği	2 m

3.3.4. Ölçme Alanı Özellikleri

Ölçme alanı olarak Akdeniz üniversitesi kampüsü içerisinde bulunan ormanlık alan kullanılmıştır. Ormanlık iğne yapraklı çam ağaçlarından oluşmaktadır. Ağaçların boyutları ortalama 6 ile 8 m arasında değişmekte olup yüzey şekilleri olarak engebeli bir arazidir. Ağaç dalları ağaç gövdesi üzerinde yükselmeden 0.5-1 m arasında çıkmakta olup iğne yapraklar bu yükseklikten itibaren başlamaktadır. Ağaçlar alan içerisine izotropik olarak dağılmışlardır. Çok yoğun veya kısmen seyrek bulundukları noktalar mevcuttur. Ormanlık alan içerisinde ortalama 300-350 ağaç olduğu hesaplanmaktadır.

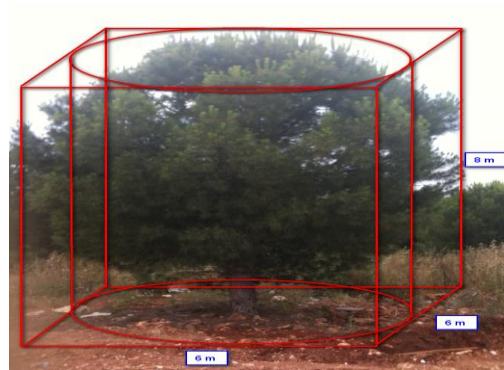
Ölçüm alanı içerisindeki yeryüzü şekillerinden kaynaklı yükselti farkı maksimum 2 m olmaktadır.



Şekil 3.13. Ölçme alanı

3.3.5. Ölçme Alanı Değerlendirmesi

Ölçüm yapılan alan sık yapraklı ormanlık alanların modellenmesi için uygun bir alan olarak görülebilir. Ayrıca nem oranı düşük ve ağaç yapısı düzgündür. Ölçüm yapılan alan içerisinde arazi zemini kayalık yapılardan oluşmaktadır.



Şekil 3.14. Ölçme alanı ağaç modellemesi

Ölçme alanı içerisindeki ağaçların modellenmesi gerçekleştirildiğinde ağaçları çevreleyen Şekil 3.15. 'de görülen bir dikdörtgenler prizması düşünülürse bu prizmanın tabanını oluşturan dikdörtgenin eni ve boyu 6 ve 3 m, prizmanın yüksekliği ise 8 m olacaktır. Ağaç ise bir koni içine yerleştirildiğinde bu koni 3 m yarıçapında ve 8 m yüksekliğinde olacaktır. Buna göre ağaç ve yapraklarının dikdörtgenler prizması içinde kapladıkları hacim yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Ağacı çevreleyen dikdörtgenler prizmasının hacmi,

$$V_d = e \times b \times z = 6 \times 6 \times 8 = 144 \text{ m}^3 \quad (34)$$

Burada:

- V_d Dikdörtgenler prizmasının hacmi (m^3),
- e Prizmanın tabanını oluşturan dikdörtgenin boyu (m),
- b Prizmanın tabanını oluşturan dikdörtgenin eni (m),
- z Prizmanın yüksekliği(m) olarak gösterilmiştir.

Ağacı içine alan koninin hacmi,

$$V_k = \frac{\pi \times r^2 \times h}{3} = \frac{\pi \times 3^2 \times 8}{3} = 75 \text{ m}^3 \quad (35)$$

Burada:

V_k Koninin hacmi (m^3),

r Konin tabanını oluşturan dairenin yarıçapı (m),

h Koninin yüksekliği(m) olarak gösterilmiştir.

Dikdörtgenler prizmasında ağacın doldurduğu hacim yüzdesi,

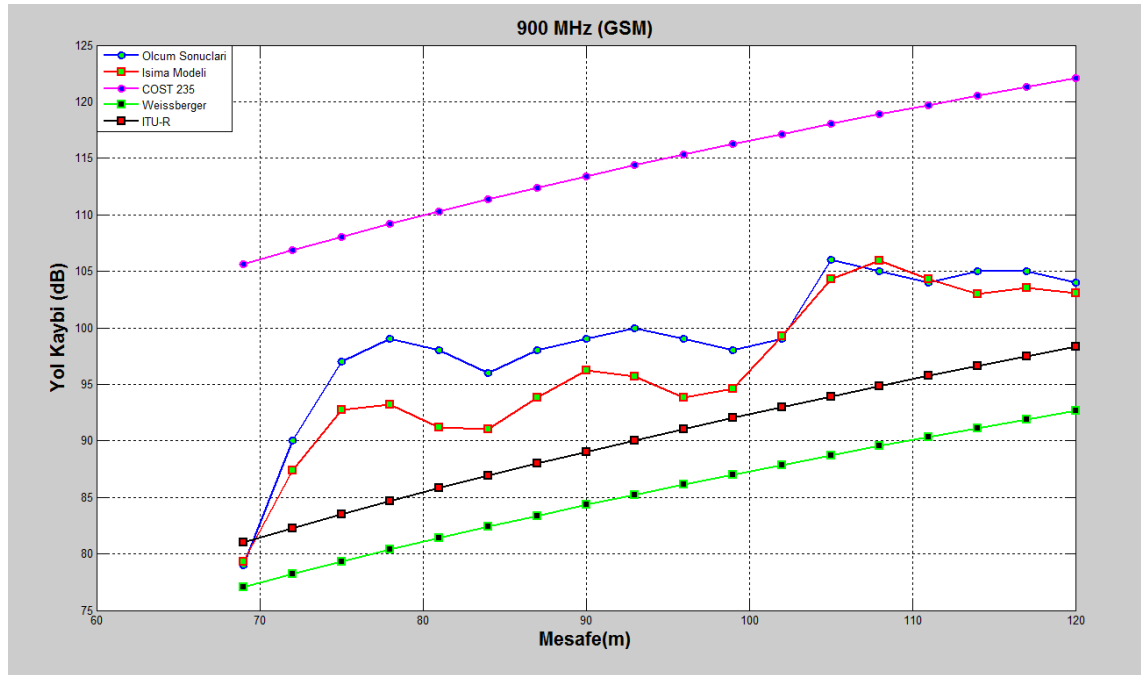
$$\%V = \frac{V_k \times 100}{V_d} = \frac{75 \times 100}{144} = \%52.33 \quad (36)$$

olarak hesaplanmıştır. Ölçme alanı ile yapılan yukarıdaki hesaplamalar EK-2' de gösterilen ormanlık alan ölçümleri mesafe ağaç oranı tablosunda birim metre başına düşen ağaç sayısı analizinde kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Açık alan yol kaybı denkleminde yola çıkarak hesaplamaların gerçekleştirildiği ve üçüncü bölümde matematiksel temellerinin oluşturulduğu ışıma modellemesinin sonuçları ölçüm değerleri ile karşılaştırdığında ölçüm sonuçları ile matematiksel hesaplamalar birbiriyle uyushmaktadır.

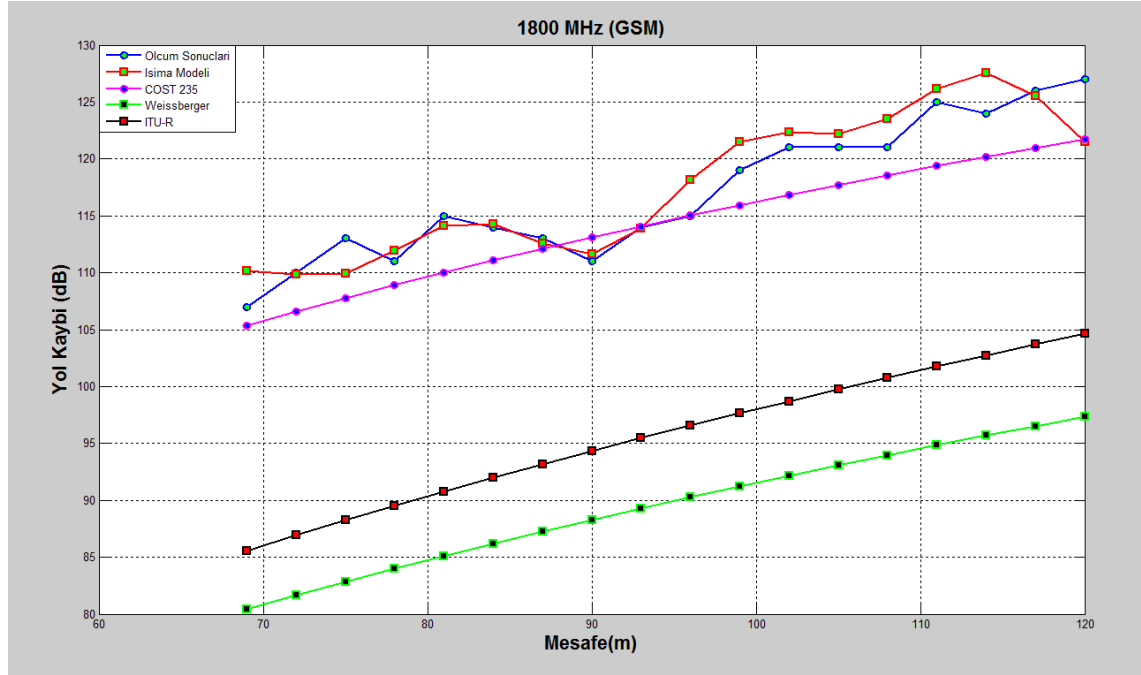
Şekil 4.1. incelendiğinde GSM 900 frekansında mesafeye göre değişim analizi ve bilinen diğer modeller ile kıyaslanması görölmektedir. EK-2 tablosu incelenerek grafik yorumlandığında ağaç sayısının 7-10 arasında değiştiği ilk aralıkta oluşan yol kaybı daha fazladır. Ağaç sayısının 10-15 arası değiştiği aralıkta kayıp daha azdır.



Şekil 4.1. GSM 900 matematiksel hesaplamalar, ölçüm sonuçları ve bilinen orman modellemeleri arasındaki fark

Şekil 4.2. incelendiğinde benzer durum görölmektedir. EK-2 tablosu incelenerek grafik yorumlandığında ağaç sayısının 7-8 arasında değiştiği kısımda yol kaybı da daha

yüksektir. Ağaç sayısının 10-15 arasında değiştiği kısımda yol kaybı değişimi daha azdır. GSM 1800 için matematiksel hesaplama ile ölçülen değerler arasındaki fark GSM 900 ile ölçümlenenenden daha azdır. Bu etki temel olarak frekans değişimine bağlanabilir.

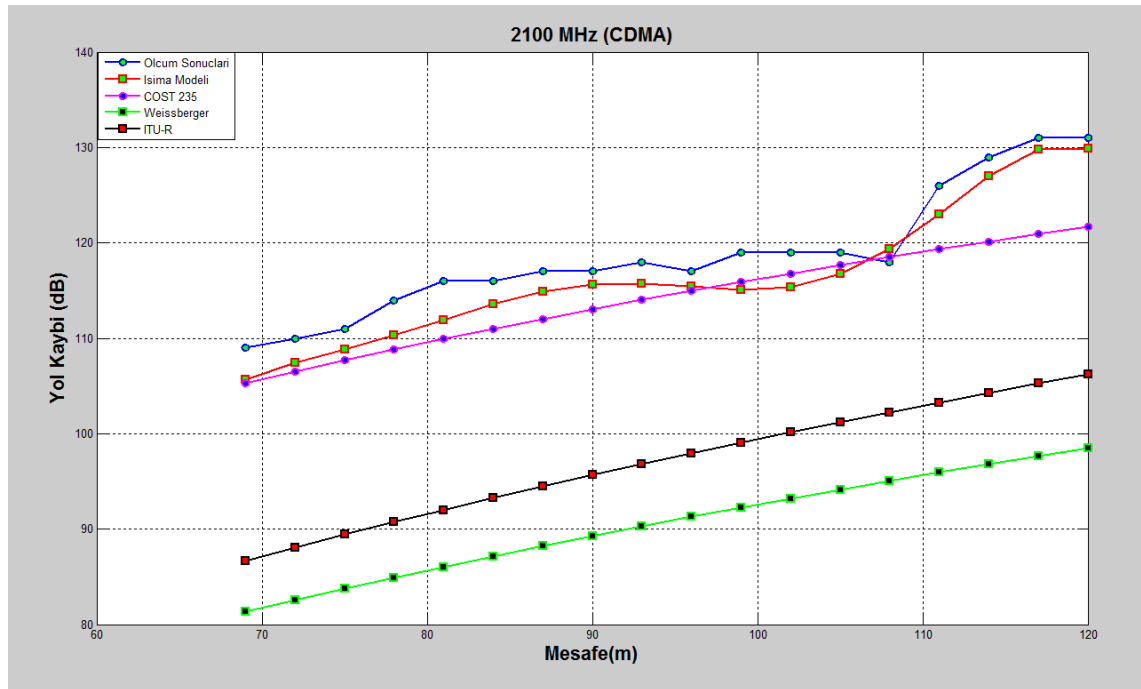


Şekil 4.2. GSM 1800 matematiksel hesaplamalar, ölçüm sonuçları ve bilinen orman modellemeleri arasındaki fark

Şekil 4.3. incelendiğinde ise sonuçlar biraz daha değişim göstermektedir. Yol kaybı EK-2 tablosu incelenerek grafik yorumlandığında ağaç sayısının 7-10 arasında değiştiği kısımda mesafeye göre daha yüksek seviyede artmıştır. Vericiye paralel gidilen ağaç sayısının 10-13 arasında değiştiği kısımda ise bu artış ağaç sayısındaki sayısındaki değişime oranla daha az bir düzeydedir.

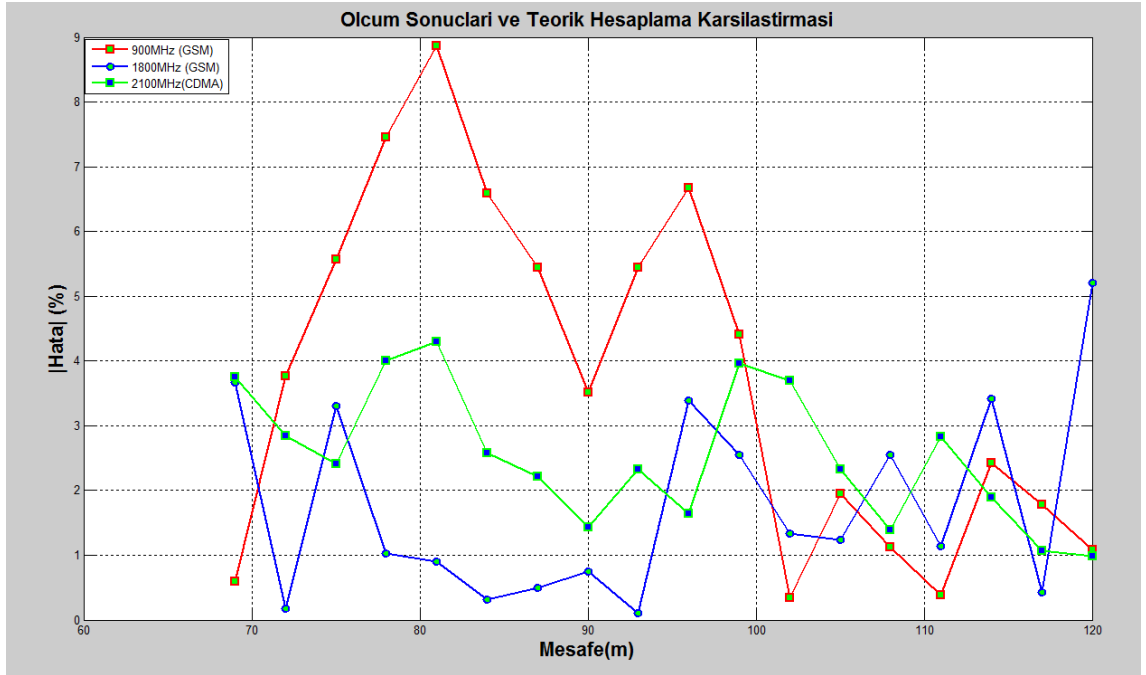
Ağaç sayısının 13 ile 15 arasında değiştiği kısımda ise yol kaybı ciddi bir artış göstermiştir. Bu değişim frekans ve modülasyona bağlanabilir. CDMA 2100 daha geniş banda sahiptir.

GSM 200 KHz'lik bir bant genişliği kullanırken CDMA 3.84 MHz'lik bir bant genişliği kullanmaktadır. Her üç frekans için şekiller değerlendirilirse vericiden uzaklaştıkça mesafeye bağlı olarak yol kaybı ciddi bir artış göstermiştir. Vericiye kısmen paralel gidilen ağaç aralığında ağaçların sinyali zayıflatma etkisi daha net görülmektedir.



Şekil 4.3. CDMA 2100 matematiksel hesaplamalar, ölçüm sonuçları ve bilinen orman modellemeleri arasındaki fark

Şekil 4.4. incelendiğinde ölçümlenen değerler ile teorik hesaplamalar arasındaki hata payı analizi görülmektedir. En iyi sonuçların GSM 1800 için alındığı ölçüm sonuçları ile matematiksel hesaplama arasında yaklaşık 2 dB fark olduğu, GSM 900 'da bu değer yaklaşık 3 dB, CDMA 2100 'de ise bu değer yaklaşık 2,5 dB olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4. GSM 900 /GSM 1800/ CDMA 2100 matematiksel hesaplamalar ve ölçüm sonuçları arasındaki hata payı

Çizelge 4.1. incelendiğinde her üç frekans için tasarımı yapılan ışıma modeli ile pratik ölçümler arasındaki ortalama ilişkili hata ve standart sapma değerleri görülmektedir. GSM 1800 için %1.66 olan hata GSM 900 için 3.93’ le re çıkmıştır. Standart Sapma değerleri incelendiğinde ise en yüksek sapmanın GSM 900 için olduğu görülmektedir.

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

Modulasyon/Frekans Bandı	Ortalama İlişkili Hata (%)	Standart Sapma
GSM 900	3.9302	2.6384
GSM 1800	1.6672	1.4693
CDMA 2100	2.4649	1.0382

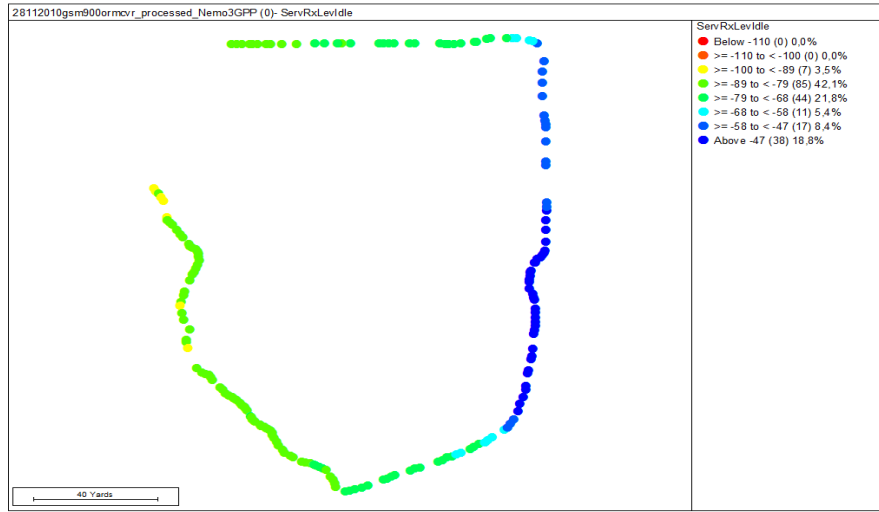
Ormanlık alanda yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlar incelendiğinde yol kaybı modellemesinin frekans, alıcı ve verici anten arasındaki mesafe ve alıcı-verici sistemler

arasındaki yükselti farkıyla bitki örtüsünün yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Aynı modülasyonda yapılan ölçümler sonucunda GSM 900 bandında ve GSM 1800 bandında yapılan ölçümlerde yol kaybı frekansa bağlı olarak değişmiştir. CDMA 2100 bandında bu değişim çok daha açık görülmektedir. Ormanlık alan içerisinde yapılan ölçümlerde de benzer sonuçlar ile karşılaşmıştır.

ACTIX programında çözümlenen veriler incelenmek istenirse öncelikle verileri okumak için temel bilgi olarak renk analizi yapmak gereklidir. Renkler arasında 10 dBm'lik bir fark vardır. Sinyal seviyesinin en iyi olduğu renk koyu mavi (-47 dBm ve altı) olarak gösterilirken, sinyal seviyesinin en zayıf olduğu renk koyu kırmızı (-110 dBm) olarak gösterilmektedir. Haritada renk olmayan yani beyaz olarak görülen kısımlar sinyalin öldüğü yani örnekleme alınamayan kısımlardır (-110 dBm ve üstü).

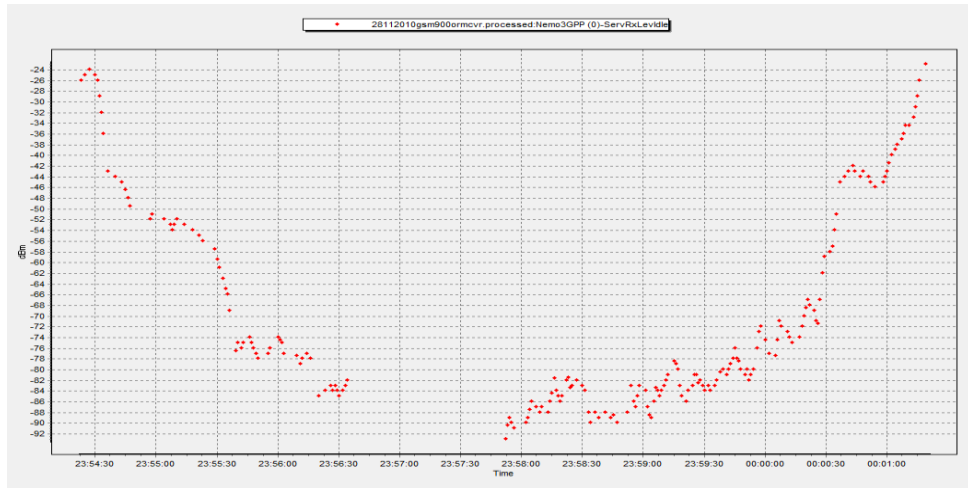


Şekil 4.5. Ormanlık alan genel görüntüsü



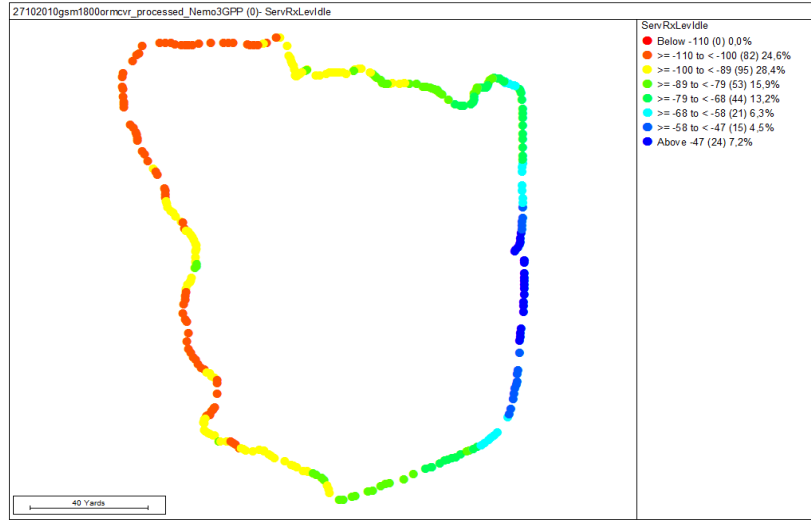
Şekil 4.6. GSM 900 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü

GSM 900 bandı için yapılan ölçüm esas alındığında zamana bağlı olarak alıcıdaki sinyal seviyesi değişimi Şekil 4.6.'de görülmektedir. Verici ile alıcı arasındaki mesafe artmamasına rağmen sinyal seviyesinde dalgalanmalar meydana gelmiştir. Bu dalgalanmalar bize mesafeden bağımsız olarak çevresel koşullara bağlı bir yol kaybı olduğunu göstermektedir.



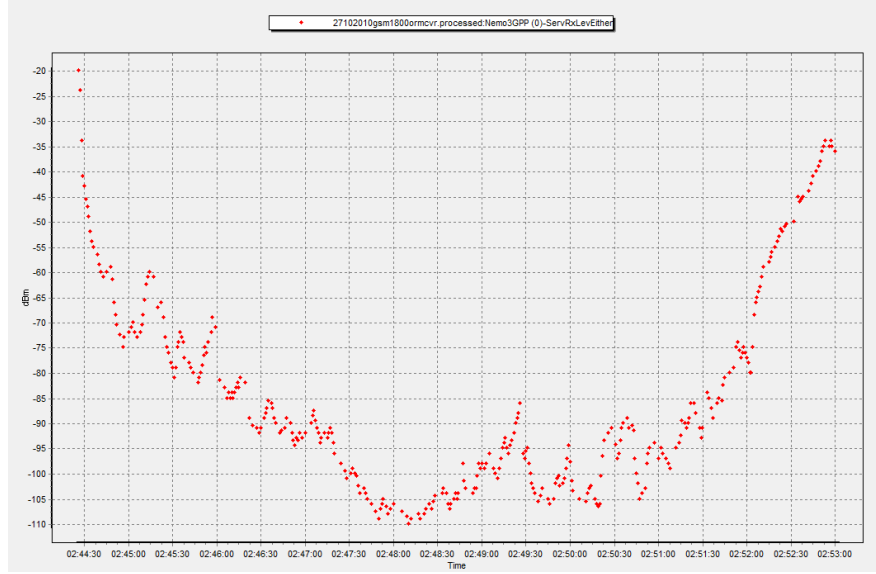
Şekil 4.7. GSM 900 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü zamana bağlı değişim

GSM 1800 bandı için ölçüm sonuçları incelendiğinde yine aynı dalgalanmalar göze çarpmaktadır. Fakat GSM 900 bandına göre ağaçların yoğun ve yükselti farkının fazla olduğu bölgede sinyal seviyesi iyi ölçümlenmiştir. Bu kısımda frekanstan bağımsız parametrelerin göze çarptığı görülmektedir. Şekil 4.8’ de bu etkiler harita üzerinde görülmektedir.



Şekil 4.8. GSM 1800 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü

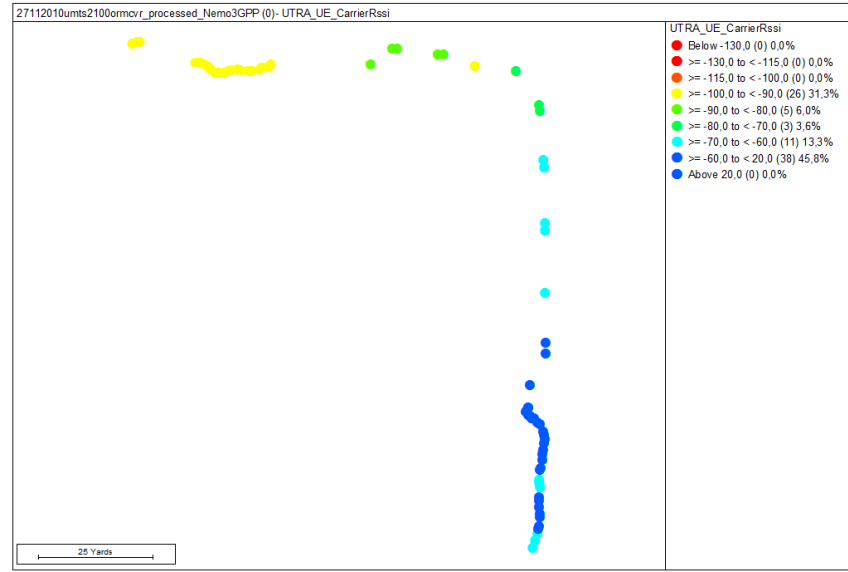
Ölçümdeki dalgalanmalar sinyal seviyesinin frekanstan bağımsız olarak ölçüm yapılan ortam ile uyumlu rezonans etkisini düşündürebilir. Ölçümler tekrarlanmasına rağmen GSM 1800 MHz frekansında yapılan ölçüm sonuçları GSM 900 MHz bandında yapılan ölçümlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Burada frekans değerinden bağımsız olarak sinyal zayıflamasını tetikleyen farklı bir etken düşünülebilir. Bundan 900 MHz yakın diğer frekansların harmonikleri ölçüm yaptığımız frekans için zayıflatıcı etkide bulunması ihtimali değerlendirilmiştir. Fakat ortamda ölçüm yaptığımız frekans değerini zayıflatacak komşu frekans bulunmamaktadır. Sonuçları incelediğimizde GSM 900 ve GSM 1800 ölçümleri için bu etki yapılan hesaplamalar ile uyumludur. Matematiksel olarak hesapladığımız değer ile en yüksek hata payı GSM 900 ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasında çıkmıştır. Şekil 4.9. ‘da GSM 1800 için zamana bağlı değişim görülmektedir.



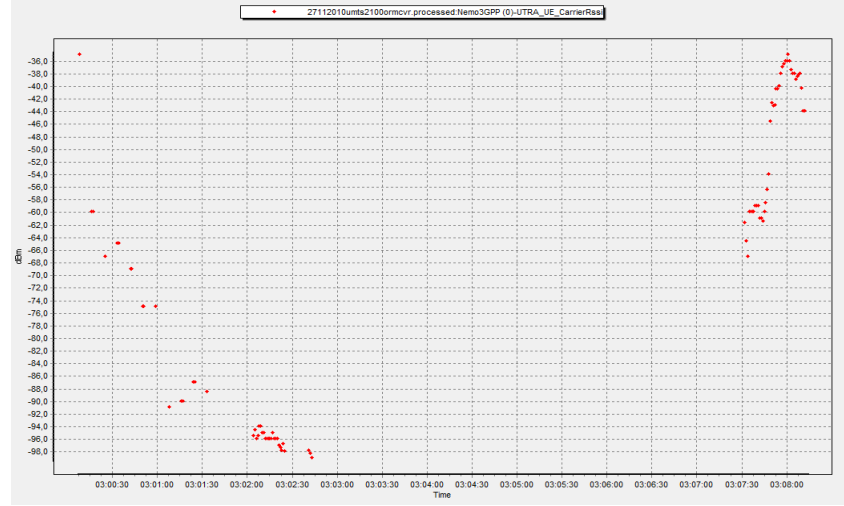
Şekil 4.9. GSM 1800 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü zamana bağlı değişim

CDMA 2100 frekansı için yapılan ölçümler için sonuçların frekansa bağlı olduğu görülmektedir. Sinyal seviyesinin yol kaybına bağlı olarak düşüşü diğer ölçümlere göre çok daha fazladır. Farklı modülasyon teknikleri için gerekli farklı yol kaybı modellemesi çevre koşullarına göre yapılmasının önemini göstermektedir (Pey vd 2010)

CDMA 2100 matematiksel hesaplama ile ölçümlenen değerler birbirine uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde CDMA 2100 için hata payının bu kadar az olması frekanstan bağımsız olarak modülasyonun matematiksel hesaplamalar için önemini göstermektedir. Işıma modeli için bir kıstas olarak modülasyon etkisi değerlendirilmelidir. Şekil 4.10. ve şekil 4.11. 'de zamana bağlı değişim ve haritaya dökümü CDMA 2100 frekansı için görülmektedir.

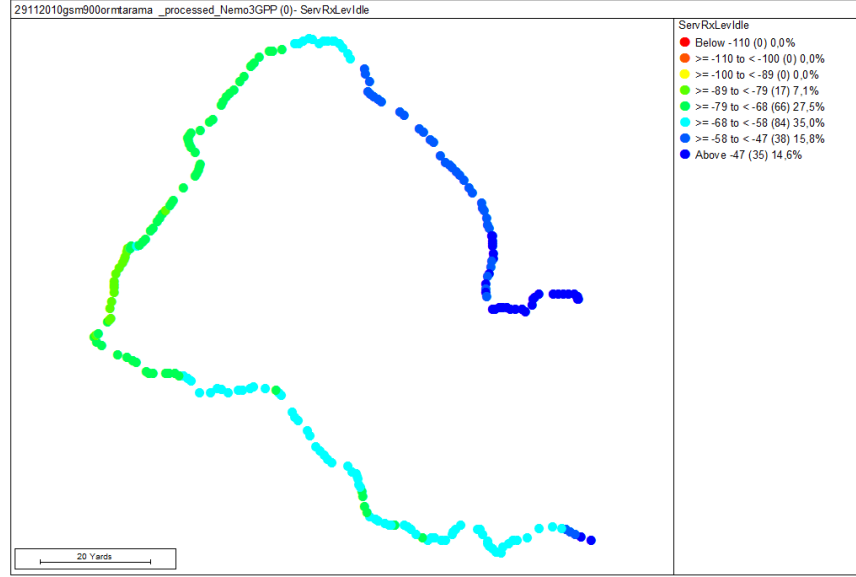


Şekil 4.10. CDMA 2100 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü

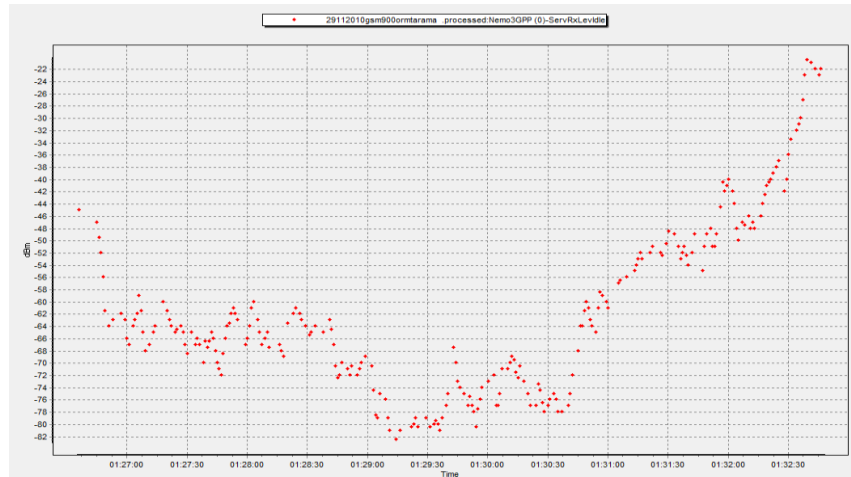


Şekil 4.11. CDMA 2100 bandında yapılan ormanlık alan çevre ölçümü zamana bağlı değişimi

Şekil 4.12. ormanlık alan da GSM 900 için gerçekleştirilen tarama ölçümlerini göstermektedir. Vericiden uzaklaştıkça sinyal zayıflaması görülmektedir.

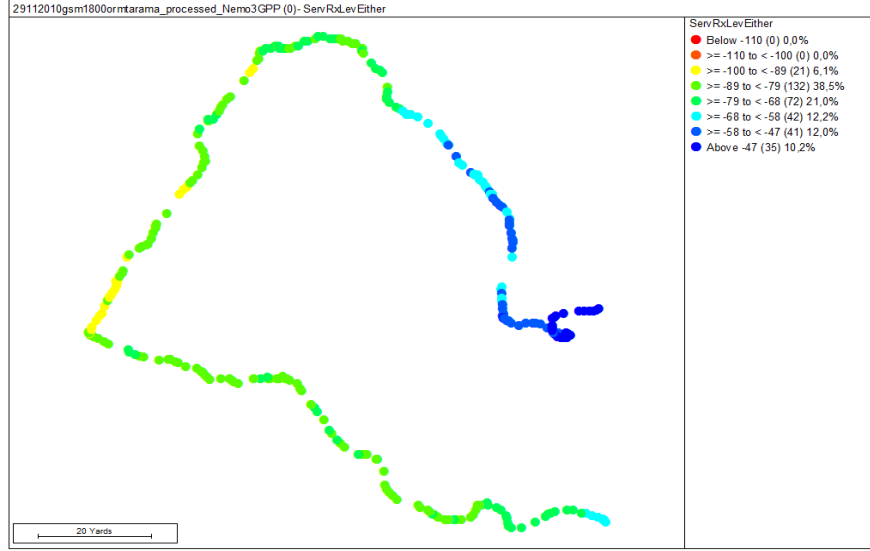


Şekil 4.12. GSM 900 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü

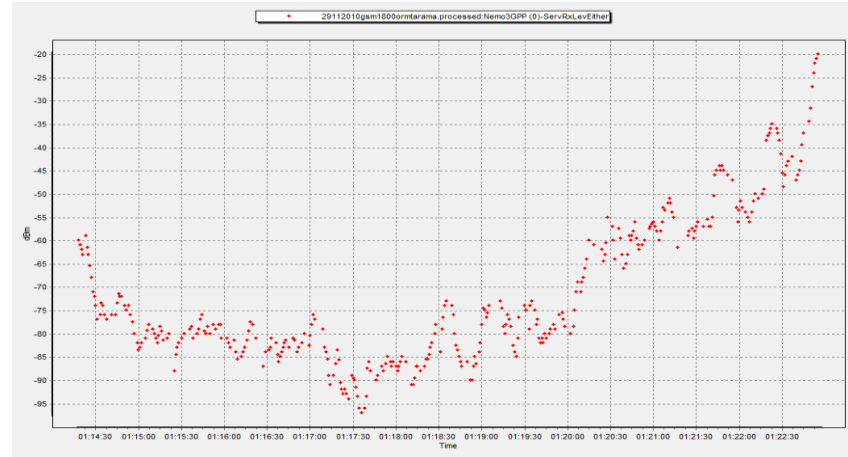


Şekil 4.13. GSM 900 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü zamana bağlı değişimi

Şekil 4.14. Ormanlık alanda GSM 1800 için gerçekleştirilen tarama ölçümlerini göstermektedir.

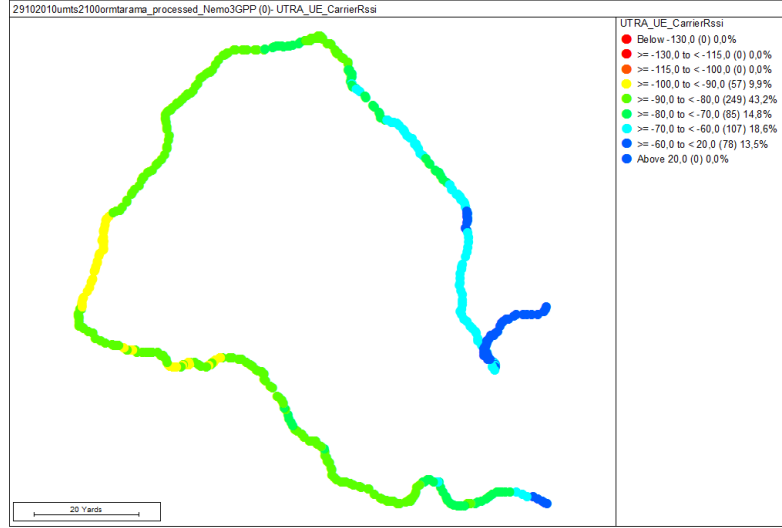


Şekil 4.14. GSM 1800 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü

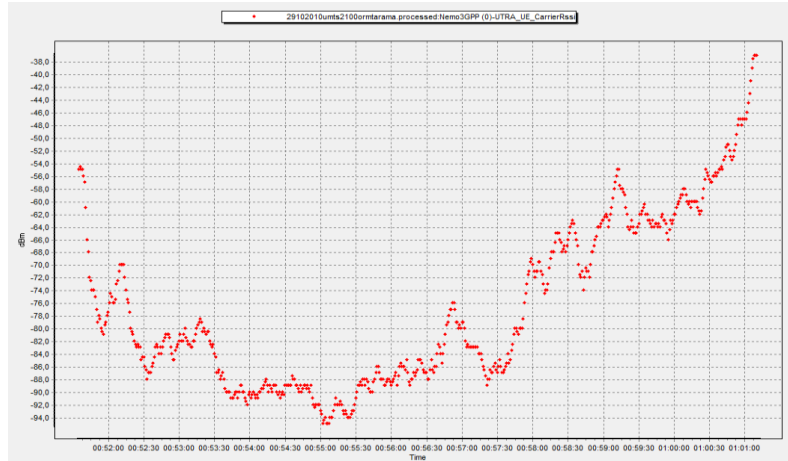


Şekil 4.15.—GSM 1800 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü zamana bağlı değişimi

Şekil 4.16. Ormanlık alanda CDMA 2100 için gerçekleştirilen tarama ölçümlerini göstermektedir.



Şekil 4.16. CDMA 2100 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü



Şekil 4.17. CDMA 2100 bandında yapılan ormanlık alan tarama ölçümü zamana bağlı değişimi

5. SONUÇ

Çağımızda kesintisiz iletişimin her türlü çevre koşulunda sağlanması büyük önem taşımaktadır. Ormanlık alanda bir ısıma modeli oluşturulması kesintisiz iletişim için gerekli altyapının en uygun maliyet ile gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Ormanlık alanda iletişimin sağlanması başta güvenlik olmak üzere insanların her türlü ihtiyaçları için büyük önem ifade etmektedir. Gelişen teknoloji ile insanlar her türlü ortamda e-postalarını takip etmek, akıllı sistemler ile evlerinin güvenliğini sağlamak, mobil imza ile her türlü bankacılık işlemlerinin kesintisiz her ortamda gerçekleştirmek istemektedirler. Bu ve diğer sebepler ormanlık alanda bir ısıma modelinin en az hata ile gerçekleştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Ampirik yöntemle böyle bir ısıma modelinin çok az hata ile gerçekleştirilebilmesi bu çalışma ile ispatlanmıştır.

Açık alan ölçümleri temel alınarak, üzerine yapılacak tipik alan ölçümleri (problemde ormanlık alan) kullanıldığında çok iyi çalışan ampirik ısıma modellemelerinin elde edilmesinin mümkün olduğu bu çalışmada gösterilmiştir. Bir örnek vermek istenirse, 30 metre kule üzerine konulmuş bir vericinin açık alanda yaptığı ısıma esas alınarak 30 metre yükseklikte binaların bulunduğu bölgede yapılan ölçümlerden hareketle böyle bir bölge içinde ampirik ısıma modeli elde edilmesi mümkündür.

6. KAYNAKLAR

AZEVEDO, J. A. R. and SANTOS, F. E. S. 2011. An Empirical Propagation Model for Forest Environments at Tree Trunk Level. *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, VOL. 59, NO. 6.

BALANİS, C. A. 2005. Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition. John Wiley&Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.

BİTİRGAN, M. , ÇELİK, S. , YÖRÜK, Y.E. , BAŞYİĞİT, B. , HELHEL, S. 2010. 3. Nesil Şebekelerde Aynı Hücrede İki Farklı Taşıyıcı Frekans Kullanılması. ODTU Kuzey Kıbrıs Kampusü , V.URSI, Türkiye 2010 Bilimsel Kongresi.

BİTİRGAN, M. , ÇELİK S. , YÖRÜK, Y.E. , HELHEL, S. , ÖZEN, Ş. 2011. Generation Of An Empiric Propagation Model For Forest Environment At GSM 900 / GSM 1800 / CDMA 2100. URSI GASS 2011, İstanbul/TURKEY, 13-20 August 2011.

CCIR 1986. In Uences Of Terrain Irregularities And Vegetation On Troposphere Propagation, CCIR Report, 235;236

ÇELİK, S. , YÖRÜK, Y.E. , BİTİRGAN, M. , BAŞYİĞİT, B. , HELHEL, S. , ÖZEN, Ş. 2011. Indoor To Outdoor Propagation Loss Prediction At GSM 900 / GSM 1800 / CDMA 2100. URSI GASS 2011 İstanbul/TURKEY, 13-20 August 2011.

EGLİ, J.J. 1957. Radio Propagation above 40 MC over Irregular Terrain. *Proceedings of the IRE (IEEE)*,1383-139.

ERICSSON İç Eğitim Dokümanları, 2010. Turkcell Arşivi.

GOLDMAN, J. and SWENSON, JR. G. W. 1999. Radio Wave Propagation Through Woods. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 34;36.

HATA, M. , 1980. Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services. *IEEE Trans. Vehicular Technology*, 317 – 325.

HELHEL, S. 1997. 900 MHz Dalga Boyunda Elektromanyetik Alanların Kapalı Ortamda Işıması. Gebze Yüksek teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

KOVACS I.Z., EGGERS P.C.F., OLESEN K. 1999. Radio Channel Characterisation for Forest Environments in the VHF and UHF Frequency Bands.

MATLAB R2009B, 2009. Help Document , CURVE-FIT Applications.

MENG Y. S. , LEE Y. H., NG B. C. 2010. Path Loss Modeling For Near-Ground VHF Radio-Wave Propagation Through Forests With Tree-Canopy Reflection Effect. *Progress In Electromagnetics Research M*,12-131-141.

MENG Y.S. , YEE H.L. , CHONG B. 2009. Empirical Near Ground Path Loss Modeling in a Forest at VHF and UHF Bands. *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, VOL. 57, NO. 5.

OKUMURA, Y., OHMORI, E., KAWANO, T., FUKUA, K. 1968. Field Strength And Its Variability In Uhf And Vhf Land-Mobile Radio Service. *Rev. Elec. Commun. Lab.*

PEY, L.Y. and MARDENİ, R 2010. The Optimization of Okumura's Model for Code Division Multiple Access (CDMA) System in Malaysia. *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X Vol.45 No.4 , pp.508-528.

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

SOFOS, T. and CONSTANTINO, DR. P. 2004. Propagation Model For Vegetation Effects In Terrestrial And Satellite Mobile Systems. National Technical University of Athens Department of Electrical and Computer Engineering Mobile Radio communications Laboratory 9 Iroon Politechniou.

SEKER, S. ve KUNTER, F.C. 2011. Multi-Components Mobile Propagation Model of Park Environment. *IEEE Transactions On Magnetics*, VOL. 47, NO. 5.

WEISSBERGER, M. A. 1981. An initial critical summary of models for predicting the attenuation of radio waves by foliage. Electromagnetic Compatibility Analysis Center, Annapolis, MD.

7. EKLER

EK-1 AÇIK ALAN ÖLÇÜMLERİ

rx level 900	Mesafe (m)	rx level 1800(dbm)	umts level 2100(dbm)
-21	0	-38	-44
-26	3	-44	-45.5
-33	6	-45	-52.5
-38	9	-48	-55
-40	12	-49	-58.5
-46	15	-50	-60
-48	18	-55	-60
-50	21	-54	-63
-51	24	-54	-63.5
-52	27	-59	-63
-54	30	-60	-63
-54	33	-70	-65.5
-54	36	-72	-70
-54	39	-67	-71
-56	42	-67	-71
-58	45	-66	-72
-59	48	-67	-71
-58	51	-70	-71
-59	54	-68	-70.5
-59	57	-64	-69
-60	60	-63	-69
-59	63	-62	-68
-57	66	-61	-68
-56	69	-62	-68
-59	72	-64	-69
-62	75	-68	-70
-64	78	-66	-71
-66	81	-66	-71
-65	84	-66	-72
-64	87	-66	-72
-63	90	-67	-71.5
-67	93	-70	-72
-65	96	-68	-72.5
-67	99	-68	-73
-65	102	-68	-73
-64	105	-66	-74
-64	108	-68	-74
-65	111	-70	-73
-67	114	-72	-75
-66	117	-77	-75.5
-68	120	-76	-76

EK-2 ORMANLIK ALAN ÖLÇÜMLERİ MESAFE AĞAÇ ORANI

Mesafe(m)	GSM900(dbm)	GSM1800(dbm)	UMTS2100(dbm)	ağaç/m	ağaç sayısı
0	-25	-20	-35	0	0
3	-26	-41	-45	0	0
6	-36	-48	-60	0	0
9	-43	-54	-60	0	0
12	-44	-57	-63	0	0
15	-47	-60	-65	0	0
18	-48	-61	-67	0	0
21	-50	-60	-66	0	0
24	-50	-62	-65	0	0
27	-52	-69	-65	0	0
30	-52	-73	-65	0	0
33	-51	-75	-66	0	0
36	-52	-72	-67	0	0
39	-52	-71	-69	0	0
42	-53	-72	-69	0	0
45	-53	-73	-72	0	0
48	-52	-69	-74	0	0
51	-53	-75	-75	0	0
54	-53	-85	-75	0	0
57	-54	-83	-75	0	0
60	-55	-82	-91	0	0
63	-56	-91	-90	0	0
66	-56	-89	-87	0	0
69	-58	-86	-88	0.1	6.9
72	-69	-89	-89	0.1	7.2
75	-76	-92	-90	0.1	7.5
78	-78	-90	-93	0.1	7.8
81	-77	-94	-95	0.1	8.1
84	-75	-93	-95	0.1	8.4
87	-77	-92	-96	0.1	8.7
90	-78	-90	-96	0.1	9
93	-79	-93	-97	0.1	9.3
96	-78	-94	-96	0.1	9.6
99	-77	-98	-98	0.1	9.9
102	-78	-100	-98	0.13	13.26
105	-85	-100	-98	0.13	13.65
108	-84	-100	-97	0.13	14.04
111	-83	-104	-105	0.13	14.43
114	-84	-103	-108	0.13	14.82
117	-84	-105	-110	0.13	15.21
120	-83	-106	-110	0.13	15.6

Mesafe(m)	GSM900(dbm)	GSM1800(dbm)	UMTS2100(dbm)	ağaç/m	ağaç sayısı
120	-87	-99	-110	0.16	19.2
117	-88	-96	-110	0.155	18.135
114	-86	-101	-109	0.155	17.67
111	-85	-94	-108	0.155	17.205
108	-86	-94	-108	0.155	16.74
105	-80	-97	-107	0.155	16.275
102	-81	-99	-105	0.155	15.81
99	-81	-93	-110	0.15	14.85
96	-78	-89	-110	0.1375	13.2
93	-72	-87	-110	0.1375	12.7875
90	-75	-88	-110	0.1375	12.375
87	-77	-85	-110	0.1375	11.9625
84	-78	-86	-110	0.1375	11.55
81	-72	-81	-110	0.125	10.125
78	-73	-80	-110	0.1275	9.945
75	-75	-79	-110	0.1275	9.5625
72	-73	-75	-110	0.1275	9.18
69	-72	-77	-110	0.1275	8.7975
66	-69	-76	-110	0.1275	8.415
63	-69	-78	-110	0.1275	8.0325
60	-72	-70	-110	0.13	7.8
57	-59	-64	-110	0.14	7.98
54	-58	-59	-110	0.14	7.56
51	-54	-58	-110	0.14	7.14
48	-50	-56	-110	0.14	6.72
45	-44	-55	-110	0.14	6.3
42	-43	-53	-110	0.14	5.88
39	-43	-52	-110	0.14	5.46
36	-44	-51	-110	0.14	5.04
33	-43	-51	-110	0.14	4.62
30	-44	-50	-61	0.15	4.5
27	-46	-45	-67	0	0
24	-45	-46	-60	0	0
21	-44	-45	-59	0	0
18	-42	-44	-61	0	0
15	-39	-41	-58	0	0
12	-37	-39	-45	0	0
9	-35	-35	-43	0	0
6	-33	-35	-38	0	0
3	-26	-35	-38	0	0
0	-23	-36	-40	0	0

EK-3 MATLAB PROGRAM KODLARI

```
clc; clear all; load open.dat; load verilergsmall.dat;
for i=24:41 %acikalan verisi, olcum verisi, agac sayisi, mesafe ve
Lveg hesabi - 24 ve 41. datalar arasi
    acik9(i-23)=open(i,1); acik18(i-23)=open(i,3); acik21(i-
23)=open(i,4);
    orman9(i-23)=verilergsmall(i,2); orman18(i-
23)=verilergsmall(i,3); orman21(i-23)=verilergsmall(i,4);
    agac(i-23)=verilergsmall(i,7); dist(i-23)=verilergsmall(i,1);
    lvege9(i-23)=78.68*sin(0.0855*dist(i-23)-
0.375)+66.44*sin(0.0987*dist(i-23)+1.548)+2.7*sin(0.4057*dist(i-
23)+8.811);
    lvege18(i-23)=29.94*sin(0.02284*dist(i-
23)+5.479)+3.717*sin(0.1529*dist(i-23)-2.814)+2.06*sin(0.393*dist(i-
23)+6.795);
    lvege21(i-23)=79.92*sin(0.0776*dist(i-
23)+0.5978)+223.6*sin(0.1221*dist(i-23)-0.2691)+169*sin(0.1313*dist(i-
23)+8.343);
end
gt=10^0.51; gr=1;
lamda9=(3*10^8)/(900*10^6); lamda18=(3*10^8)/(1800*10^6);
lamda21=(3*10^8)/(2100*10^6);

for i=1:18 %teorik path loss hesabi
    ploss9(i)=10*log10(gt*gr*(16/(dist(i)^4)))-lvege9(i)-
(10*log(900/900));
    ploss18(i)=10*log10(gt*gr*(16/(dist(i)^4)))-lvege18(i)-
(10*log(1800/900));
    ploss21(i)=10*log10(gt*gr*(16/(dist(i)^4)))-lvege21(i)-
(10*log(2100/900));

    LW9(i)=40*log10(dist(i))-
20*log10(4)+1.33*(0.9)^(0.284)*dist(i)^(0.588);
    LW18(i)=40*log10(dist(i))-
20*log10(4)+1.33*(1.8)^(0.284)*dist(i)^(0.588);
    LW21(i)=40*log10(dist(i))-
20*log10(4)+1.33*(2.1)^(0.284)*dist(i)^(0.588);

    ITU9(i)=40*log10(dist(i))-20*log10(4)+0.2*(900^0.3)*(dist(i)^0.6);
    ITU18(i)=40*log10(dist(i))-20*log10(4)+0.2*(1800^0.3)*(dist(i)^0.6);
    ITU21(i)=40*log10(dist(i))-
20*log10(4)+0.2*(2100^0.3)*(dist(i)^0.6);

    COST9(i)=40*log10(dist(i))-20*log10(4)+15.6*(900^(-
0.009))*(dist(i)^0.26); COST18(i)=40*log10(dist(i))-
20*log10(4)+15.6*(1800^(-0.009))*(dist(i)^0.26);
    COST21(i)=40*log10(dist(i))-20*log10(4)+15.6*(2100^(-
0.009))*(dist(i)^0.26);
end

meanL=[mean(lvege9);mean(lvege18);mean(lvege21)]; %L'lerin
ortalaması

for j=1:18 %%%%%%%%%%her bir mesafe icin 900, 1800 ve 2100
Lveg'lerinin ortalaması
    orta(j)=(15+lvege9(j)+lvege18(j)+lvege21(j))/3;
```

end

```
% figure; %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%teorik hesaplamanin frekansa gore
kiyaslanmasi
% plot(agac,21-ploss9,'-rs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
hold on; plot(agac,0-ploss18,'-
bo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
% plot(agac,0-ploss21,'-gs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','b');
% xlabel('Number of Trees on the
Path','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Path Loss
(dB)','fontsize',16,'fontweight','b');
% title('teorik hesaplama vs. agac','fontsize',16,'fontweight','b');
% h = legend('900MHz','1800MHz','2100MHz',3);
set(h,'Interpreter','none'); grid;
%
% figure; %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%freespace olcumlerin frekansa gore
kiyaslanmasi
% plot(agac,21-acik9,'-rs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
hold on; plot(agac,21-acik18,'-
bo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
% plot(agac,21-acik21,'-gs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','b');
% xlabel('Number of Trees on the
Path','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Path Loss
(dB)','fontsize',16,'fontweight','b');
% title('OLCUM vs. agac','fontsize',16,'fontweight','b');
% h = legend('900MHz','1800MHz','2100MHz',3);
set(h,'Interpreter','none'); grid;
%
% figure; %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Lveg'lerin frekansa gore
kiyaslanmasi
% plot(dist,15+lvege9,'-rs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
hold on; plot(dist,lvege18,'-
bo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
% plot(dist,lvege21,'-gs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','b');
% xlabel('mesafe','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Path
Loss (dB)','fontsize',16,'fontweight','b');
% title('Lveg vs. mesafe','fontsize',16,'fontweight','b');
% h = legend('900MHz','1800MHz','2100MHz',3);
set(h,'Interpreter','none'); grid;

mesafe=69:3:120;
figure; %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% 900 MHz'de kiyaslama
plot(mesafe,21-orman9,'-bo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
hold on; plot(mesafe,21-ploss9,'-
rs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
plot(mesafe,COST9,'-mo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','b');
plot(mesafe,LW9,'-gs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','k');
plot(mesafe,ITU9,'-ks','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','r');
xlabel('Mesafe(m)','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Yol
Kaybi (dB)','fontsize',16,'fontweight','b');
title('900 MHz (GSM)','fontsize',16,'fontweight','b');
h = legend('Olcum Sonuclari','Isima Modeli','COST
235','Weissberger','ITU-R',5);
set(h,'Interpreter','none'); grid;

figure; %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%1800 MHz'de kiyaslama
```

```

plot(mesafe,21-orman18,'-bo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
hold on; plot(mesafe,21-ploss18,'-rs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
plot(mesafe,COST18,'-mo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','b');
plot(mesafe,LW18,'-gs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','k');
plot(mesafe,ITU18,'-ks','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','r');
xlabel('Mesafe(m)','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Yol Kaybi (dB)','fontsize',16,'fontweight','b');
title('1800 MHz (GSM)','fontsize',16,'fontweight','b');
h = legend('Olcum Sonuclari','Isima Modeli','COST 235','Weissberger','ITU-R',5);
set(h,'Interpreter','none'); grid;

figure; %%%%%%%%%%%%%2100 MHz'de kiyaslama
plot(mesafe,21-orman21,'-bo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
hold on; plot(mesafe,21-ploss21,'-rs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
plot(mesafe,COST21,'-mo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','b');
plot(mesafe,LW21,'-gs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','k');
plot(mesafe,ITU21,'-ks','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','r');
xlabel('Mesafe(m)','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('Yol Kaybi (dB)','fontsize',16,'fontweight','b');
title('2100 MHz (CDMA)','fontsize',16,'fontweight','b');
h = legend('Olcum Sonuclari','Isima Modeli','COST 235','Weissberger','ITU-R',5);
set(h,'Interpreter','none'); grid;

%%%%%%%%%%%%%yuzde olarak error hesabi
fark1=orman9-ploss9; fark2=orman18-ploss18; fark3=orman21-ploss21;
error1=abs(100*(fark1./orman9)); error2=abs(100*(fark2./orman18));
error3=abs(100*(fark3./orman21));

%%%%%%%%%%%%%900,1800 ve 2100'de farklar
figure;
plot(mesafe,error1,'-rs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
hold on; plot(mesafe,error2,'-bo','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','g');
plot(mesafe,error3,'-gs','LineWidth',1.5,'MarkerFaceColor','b');
xlabel('Mesafe(m)','fontsize',16,'fontweight','b'); ylabel('|Hata| (%)','fontsize',16,'fontweight','b');
title('Olcum Sonuclari ve Teorik Hesaplama Karsilastirmasi','fontsize',16,'fontweight','b');
h = legend('900MHz (GSM)','1800MHz (GSM)','2100MHz (CDMA)',3);
set(h,'Interpreter','none'); grid;

for i=1:17 %ilk data erroru cok buyuk oldugu icin hesaptan cikartiliyor
    err1(i)=error1(i+1); err2(i)=error2(i+1);
    err3(i)=error3(i+1);
end

ortalama=[mean(err1);mean(err2);mean(err3)];
sapma=[std(err1);std(err2);std(err3)];

ortalamaL=[mean(lvege9);mean(lvege18);mean(lvege21)];

```

ÖZGEÇMİŞ

Murat BİTİRGAN 1982 yılında Çorum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 2000 yılında Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimini tamamlayarak Elektrik ve Elektronik Mühendisi unvanını aldı. Şu anda Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.’de Planlama ve Optimizasyon mühendisi olarak görev yapmaktadır.