



EGE ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İZMİR ve ÇEVRESİNDE 900 - 2100 MHZ BANDINDA
AÇIK ALANDA RADYO DALGASI YAYILIMININ
MODELLENMESİ**

Erdem EKİZ

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Radosveta Sokullu

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 609.02.00

Sunuş Tarihi: 05.09.2011

E. Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bornova-İZMİR

2011

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**İZMİR ve ÇEVRESİNDE 900 - 2100 MHZ BANDINDA
AÇIK ALANDA RADYO DALGASI YAYILIMININ
MODELLENMESİ**

Erdem EKİZ

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Radosveta Sokullu

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 609.02.00

Sunuş Tarihi: 05.09.2011

Bornova-İZMİR

2011

Erdem EKİZ tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “İzmir ve Çevresinde 900 - 2100 Mhz Bandında Açık Alanda Radyo Dalgası Yayılımının Modellenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 05.09.2011 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:**İmza**

Jüri Başkanı	:
Raportör Üye	:
Üye	:

ÖZET**İZMİR ve ÇEVRESİNDE 900 - 2100 MHZ BANDINDA
AÇIK ALANDA RADYO DALGASI YAYILIMININ
MODELLENMESİ**

EKİZ, Erdem

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Tez Yöneticisi: Yard. Doç. Dr. Radosveta Sokullu
Eylül 2011, 128 sayfa

Hücreli ağlar tasarlanırken, hizmet verilecek bölgedeki dalga yayılım özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Kurulacak yeni bir vericinin veya mevcut vericiler üzerinde yapılacak bir tadilatın kapsamayı nasıl etkileyeceğini tahmin etmek için radyo dalgası yayılım modellerine başvurulur.

Türkiye’de 2. nesil ve 3. nesil hücreli şebekeler 900, 1800 ve 2100 Mhz frekans bantları üzerinden yayın yapmaktadırlar. 3. nesil şebekelerde tüm vericiler aynı frekans üzerinden yayın yapar ve bu yüzden 3. nesil şebekeler sinyal girişimine karşı oldukça hassastır. Bu durumda benzetim için kullanılacak radyo dalgası yayılım modelinin gerçeğe yakın benzetim sonuçları vermesinin önemi daha da artmaktadır. Farklı bölgelerin coğrafi şekilleri ve bina yapıları farklılık gösterdiği için kullanılan benzetim modellerinin isabet oranları da bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu projede Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri sinyal seviyesi benzetim çalışmaları için kullanılmış ve İzmir’den yapılan gerçek sinyal seviyesi ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Şehir dense urban, urban ve suburban olarak alt bölümlere ayrılmış ve karşılaştırmalar 900, 1800 ve 2100 Mhz bantları için ayrı ayrı yapılmıştır. Karşılaştırmak kıstası olarak ortalama hata ve standart sapma kullanılmıştır. Karşılaştırma çalışmaları sonucunda, ölçüm yapılan on bölgenin yedisinde Algorithm 9999’un gerçeğe en yakın benzetim sonuçlarını verdiği ve benzetim yapılan çevrenin bina ve coğrafi yapısı ne kadar çok hesaba katılırsa, benzetim sonuçlarının o kadar gerçeğe yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Hücreli ağ, ölçüm, GSM, UMTS, RF yayılım modeli

ABSTRACT**COMPARISON of PATH LOSS PREDICTION MODELS for
CELLULAR NETWORKS in İZMİR at 900 - 2100 MHZ BANDS**

EKİZ, Erdem

MSc in Electrical-Electronics Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Radosveta Sokullu

September 2011, 128 pages

In cellular network design, it is important to know the propagation characteristics of the radio channel. By performing simulations calculated by propagation models over the area of demand, the change in the network coverage can be predicted. The more accurate the prediction model, easier it gets to develop the cellular network.

In Turkey, both second and third generation networks are on air. In second generation networks, the tolerance against interference is greater when compared to third generation networks. In order to prevent the transmitters to interfere each other, the overlapping of different base stations' serving areas must be minimized. To achieve this, the radio network must be designed carefully. At this point the accuracy of the propagation model used is vital. Due to the terrain profiles in each territory, the best performing prediction model is different for every single area of demand. The path loss prediction model must be chosen wisely.

In this project three path loss models were used to predict the path loss in three different frequency bands. Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami and Algorithm 9999 were used to predict the path loss in certain areas of Izmir, Turkey. In this study, the simulation results were compared to real signal strength measurements obtained from live GSM and WCDMA cellular networks. It was found that Algorithm 9999 is the most suitable propagation model among the compared models for the dense urban, urban and suburban environments of İzmir. It is concluded that the more environment data taken into account, more accurate path loss predictions were performed.

Keywords: Path loss, measurement, propagation model, UMTS, GSM.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca teknik bilgileriyle bana yol gösteren Can Arslanalp'a, gerekli verileri sağlamamda kolaylık sağlayan Mehmet Becerik'e, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Onur Daştan, Ulaş Boztepe, Kuthan Kurt ve Şule Dik'e, ölçümleri yapmamda gece gündüz demeden yardımına koşan Poyraz Baklan ve Selahattin Baygut'a, teknik donanımları ve birikimleri ile yanımda olan Avea İletişim Hizmetleri A.Ş. başta olmak üzere tüm GSM operatörleri ve Ericsson Telekomünikasyon A.Ş.'ye ve tabii ki her zaman arkamda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxiii
SİMGELER DİZİNİ	xxv
KISALTMALAR DİZİNİ	xxviii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. YÖNTEM	8
3.1 Kullanılan Modeller	8
3.1.1 Cost 231-Hata Modeli	8
3.1.2 Algorithm 9999	10
3.1.3 Cost 231 Walfisch-Ikegami Modeli	14
3.2 TEMS Investigation	17
3.3 TEMS Cell Planner	18
3.4 Forsk Atoll	18

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.5 MapInfo Professional	20
4. SİNYAL SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ	21
4.1 Sinyal Ölçüm Düzenegi	21
4.2 Ölçüm Güzergahlarının Belirlenmesi	22
4.2.1 Dense Urban Olarak Sınıflandırılan Bölgeler	23
4.2.2 Urban Olarak Sınıflandırılan Bölgeler	26
4.2.3 Suburban Olarak Sınıflandırılan Bölgeler.....	28
4.3 Sinyal Seviyelerinin Ölçülmesi.....	30
4.3.1 Ölçüm Yapılan İstasyonların Trafik Yoğunlukları	30
4.3.2 GSM Şebekelerden Yapılan Ölçümler	31
4.3.3 UMTS Şebekelerden Yapılan Ölçümler	33
4.4 Sinyal Güç Yoğunluğundaki Kayıpların Hesaplanması	34
5. RF DALGA YAYILIM MODELİNİN OLUŞTURULMASI.....	37
5. 1 Sinyal Seviyesi Benzetim Çalışmaları	37
5.1.1 Advanced Okumura-Hata Modeli kullanılan Benzetim Çalışmaları	38
5.1.2 Advanced Walfisch-Ikegami Modeli Kullanılan Benzetim Çalışmaları	42
5.2 Algorithm 9999 Kullanılan Benzetim Çalışmaları	47

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.1 Algorithm 9999'un Ölçüm Yapılan Bölgeye Göre Karakterize Edilmesi....	47
5.2.2 Algorithm 9999 Benzetim Çıktıları	50
6. TARTIŞMA	56
6.1 900 Mhz Bandında Yapılan Hata ve Standart Sapma Hesaplamaları	56
6.1.1 900 Mhz Dense Urban Karşılaştırması.....	57
6.1.2 900 Mhz Urban Karşılaştırması.....	61
6.1.3 900 Mhz Suburban Karşılaştırması	64
6.2 1800 Mhz Bandında Yapılan Hata ve Standart Sapma Hesaplamaları	68
6.2.1 1800 Mhz Dense Urban Karşılaştırması.....	68
6.2.2 1800 Mhz Urban Karşılaştırması.....	73
6.2.3 1800 Mhz Suburban Karşılaştırması	77
6.3 2100 Mhz Bandında Yapılan Hata ve Standart Sapma Hesaplamalar	80
6.3.1 2100 Mhz Dense Urban Karşılaştırması.....	80
6.3.2 2100 Mhz Urban Karşılaştırması.....	85
6.3.3 2100 Mhz Suburban Karşılaştırması	89
6.4 Modeller Arasında Tutarlılık Karşılaştırması.....	93
7. SONUÇ.....	97

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

KAYNAKLAR DİZİNİ100

ÖZGEÇMİŞ102

EKLER.....

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Algoritm 9999 Çalışma Diyagramı	11
3.2 A_0 Değişkeninin sinyal seviyesi değişimine etkisi	13
3.3 A_1 Değişkeninin sinyal seviyesi değişimine etkisi	13
3.4 A_2 Değişkeninin sinyal seviyesi değişimine etkisi	13
3.5 A_3 Değişkeninin sinyal seviyesi değişimine etkisi	14
3.6 Walfisch-Ikegami modeline göre radyo sinyallerinin izlediği yollar	16
3.7 Tems Investigation Kullanıcı Arayüzü	17
3.8 Tems Cell Planner Kullanıcı Arayüzü	18
3.9 Forsk Atoll Kullanıcı Arayüzü	19
3.10 Atoll İzmir Sayısal Haritası Ekran Görüntüsü	19
3.11 MapInfo Professional Kullanıcı Arayüzü	20
4.1 Sinyal Seviyesi Ölçüm Düzenegi	22
4.2 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 1	23
4.3 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 2	24
4.4 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 3	25
4.5 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 4	25
4.6 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 5	26

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

4.7 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 6	27
4.8 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 7	27
4.9 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 8	28
4.10 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 9	29
4.11 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 10	29
4.12 Trafik Yoğunluğu - Saat Değişimi	31
4.13 Tems Investigation GSM Tarayıcı Ekranı	32
4.14 MapInfo Professional – Sinyal Filtreleme Ekran Görüntüsü	33
4.15 TEMS Investigation WCDMA Tarayıcı Ayarları Ekran Görüntüsü	34
4.16 TEMS Investigation – WCDMA Kullanıcı Arayüzü	34
5.1 Advanced Okumura-Hata 2100 Mhz benzetim sonuçları - dense urban	38
5.2 Advanced Okumura-Hata 2100 Mhz benzetim sonuçları - urban	39
5.3 Advanced Okumura-Hata 2100 Mhz benzetim sonuçları - suburban	39
5.4 Advanced Okumura-Hata 1800 Mhz benzetim sonuçları - dense urban	40
5.5 Advanced Okumura-Hata 1800 Mhz benzetim sonuçları - urban	40
5.6 Advanced Okumura-Hata 1800 Mhz benzetim sonuçları - suburban	41
5.7 Advanced Okumura-Hata 900 Mhz benzetim sonuçları - dense urban	41
5.8 Advanced Okumura-Hata 900 Mhz benzetim sonuçları - urban	42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

5.9 Advanced Okumura-Hata 900 Mhz benzetim sonuçları – suburban.....	42
5.10 Advanced Walfisch-Ikegami 2100 Mhz benzetim sonuçları – dense urban .	43
5.11 Advanced Walfisch-Ikegami 2100 Mhz benzetim sonuçları – urban	43
5.12 Advanced Walfisch-Ikegami 2100 Mhz benzetim sonuçları – suburban.....	44
5.13 Advanced Walfisch-Ikegami 1800 Mhz benzetim sonuçları – dense urban .	44
5.14 Advanced Walfisch-Ikegami 1800 Mhz benzetim sonuçları – urban	45
5.15 Advanced Walfisch-Ikegami 1800 Mhz benzetim sonuçları – suburban.....	45
5.16 Advanced Walfisch-Ikegami 900 Mhz benzetim sonuçları – dense urban ...	46
5.17 Advanced Walfisch-Ikegami 900 Mhz benzetim sonuçları – urban	46
5.18 Advanced Walfisch-Ikegami 900 Mhz benzetim sonuçları – suburban.....	47
5.19 TEMS Cell Planner – Model Tuning Ekran Görüntüsü	50
5.20Algorithm 9999 2100 Mhz benzetim sonuçları – dense urban.....	51
5.21 Algorithm 9999 2100 Mhz benzetim sonuçları – urban.....	51
5.22 Algorithm 9999 2100 Mhz benzetim sonuçları – suburban	52
5.23 Algorithm 9999 1800 Mhz benzetim sonuçları – dense urban.....	52
5.24 Algorithm 9999 1800 Mhz benzetim sonuçları – urban.....	53
5.25 Algorithm 9999 1800 Mhz benzetim sonuçları – suburban	53
5.26 Algorithm 9999 900 Mhz benzetim sonuçları – dense urban.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

5.27 Algorithm 9999 900 Mhz benzetim sonuçları – urban	54
5.28 Algorithm 9999 900 Mhz benzetim sonuçları – suburban.....	55
6.1 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900Mhz – Dense urban.....	59
6.2 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Dense urban.....	59
6.3 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Dense urban	59
6.4 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH....	60
6.5 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI	60
6.6 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması - A9999 ..	60
6.7 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Urban.....	62
6.8 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz- Urban.....	62
6.9 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Urban	63
6.10 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması - AOH ..	63
6.11 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI ..	63
6.12 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması - A9999	64
6.13 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Suburban	66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

6.14 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz - Suburban	66
6.15 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Suburban..	66
6.16 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH .	67
6.17 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI..	67
6.18 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999	67
6.19 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Dense urban	70
6.20 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Dense urban	70
6.21 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Dense urban	71
6.22 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Dense urban	71
6.23 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması - AOH..	71
6.24 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI..	72
6.25 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-1	72
6.26 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-2	72
6.27 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Urban	74

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

6.28 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz- Urban.....	74
6.29 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Urban	75
6.30 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Urban	75
6.31 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması - AOH ..	75
6.32 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI ..	76
6.33 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-1	76
6.34 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-2	76
6.35 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Suburban	78
6.36 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Suburban	78
6.37 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Suburban	79
6.38 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH..	79
6.39 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI ..	79
6.40 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999....	80
6.41 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Dense urban.....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

6.42 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz-Dense urban	83
6.43 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Dense urban	83
6.44 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Dense urban	83
6.45 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH .	84
6.46 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI..	84
6.47 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999	84
6.48 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999	85
6.49 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Urban	87
6.50 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz-Urban	87
6.51 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Urban	87
6.52 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Urban	88
6.53 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH .	88
6.54 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI..	88
6.55 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-1	89

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

6.56 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-2	89
6.57 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Suburban	91
6.58 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Suburban	91
6.59 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Suburban	91
6.60 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH..	92
6.61 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI ..	92
6.62 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Algorithm 9999 A değişkenleri	12
Çizelge 4.1 RxLev Renklendirme Aralıkları	32
Çizelge 4.2 RSCP Renklendirme Aralıkları	34
Çizelge 4.3 Vericilerin Etkin Yayın Güçleri	36
Çizelge 5.1 Benzetim çalışmalarında kullanılan Algorithm 9999 A değişkenleri	48
Çizelge 5.2 Benzetim çalışmalarında kullanılan düzeltme sabitleri.....	49
Çizelge 6.1 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 900 Mhz – Dense urban	58
Çizelge 6.2 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 900 Mhz - Urban	62
Çizelge 6.3 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 900 Mhz - Suburban	65
Çizelge 6.4 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 1800 Mhz – Dense urban	70
Çizelge 6.5 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 1800 Mhz - Urban	74
Çizelge 6.6 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 1800 Mhz - Suburban	78
Çizelge 6.7 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 2100 Mhz – Dense urban	82
Çizelge 6.8 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 2100 Mhz - Urban	89
Çizelge 6.9 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 2100 Mhz - Suburban	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.10 Benzetim sonuçlarının istatistiksel karşılaştırması – 900 Mhz.....	93
Çizelge 6.11 Benzetim sonuçlarının istatistiksel karşılaştırması – 1800 Mhz.....	94
Çizelge 6.12 Benzetim sonuçlarının istatistiksel karşılaştırması –2100Mhz.....	96
Çizelge 7.1 Frekansa ve bölgeye göre en iyi benzetim sonucu veren modeller	97

SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
f	Yayın frekansı (Mhz)
L	Güç Yoğunluğu Kaybı (dB)
H_R	Etkin Alıcı Yüksekliği (m)
$a(H_R)$	Etkin Alıcı Yüksekliği Düzeltme Faktörü
H_B	Ortalama çatı yüksekliği (m)
H_b	Etkin verici yüksekliği (m)
L_u	Cost-Hata modeli güç yoğunluğu kaybı bileşeni (dB)
d	Alıcı, verici arası uzaklık (km)
λ	Dalgaboyu (m)
d_t	Vericinin engelden uzaklığı (m)
d_r	Alıcının engelden uzaklığı (m)
V	Knife-edge kırınım sabiti
L_D	Kırılma sonucu meydana gelen güç yoğunluğu kaybı (dB)
L_p	Toplam güç yoğunluğu kaybı (dB)
L_{HOA}	Okumura-Hata güç yoğunluğu kaybı bileşeni (dB)
L_{LUC}	Çevresel güç yoğunluğu kaybı bileşeni (dB)
L_{KDFR}	Kırınımsal güç yoğunluğu kaybı bileşeni (dB)

SİMGELER DİZİNİ (devam)

L_{JDFR}	Dünyanın şeklinden dolayı oluşan kayıp bileşeni (dB)
α	Kırınımsal güç yoğunluğu kaybı düzeltme faktörü
A_0	Algorithm 9999 Ayar değişkeni
A_1	Algorithm 9999 Ayar değişkeni
A_{11}	Algorithm 9999 Ayar değişkeni
A_2	Algorithm 9999 Ayar değişkeni
A_3	Algorithm 9999 Ayar değişkeni
h_{hebk}	Etkin verici yüksekliği (m)
h_m	Etkin alıcı yüksekliği (m)
L_{LOS}	Direkt görüş durumundaki güç yoğunluğu kaybı (dB)
L_{FS}	Boşluktaki güç yoğunluğu kaybı (dB)
L_{RTS}	Çatılardan dolayı oluşan güç yoğunluğu kaybı (dB)
L_{MSD}	Çoğul kırınım kayıp bileşeni (dB)
ω	Cadde genişliği (m)
Δhm	Alıcının çatılara olan uzaklığı (m)
L_{ori}	Sinyalin alıcıya ulaştığı açıdan dolayı oluşan kayıp (dB)
φ	Sinyalin alıcıya ulaşma açısı (°)
L_{BSH}	Gölgeleme kazancı (dB)

SİMGELER DİZİNİ (devam)

K_a	Çoğul kırınım kaybı bağıl değişkeni
K_d	Çoğul kırınım kaybı bağıl değişkeni
K_f	Çoğul kırınım kaybı bağıl değişkeni
b	Binalar arası mesafe (m)
Δh_b	Verici ile çatılar arası mesafe (m)
SS_{tahmin_i}	i. Durumda tahmin edilen sinyal seviyesi (dB)
$SS_{ölçülen_i}$	i. Durumda ölçülen sinyal seviyesi (dB)
N	Örnek sayısı
σ	Standart sapma
μ	Ortalama hata
n	Fresnel Bölgesi Sayısı
cs	Işık Hızı

KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
RF	Radyo Frekansı (Radio Frequency)
LOS	Doğrudan Görüş Olan (Line of Sight)
NLOS	Doğrudan Görüş Olmayan (Non Line of Sight)
TCPU	TEMS Hücre Planlama Aracı (TEMS Cell Planner Universal)
SS	Açık Tayf (Spread Spectrum)
COST	Avrupa Bilim ve Teknoloji Birliği (European Cooperation in Science and Technology)
UMTS	Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi (Universal Mobile Telecommunications System)
GSM	Küresel Haberleşme Sistemi (Global System for Mobile Communications)
WiMax	Mikrodalga Erişimi için Küresel İşlevsellik (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
CDMA	Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access)
LTE	Uzun Vadeli Evrim (Long Term Evolution)
CPICH	Ortak Pilot Kanalı (Common Pilot Channel)
RSCP	Alınan Sinyal Kod Gücü (Received Signal Code Power)
BCCH	Yayın Kontrol Kanalı (Broadcast Control Channel)
RxLev	Alınan Sinyal Seviyesi (Received Signal Level)

KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

GPS	Küresel Yer Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
d-GPS	Farksal Küresel Yer Belirleme Sistemi (Differential Global Positioning System)
RET	Uzaktan Elektrik Eğim Verme Cihazı (Remote Electrical Tilt)
BSIC	Baz İstasyonu Kimlik Kodu (Base Station Identity Code)
NCC	Ağ Renk Kodu (Network Color Code)
BCC	Baz İstasyonu Renk Kodu (Base Station Color Code)
WCDMA	Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Wideband Code Division Multiple Access)
PSC	Birincil Karıştırma Kodu (Primary Scrambling Code)
ARFCN	Mutlak Radyo Frekansı Kanal Numarası (Absolute Radio Frequency Channel Number)
EIRP	Yönden Bağımsız Olarak Yayın Gücü (Equivalent Isotropically Radiated Power)
CW	Sürekli Dalga (Continuous Wave)
SPM	Standart Yayılım Modeli (Standard Propagation Model)
AOH	Advanced Okumura Hata
AWI	Advanced Walfisch Ikegami
A9999	Algorithm 9999

1. GİRİŞ

Günümüzde sürekli olarak artan haberleşme ihtiyacını karşılamak için telekomünikasyon operatörleri hücrel ağlarını sürekli büyütmektedir. Artan nüfusa ve yerleşim bölgelerine göre kapsama alanlarını arttırmak için sürekli yeni baz istasyonları planlanmaktadır. Bu planlar yapılırken istasyon kurulması düşünülen bölgeden sinyal seviyesi ölçümleri yapılır. Aynı zamanda yeni kurulacak vericinin kapsama yapacağı etkiyi gözlemlemek için RF (Radio Frequency) Dalga yayılım modellerinden yararlanır. Yayılım modelleri sayesinde bir bölgedeki vericiler üzerinde yapılan değişikliklerin nasıl sonuç vereceği öngörülebilir (Rappaport, 2002). Benzetim sonuçlarına göre istenilen kapsamanın elde edilebilmesi için nasıl bir çalışma yapılacağına karar verilir. Baz istasyonlarının maliyeti çok yüksek olduğundan yanlış planlanan bir verici, servis sağlayıcısına büyük zarara mal olabilir. Bu yüzden kullanılan RF yayılım modellerinin güvenilirliği çok önemlidir. RF Dalga yayılım modelleri, kullanılması ön görülen sistemlere uygun olarak tasarlanmalıdır. Bu modeller yaklaşık 50 yıldır geliştirilmektedir ve televizyon, radyo, telsiz, hücrel ağlar, kablosuz internet vb. için kullanılabilir (Rappaport, 2002). Uygulanan teknolojilerin kullanım alanları birbirinden çok farklı olduğu için farklı modellerin farklı kısıtlamaları vardır. Örneğin televizyon sinyallerinin yayılımını ön görmek için hazırlanan bir model için küçük mesafe sapmaları çok önemli olmayabilir fakat kapalı alandaki kablosuz internet sinyalini öngörmek için hazırlanmış bir modelde bir kaç metre bile çok önemlidir. Hücrel ağlarda kullanılması hedeflenen bir modeldeki belli başlı kısıtlamaları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Hücrel ağlarda servis verilmesi hedeflenen bölgenin genellikle vericiden birkaç yüz metre mesafede olması
- Şehir içlerinde homojen olmayan bina ve yerleşim yapısının, sinyal yayılımını öngörmeyi zorlaştırması
- Hücrel ağlarda çeşitli modülasyon teknolojileri ve farklı frekans bantlarının kullanılması

Günümüzde yaygın olarak kullanılan modeller, deterministik ve empirik modellerin birleştirilmesinden oluşmaktadır. Şehirlerdeki cadde, sokak ve çatıların sinyal üzerinde yarattıkları etkiler teorik olarak modellenebilir. Alıcı ile

verici arasında doğrudan görüş (LOS) sağlanan durumlarda tamamen teorik modellerle gerçeğe yakın sinyal seviyeleri hesaplanabilir. Çoğu şehir içinde vericiler çatıların üzerinde, cadde seviyesinden görünmeyecek şekilde konumlandırılmıştır. Direkt görüş olmayan (NLOS) durumlarda ise sıklıkla ölçümlere dayalı olarak oluşturulmuş modeller kullanılır. Farklı bölgelerdeki şehir yapıları benzer olsa da en iyi sonucu almak için hedef bölgede yapılan ölçümlere göre modelin optimize edilmesi gerekir (Forsk, 2010).

Bir RF yayılım modeli oluşturulurken modellenecek alanın alt bölgelere ayrılması, modelin işlevselliğini arttırmaktadır. Benzer nüfus yoğunluğunda ve coğrafi yapıda bölgeler gruplanarak bu bölgeler için hangi modelin en iyi sonuç verdiği incelenir. Bu projede modellenecek bölge olarak İzmir şehri seçilmiştir. Şehir merkezi, nüfusun yoğun olduğu çevre ilçeler ve kasabalardan ölçümler yapılacaktır. Yapısal bakımdan benzer bölgeler grup haline getirilerek, Advanced Walfisch – Ikegami, Advanced Okumura- Hata ve Algorithm 9999 modellerinin bu bölgeler için verdiği benzetim sonuçları, gerçek sinyal seviyesi ölçümleri ile karşılaştırılacaktır. Ölçüm ve benzetim sonuçları karşılaştırılarak her bölge için standart sapma ve ortalama hata değerlerine bakılarak en uygun model seçilecektir. Algorithm 9999 en iyi sonucu vermesi açısından yapılan ölçümlerden yararlanılarak optimize edilecektir.

Benzetim çalışmaları için TCPU (Tems Cell Planner) ve Atoll kullanılacaktır. Ölçümler modülasyon teknolojilerine göre 2. nesil ve 3. nesil olarak ayrılmıştır. 2. nesil ölçümler 900 ve 1800 Mhz bantlarından 3. nesil ölçümler ise 2100 Mhz bandından TEMS Investigation kullanılarak yapılacaktır. Yapılacak işlemleri genel olarak beş başlık altında toplayabiliriz.

- Şehir alt bölgelere bölünecek ve bu bölgelerde ölçüm güzergâhları seçilecektir.
- 2. nesil ve 3. nesil saha ölçümleri yapılacaktır. Yapılan ölçümlerin şebekedeki yoğunluktan etkilenmemesi için sabah ve akşamüstü alınan ölçümlerin ortalaması kullanılacaktır.
- Algorithm 9999'un uygun değer sonuç verdiği parametreler seçilecektir.
- Ölçüm yapılan bölge için farklı modeller simüle edilecek ve gerçek ölçümlerle karşılaştırılacaktır

- Şehrin hangi bölgesinde, hangi yayılım modelinin en tutarlı sonucu verdiği gözlemlenecektir.

Bu proje kapsamında, var olan yayılım modellerinin İzmir için tutarlılıklar incelenecektir. Ölçümlere dayanan bu çalışma esnasında İzmir için mevcut modellerin güvenilirliği ve uygulanabilirliği takip edilecektir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilecek verilere göre daha sağlıklı ve bölge için en uygun benzetim yapacak RF Dalga yayılım modelinin seçilmesi hedeflenmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Günümüzde RF dalga yayılım modelleri radyo dalgalarından yararlanan tüm iş kollarında kullanılmaktadır. Bu modeller telekomünikasyon operatörleri tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. Kullanılan modeller çeşitlilik gösterse de hepsi benzer değişkenler göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Bu modeller yeni teknolojilerin hayatımıza girmesiyle birlikte, yeni teknolojilerle uyumlu çalışacak şekilde geliştirilmektedir. Haberleşmede kullanılan frekansların yükselmesi, şehirlerdeki nüfus ve yerleşimin artması, SS (Spread Spectrum) gibi teknolojilerin hayatımıza girmesiyle modellerin sürekli geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Benzer modellerin getirdiği yenilikler birleştirilerek her ortama uygulanabilecek modeller oluşturulmuştur. Bu modeller kullanımı hedeflenen bölgeye göre karakterize edilebilecek şekilde hazırlanmıştır.

Bu projede günümüzde sıklıkla kullanılan modellerin İzmir için nasıl sonuçlar verdiği incelenecektir. Çeşitli modellerin karşılaştırma kistası olarak, sahadan yapılan gerçek sinyal seviyesi ölçümleri temel alınacaktır. Ölçümler tamamlandıktan sonra, ölçüm yapılan bölge için farklı modeller kullanılarak benzetim çalışmaları yapılacak ve ölçüm değerleriyle karşılaştırılacaktır.

RF Dalga yayılım modellerini “Deterministik” ve “Empirik” olarak kısaca iki grup altında toplayabiliriz. Deterministik modeller tamamen ışınım formüllerine dayalı olarak oluşturulmuş teorik modellerdir. Bölgenin ayrıntılı sayısal haritası ile birleştirilen bu modeller gerçeğe yakın benzetim sonuçları verebilirler yalnız yüksek işlem gücü gerektirirler. Empirik modeller ise ölçüme dayalı modellerdir, ölçüm yapılan bölge için iyi sonuç verirler fakat başka bölgelerde kullanılması için o bölgeye göre uyarlanmaları gerekir (Chevallier et al., 2006).

Okumura modeli ölçümlere dayalı oluşturulan ilk modellerdendir. Tokyo’da yapılan ölçümlere dayanmaktadır. Okumura, Tokyo’da sinyal güç yoğunluğundaki azalmanın (path loss) yayın frekansına ve vericiden uzaklığına göre değişimini incelemiştir. Bu modelde sinyal güç yoğunluğundaki kaybın, alıcı verici arasındaki uzaklığa göre değişiminin, Tokyonun şehir merkezi, şehir içi ve kırsal bölgeleri için ayrı ayrı eğrileri oluşturulmuştur fakat matematiksel olarak formüle edilmemiştir (Okumura, 1968; Rappaport’tan 2002). Okumura modeli, sinyal ölçümlerinin yapıldığı bölge için sağlıklı sonuç veriyordu fakat başka bölgeler için hesaplama yapmaya müsait değildi. Hata, Okumura’nın çizdiği

eğrileri formüle etmiştir ve Okumura- Hata modelini oluşturmuştur (Hata, 1980; Rappaport'tan 2002). Okumura-Hata modeli günümüzde kullanılan çoğu RF Dalga yayılım modelinin temelini oluşturmaktadır fakat bazı kısıtlamaları vardır. Okumura-Hata modeli sadece verici ile alıcı arasından uzun mesafeler varken sağlıklı sonuç veriyordu aynı zamanda çalıştığı frekans aralıkları sebebiyle hücresel ağlarda kullanıma müsait değildi. Mogensen (1991), çalışmasında Okumura-Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim sonuçları 900 ve 1800 Mhz frekans bantlarında Danimarka'da yapılan bir dizi sinyal seviyesi ölçümüyle karşılaştırılmış ve farklı verici yükseklikleri için incelenmiştir. Bu çalışma esnasında Okumura-Hata modelinin daha yüksek frekanslarda kullanılabilmesi için mevcut modele eklemeler önerilmiştir. Avrupa Bilimsel Araştırmalar Forumu (COST), Okumura - Hata modeli üzerinde bir dizi geliştirme yapmıştır. COST-231 grubu Okumura-Hata modelini daha yüksek frekanslarda da çalışacak şekilde uyarlayarak hücresel ağlarda kullanıma daha elverişli hale getirmiştir (COST-231, 1996). COST-231 Hata modeli üzerine bir çok geliştirme önerisi getirilmiştir. Bunlardan bir tanesi Ericsson şirketi tarafından geliştirilen Algorithm 9999'dur. Algorithm 9999, sinyal güç yoğunluğundaki kaybı hesaplamak için Hata denklemlerini esas alırken, benzetim yapılan çevrenin bina ve coğrafi yapısını da hesaba katar. Benzetim yapılan bölgeye göre karakterize edilmeye imkân veren bu model hücresel ağlarda kullanılmaya oldukça elverişlidir (Ericsson AB, 2008).

Şehirlerdeki bina ve sokak yapılarının sinyal güç yoğunluklarına etkisi, ilk defa Walfisch ve Bertoni tarafından incelenmiştir. Walfisch-Bertoni modelinde vericilerin sokak seviyesinden görülmediği farz edilmiş ve vericiden gelen sinyalin kırılım ve yansımalar nedeniyle alıcıya birçok farklı yoldan ulaşacağı düşünülmüştür. Bu modelde sinyal güç yoğunluğu kaybı hesaplanırken, sinyalin çatı üstlerinden geçerken kırıldığı, binaları deldiği veya binalardan yansıdığı durumlar göz önüne alınmıştır (Walfisch and Bertoni, 1988; Rappaport'tan 2002). COST-231 Grubu hücresel ağlarda kullanılmak üzere COST-231 Walfisch - Ikegami modelini geliştirmiştir. Bu model Walfisch-Bertoni modelini temel almaktadır. Walfisch -Bertoni modelinde verici çatı seviyesinden yukarıda kabul edildiği için COST-231 Walfisch-Ikegami modelinde, vericinin çatılardan alçak olduğu durumlar için sinyal seviyesi ölçümlerine dayanan bir empirik bileşen eklenmiştir (COST-231, 1996). COST-231 Walfisch- Ikegami modeli, alıcı ile verici arasındaki mesafe metreler bazındayken bile çalışabildiği için hücresel ağlarda kullanıma uygundur. COST-231 Walfisch-Ikegami modeli üzerine yapılan önerilerden biri benzetim yapılacak bölgenin sayısal haritasının kullanılmasıdır. COST-231 Walfisch-Ikegami modelinde, gerçek coğrafya ve bina yapısı

bilgilerinin kullanılmasıyla alıcı ve verici için etkin yükseklikler hesaplanabilir. Eğer elimizde benzetim yapılan bölgenin ayrıntılı bina yapısı varsa, sokak genişlikleri, binalar arası mesafe ve çatı yükseklikleri kullanılarak gerçeğe en yakın sinyal güç yoğunluğu kaybı hesaplanabilir (AWE Communications, 2003).

Okumura- Hata tabanlı modeller ve Walfisch-Bertoni tabanlı modeller farklı bölgeler için sıklıkla gerçek sinyal seviyesi ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Medeisis ve Kajackas çalışmasında Okumura-Hata modelinin Litvanya'nın farklı bölgelerinde nasıl sonuç verdiği incelenmiştir. 160 MHz, 450 MHz, 900 Mhz frekans bantlarında Hata-Okumura modeli ile hesaplanan sinyal güç yoğunluğu kayıpları gerçek ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Şehir merkezi ve kırsal bölgelerde ayrı ayrı yapılan çalışmalar sonucunda farklı bölgeler için modele farklı offset değerleri eklenmesi gerektiği görülmüştür (Medeisis and Kajackas, 2000). Mansour, COST-231 Hata ve COST-231 Walfisch - Ikegami modellerinin hücresel ağlarda uygulanabilirliği üzerinde çalışmıştır. Bu modelleri kullanarak 1800 Mhz bandı için benzetim çalışmalarında bulunmuş ve bu benzetim çalışmalarını gerçek şebeke ölçümleriyle karşılaştırmıştır. Çalışmaları sonucunda kırsal bölgelerde Okumura - Hata modelinin frekans ve verici yüksekliği sınırlarının dışında da gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Walfisch-Ikegami modelinin ise alıcı ile verici arasında doğrudan görüşün olmadığı durumlarda iyi sonuç verdiğini fakat doğrudan görüş olan durumlar için benzetim yapılan bölgeye özel olarak uyarlanması gerektiği sonucuna ulaşmıştır (Mansour, 1994). Cruz, çalışmasında empirik ve deterministik modellerin farklı şehir bölgelerinde gösterdikleri performanslar incelemiştir. Bu çalışma esnasında 900 Mhz bandında Brezilya'nın çeşitli bölgelerinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri, simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Benzetim yapılan bölgenin doğru olarak sınıflandırılmasının benzetim sonuçlarında büyük değişiklik yaptığı görülmüştür (Cruz et al., 2005). Mutlu, M. ve Cavdar, I.H. (2010), çalışmasında COST-231 Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktıları, hücresel ağlarda 900 Mhz bandından yapılan sinyal seviyesi ve EMR ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Ordu şehrinde yapılan bu çalışma sonucunda, benzetim yapılan bölgedeki bina ve şehir yapısı modelde ne kadar çok hesaba katılırsa modelin o kadar iyi sonuç verdiği görülmüştür. Yelen, S. Seker, S.S. ve Kunter, F.C. (2010), çalışmasında İstanbul için 2100 Mhz bandında Advanced Walfisch- Ikegami, Advanced Okumura-Hata ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak yapılan benzetim çalışmaları ile şebekelerden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Bu projede benzetim ve ölçüm karşılaştırmalarında kıstas

olarak standart sapma ve ortalama hata değerleri kullanılmıştır. Şehir içinde en iyi sonucu Advanced Walfisch-Ikegami modelinin verdiği sonucuna varılmıştır.

Mevcut çalışmalardan görülebileceği üzere, RF dalga yayılım modelleri üzerinde yapılan karşılaştırma sonuçları benzetim yapılan bölgeye göre değişmektedir. Bu proje kapsamında karşılaştırılmak üzere, empirik modellerden Algorithm 9999 ve Advanced Okumura-Hata, deterministik modellerden ise Advanced Walfisch-Ikegami modelleri kullanılarak yapılacak benzetimler İzmir’de yapılacak sinyal seviyesi ölçümleri ile karşılaştırılacaktır. Őu ana kadar, İzmir Şehri için benzer bir akademik çalışma yapılmamıştır.

3. YÖNTEM

Bu bölümde, proje çerçevesinde yararlanılan RF Dalga yayılım modelleri, modelleme, benzetim ve saha ölçümleri yapılırken kullanılan araçlar anlatılmaktadır.

3.1 Kullanılan Modeller

Bu kısımda, bu proje esnasında benzetim çalışmaları yapmak için yararlanılan RF dalga yayılım modellerinin çalışma ilkeleri ve matematiksel olarak açıklamaları anlatılmıştır.

3.1.1 Cost 231 – Hata Modeli

COST-231-Hata modeli, COST-231 modelleri arasında en sık kullanılanıdır. Okumura'nın Tokyoda yaptığı ölçümler üzerine geliştirilmiş Hata-Okumura modeli optimize edilerek oluşturulmuştur. COST-231 Hata modeline göre sinyal güç yoğunluğundaki kaybın hesabı denklem 1'de görülmektedir.

$$L = 46.3 - 33.9 \log f + 13.82 \log H_b + a(H_R) - (44.9 - 6.55 \log H_b) \log d + C \quad (1)$$

$a(H_R)$, alıcı yüksekliğine bağlı düzeltme faktörü olarak adlandırılmaktadır ve denklem 2'de ki şekilde tanımlanmıştır.

$$a(H_R) = (1.1 \log f - 0.7)H_R - (1.56 \log f - 0.8) \quad (2)$$

Kırsal bölgeler ve küçük şehirler için C değeri sıfır, büyük şehirler için 3 olarak belirlenmiştir. COST-231 Hata modelinin belli kısıtlamaları vardır. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Çalışma Frekansı: 1500 MHz - 2000 MHz
- Alıcı yüksekliği: 1 - 10m
- Verici yüksekliği: 30m - 200m
- Alıcı-verici arası mesafe: 1 - 20 km

Bu model alıcı ile verici arasındaki mesafe 1 km'den küçükken sağlıklı çalışmadığı için şehir merkezlerinde kullanıma elverişsizdir. Baz istasyonu ile alıcı arasında mesafelerin arttığı, nüfus yoğunluğunun daha az olduğu kasaba ve kırsal bölgelerde ise uygulanabilir. Bu modelin bir diğer kısıtlaması ise desteklediği frekans bandının darlığıdır. 1500 Mhz altındaki ve 2000 Mhz üzerindeki frekansları desteklemediği için, hücresele ağlarda kullanılan 900 Mhz, 2100 Mhz gibi frekans bantlarında kullanıldığında sağlıklı sonuç alınmamaktadır. Bu modeller, yarı-empirik modeller oldukları için offset değerleri ve düzeltme parametreleri kullanılarak istenilen durumda çalışacak şekilde optimize edilebilirler (Forsk, 2003). Optimizasyon için kullanılacak parametreler, bölgede yapılan saha ölçümleri göz önüne alınarak yapılır.

Advanced Okumura-Hata modeli:

Advanced Okumura-Hata modeli, Okumura-Hata modelinin hücresele ağlarda daha sağlıklı şekilde çalışması hedeflenerek yapılmıştır ve Okumura-Hata modeli ile aynı ilkeleri temel alır. Saha ölçümlerine dayanılarak Okumura –Hata modeli üzerinde offset değişiklikleri yapılmış ve model UMTS şebekelerde de sağlıklı sonuç vermesi hedeflenmiştir. Bu modelde, benzetim yapılan bölgenin sayısal harita bilgisi sayesinde, çevre yükseltiler hesaba katılarak, verici ve alıcı için etkin yükseklik bilgisi hesaplanır (Forsk, 2010). Benzetim sırasında kullanılan haritanın çözünürlüğüne göre bu işlem sürekli tekrarlanarak gerçeğe en yakın sinyal seviyesi tahmini yapılması hedeflenmektedir. Vericinin, alıcıdan ve etraftaki tüm çatılardan daha yüksekte olduğu var sayılan bu model, bina yapısının homojen olduğu durumlarda sağlıklı sonuç vermektedir.

Advanced Okumura-Hata modeli şehir içi, şehir dışı ve kırsal bölgeler olmak üzere üç farklı sinyal güç yoğunluğu kaybı formülü kullanır. Sinyal güç yoğunluğundaki kayıpların hesabı denklem 3'te görülmektedir.

$$L = L_u - a(H_R), \text{ Şehir içinde} \quad (3)$$

$$L = L_u - a(H_R) - 2 \times \log^2 \left(\frac{f}{28} \right) - 5.4, \text{ Şehir dışında}$$

$$L = L_u - a(H_R) - 4.78 \times \log^2 f + 18.33 \log(f) - 40.94, \text{ Kırsal alanlarda}$$

$$L_u = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log H_b + (44.9 - 6.55 \log H_B - 0H_b) \times \log d \quad (4)$$

$$a(H_R) = 3.2 \log^2(11.75 \times H_R) - 1.97, \text{ Büyük şehirler için} \quad (5)$$

$$a(H_R) = 1.1 \times \log(f - 0.7) H_R - (1.56 \log(f) - 0.8), \text{ Küçük şehirler için}$$

İsteğe göre Advanced Okumura-Hata modeline bina çatılarının sinyal üzerinde oluşturduğu etki benzetimi yapan knife-edge kırınım modeli eklenebilir (Forsk, 2003). V , kırınım faktörü, r ise Fresnel bölgesi yarıçapı olmak üzere:

$$r = \sqrt{\frac{Cs \times n \times dt \times dr}{2 \times f \times (dt + dr)}} \text{ ve } V = -\frac{h}{r} \quad (6)$$

Knife-edge kırınımından kaynaklanan güç yoğunluğu kaybı denklem 7'deki şekilde tanımlanmıştır.

$$L_D = 6.9V + 20 \log \sqrt{(V - 1)^2 + 1} + (V - 1), \quad V \geq -0.7 \quad (7)$$

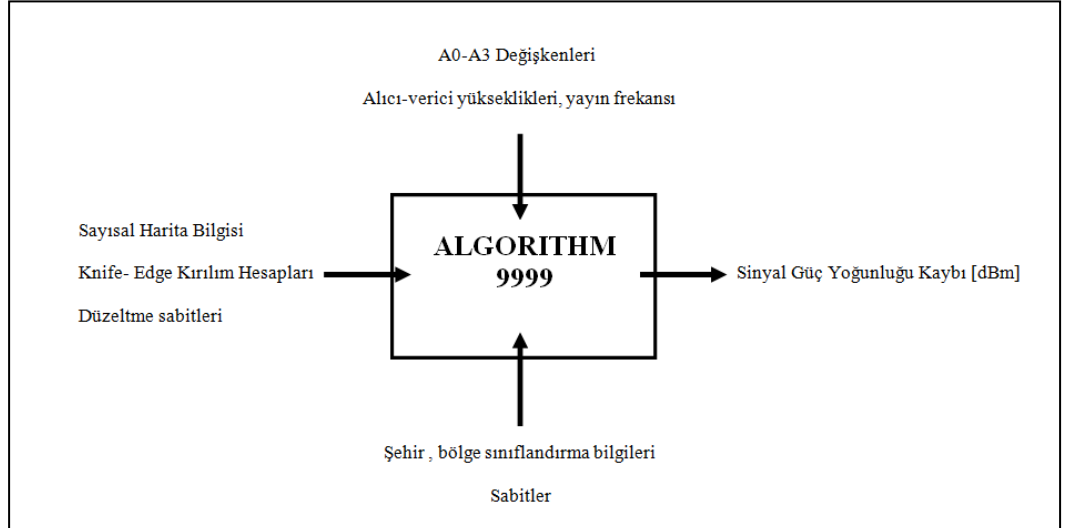
$$L_D = 0, V < -0.7$$

3.1.2 Algorithm 9999

Algorithm 9999, Ericsson AG tarafından Okumura - Hata modeli temel alınarak oluşturulmuş, verici antenlerinin dikey ve yatay yayın özelliklerini ve üzerlerine uygulanan ekstra eğimleri de hesaba katan bir radyo dalgası yayılım modelidir. Hata modeli üzerinde çalışılarak, model hücresel ağlara göre uyarlanmıştır. Okumura - Hata modelinin kısıtlamalarından büyük ölçüde kurtulunmuştur. Bu modelin çalışma aralıkları aşağıdaki gibidir;

- Çalışma Frekansı: 150 MHz - 2000 MHz
- Alıcı yüksekliği: 1 - 5m
- Verici yüksekliği: 20m - 200m
- Alıcı-verici arası mesafe: 0.2 - 100 km

Bu modelde, kullanılacak bölgeye göre karakterize edilmiş Okumura-Hata modeli kullanılır. Algorithm 9999, knife-edge kırınım modelini kullanarak, çatıların sinyal yayılımı üzerine yaptığı etkiyi hesaba katar. Kullanılan bölgenin sayısal haritası kullanılarak etkin alıcı ve verici yükseklikleri hesaplanır ve Okumura-Hata modeli kullanılarak sinyal kayıpları, harita çözünürlüğüne bağlı olarak tekrar tekrar hesaplanır. Modelleneyecek olan bölgede benzer yerleşim bölgeleri gruplanır ve bu bölgeler için offset değerleri belirlenir. Aynı gruptaki bölgeler, benzer yerleşim ve coğrafi yapıya sahip olduklarından, sinyalin yayılma şeklinin de benzer olması beklenmektedir (Ericsson, 2008). Bu yüzden aynı grup altındaki bölgelerde, model içerisinde aynı değişkenler kullanılır. Benzetim yapılacak bölge ne kadar fazla alt bölgeye ayrılırsa, Algorithm 9999 o kadar gerçeğe yakın sonuç vermektedir. Algorithm 9999 çalışma diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir (Ericsson TEMS AB, 2008).



Şekil 3.1 Algoritim 9999 Çalışma Diyagramı

Algoritim 9999 da sinyal güç yoğunluğu kaybı [dB], denklem. 8’de verilmiştir.

$$L_p = L_{HOA} + L_{LUC} + \sqrt{(\alpha L_{KDFR}^2) + L_{DFR}^2} \quad (8)$$

Modelin içerdiği L_{HOA} , Okumura-Hata modeli ise hesaplanan sinyaldeki güç yoğunluğu kaybı bileşenidir.

$$L_{HOA} = A_0 + A_{11} + A_2 \log(A_0) + A_3 \log d \times \log h_{hebk} - 3.2[\log(11.75h_m)]^2 + g(f) \quad (9)$$

$$A_{11} = A_1 \log(d) \quad (10)$$

$$g(f) = 44.49 \log(f) - 4.78(\log f)^2 \quad (11)$$

Burada L_{LUC} , çevresel faktörlerden dolayı oluşan düzeltme bileşeni [dB], α ve L_{KDFR} , çatılar üzerinde oluşan knife-edge kırılımının bileşenleri, L_{JDFR} ise büyük mesafeler arasında dünyanın yuvarlak şekli dolayısıyla yaşanan kırınım [dB] bileşenleridir. Hata modelindeki h_{hebk} , etkin verici yüksekliği olarak tanımlanmıştır. A_0 , A_1 , A_2 ve A_3 değişkenleri, modeli uygulanacağı bölgeye göre optimize etmek için kullanılır. Algorithm 9999 A değişkenleri Çizelge 3.1’de görülmektedir.

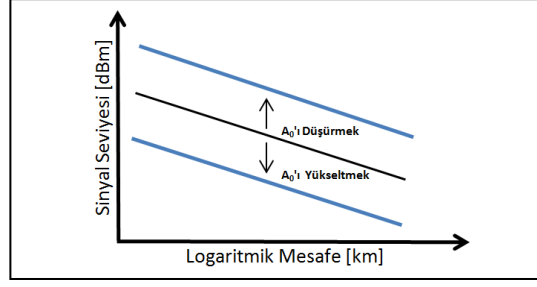
Çizelge 3.1 Algorithm 9999 A değişkenleri

Değişken	Değer
A_0	36.2
A_1	30.7
A_2	-12
A_3	0.1

A_0 , A_1 , A_2 ve A_3 değişkenleri, modelin karakterize edileceği bölgede ölçümler yapılarak hesaplanır. Sahadan yapılan sinyal seviyesi ölçümleri işlenir ve ölçülen sinyaldeki güç yoğunluğu kaybı – vericiye uzaklık grafiği elde edilir. Elde edilen bu grafik üzerinden, grafiğin eğimi hesaplanır ve yukarıdaki değişkenlerin hesaplanmasında kullanılır (Ericsson TEMS AB, 2008). Bu değişkenlerin hesaplanan sinyal seviyesini nasıl etkilediği aşağıda gösterilmiştir.

A_0 Değişkeni:

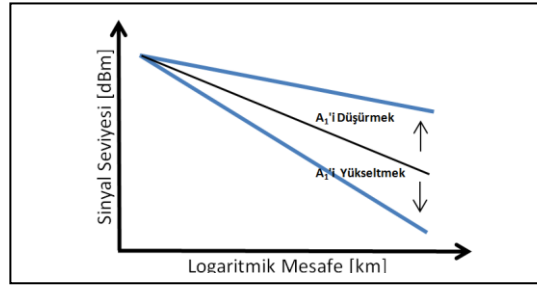
A_0 değişkeni sinyal seviyesi – uzaklık eğrisini yukarı veya aşağı paralel olarak hareket ettirmek için kullanılır. A_0 değişkeni hesaplanırken, etkin anten yüksekliği sabit kabul edilmiştir. A_0 değişkeninin sinyal seviyesine etkisi Şekil 3.2’de gösterilmiştir (Ericsson TEMS AB, 2008).



Şekil 3.2 A_0 Değişkeninin sinyal seviyesi değişimine etkisi

A_1 Değişkeni:

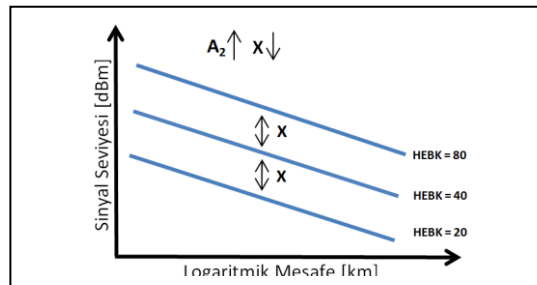
A_1 değişkeni sinyal seviyesi – uzaklık eğrisinin eğimini arttırıp azaltmak için kullanılır. A_1 değişkeni hesaplanırken, etkin anten yüksekliği sabit kabul edilmiştir. A_1 değişkeninin sinyal seviyesine etkisi Şekil 3.3'te gösterilmiştir (Ericsson TEMS AB, 2008).



Şekil 3.3 A_1 Değişkeninin sinyal seviyesi değişimine etkisi

A_2 Değişkeni:

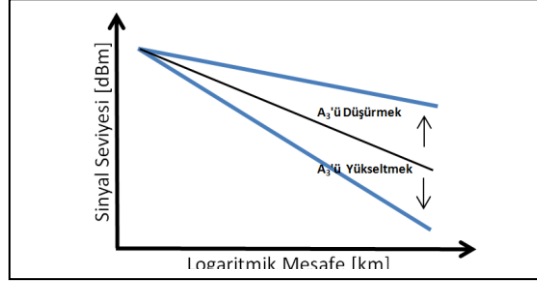
A_2 değişkeni, farklı etkin anten yüksekliğine göre hazırlanmış sinyal seviyesi-uzaklık eğrisinin arasındaki offset değerini azaltıp arttırmak için kullanılır. A_2 değişkeninin sinyal seviyesine etkisi Şekil 3.4'de gösterilmiştir (Ericsson TEMS AB, 2008).



Şekil 3.4 A_2 Değişkeninin sinyal seviyesi değişimine etkisi

A₃ Değişkeni:

A₃ değişkeni, sinyal seviyesi-mesafe eğrisinin eğimini, etkin anten yüksekliğine bağlı olarak arttırıp azaltmak için kullanılır. Etkin anten yüksekliği ne kadar fazlaysa, A₃ değişkenindeki değişimler, eğrinin eğimini o kadar fazla etkiler. A₃ değişkeninin sinyal seviyesine etkisi Şekil 3.5'te gösterilmiştir (Ericsson TEMS AB, 2008).



Şekil 3.5 A₃ Değişkeninin sinyal seviyesi değişimine etkisi

Benzer coğrafi yapıya sahip bölgelerde radyo dalgalarının benzer şekilde yayılması beklendiğinden, bu bölgeler için aynı A değişkenleri kullanılabilir. Yoğun bina yapısına sahip şehir merkezlerinde daha yüksek A değerleri beklenirken, kırsal veya düşük yoğunlukta bina yapısına sahip bölgelerde daha düşük A değişkenleri beklenir.

3.1.3 Cost 231 Walfisch-Ikegami Modeli

Walfisch-Ikegamimodeli Ikegami ve Walfisch-Bertoni modellerinin birleşimi ile oluşturulmuştur. Alıcı-verici arasındaki metre bazındaki mesafeler için dahi sinyal seviyesi hesaplayabildiği için hücresel ağlarda kullanıma uygundur. Bu model, binaların ve çatıların sinyal yayılımına hesaba kattığı için yoğun bina yapısına sahip şehirleşmiş bölgelerde kullanılmaya müsaittir (Ericsson TEMS AB, 2008).

Walfisch-Ikegamimodeli sinyal seviyesi hesaplarırken, alıcı ve verici arasında doğrudan görüş olduğu ve olmadığı iki durum için ayrı hesaplamalar yapılır. Doğrudan görüş olan durumlar için sinyal güç yoğunluğundaki kayıp denklem 12'de gösterildiği şekilde bulunabilir.

$$L_{LOS} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f, d \geq 20m \quad (12)$$

Doğrudan görüş olmayan durumlarda sinyal güç yoğunluğundaki kayıp ise denklem 13'te görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

$$L_P = L_{FS} + L_{RTS} + L_{MSD} \quad (13)$$

$$L_P = L_{FS}, L_{RTS} + L_{MSD} < 0$$

Denklem 14'te görülen L_{FS} , sinyalin boşlukta ilerlerken uğradığı güç yoğunluğu kaybı olarak tanımlanmıştır.

$$L_{FS} = 32.45 + 20 \log d + 20 \log f \quad (14)$$

Denklem 15'te görülen L_{RTS} , sinyalin çatılar üzerinden geçerken uğradığı kırınım kayıpları olarak tanımlanmıştır.

$$L_{RTS} = -16.9 - 10 \log \omega + 10 \log f + 20 \log \Delta h m + L_{ori} \quad (15)$$

Denklem 16'da görülen L_{ori} , sinyalin vericiden, alıcıya ulaştığı açıdan dolayı sinyal güç yoğunluğundaki kayıplar olarak tanımlanmıştır.

$$L_{ori} = -10 + 0.354\varphi, \quad 0 \leq \varphi < 35 \quad (16)$$

$$L_{ori} = 2.5 + 0.075(\varphi - 35), \quad 35 \leq \varphi < 55$$

$$L_{ori} = 4 - 0.114(\varphi - 55), \quad 55 \leq \varphi < 90$$

L_{bsh} , vericinin yüksekliğinden kaynaklanan sinyal güç yoğunluğu kaybı, k_a , k_d ve k_f düzeltme faktörleri olmak üzere:

$$L_{MSD} = L_{BSH} + K_a + K_d \times \log(d) + K_f \times \log f - 9 \log b \quad (17)$$

$$L_{BSH} = -18 \log(1 + \Delta h_b), \quad \Delta h_b > 0 \quad (18)$$

$$L_{BSH} = 0, \quad \Delta h_b \leq 0$$

$$K_a = 54, \quad \Delta h_b > 0 \quad (19)$$

$$K_a = 54 + 0.8|\Delta h_b|, \quad \Delta h_b \leq 0, d \geq 0.5$$

$$K_a = 54 + 0.8|\Delta h_b| \times d/0.5, \quad \Delta h_b \leq 0, d < 0.5$$

$$K_d = 18, \quad \Delta h_b > 0 \quad (20)$$

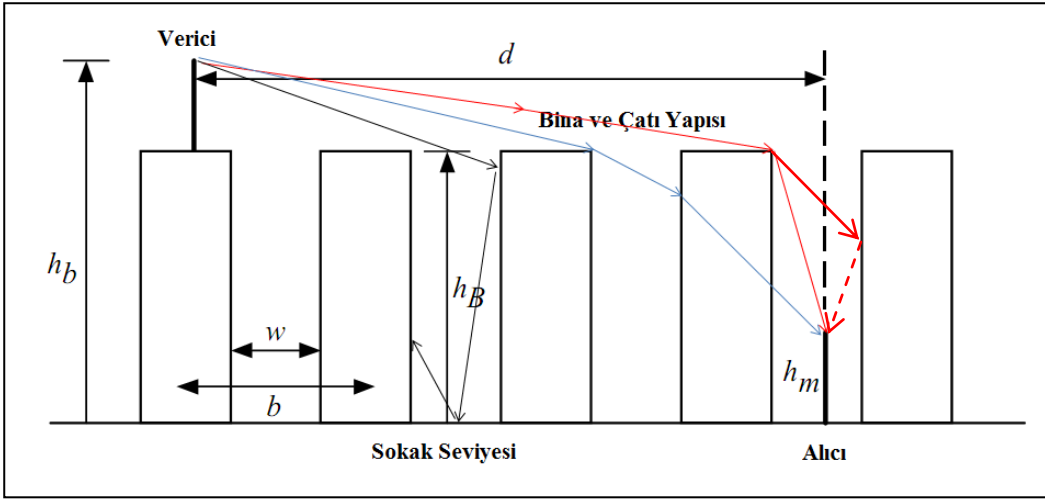
$$K_d = 18 + 15\left(\frac{|\Delta h_b|}{hb}\right), \quad \Delta h_b \leq 0$$

$$K_f = -4 + 0.7 \left[\left(\frac{f}{925} \right) - 1 \right], \text{ şehir dışı} \quad (21)$$

$$K_f = -4 + 1.5 \left[\left(\frac{f}{925} \right) - 1 \right], \text{ şehir içi}$$

Denklem 17 kullanılarak, sinyalin vericiden alıcıya farklı yollardan ulaşması dolayısıyla güç yoğunluğunda oluşan kayıplar hesaplanabilir.

COST-231 Walfisch-Ikegami modeline göre sinyalin vericiden alıcıya doğru izleyebileceği yollar Şekil 3.6'da gösterilmiştir (Rappaport, 2002).



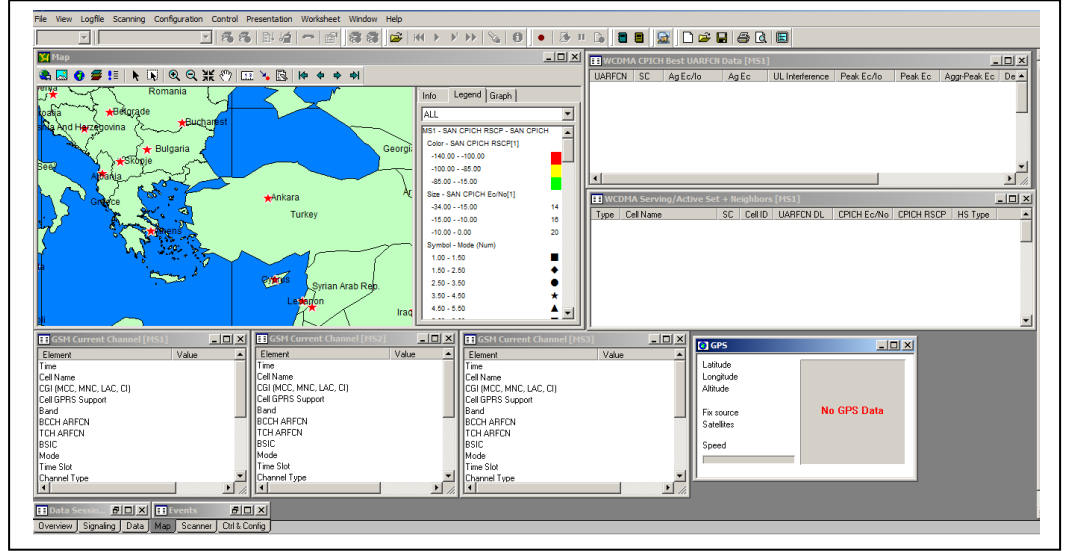
Şekil 3.6 Walfisch-Ikegami modeline göre radyo sinyallerinin izlediği yollar

Advanced Walfisch-Ikegami Modeli:

Advanced Walfisch-Ikegami modeli, COST-231 Walfisch-Ikegami modeli ile aynı ilkeleri temel alan bir RF Dalga Yayılımı modelidir. Bölgenin sayısal haritasından yararlanılarak, etkin alıcı ve verici yükseklikleri, ortalama bina yükseklikleri, ortalama sokak ve cadde genişlikleri, binalar arası mesafeler elde edilir. Benzetim yapılacak bölge sayısal olarak alt bölgelere bölünür ve bu bölgelerde sayısal haritadan elde edilen veriler kullanılarak benzetim yapılır. Benzetim yapılacak alan ne kadar küçük alt bölgelere bölünebilirse gerçeğe o kadar yakın sonuçlar elde edileceği için, kullanılan sayısal haritanın çözünürlüğü mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Walfisch-Ikegami modelinde uzun caddelerin radyo dalgaları üzerinde yaptığı “kanyon etkisi” hesaba katılmadığı için bu model bina yapısının homojen olduğu durumlarda kullanılmaya elverişlidir.

3.2 TEMS Investigation

Ascom TEMS Investigation temel olarak hücresel ağlarda ölçüm ve inceleme yapmaya imkan tanıyan bir programdır. Genellikle telekomünikasyon sektöründe şebekelerin, incelenmesi, hata ayıklanması ve optimizasyonunun yapılması için kullanılır.

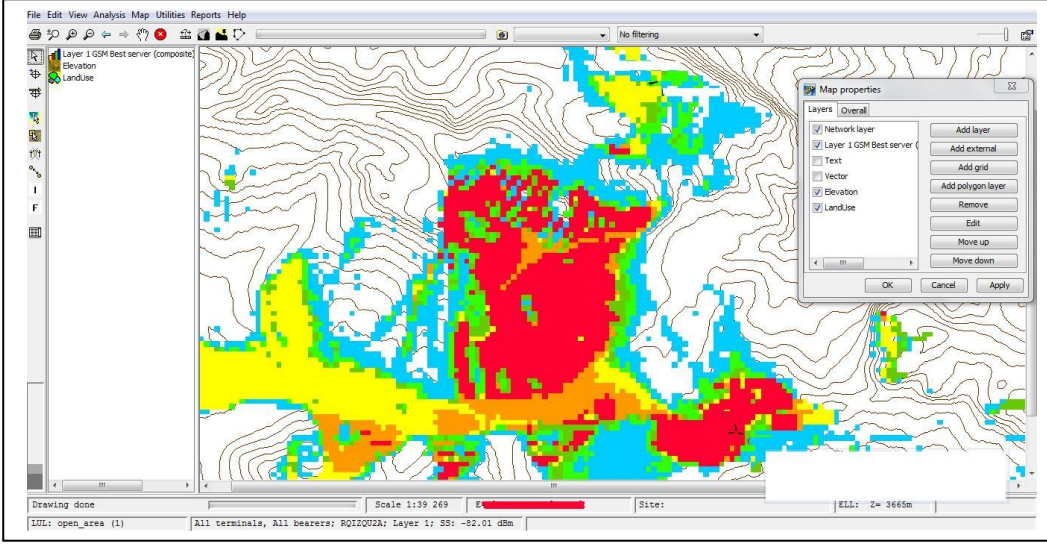


Şekil 3.7 Tems Investigation Kullanıcı Arayüzü (v. 11.0.1)

TEMS Investigation 1999 yılında Ericsson AG tarafından geliştirilmiştir. Günümüzde sektöründe lider olan bu program Ascom Network Testing Inc. tarafından üretilmektedir. TEMS Investigation, tarayıcı, GPS (Global Positioning System) gibi kullanıcı ekipmanlarının topladığı bilgileri senkronize bir şekilde kendi üzerinden bilgisayara aktarma özelliğine sahiptir. Bu sayede aynı anda bir çok ölçüm aletinin rahat bir şekilde gözlemlenebilmesini sağlar. GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), CDMA (Code Division Multiple Access) gibi farklı teknolojiler kullanılan şebekeler üzerinde canlı ölçüm yapmaya olanak verir ve yapılan ölçümler daha sonra incelenmek üzere kayıt altına alınabilir. Bu projede TEMS Investigation, 900, 1800 ve 2100 Mhz bantlarından sinyal seviyesi ölçümleri yapmak ve bu ölçümleri incelemek için araç olarak kullanılmıştır.

3.3 TEMS Cell Planner

TCPU, Ericsson TEMS AB tarafından geliştirilen bir benzetim programıdır. Günümüzde Ascom Network Testing Inc. Tarafından üretilmektedir. İçerisine verici koordinatı, yüksekliği gibi veriler girildiğinde, çeşitli RF yayılım modelleri ve sayısal harita kullanarak istenilen bölgede sinyal seviyesi tahminleri yapma kabiliyetine sahiptir.

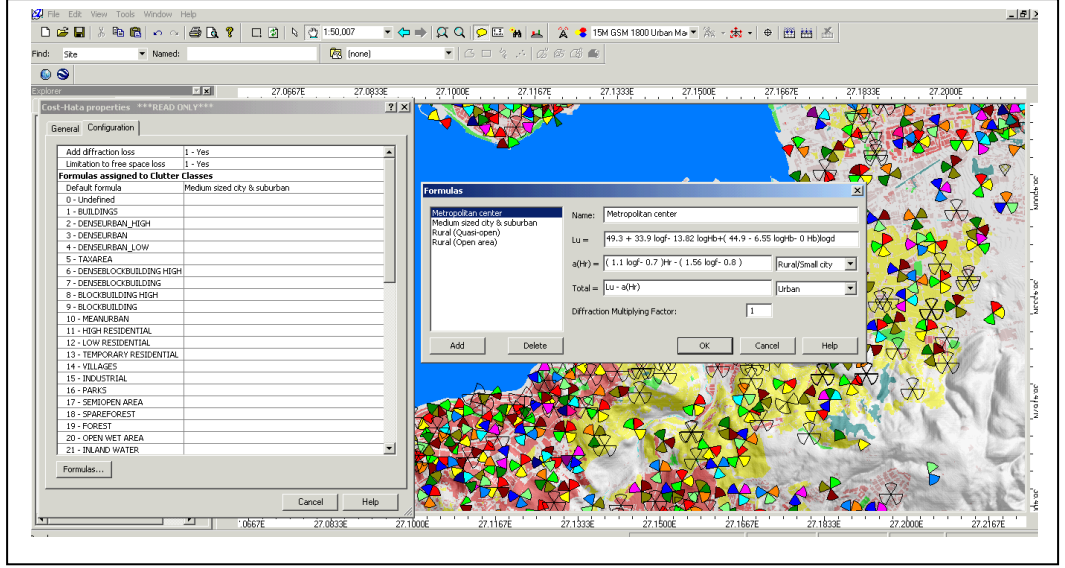


Şekil 3.8 Tems Cell Planner Kullanıcı Arayüzü (v. 8.0.1)

TEMS Investigation ile eşzamanlı çalışma özelliği sayesinde, sahadan yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile benzetim sonuçlarını karşılaştırabilir. Bu projede TCPU temel olarak İzmir’de Algorithm 9999 kullanılarak benzetim çalışmaları yapmak için kullanılmıştır.

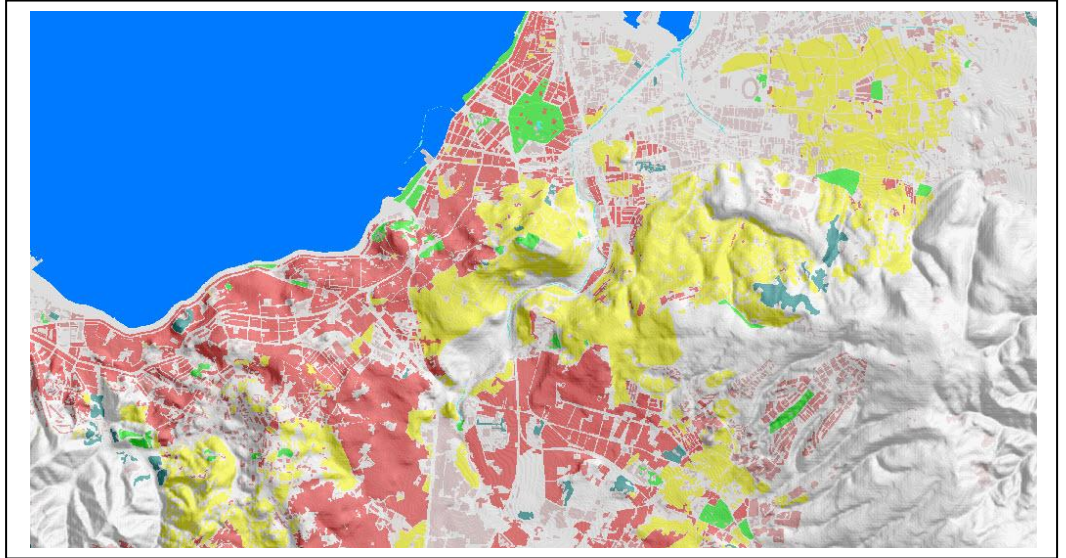
3.4 Forsk Atoll

Atoll, radyo dalga yayılımını simüle etmek için kullanılan bir telekomünikasyon aracıdır. Forsk tarafından 1997’de geliştirilmeye başlanan bu program, sıklıkla telekomünikasyon operatörleri tarafından tercih edilmektedir. Atoll, GSM, UMTS, Wimax, CDMA, LTE (Long Term Evolution) gibi farklı teknolojiler ve frekans bantları için sayısal harita kullanarak ayrıntı sinyal seviyesi tahminlerine olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.9 Forsk Atoll Kullanıcı Arayüzü (v. 2.8.2)

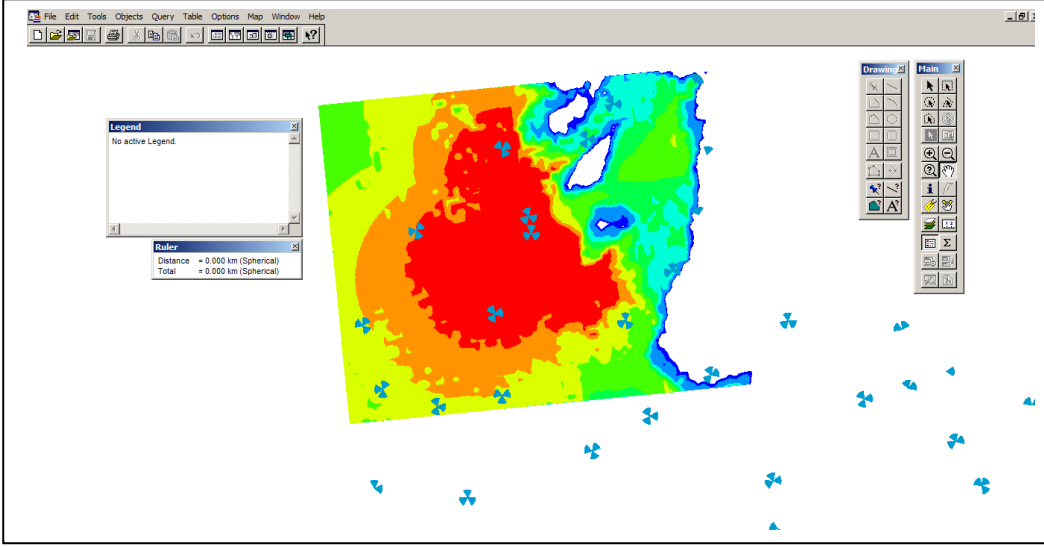
Atoll, benzetim yaparken kullanacağı propogasyon modelini seçme, mevcut modeller üzerinde değişiklik yapma ve kendi modelinizi oluşturmaya imkan veren uygulamalar içermektedir. Bu projede Atoll, Okumura-Hata, Walfisch-Ikegamimodellerini kullanarak İzmir için sinyal seviyesi tahminleri yapmak için kullanılmıştır. Sinyal seviyesi tahminleri sırasında kullanılan sayısal haritanın bir bölümü Şekil 3.10’da görülebilir.



Şekil 3.10 Atoll İzmir Sayısal Haritası Ekran Görüntüsü

3.5 MapInfo Professional

MapInfo Professional, MapInfo Co. Tarafından 1985 yılından beri geliştirilen bir harita programıdır. MapInfo kullanıcıya, istenilen herhangi bir veriye koordinat tanımlayarak, coğrafi bilgilerle birleştirme imkanı tanır. Programın arayüzü sayesinde coğrafya bilgisiyle birleştirilen kullanıcı verileri üzerinde, filtreleme, karşılaştırma ve renklendirme işlemleri gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.11 MapInfo Professional Kullanıcı Arayüzü (v.7.5)

MapInfo kullanıcının çeşitli filtreler oluşturmasına imkân tanır. Sahadan yapılan ham ölçüm verileri, MapInfo ile renklendirilir ve coğrafya bilgisiyle birleştirilir. Bu sayede ölçüm yapılan bölgenin sinyal seviyesi haritası oluşturulur. Bu projede MapInfo Professional, benzetim ve ölçüm değerlerinin işlenerek, görsel bir harita haline getirilmesi ve karşılaştırılması amacıyla kullanılmıştır.

4. SİNYAL SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Bu bölümde çeşitli radyo dalgası yayılım modelleriyle karşılaştırmak üzere yapılan saha ölçümlerinde izlenen yöntem anlatılmaktadır.

Ülkemizdeki hücresel ağlarda 900, 1800 ve 2100 Mhz bantları kullanılmaktadır. 900 ve 1800 Mhz yayınlar 2. nesil, 2100 Mhz yayınlar ise 3. nesil yayınıni oluşturmaktadır. Farklı frekanslarda farklı modülasyon teknolojileri kullanıldığı için tüm bu sinyalleri çözebilen TEMS Investigation programı kullanılmıştır. 3. nesil şebekesinden ölçüm yapılırken CPICH (Common Pilot Channel) üzerinden RSCP (Received Signal Code Power) ölçümleri yapılmış, 2. nesil şebekesinden ölçüm yapılırken BCCH (Broadcast Control Channel) üzerinden RxLev (Received Signal Level) ölçümü yapılmıştır. Saha ölçümleri yapılırken, yapılan ölçümün sağlıklı olması için kullanılan ekipmanlar, ölçüm yapılacak frekansa ve teknolojiye uyumlu olmalıdır. Ölçülen sinyaller birçok yerden yansıyarak geldikleri için aynı sinyal farklı faz farkları ile alıcıya ulaşır. Sağlıklı bir ölçüm için 40 dalgaboyu mesafede 50 kez ölçüm yapılması önerilmektedir (Forsk, 2010).

4.1 Sinyal Ölçüm Düzeneği

Bu kısımda, yapılan saha ölçümleri esnasında kullanılan düzenek tanıtılacaktır. Bu proje kapsamında yapılan tüm ölçümler sırasında TEMS Investigation kullanılmıştır. TEMS Investigation'ın farklı kullanıcı araçlarını eş zamanlı çalıştırabilme özelliğinden yararlanılmıştır.

Test düzeneği, bir adet tarayıcı ve bir adet GPS üzerine kurulu bir sistemdir. Temel olarak tarayıcı'nın ölçtüğü sinyal seviyeleri GPS'ten gelen koordinat bilgisiyle birleştirilir ve TEMS Investigation aracılığı ile laptopa kayıt altına alınır. 12V DC-220V AC bir dönüştürücü vasıtasıyla hareket halindeki bir araçta kullanılabilir hale getirilen bu düzenek ile modelleme çalışması yapılacak bölgede dolaşılır. Bu projede tarayıcı olarak Sony-Ericsson W995 Tarayıcı, GPS olarak Garmin GPS-10X kullanılmıştır. W995 tarayıcı saniyede yaklaşık 100 kere sinyal seviyesi örneği almaktadır. Kullanılan GPS, d-GPS (Differential Global Positioning System) özelliğine sahiptir ve 12 uydudan sinyal alarak koordinat bilgisini hesaplayarak, hataları asgari düzeye indirir. Eğer GPS sinyali herhangi bir nedenden dolayı kesilirse olursa, sistem kullanıcı yönlendirmesi ile koordinatları hesaplamaya devam edebilir. Bu proje kapsamında kullanıcı

yordamı ile koordinat hesaplamaya ihtiyaç duyulmamıştır. Sinyal seviyesi ölçümleri yapılırken kullanılan sinyal ölçüm tertibatı Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1 Sinyal Seviyesi Ölçüm Düzenegi

4.2 Ölçüm Güzergâhlarının Belirlenmesi

Bu kısımda, ölçüm yapılan bölgeler belirlenirken hangi hususlara dikkat edildiğine değilinecektir.

RF dalga yayılım modelleri ne kadar küçük ve homojen yapıda bir bölge için hazırlanırsa, o kadar iyi sonuç verirler. Bu proje kapsamında İzmir, dense urban, urban ve suburban olarak üç alt bölgeye ayrılmıştır. Bu alt bölgeler içerisinde benzer coğrafi yapıda ve benzer bina yoğunluğuna sahip semtler seçilerek bunlar pilot bölgeler olarak gruplanmıştır. Bu çalışma kapsamında, benzetim sonuçlarıyla karşılaştırmak amacıyla, 10 farklı bölgede toplam 28 adet vericiden sinyal seviyesi ölçümü yapılmıştır. Ölçüm yapılacak sahalar seçilirken, bu sahalar etrafındaki yerleşim ve bina yapısının şehrin karakteristiğini yansıtmaması amaçlanmıştır. Ölçüm yapılan şebekelerde, farklı bölgeler için farklı vericiler kullanılmaktadır. Ölçümlerin alındığı vericilerin, bölgelere göre dağılımları bu bölümde verilmiştir. Bu bölümde yer alan tüm uydu görüntüleri Google Earth’ten alınmıştır.

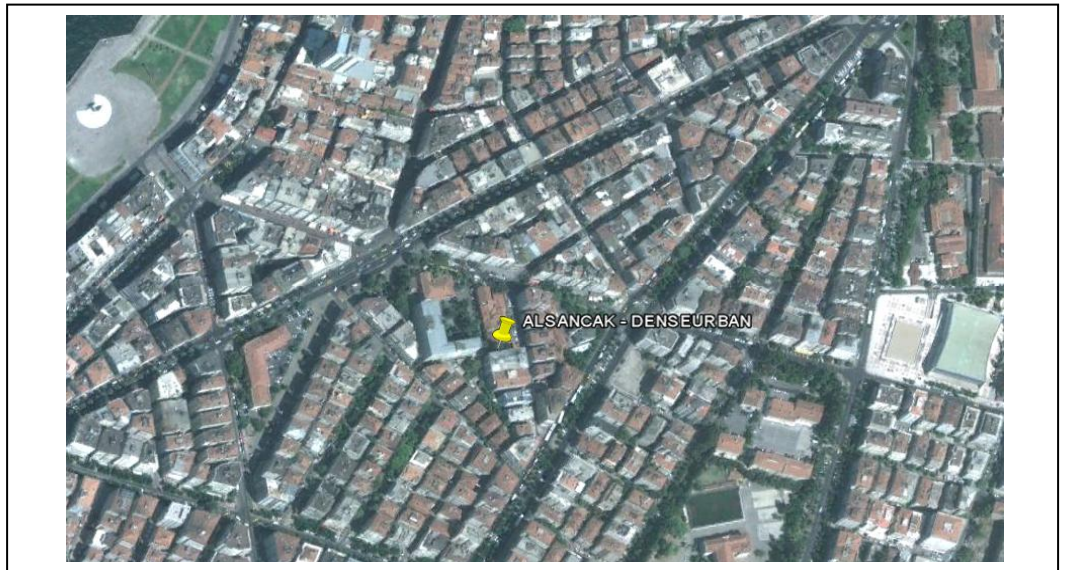
- Dense Urban olarak belirlenen bölgeler: Alsancak, Basmane, Konak
- Urban olarak belirlenen bölgeler: Karşıyaka, Bornova, Buca
- Suburban olarak belirlenen bölgeler: Narlıdere, Çiğli

4.2.1 Dense Urban Olarak Sınıflandırılan Bölgeler

Bu bölümde, bu proje kapsamında dense urban olarak sınıflandırılan bölgelerdeki çalışma güzergâhları ve verici özellikleri tanıtılmıştır. Şehir merkezinde dört farklı bölgede çalışma yapılmıştır.

Alsancak Sahası:

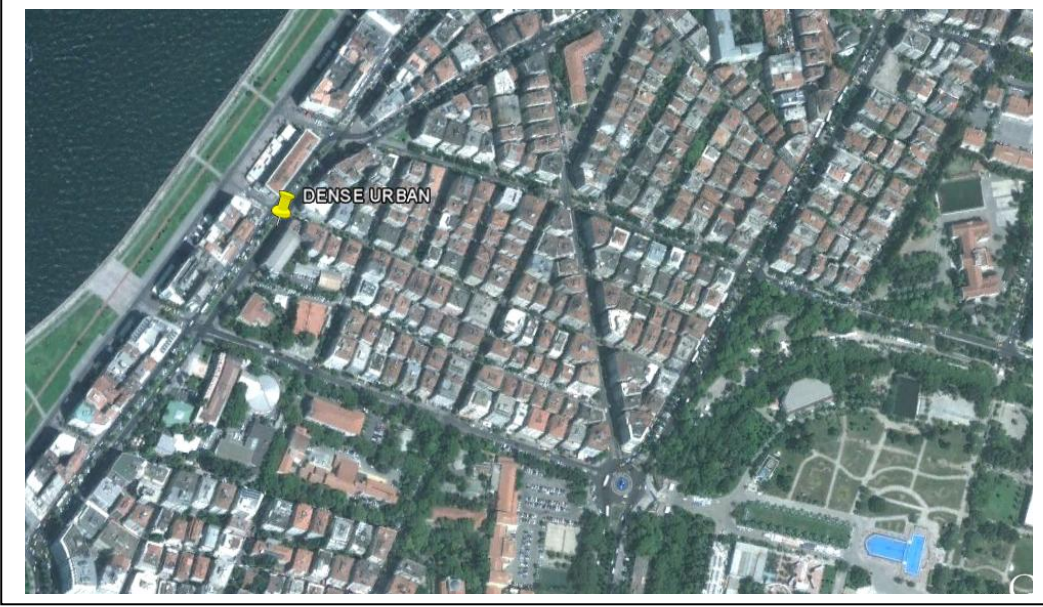
Bu saha 3 hücreli bir dense urban UMTS yayın sahasıdır. Ölçüm yapılan vericilerin yerden yükseklikleri 36, 30 ve 31 metredir. 0, 110 ve 260 derece yönlerine bakan 3 adet Kathrein K742236 anteni kullanılmıştır. K742236, 18 dBi kazanca sahip bir antendir ve üzerinde Kathrein RET (Remote Electrical Tilt) takılıdır (Kathrein, 2011). Bu sayede antenin elektrik eğimi ayarlanabilir. Bu sahadaki antenler üzerinde sırasıyla 8, 6 ve 6 derece elektrik eğim uygulanmaktadır. Mekanik eğim kullanılmamıştır. Ölçüm yapılan sahanın maksimum çıkış gücü 46 dBm, ölçüm yapılan CPICH kanalının maksimum gücü ise 32 dBm'dir. Şekil 4.2'de ölçüm yapılan bölgenin uydu görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.2 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 1

Alsancak Sahası - 2:

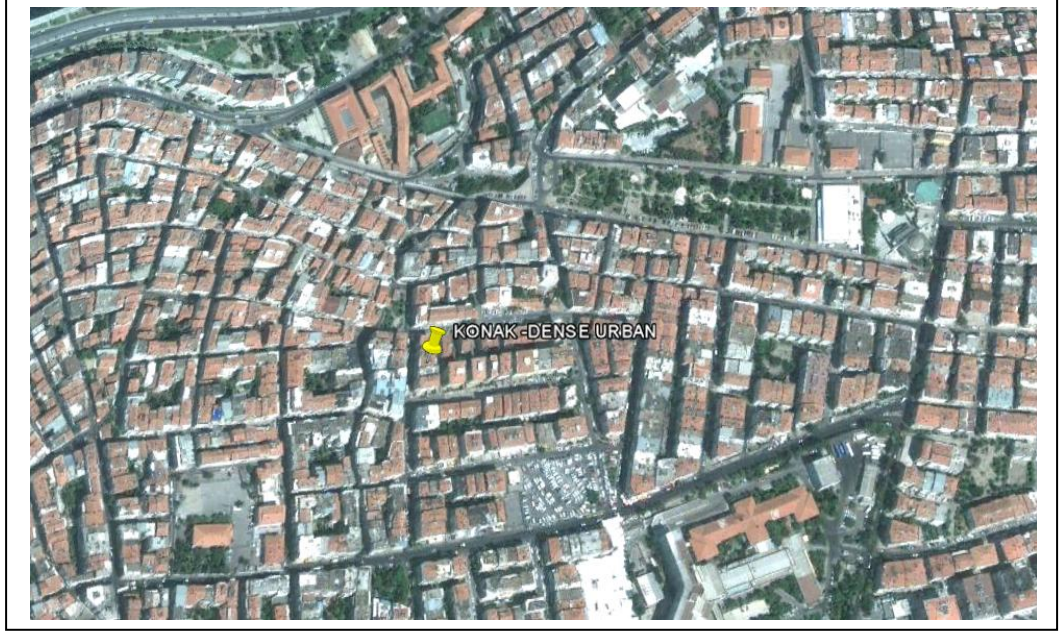
Bu istasyon tek hücreli bir dense urban UMTS sahasıdır. Yerden yüksekliği 25 metredir. Ölçüm yapılan anten, Kathrein K742236 antenidir ve 120 derece yönüne bakmaktadır. Bu anten üzerinde 6 derece elektrik eğim uygulanmaktadır, mekanik eğim kullanılmamıştır. Sahanın maksimum çıkış gücü 46 dBm, ölçüm yapılan CPICH kanalının maksimum gücü ise 32 dBm olarak belirlenmiştir. Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölgenin uydu görüntüsü Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 2

Konak Sahası:

Bu istasyon yerden yüksekliği 23 metre olan bir dense urban 2. nesil GSM sahasıdır. 3 adet Kathrein K742215 antenden oluşan bu istasyonun antenleri 40, 180 ve 270 derece yönlerine bakmaktadır. K742215 anteni 17.7 dBi kazançta sahip bir antendir ve üzerinde 0 ila 10 derece arasında elektrik eğim uygulanabilir (Kathrein, 2011). Ölçüm yapılan antenlerde sırasıyla 8, 6 ve 8 derece elektrik eğim uygulanmaktadır. Mekanik eğim ise kullanılmamıştır. Ölçüm yapılan BCCH kanalının maksimum çıkış gücü 45 dBm'dir.



Şekil 4.4 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 3

Basmane Sahası:

Bu istasyon 32 metre yüksekliğinde bir dense urban 2. nesil GSM sahasıdır. Anten yönleri 90, 210 ve 330 derece olmak üzere üç hücreden oluşmaktadır. Anten tipi PW7750'dir ve tüm hücrelerde dörder derece mekanik, onar derece elektrik eğim uygulanmaktadır. PW7750 tipi antenlerin kazancı 15.2 dBi'dir (Powerwave Technologies, 2010). Ölçüm yapılan BCCH kanalının çıkış gücü 42 dBm'dir.



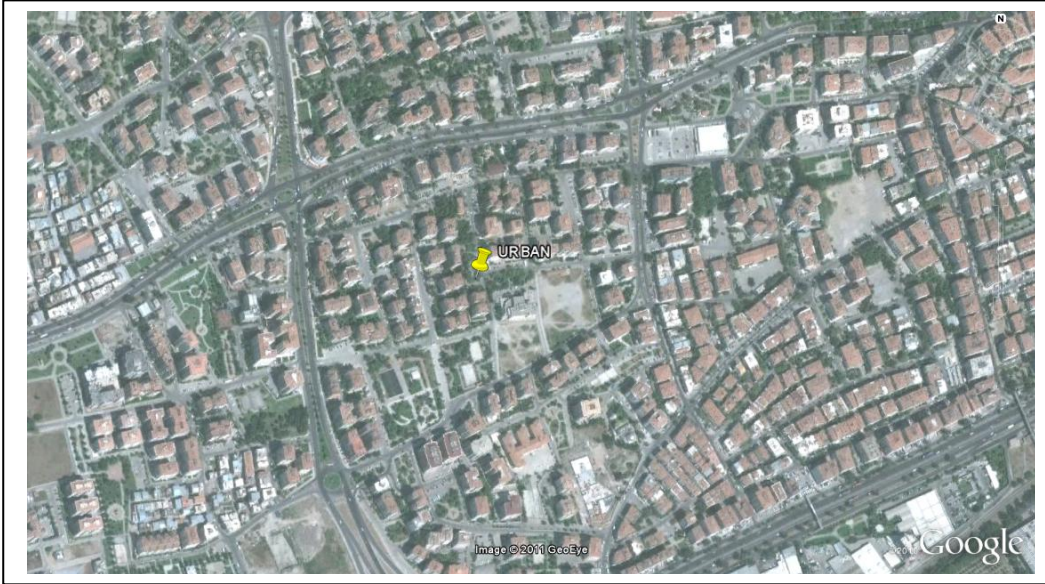
Şekil 4.5 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 4

4.2.2 Urban Olarak Sınıflandırılan Bölgeler

Bu bölümde, proje kapsamında çalışma yapılan ve urban olarak sınıflandırılmış bölgeler ve bu bölgelerdeki vericiler tanıtılmıştır. Urban olarak sınıflandırılan üç farklı bölgede çalışma yapılmıştır.

Bornova Sahası:

Bu istasyon yerden yükseklikleri 18 metre olan ve yönleri 80, 220 ,320 derece yönlerine bakan üç hücreden oluşmaktadır. Anten tipi olarak PW7750 kullanılmıştır ve her üç antene de ikişer derece mekanik, dörder derece elektrik eğim uygulanmaktadır.



Şekil 4.6 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 5

Karşıyaka Sahası:

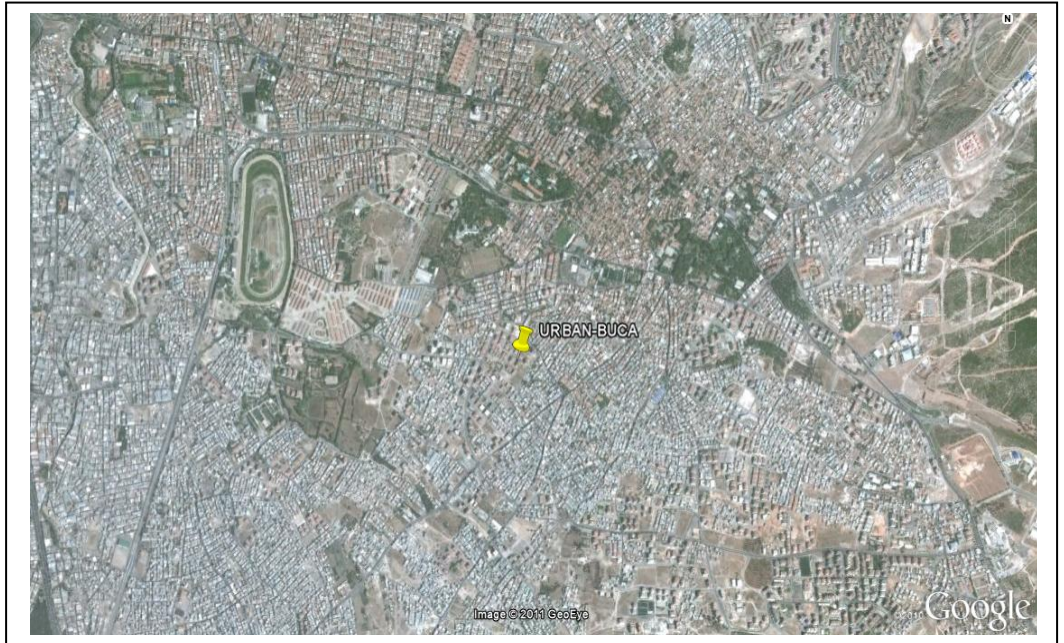
Bu istasyon yerden yükseklikleri 14 metre olan üç adet Kathrein K742 236'dan oluşmaktadır. Anten yönleri sırasıyla 10, 170 ve 280 derece olan bu UMTS urban sahasında tüm sektörlerle 4 derece elektrik eğim uygulanmış, mekanik eğim kullanılmamıştır. Ölçüm yapılan sahanın maksimum çıkış gücü 46 dBm, ölçüm yapılan CPICH kanalının maksimum gücü ise 32 dBm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 6

Buca Sahası:

Bu istasyon yerden yüksekliği 19 metre olan bir 2. nesil GSM sahasıdır. 90, 190 ve 270 derece yönlerine bakan üç sektöründe Kathrein K742 215 antenleri kullanılmaktadır. Ölçüm yapılan BCCH kanalının maksimum çıkış gücü 45 dBm'dir. Bu istasyonda tüm sektörlerle dörder derece elektrik eğim uygulanmıştır.



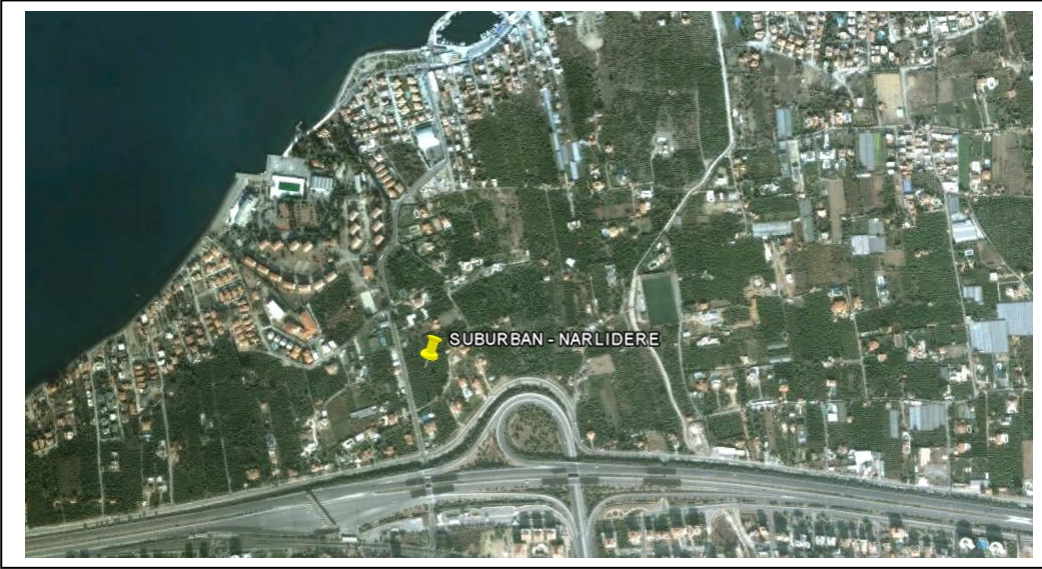
Şekil 4.8 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 7

4.2.3 Suburban Olarak Sınıflandırılan Bölgeler

Bu bölümde, şehir dışında suburban olarak sınıflandırılmış bölgeler ve bu bölgelerde üzerinde çalışılan vericiler tanıtılmıştır. Suburban olarak sınıflandırılan üç farklı bölgede benzetim ve ölçüm çalışmaları yapılmıştır.

Narlıdere Sahası:

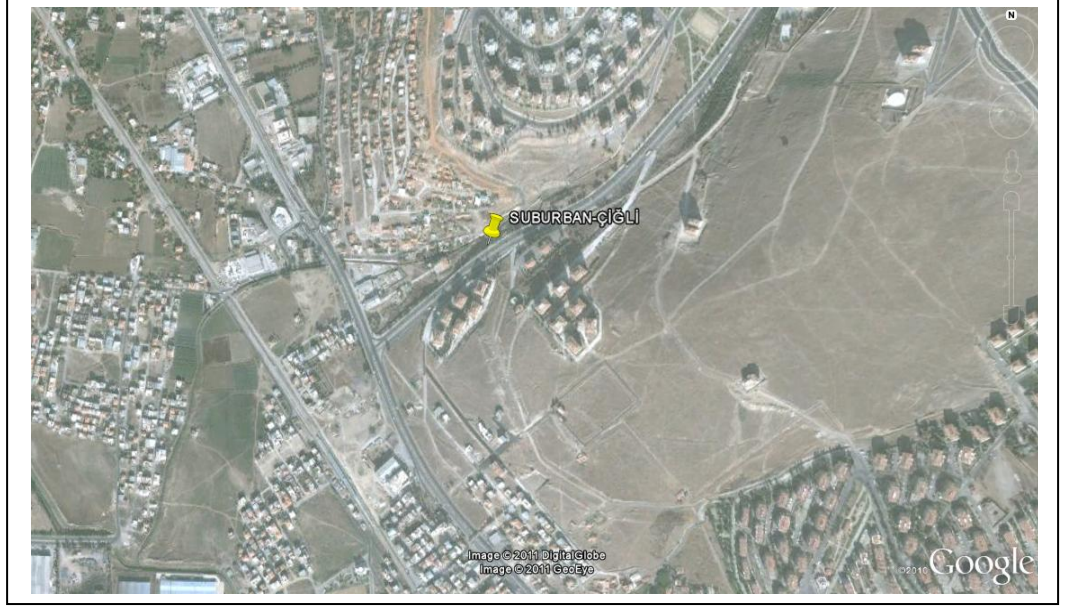
Bu istasyon yerden yüksekliği 31 metre olan bir 2. nesil GSM sahasıdır. Anten yönleri 0, 145 ve 215 derece, anten tipleri ise K739684'tür. Bu anten 15 dBi kazanca sahiptir (Kathrein, 2004). Bu istasyonda tüm sektörlere iki derece mekanik ve iki derece elektrik eğim uygulanmıştır. Ölçüm yapılan vericiden, çevrenin panoramik görüntüsü aşağıda görülebilir. Ölçüm yapılan BCCH kanalının çıkış gücü 42 dBm'dir.



Şekil 4.9 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 8

Çiğli Sahası:

Bu istasyon yerden yüksekliği 30 metre olan bir suburban 2. nesil GSM istasyonudur. 0, 120 ve 240 derece yönlerine bakan 3 adet Kathrein K742 215 anten taşımaktadır. Tüm sektörlere dörder derece elektrik eğim uygulanmıştır. Ölçüm yapılan BCCH kanalının maksimum çıkış gücü 33 dBm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.10 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 9

Çiğli Sahası – 2:

Bu istasyon yerden yüksekliği 22 metre olan bir suburban UMTS istasyonudur. Anten yönleri 80, 210, 320 derece, anten tipler Kathrein K742236'dır. Tüm sektörlerde dörder derece elektrik eğim uygulanmıştır.



Şekil 4.11 Sinyal seviyesi ölçümü yapılan bölge – 10

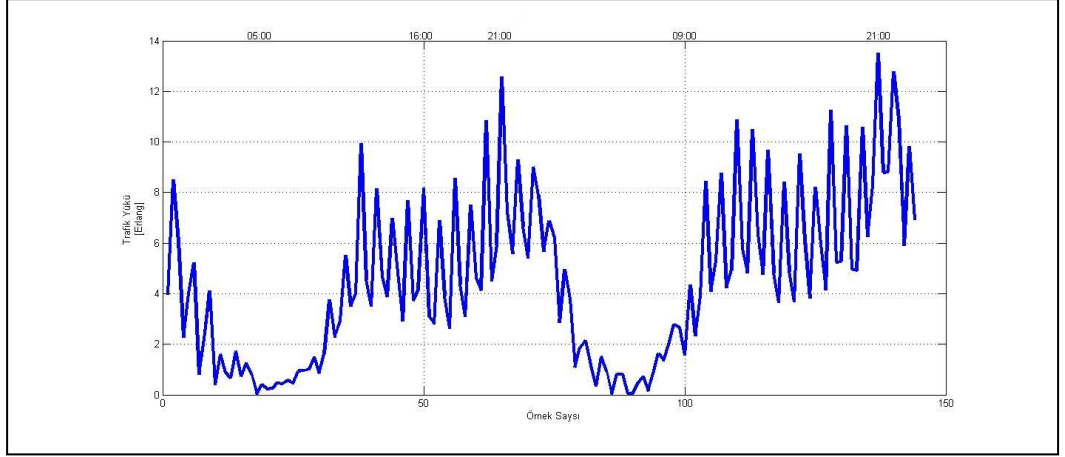
4.3 Sinyal Seviyelerinin Ölçülmesi

Bu kısımda, sinyal ölçümlerinin nasıl yapıldığı ve bu çalışmalar sırasında kullanılan araçlar anlatılmaktadır.

Bu proje kapsamında ölçüm yapılan şebekeler farklı teknolojiler içerdiğinden, 2. nesil ve 3. nesil şebekelerden farklı tekniklerle ölçümler yapılmıştır. 2. nesil şebekelerde yapılan ölçümlerde vericilerde RxLev değerleri, 3. nesil şebekelerde ise RSCP değerleri kayıt altına alınmıştır. Yapılan tüm ölçümlerde sinyal güç yoğunluğu seviyeleri dBm cinsindedir.

4.3.1 Ölçüm Yapılan İstasyonların Trafik Yoğunlukları

Yapılan sinyal ölçümleri, canlı hücresel ağlardan yapılmıştır. Yani ölçüm yapılırken bu ağlar trafik almaktadır. Baz istasyonlarının toplam yayın güçleri sabittir. 2. nesil şebekelerde sinyal seviyesini ölçtüğümüz BCCH kanalı, maksimum çıkış gücü ile yayın yapılır bu yüzden şebekedeki trafik yoğunluğundan etkilenmez. 3. nesil şebekelerde ise tüm cihazlar aynı frekans üzerinden yayın yaptıkları için güç kontrolü çok önemlidir. Bir hücre üzerindeki veri trafiği arttıkça, verici, veri trafiğini karşılamak için veri kanallarına harcanan yayın gücünü artır. Toplam yayın gücü sabit olduğu için istasyonların yoğun trafik aldıkları saatlerde, üzerinden sinyal seviyesi ölçümü yaptığımız CPICH kanalının gücü azalır. Veri trafiğinin çok yoğun olduğu saatlerde yapılan sinyal güç yoğunluğu ölçümleri bu yüzden yanıltıcı olabilir (Chevallier et al., 2006). Yapılan ölçümlerin, şebeke üzerindeki trafik yükünden etkilenmesini en aza indirmek amacıyla tüm ölçümler aynı gün içinde sabah ve akşamüzeri olmak üzere ikişer kez tekrarlanmıştır. Yapılan bu ölçümlerin ortalaması alınarak, benzetim ile karşılaştırmada bu ölçümler kullanılmıştır. Ölçüm yapılan vericilerin trafik yüklerinin, bölgeye ve saate göre değişim örnekleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Verilen grafiğin x eksenini günün saatini, y eksenini ise o anda vericinin üzerindeki Erlang cinsinden trafik yükünü temsil etmektedir. Hücre başına veri kullanımı'da konuşma trafiği yüküyle paralellik göstermektedir.



Şekil 4.12 Trafik Yoğunluğu - Saat Değişimi

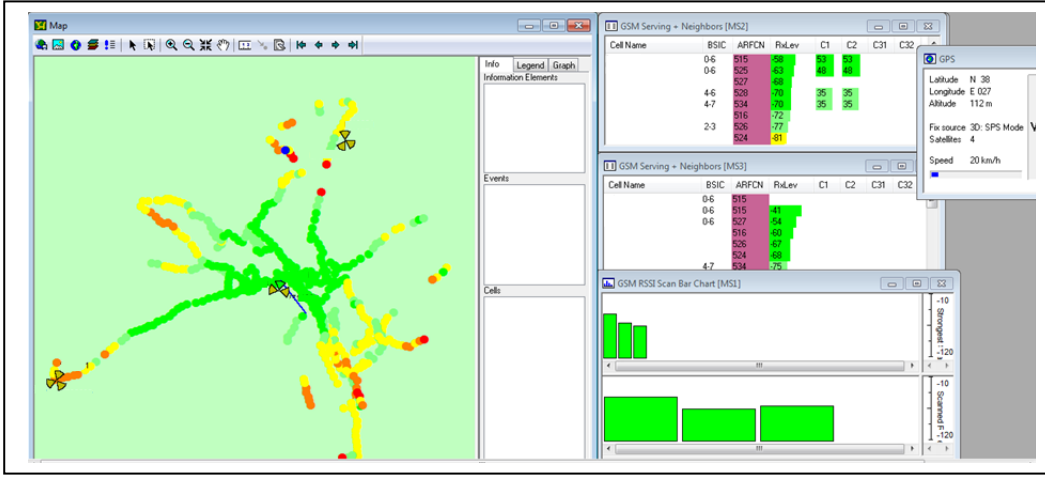
Şekil 4.12’de görüldüğü üzere, vericilerdeki trafik yükü akşam saatlerinde maksimuma ulaşır, sabah erken saatlerde minimuma inmektedir. Bu proje kapsamında ölçümler saat 8:00 ve 17:00 sularında yapılarak, istasyonlarda ortalama trafik yükü varken ölçüm yapılması hedeflenmiştir.

4.3.2 GSM Şebekelerden Yapılan Ölçümler

2. nesil GSM şebekelerinde baz istasyonları kimlikliklerini, konfigürasyonlarını ve özelliklerini BCCH üzerinden kullanıcı ekipmanlarına bildirirler. Farklı hücrelerin farklı frekanslardan BCCH yayını yapması tercih edilse de kullanılabilir frekans sayısı sınırlı olduğundan farklı vericiler aynı BCCH’i kullanabilir. Kullanıcı ekipmanlarının, sinyal alınan baz istasyonunu ayırt edebilmesi için BCCH yanında BSIC (Base Station Identity Code) kullanılır. BSIC, NCC (Network Color Code) ve BCC (Base Station Color Code) olarak üçer bitlik iki parçadan oluşur. NCC, servis sağlayıcısına, BCC ise operatöre atanmıştır. NCC sayesinde kullanıcı ekipmanları hangi şebekeden servis almasına izin olduğunu kontrol eder, farklı BCCH, NCC ve BCC kombinasyonları sayesinde farklı vericilerin birbirinden ayırt edilmesi sağlanır.

Türkiye’de GSM şebekelerde 900 ve 1800 Mhz bantları kullanılmaktadır ve taşıyıcılar birbirlerinden 200 khz’lik koruma bantlarıyla ayrılmaktadır. TEMS Investigation, ölçüm yapılırken tarayıcı’nın tarayacağı frekans bandını seçmeye imkan verir. Ölçüm yapılırken iki çeşit ölçüm yöntemi uygulanabilir. Bunlardan ilkinde, seçilen frekans bandından yayın yapan, sinyal seviyesi en güçlü olan BCCH görüntülenir. İkinci yöntemde ise tarayıcı, sinyal seviyeleri ölçülmek istenilen vericilerin BCCH frekanslarına kilitlenebilir. Bu durumda, sadece

istenilen BCCH frekanslarındaki sinyal seviyeleri görüntülenir. TEMS Investigation, taranılan frekansların BSIC'lerini görüntüleyebilir fakat BSIC'e kilitlenme özelliği yoktur. Sinyal seviyesi ölçülen BCCH'in tamamen bizim ölçüm yaptığımız vericinin sinyali olduğundan emin olmak için MapInfo Professional ile filtreleme işlemi yapılır. TEMS Investigation ile kayıt altına alınmış olan ham BCCH sinyal verileri, ölçüm yapılması hedeflenen vericilerin BSIC'lerine göre filtrelenir ve tamamen hedeflenen sinyal ölçümleri elde edilir. Bu proje kapsamında, 2. nesil ölçümlerde BCCH frekansına kilitlenerek yapılan ölçüm tekniği kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerde vericilerin BCCH RxLev'leri kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.13'te 2. nesil GSM şebekesinden sinyal seviyesi ölçümü yapılırken kullanılan arayüz görülmektedir. Operatör ve ölçüm yapılan baz istasyonlarının isimleri ekran görüntülerinden silinmiştir. Şekil 4.14'te MapInfo Professional ile yapılan filtreleme işlemi görülmektedir.

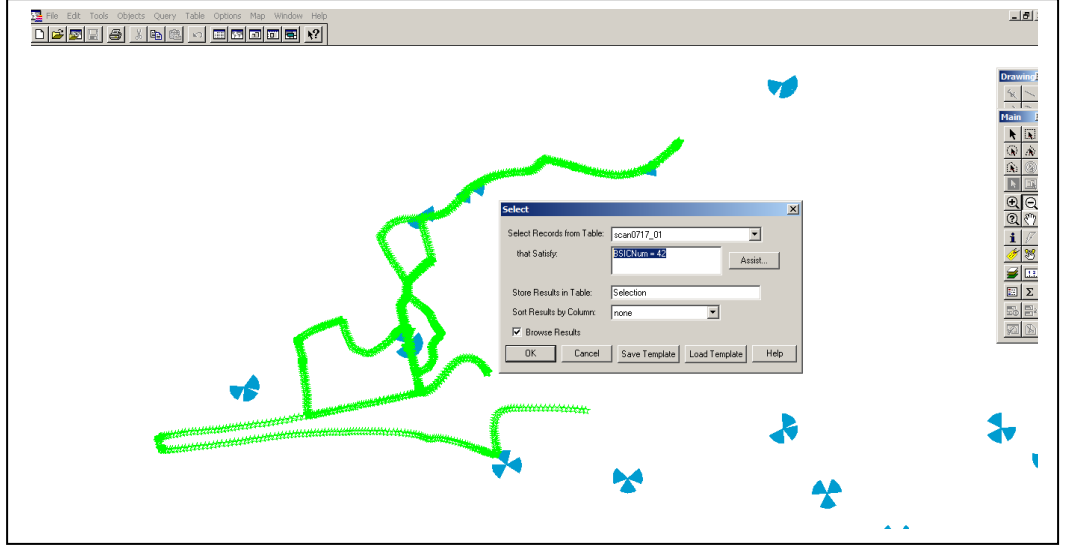


Şekil 4.13 Tems Investigation GSM Tarayıcı Ekranı

Çizelge 4.1'de 2. Nesil şebekelerden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri Map Info ile renklendirilirken kullanılan renkler ve karşılık geldikleri aralıklar görülmektedir.

Çizelge 4.1 RxLev Renklendirme Aralıkları

Renk	Sinyal Seviyesi [dBm]
Red	> -75
Orange	-75, -80
Yellow	-80, -85
Light Green	-85, -90
Dark Green	-90, -95
Cyan	-95, -100
Blue	< -100

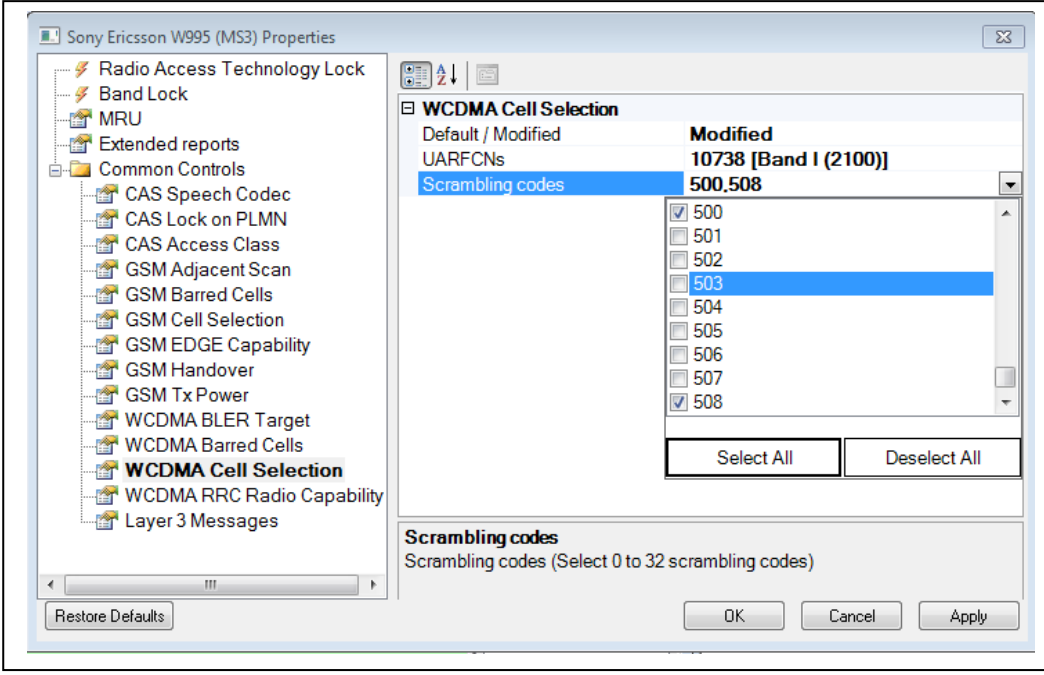


Şekil 4.14 MapInfo Professional – Sinyal Filtreleme Ekran Görüntüsü

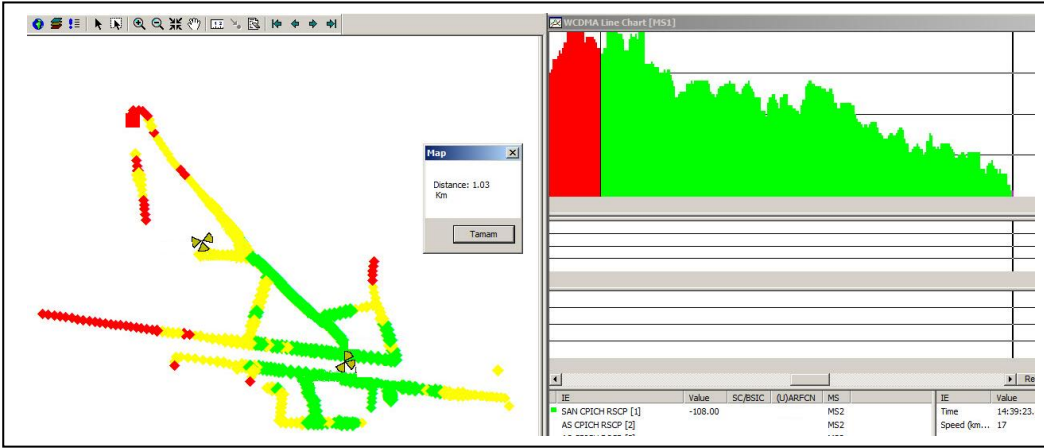
4.3.3 UMTS Şebekelerden Yapılan Ölçümler

UMTS yani 3. nesil şebekelerde WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) teknolojisi kullanılır. Bu teknolojiye tüm operatörler ve vericiler aynı frekans bandı üzerinde yayın yaparlar. Kullanıcı ekipmanları yayın yapan baz istasyonu bilgilerini CPICH üzerinden ölçer. Tüm vericiler aynı frekans üzerinden yayın yaptığı için, farklı vericileri birbirinden ayırt edilebilmesi için PSC (Primary Scrambling Code) kullanılır. PSC her hücreye özgü 0 ile 511 arasında değişen bir koddur. TEMS Investigation, WCDMA şebekelerde, ölçüm yapılacak frekans bandına istenilen PSC'lere kilitlenmeye olanak verir. 2. nesil sistemlerdekine benzer olarak, 3. nesil şebekelerde iki çeşit ölçüm tekniği vardır. İstenilen frekans bandında yayın yapan en kuvvetli CPICH sinyali taranabilir yada ölçüm yapılması hedeflenen vericilerin PSC'lerine kilitlenerek sadece istenilen sinyal seviyelerinin ölçülmesi sağlanabilir. PSC bir hücreyi ayırt etmek için tek başına yeterli olduğu için WCDMA şebekelerde ayrıca bir filtreleme işlemine gerek yoktur.

Bu proje kapsamında, UMTS şebekelerde ölçüm yapılması hedeflenen istasyon PSC'sine kilitlenme yöntemi kullanılmıştır. Kilitlenen vericilerin CPICH'leri üzerinden RSCP ölçümü yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Ülkemizde tüm operatörler, 3. nesil sinyallerini 2100 Mhz bandından yayın yapmaktadır ve taşıyıcılar birbirlerinden 5 Mhz'lik koruma bantlarıyla ayrılmaktadır. Ölçüm yapılan ARFCN'ler (Absolute Radio Frequency Channel Number) 10637, 10663 ve 10738'dir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te WCDMA ölçümler yapılırken kullanılan arayüz görülmektedir.



Şekil 4.15 TEMS Investigation WCDMA Tarayıcı Ayarları Ekran Görüntüsü



Şekil 4.16 TEMS Investigation – WCDMA Kullanıcı Arayüzü

Çizelge 4.2’de ölçülen RSCP değerlerini Map Info ile renklendirirken kullanılan aralıklar görülmektedir.

Çizelge 4.2 RSCP Renklendirme Aralıkları

Renk	Sinyal Seviyesi [dBm]
Red	> -60
Yellow	-60, - 70
Green	-70, - 80
Cyan	-80, - 90
Blue	< -90

4.4 Sinyal Güç Yoğunluğundaki Kayıpların Hesaplanması

Günümüzde kullanılan RF dalga yayılım modelleri, sinyallerde oluşan kayıpları hesaplamaya yöneliktir. Sahadan yapılan gerçek ölçümleri ve RF yayılım modellerinin tahminlerini karşılaştırmak için hesaplanan sinyal güç yoğunluğundaki kayıplar kıstas alınmıştır. Bu proje kapsamında yapılan bütün sinyal güç yoğunluğu ölçüm sonuçları dBm cinsindedir.

$$dBm = 10\log(\text{çıkış gücü}/1mW) \quad (22)$$

şeklinde ifade edilir. Sinyal güç yoğunluğundaki kaybı hesaplayabilmek için, öncelikle ölçüm yapılan vericinin etkin çıkış gücünü hesaplamamız gerekir. Etkin çıkış gücü ile ölçülen sinyal gücü arasındaki fark ise o sinyalin uğradığı kayıptır. Hücresel ağlarda etkin verici gücünü hesaplariken hesaba katılması gereken birkaç faktör vardır. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Ölçüm yapılan vericinin çıkış gücü
- Vericide kullanılan anten kazancı
- Vericideki kablo kayıpları (feeder loss)
- Tarayıcı anten kazancı

Hücresel ağlarda verici sinyali öncelikle baz istasyonu tarafından gerekli modülasyon ve kodlama işlemlerinden geçirilir. Bu işlemlerden sonra kablolar vasıtasıyla sinyal, antenlere taşınır. Anten ile sinyali üreten ekipman arasında kablo kayıpları oluşur. Baz istasyonlarında genellikle 1/2", 7/8" bakır ve fiberoptik kablolar kullanılır. Bakır kablolarda kablolama kayıpları, kablonun boyu arttıkça artar, fiber optik kablolarda ise kablo kayıpları ihmal edilecek kadar düşüktür. Sinyaller antenlere kadar taşındıktan sonra, anten kazancı kadar kuvvetlendirilirler, kullanılan antenlerin kazançları birbirinden farklıdır. Kuvvetlendirilen sinyaller, havada yol aldıktan sonra kullanıcı ekipmanlarına ulaşır. Kullanıcı ekipmanının ölçtüğü sinyal seviyesi hesaplanırken kullanıcı ekipmanının ve antenin kazancı da hesaba katılmalıdır. Bu projede kullanılan ölçüm düzeneğinde tarayıcı anten kazancının hesaba katılmasına gerek yoktur.

$$EIRP [dBm] = \text{Sinyal Gücü [dBm]} + Tx \text{ anten kazancı} - \text{feeder kayıpları} \quad (23)$$

$$\text{Sinyal Güç Yoğunluğu Kaybı [dB]} = EIRP [dBm] - \text{Sinyal Gücü [dBm]} \quad (24)$$

$$\text{Sinyal güç yoğunluğu kaybı [dB]} = EIRP [dBm] - BCCH RxLev [dBm], 2G$$

$$\text{Sinyal güç yoğunluğu kaybı [dB]} = EIRP [dBm] - CPICH RSCP [dBm], 3G$$

Etkin yayın gücü denklem 23'te görüldüğü şekilde ifade edilebilir. Bu proje kapsamında benzetim çalışmalarıyla karşılaştırmak üzere sinyal seviyesi ölçümü yapılan baz istasyonlarının etkin yayın güçleri çizelge 4.3'te görülmektedir.

Çizelge 4.3 Vericilerin Etkin Yayın Güçleri

EIRP [dBm]	Çıkış Gücü [dBm]	Anten Kazancı [dBi]	Kablo Kaybı [dB]	Anten Yüksekliği [m]	Servis Verilen Bölge
59.74	45	17.7	2.96	23	KONAK
55.45	43	15.2	2.75	32	ÇANKAYA
47.04	32	18	2.96	25	ALSANCAK
45.25	32	18	4.75	40	ALSANCAK
53.45	43	15.2	4.75	18	BORNOVA
59.53	45	17.7	3.17	19	BUCA
50	32	18	0	14	KARŞIYAKA
59.22	45	17.7	3.48	30	ÇİĞLİ
50	32	18	0	22	ÇİĞLİ
53.94	42	16	4.06	31	NARLIDERE

5. RF DALGA YAYILIM MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Bu bölümde, proje kapsamında yapılan benzetim çalışmaları anlatılmaktadır.

Bir dalga yayılım modeli oluştururken amaç, gerçekle en benzer sonucu elde edebilmektir. Bu proje kapsamında İzmir ilinin çeşitli bölgelerinde gerçek şebeke sinyal seviyesi ölçümleri yapılmıştır. RF Dalga yayılım modellerinin tuttarlılığının incelenebilmesi için, farklı modeller bilgisayar ortamında simüle edilmiş ve gerçek ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışmaları sırasında Atoll ve TEMS Cell Planner kullanılmıştır. Bu benzetim araçları, hücresel şebekelerde kullanılan konfigürasyonlarla tam uyum içerisinde çalışabilmektedir.

Modelleme sırasında, daha önce ölçüm yapılan vericilerin çevresindeki bölgeler için, AOH (Advanced Okumura-Hata), AWI (Advanced Walfisch – Ikegami) ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak sinyal seviyeleri tahmin edilmiştir. Daha sonra bu benzetim değerleri mevcut ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Benzetim yapılacak bölgeler seçilirken, şehrin yapısını mümkün olduğunca modele dahil edebilme amacı güdülmüştür. Benzetim esnasında kullanılan modellerden Algorithm 9999 kullanılacağı bölgeye göre karakterize edilmeye imkan verdiğinden, önce en iyi sonucu vereceği şekilde ayarlanmış, daha sonra karşılaştırma işlemlerine dahil edilmiştir.

5.1 Sinyal Seviyesi Benzetim Çalışmaları

Bu proje esnasında kullanılan farklı yayılım modelleri için farklı benzetim araçları kullanılmıştır.

Algorithm 9999 modeli kullanılarak yapılan benzetim çalışmaları için TEMS Cell Planner, Walfisch-Ikegami ve Okumura-Hata modelleri kullanılarak yapılan çalışmalar için Forsk Atoll kullanılmıştır. Atoll ve TCPU, arayüzleri sayesinde istenilen dalga yayılım modelini kullanarak benzetim yapmaya olanak verirler. İçlerindeki sayısal harita sayesinde, modeli gerçeğe en yakın şekilde simüle ederler. Yapılan benzetimler, dense urban, urban ve suburban olmak üzere üç ana alt gruba ayrılmış ve kendi içlerinde incelenmiştir. Dense urban benzetimler için 5 m'lik, urban benzetimler için 10 m'lik, suburban benzetimler için ise 20 m'lik çözünürlüğe sahip sayısal haritalar kullanılmıştır. Kullanılan sayısal haritalarda yeryüzü şekilleri tamamen üç boyutlu olarak sayısal ortama

aktarılmıştır, binalar ise iki boyutlu olarak aktarılmıştır ve yükseklik bilgisi sayısal haritada mevcut değildir. Gerçeğe en yakın sonucun alınabilmesi için benzetim çalışmaları yapılırken verici ve bina yükseklikleri modellere el yordamı ile girilmiştir. Bölgeye uygun çözünürlüğün kullanılması, benzetim sonuçlarının gerçeğe yakın olması açısından önemlidir. Kırsal bir bölgede, sinyal seviyeleri uzun mesafeler boyunca fazla değişmeyebilir, fakat sık bina ve engel içeren dense urban bölgelerde 5 m'lik mesafe içerisinde sinyal seviyesinde büyük değişimler olabilir.

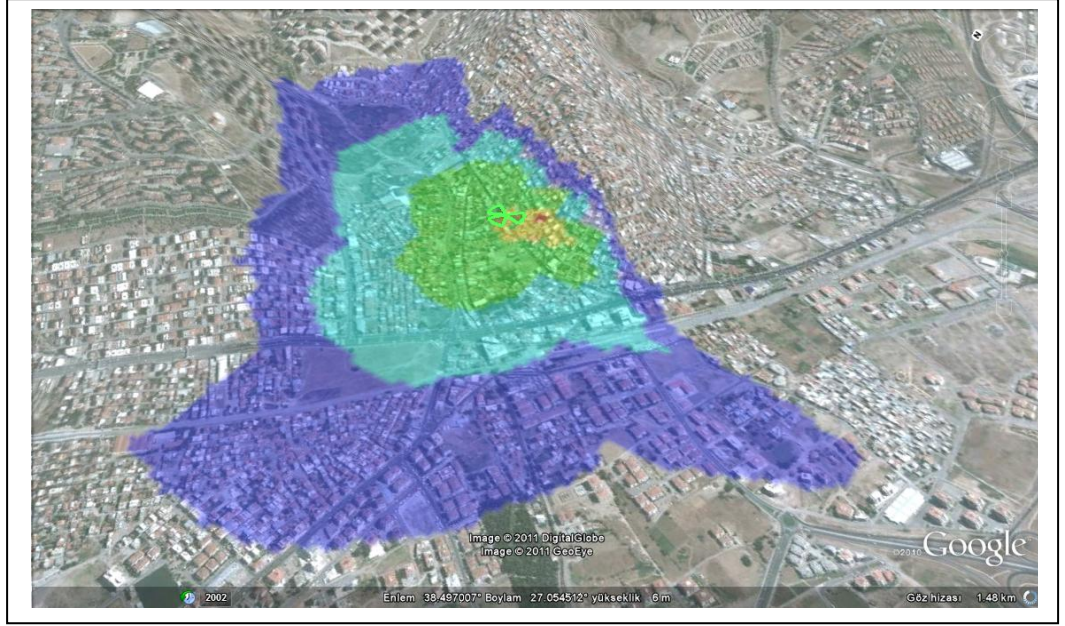
Benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen sinyal seviyesi grafikleri Google Earth'ten alınan uydu görüntüleriyle birleştirilmiştir. Benzetim değerleri renklendirilirken ölçüm yapılırken kullanılan aralıkların aynısı kullanılmıştır (Bkz. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölümde görülebilir.

5.1.1 Advanced Okumura-Hata Modeli kullanılan Benzetim Çalışmaları

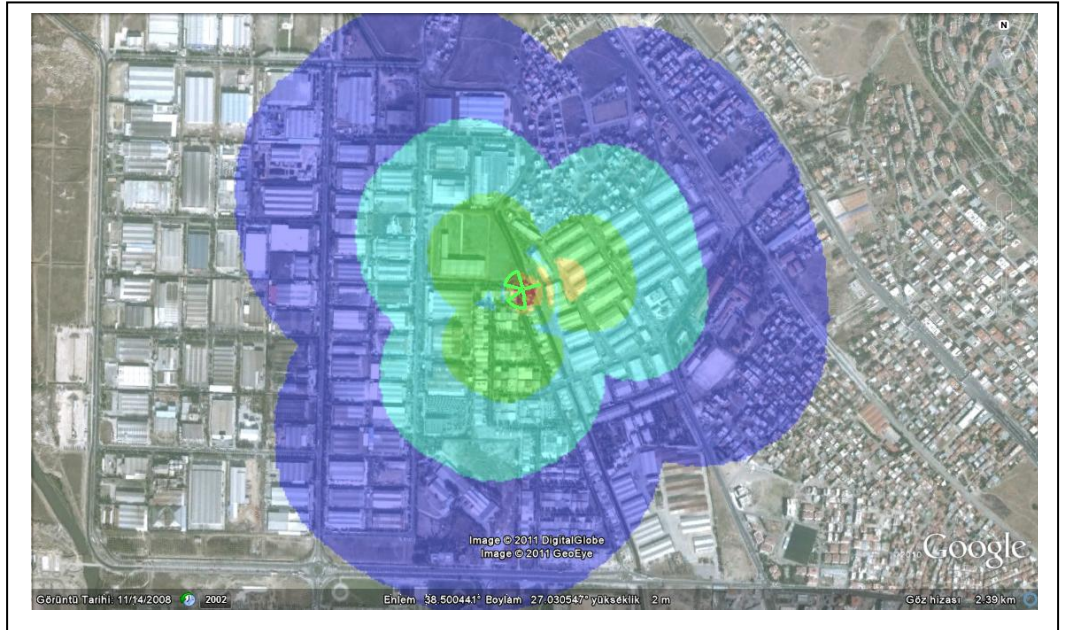
Bu bölümde Advanced Okumura-Hata modeli kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları yer almaktadır. Şekil 5.1 ile Şekil 5.9 arasında benzetim sonuçları görülebilir. Benzetim çalışmaları şehir içi, şehir merkezi ve şehir dışı için 900 Mhz, 1800 Mhz ve 2100 Mhz frekanslarında ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.



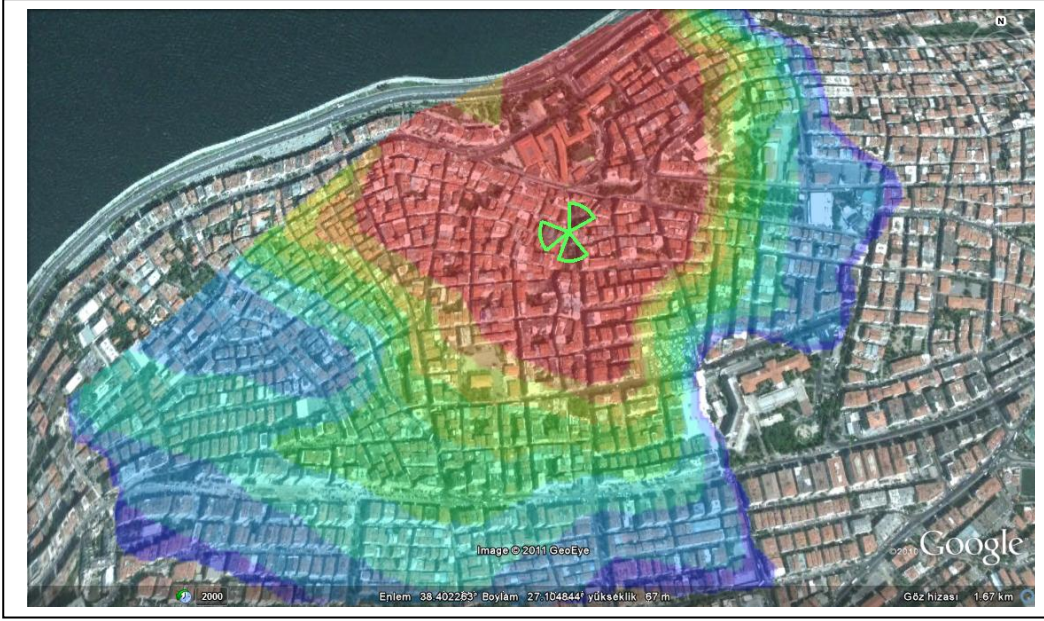
Şekil 5.1 Advanced Okumura-Hata 2100 Mhz benzetim sonuçları – dense urban



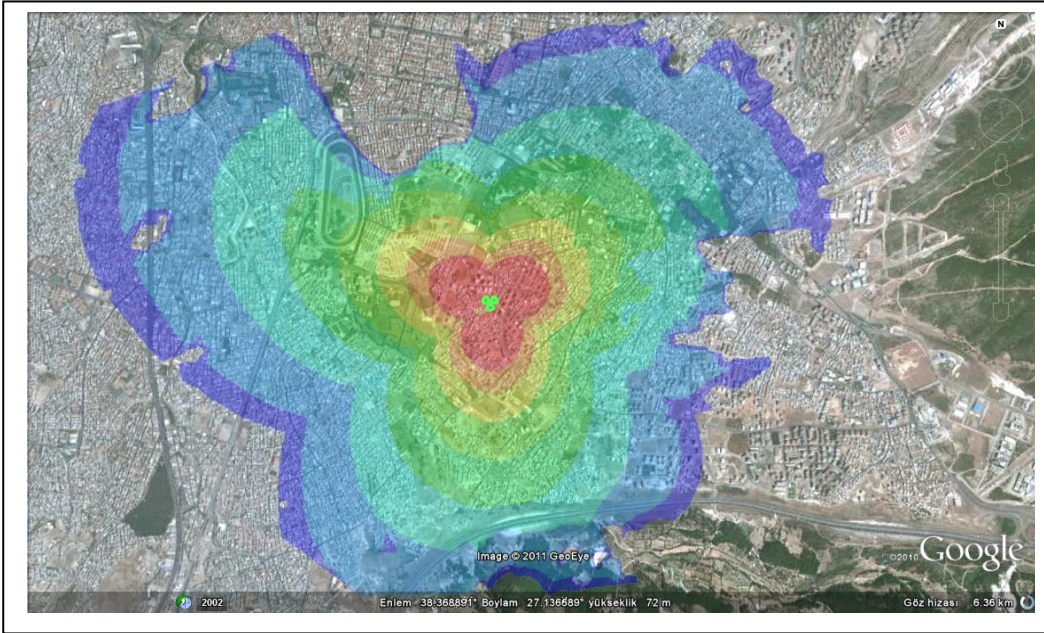
Şekil 5.2 Advanced Okumura-Hata 2100 Mhz benzetim sonuçları - urban



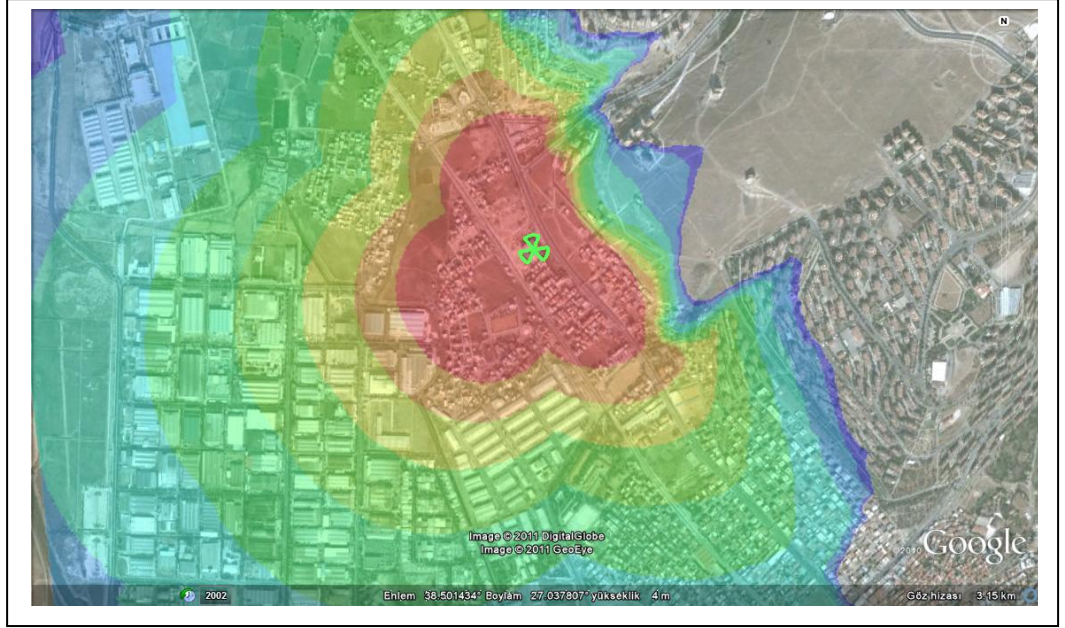
Şekil 5.3 Advanced Okumura-Hata 2100 Mhz benzetim sonuçları - suburban



Şekil 5.4 Advanced Okumura-Hata 1800 Mhz benzetim sonuçları – dense urban



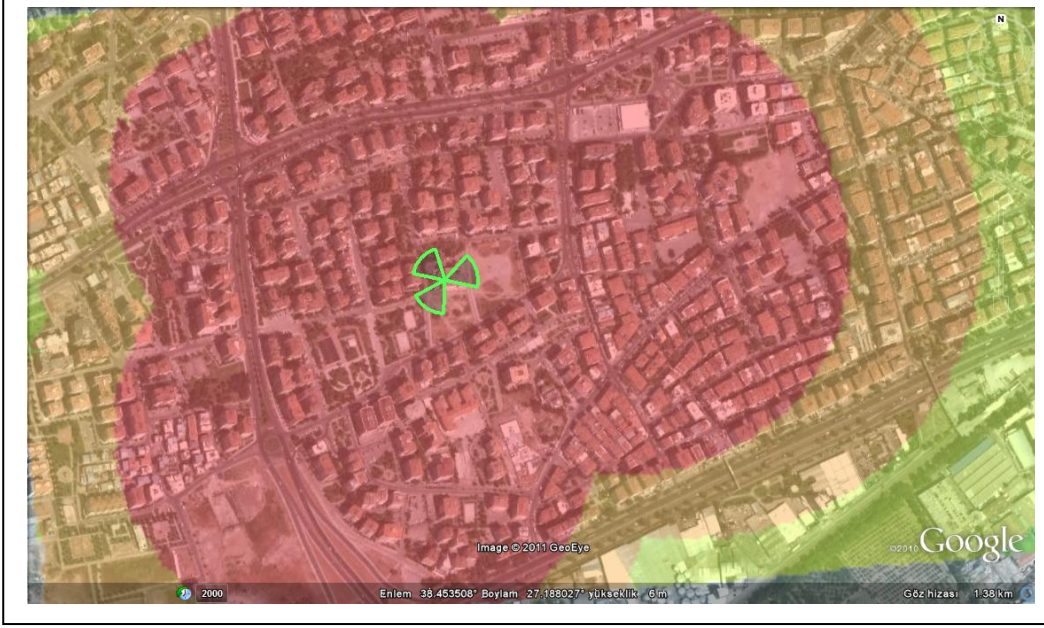
Şekil 5.5 Advanced Okumura-Hata 1800 Mhz benzetim sonuçları - urban



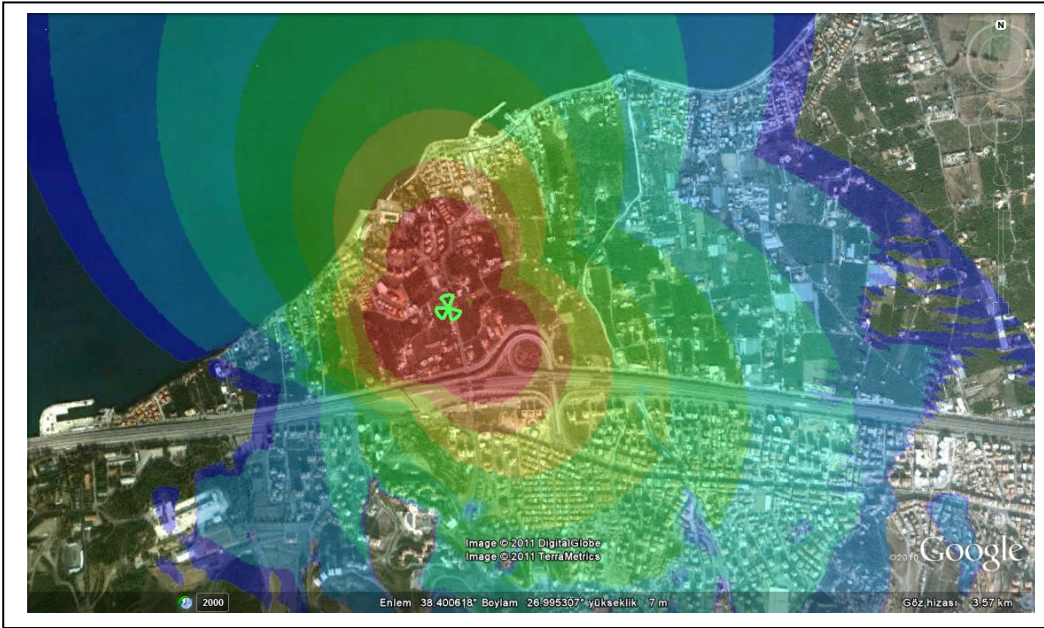
Şekil 5.6 Advanced Okumura-Hata 1800 Mhz benzetim sonuçları - suburban



Şekil 5.7 Advanced Okumura-Hata 900 Mhz benzetim sonuçları – dense urban



Şekil 5.8 Advanced Okumura-Hata 900 Mhz benzetim sonuçları – urban



Şekil 5.9 Advanced Okumura-Hata 900 Mhz benzetim sonuçları – suburban

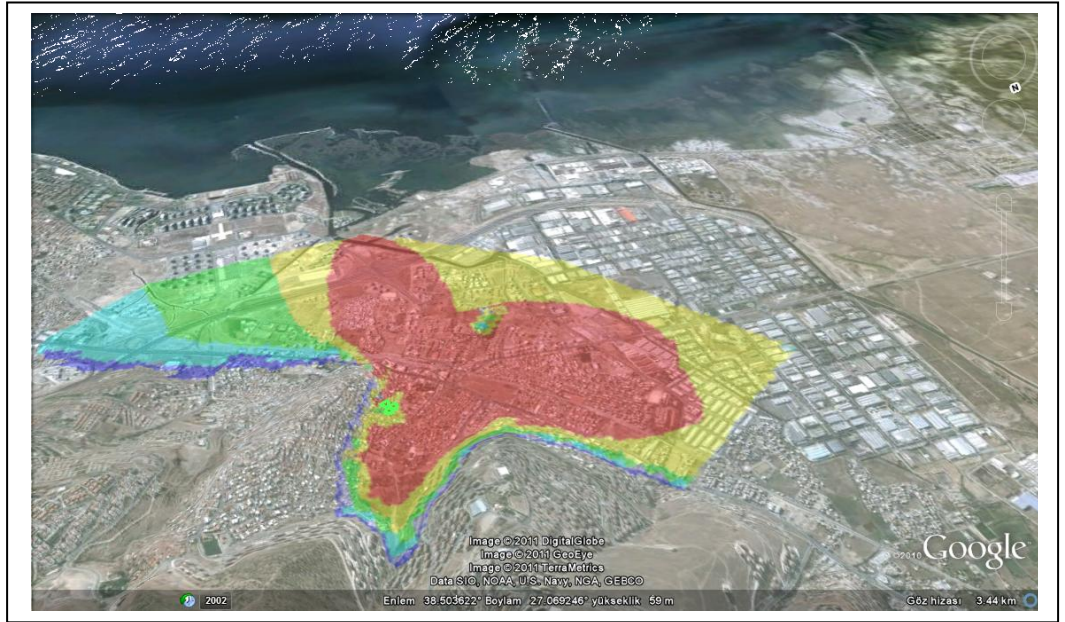
5.1.2 Advanced Walfisch-Ikegami Modeli Kullanılan Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde Advanced Walfisch - Ikegami modeli kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları yer almaktadır. Şekil 5.10 ile Şekil 5.18 arasında benzetim sonuçları görülebilir. Benzetim çalışmaları şehir içi, şehir merkezi ve şehir dışı

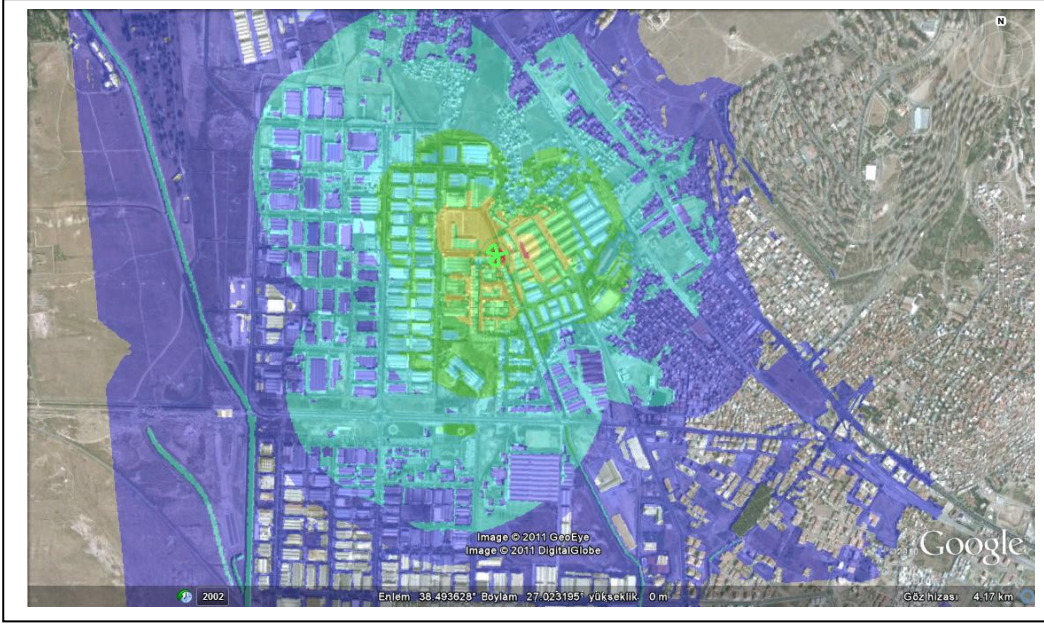
için 900 Mhz, 1800 Mhz ve 2100 Mhz frekanslarında ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.



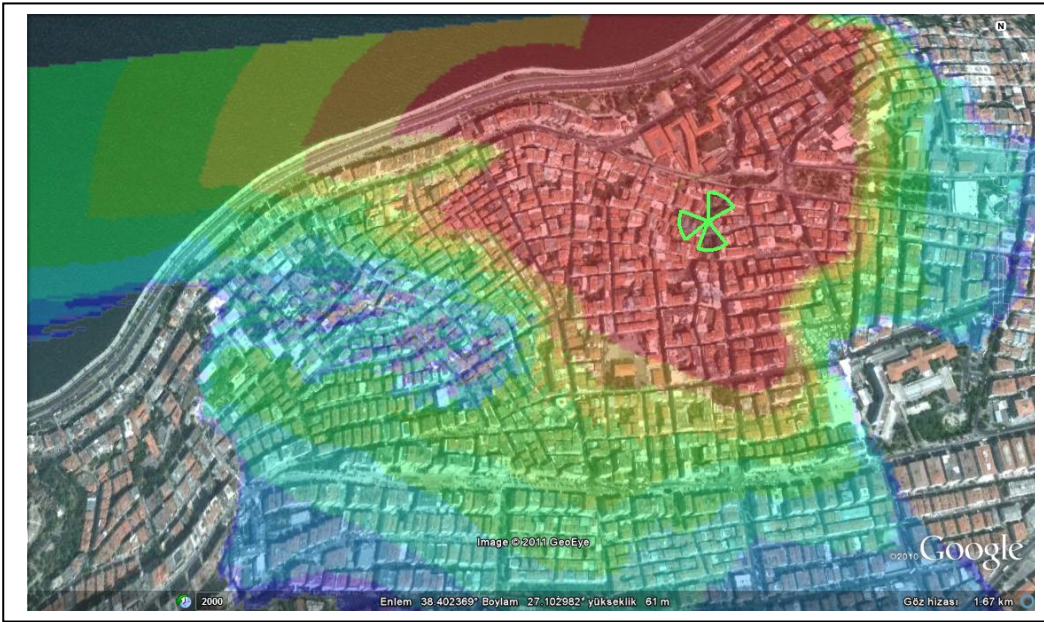
Şekil 5.10 Advanced Walfisch-Ikegami 2100 Mhz benzetim sonuçları – dense urban



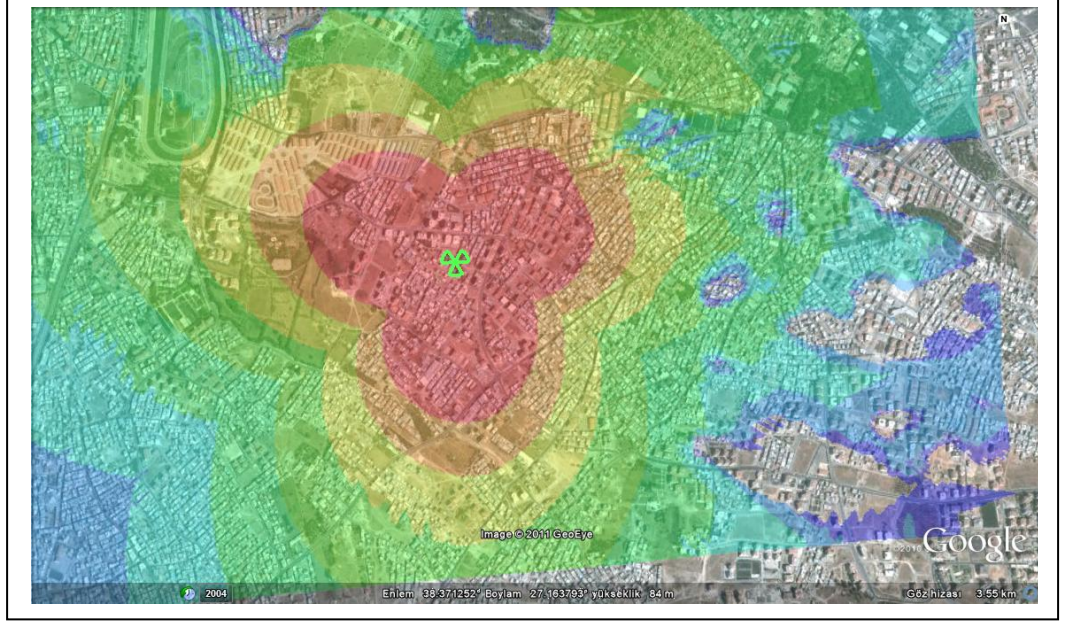
Şekil 5.11 Advanced Walfisch-Ikegami 2100 Mhz benzetim sonuçları – urban



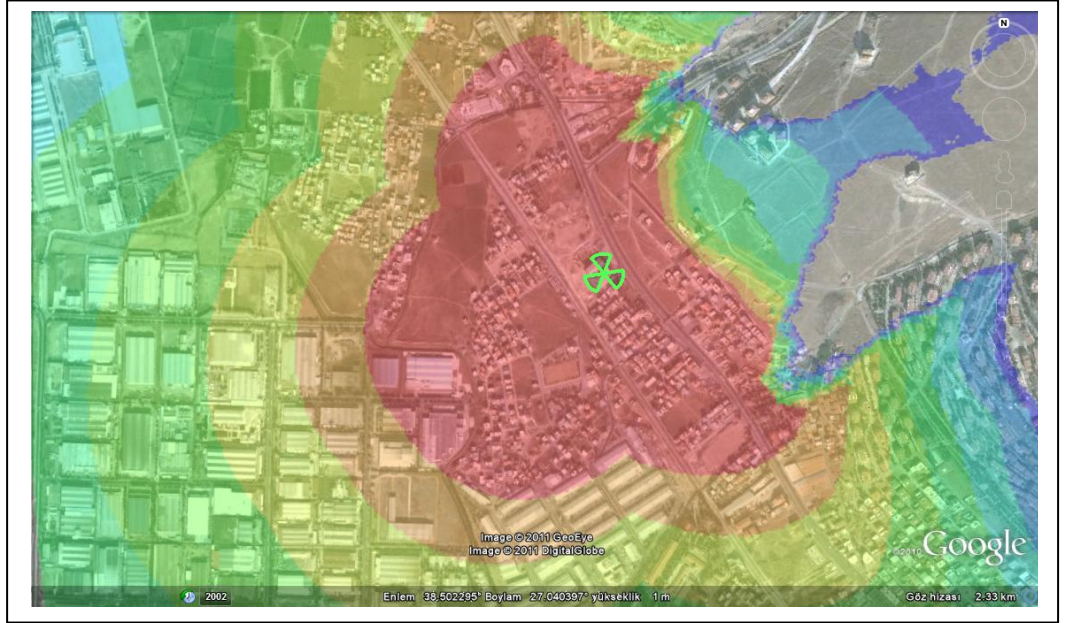
Şekil 5.12 Advanced Walfisch-Ikegami 2100 Mhz benzetim sonuçları – suburban



Şekil 5.13 Advanced Walfisch-Ikegami 1800 Mhz benzetim sonuçları – dense urban



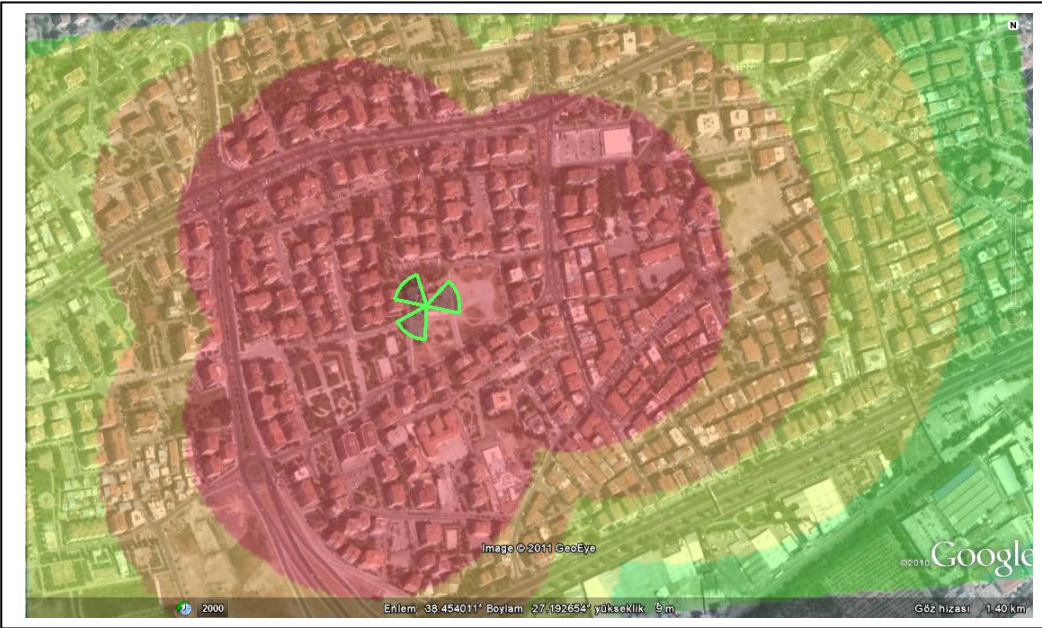
Şekil 5.14 Advanced Walfisch-Ikegami 1800 Mhz benzetim sonuçları – urban



Şekil 5.15 Advanced Walfisch-Ikegami 1800 Mhz benzetim sonuçları – suburban



Şekil 5.16 Advanced Walfisch-Ikegami 900 Mhz benzetim sonuçları – dense urban



Şekil 5.17 Advanced Walfisch-Ikegami 900 Mhz benzetim sonuçları – urban



Şekil 5.18 Advanced Walfisch-Ikegami 900 Mhz benzetim sonuçları – suburban

5.2 Algorithm 9999 Kullanılan Benzetim Çalışmaları

Algorithm 9999, benzetim yapılacağı bölgeye göre karakterize edilebilmesine olanak veren bir RF dalga yayılım modelidir. İçerisindeki A_0 , A_1 , A_2 ve A_3 değişkenleri sayesinde bölgeye göre karakterize edilerek benzetim yapılacak bölgede gerçeğe en yakın sonucu vermesi hedeflenir. Bu sabitler, modelin karakterize edileceği bölgede yapılan sinyal seviyesi ölçümlerine dayanılarak belirlenir (Bkz. Bölüm 3.2.1). Değişken hesaplama çalışmalarında tercihen modüle edilmemiş CW (Continuous Wave) yayını yapan yönsüz antenler kullanılır. Bu proje kapsamında canlı şebekeden alınan ölçümler yönlü antenler tarafından yayınlanmış sinyallerdir. Algorithm 9999 içerisinde kullanılan A değişkenlerini hesaplamak için Cosmo Telecom tarafından Avea İletişim Hizmetleri A.Ş için yapılan model karakterizasyonu çalışmalarından yararlanılmıştır (Cosmo Telecom, 2011).

5.2.1 Algorithm 9999'un Ölçüm Yapılan Bölgeye Göre Karakterize Edilmesi

Model karakterizasyonu çalışmalarında yapılan ölçümler ile benzetim sonuçları karşılaştırılır. Tutarlılık konusunda kıstas olarak ortalama hata, standart sapma, veya korrelasyon faktörü alınabilir. Bu projede kıstas olarak ortalama hata ve standart sapma değerleri karşılaştırılmıştır. Model karakterizasyonu çalışmalarında, modelin içerisindeki değişkenler hata değeri sıfır olana kadar

değiştirilir. Standart sapmanın ise mümkün olduğunca düşük olması tercih edilir. Standart sapmada 10 dB'lik bir sonuç kabul edilebilir, 8 dB ise iyi olarak değerlendirilebilir (Forsk, 2010). Standart sapma değerleri yüksek çıkarsa bölge sınıflandırmalarını ve offset değerlerini gözden geçirmek gerekebilir.

$$\text{Ortalama Hata} = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N [SS_{\text{Stahmin}, i} - SS_{\text{ölçülen}, i}] \quad (25)$$

$$\text{Mutlak Ortalama Hata} = \frac{1}{N} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (SS_{\text{Stahmin}, i} - SS_{\text{ölçülen}, i})^2} \quad (26)$$

$$\text{Standart Sapma, } \sigma = \sqrt{(\text{Mutlak Ortalama Hata})^2 - (\text{Ortalama Hata})^2} \quad (27)$$

Algorithm 9999'un optimize edilmesi için, standart A değerleri ile benzetim yapılıp, ölçümlerle karşılaştırılır. A değerleri değiştirilerek benzetim tekrarlanır. Hata değerinin sıfıra en yakın ve standart sapmanın en düşük olduğu durumda A değerleri sabitlenir. Sıfırın üzerindeki bir hata değeri, modelin optimistik olduğu, sıfırın altındaki bir hata değeri ise modelin pesimistik olduğu anlamına gelir. Sahadan yapılan sinyal seviyesi ölçümleri TEMS Cell Planner'a yüklendikten sonra program hata değeri sıfıra en yakın olacak şekilde A değişkeni değerlerini ve şehrin farklı bölgeleri için offset değerlerini otomatik olarak hesaplayabilir. Bu proje esnasında Avea Model Tuning Projesinde Atoll SPM (Standard Propagation Model) için hesaplanan değişken değerlerinden yararlanarak Algorithm 9999'da kullanılmak üzere A değişkenleri el yordamı ile hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda hesaplanan A değişkeni değerleri çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1 Benzetim çalışmalarında kullanılan Algorithm 9999 A değişkenleri

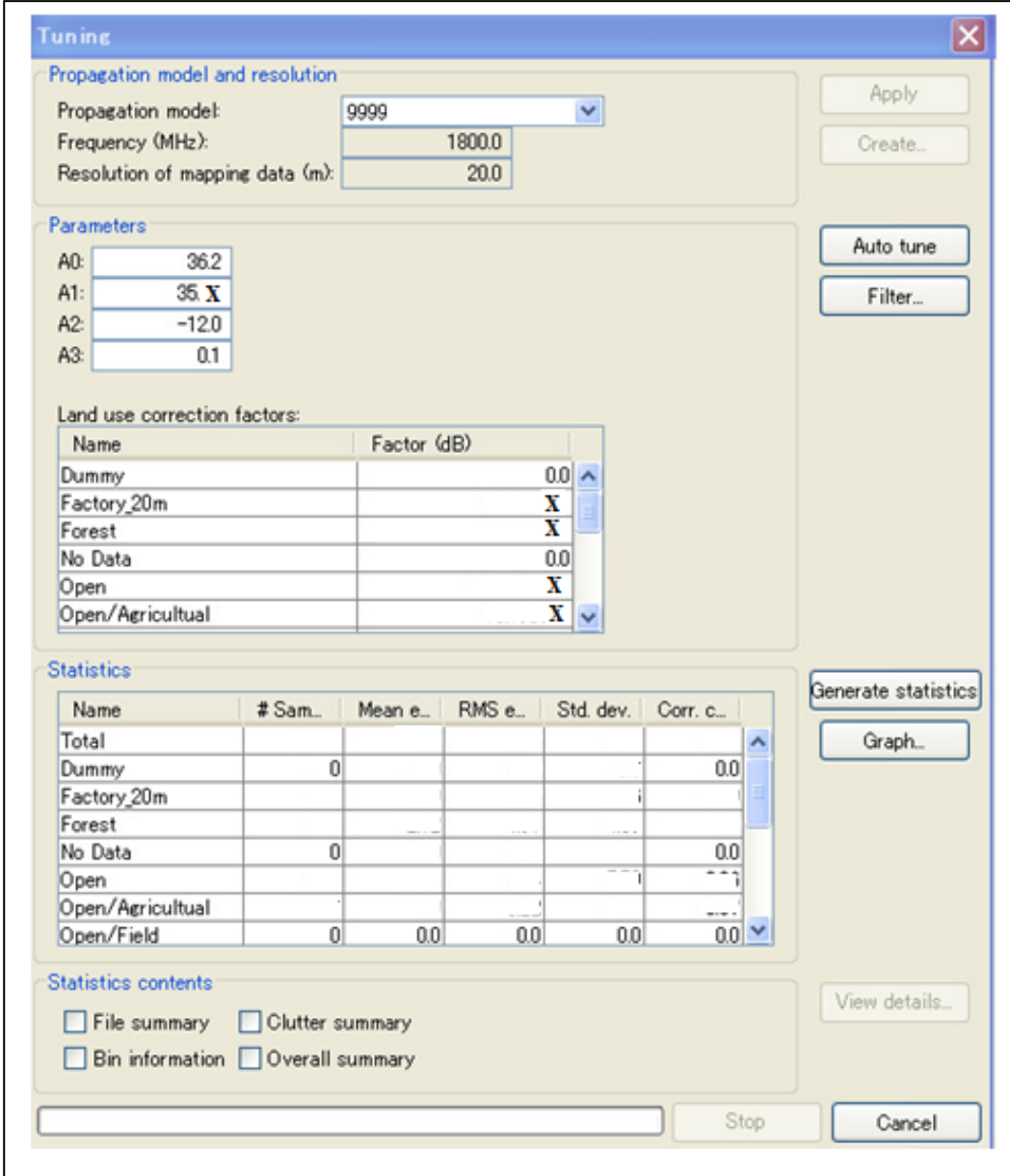
	A ₁			A ₀	A ₂	A ₃
	900 Mhz	1800 Mhz	2100 Mhz	Tüm Frekanslar		
Dense urban	29.6	29.1	32.7	36.2	-12	0.1
Urban	27.5	33.7	32.2	36.2	-12	0.1
Suburban	26.9	31.8	31.6	36.2	-12	0.1

Benzetim yapılan bölgeler için hesaplanan ek sinyal güç yoğunluğu kayıpları [dB] çizelge 5.2’de görülebilir.

Çizelge 5.2 Benzetim çalışmalarında kullanılan düzeltme sabitleri [dB]

Bölge Sınıfı: Dense urban	Ek kayıp [dB]	Bölge Sınıfı: Urban	Ek kayıp [dB]	Bölge Sınıfı: Suburban	Ek kayıp [dB]
Siteler	10.2	Siteler	10.5	Siteler	7.5
Şehir merkezi - yüksek	11.1	Şehirleşmiş Alan - yüksek	11.2	Kasabalar	6.9
Şehir merkezi	12.1	Şehirleşmiş Alan	7.2	Sanayi Bölgeleri	4.1
Şehir merkezi - alçak	12.3	Şehirleşmiş Alan - alçak	12.1	Parklar	4.4
Apartmanlar	12.5	İş merkezleri	8.9	Boş Araziler	1.8
İş merkezleri	8.8	Sanayi Bölgeleri	10.3	Yollar	-2

Şekil 5.19’da TEMS Cell Planner ile model karakterizasyonu yapılırken yapılan hesaplama çalışmalarının bir örneği görülmektedir. Bu proje kapsamında CW ölçüm yapılmadığı için otomatik optimizasyon seçeneği kullanılmamıştır. Şekil 5.19’daki değişken değerleri bu çalışma kapsamındaki ölçümler üzerinden hesaplanmadıkları için silinmiştir.



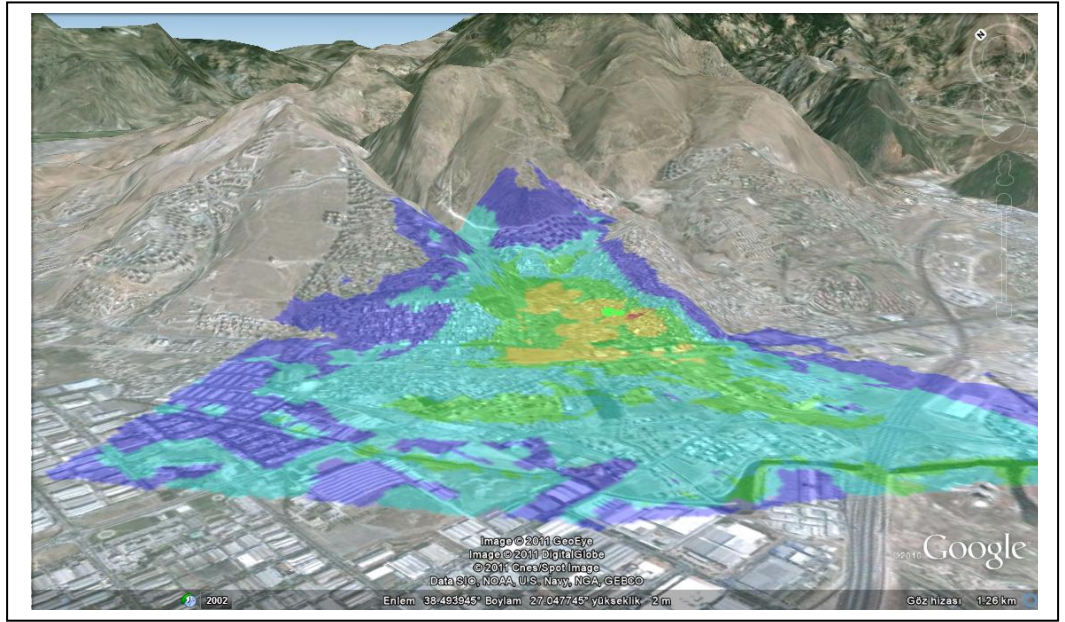
Şekil 5.19 TEMS Cell Planner – Model Tuning Ekran Görüntüsü

5.2.2 Algorithm 9999 Benzetim Çıktıları

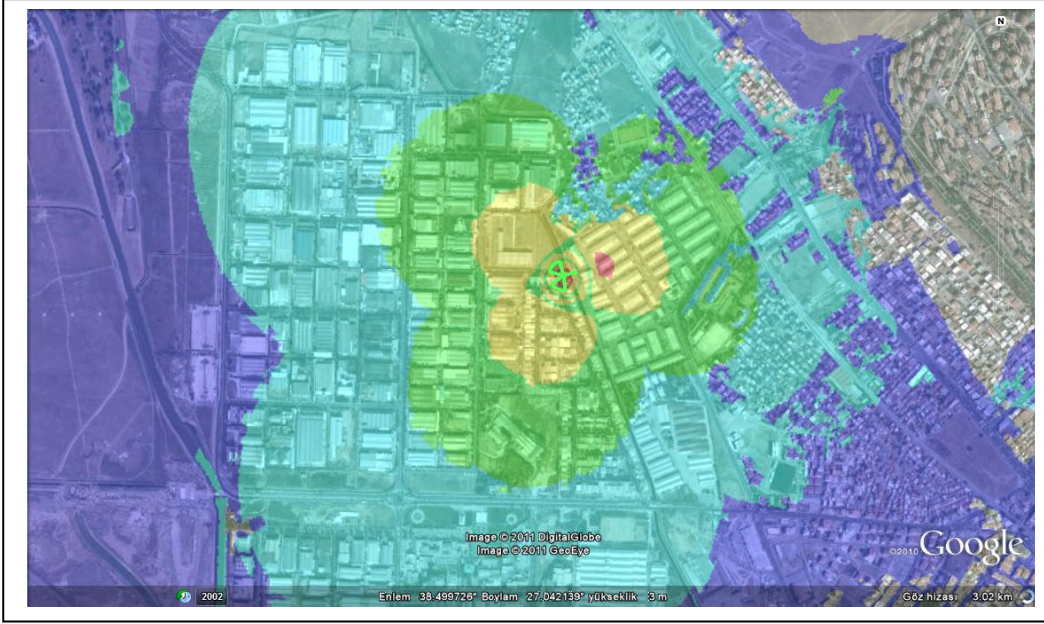
Bu bölümde Advanced Okumura-Hata modeli kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları yer almaktadır. Şekil 5.20, Şekil 5.28 arasında benzetim sonuçları görülebilir. Benzetim çalışmaları şehir içi, şehir merkezi ve şehir dışı için 900 Mhz, 1800 Mhz ve 2100 Mhz frekanslarında ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.



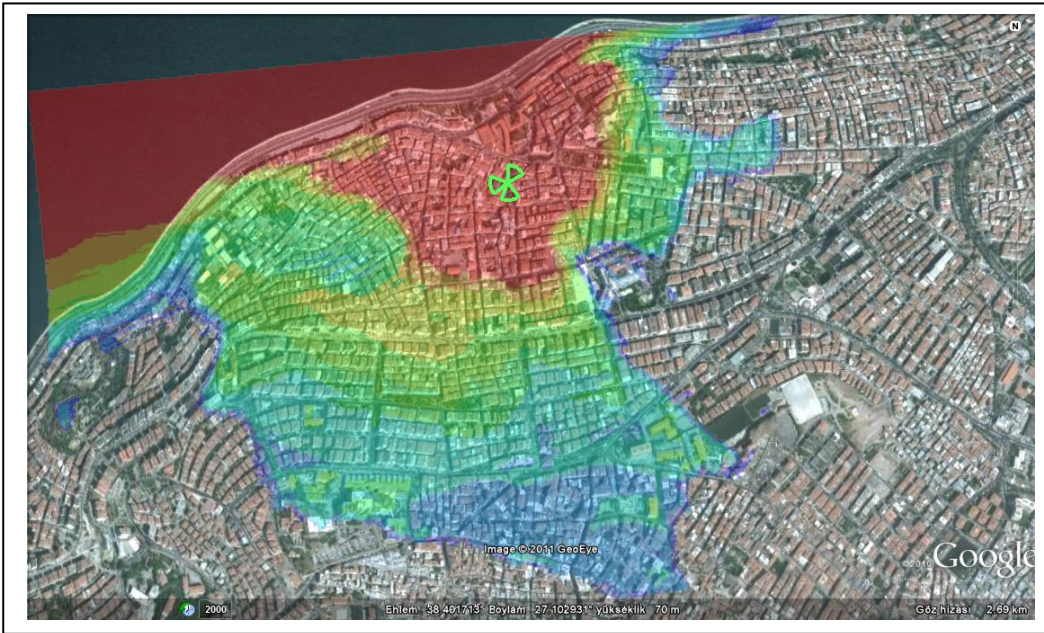
Şekil 5.20 Algorithm 9999 2100 Mhz benzetim sonuçları – dense urban



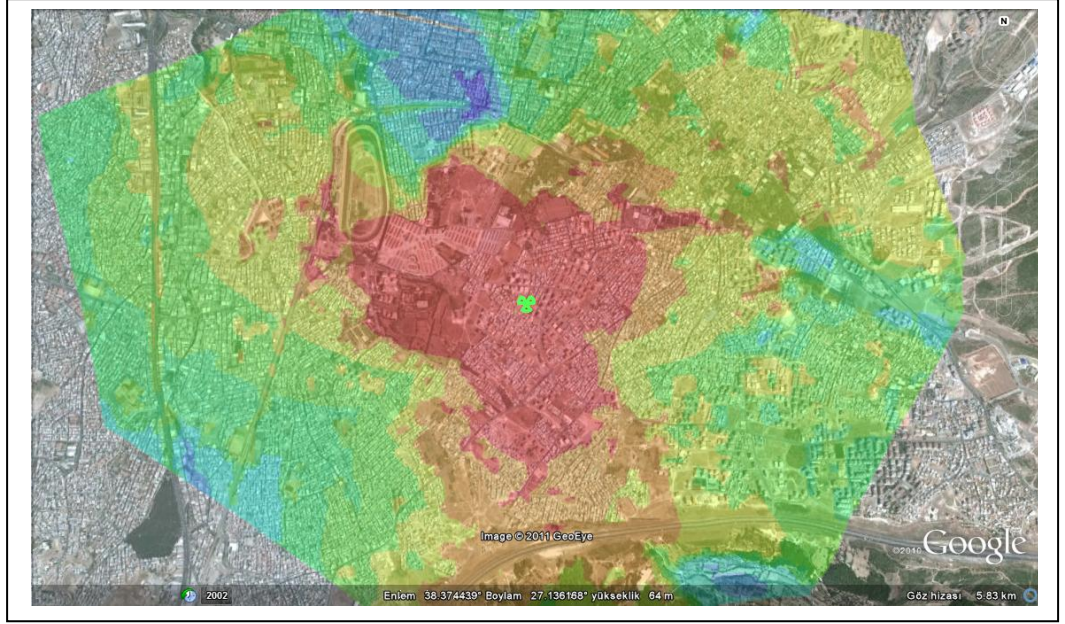
Şekil 5.21 Algorithm 9999 2100 Mhz benzetim sonuçları – urban



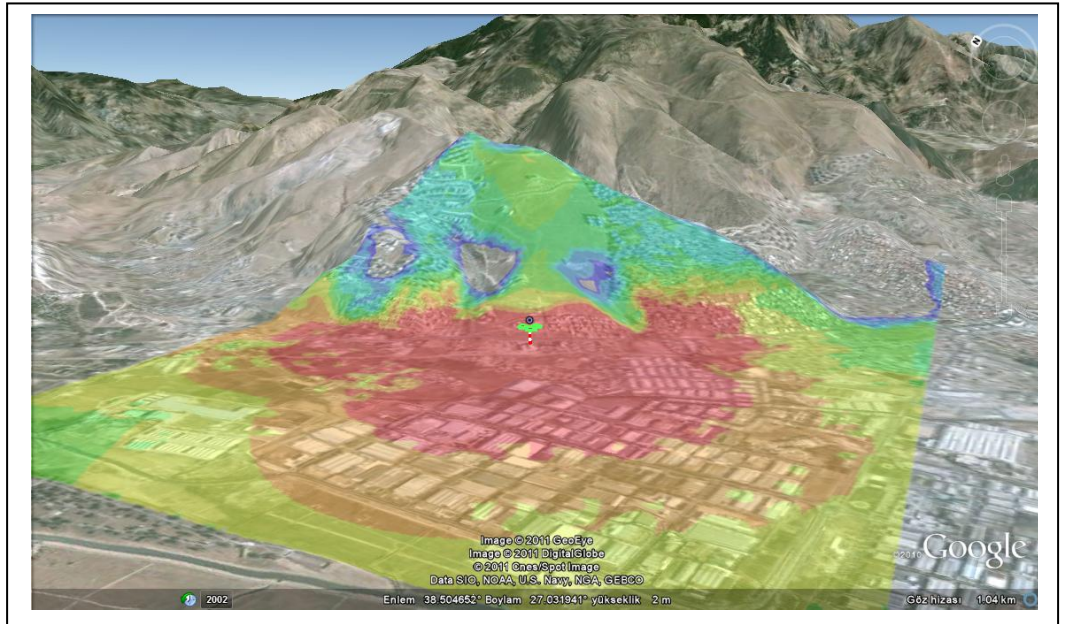
Şekil 5.22 Algorithm 9999 2100 Mhz benzetim sonuçları – suburban



Şekil 5.23 Algorithm 9999 1800 Mhz benzetim sonuçları – dense urban



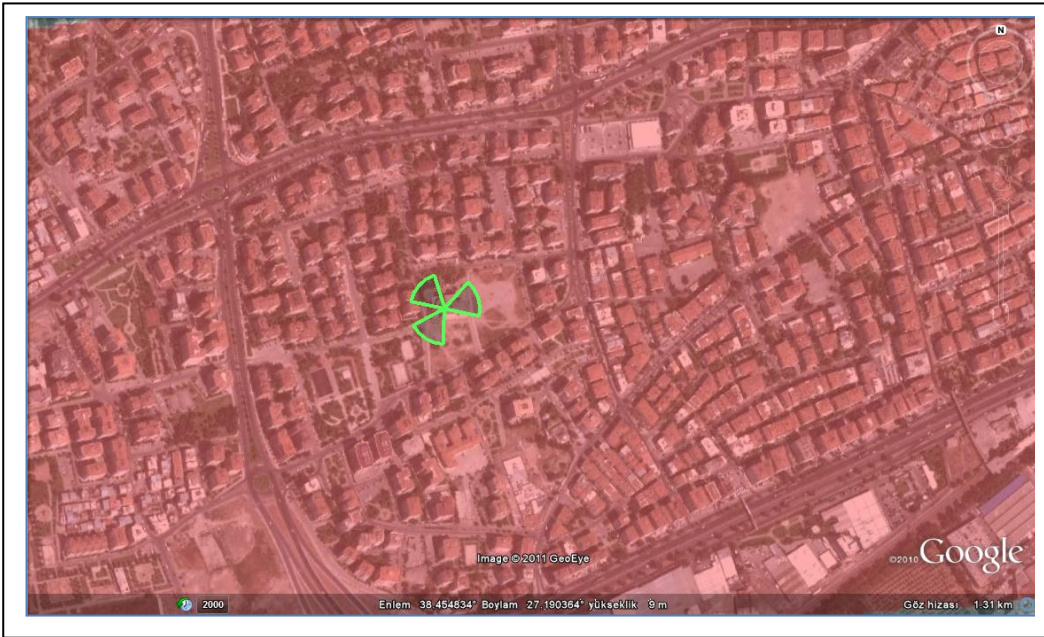
Şekil 5.24 Algorithm 9999 1800 Mhz benzetim sonuçları – urban



Şekil 5.25 Algorithm 9999 1800 Mhz benzetim sonuçları – suburban



Şekil 5.26 Algorithm 9999 900 Mhz benzetim sonuçları – dense urban



Şekil 5.27 Algorithm 9999 900 Mhz benzetim sonuçları – urban



Şekil 5.28 Algorithm 9999 900 Mhz benzetim sonuçları – suburban

6. TARTIŞMA

Bu bölümde, saha ölçümleri ile proje esnasında yararlanılan RF dalga yayılım modelleri kullanılarak yapılan benzetim çıktılarının karşılaştırması yer almaktadır. Bu proje esnasında Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve İzmir'in çeşitli bölgeleri için karakterize edilmiş Algorithm 9999 modelleri kullanılarak benzetimler yapılmıştır (Bkz. Bölüm 3.1.2). Benzetim çıktıları saha ölçümleri ile karşılaştırılırken ölçülen ve tahmin edilen güç yoğunluğu kayıp değerleri karşılaştırılmıştır. Verilen bir koordinat değeri için ölçülen ve tahmin edilen örnek değerleri tek tek karşılaştırılmıştır. Bu örnekler üzerinden ortalama hata ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Saha ölçümleri sırasında alınan örnek sayıları çok yüksek olduğu için, bu örneklerden belli bir coğrafi izdüşüm içine düşenlerin ortalamaları alınmıştır. Ortalaması alınacak izdüşüm alanı seçilirken, benzetim esnasında kullanılan sayısal harita çözünürlüğü ve çalışma yapılan bölgenin sınıfı dikkate alınmıştır. Vericilerden yapılan ölçümlerin, benzetimlerle karşılaştırılması, çalışma yapılan üç frekans bandı için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar kendi içlerinde çalışma yapılan bölgenin sınıfına (dense urban, urban, suburban) göre ayrılmış ve incelenmiştir.

6.1 900 Mhz Bandında Yapılan Hata ve Standart Sapma Hesaplamaları

Bu kısımda 900 Mhz bandından yayın yapan 2G şebekelerden alınan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılım modelleri kullanılarak yapılan benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılırken kullanılan ölçüm verileri dense urban, urban ve suburban olarak gruplanmıştır. Karşılaştırma sırasında ham ölçüm değerleri, sinyal güç yoğunluğunda oluşan kayıplarını hesaplamada kullanılmış ve bu kayıp değerleri benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kıstası olarak ortalama hata ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Karşılaştırma sonuçlarının görsel olarak incelenmesi için MapInfo Professional, istatistiksel olarak incelenmesi için MATLAB kullanılmıştır. Saha ölçümlerini yapmakta kullanılan TEMS Investigation, benzetim yaparken kullanılan Forsk Atoll ve filtreleme ve renklendirme aşamalarında kullanılan MapInfo Professional, birbirleriyle uyumlu çalışma özelliğine sahiptirler. Bu sayede benzetim ve saha ölçüm sonuçları aynı aralıklar kullanılarak renklendirilmiş ve üst üste konmuştur. Bu sayede ölçülen ve tahmin edilen sinyal seviyeleri arasındaki fark, belli bir değeri aştığında gözle görülmesinin kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Karşılaştırma esnasında kullanılan sinyal seviyesi

ölçüm değerleri -45 dBm ile – 110 dBm arasında değişmektedir. Renklendirme skalası olarak 2G şebekelerden yapılan çalışmalarda -75 dBm'den daha kuvvetli sinyaller tek grupta, diğer sinyal seviyeleri ise 5'er dBm'lik gruplar halinde, 3G şebekelerden yapılan çalışmalarda ise -60 dBm'den kuvvetli sinyaller tek grupta, diğer sinyal seviyeleri ise 10'ar dBm'lik gruplar halinde renklendirilmiştir. Renklendirme aralıkları 4. Bölüm içerisinde verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Dense urban olarak Basmane, urban olarak Bornova ve suburban olarak Narlıdere bölgelerinde bulunan vericiler kullanılmıştır.

6.1.1 900 Mhz Dense Urban Karşılaştırması

Bu kısımda, dense urban olarak sınıflandırılan bölgelerde yer alan vericilerden yapılan saha ölçümleri ve Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak oluşturulan benzetim çıktıları karşılaştırılmıştır. Ölçüm yapılan bölgeye servis veren baz istasyonunun özellikleri aşağıda verilmiştir.

Basmane Sahasının Özellikleri:

- Anten yönleri: 90-210-330°
- Anten yüksekliği: 32m
- Anten tipi: PW7750
- Dense Urban - Basmane

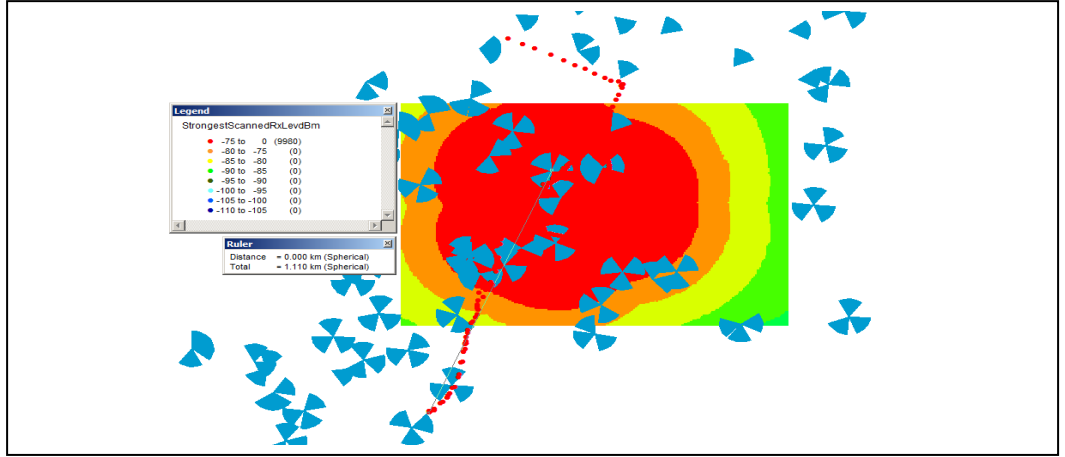
Basmane bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçümlerinin Advanced Okumura- Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 13.8803, standart sapma ise 11.10312 olarak hesaplanmıştır. Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 3.36228, standart sapma ise 11.5598 olarak hesaplanmıştır. Algorithm 9999 benzetim sonuçları ile gerçek sinyal seviyesi ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ise ortalama hata 9.6345, standart sapma ise 10.0015 olarak hesaplanmıştır. Görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 10000 tekil örnek teker teker karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi esnasında örnekler herhangi bir sistematik sıraya sokulmamıştır. Benzetim çalışması yapılan alan parsellere bölünerek bu parseller içerisinde kalan örneklerin ortalamaları alınmıştır. Birbirine 5m'den yakın olan örneklerin ortalamaları alınarak ortalama hata ve standart sapma hesaplamalarında bu değerler kullanılmıştır.

Çizelge 6.1’de Algorithm 9999 ile 900 Mhz bandında, dense urban olarak sınıflandırılmış bölgeler için yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan A değişkeni değerleri görülmektedir. A değerlerinin benzetim değerlerine etkisi bölüm 3.1.2’de anlatılmıştır.

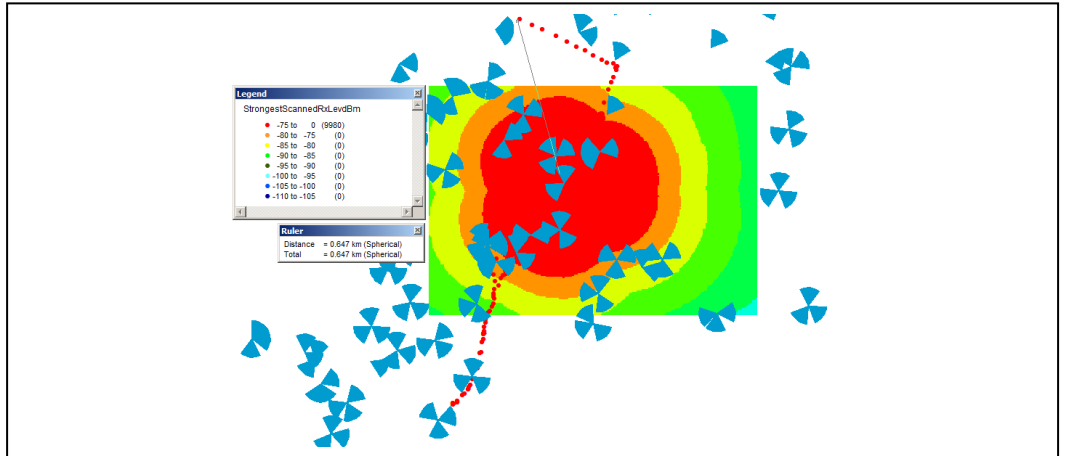
Çizelge 6.1 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 900 Mhz – Dense urban

Değişken	Değer
A ₀	36.2
A ₁	29.6
A ₂	-12
A ₃	0.1

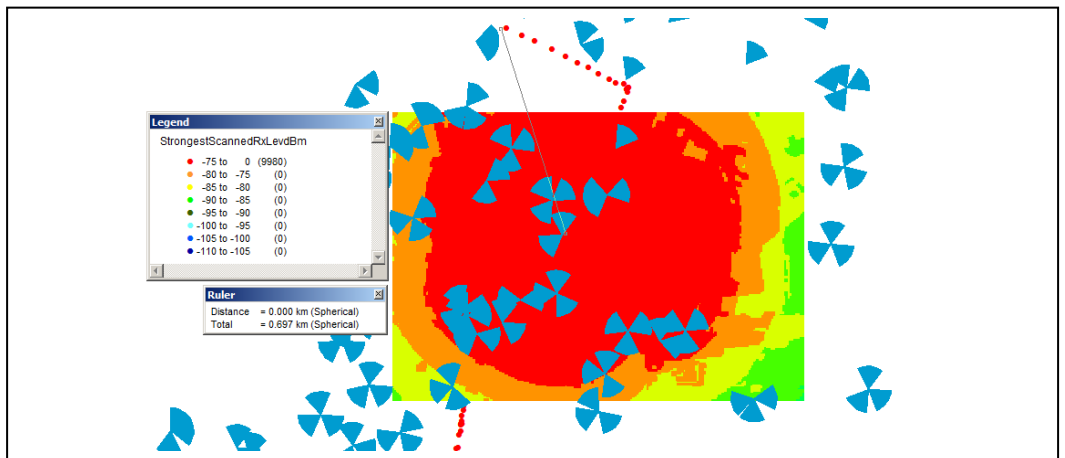
Şekil 6.1 ile Şekil 6.3 arasında Basmane bölgesinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılımı modelleri kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarının görsel olarak karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.4’te Advanced Okumura-Hata, Şekil 6.6’da Advanced Walfisch-Ikegami, Şekil 6.6’da ise A9999 (Algorithm 9999) kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının, saha ölçümü sonuçlarıyla karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da, grafiklerin x eksenleri karşılaştırmada kullanılan örneğin numarasını, y eksenini ise o örnek için ölçülen ve hesaplanan güç yoğunluğu kaybını (path loss) ifade etmektedir. Ölçülen path loss değerleri kırmızı çizgi ile, benzetim sonucu hesaplanan path loss değerleri ise mavi çizgi ile çizilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan path loss değerlerinin örtüşmesi durumunda iki çizgi üst üste gelmektedir.



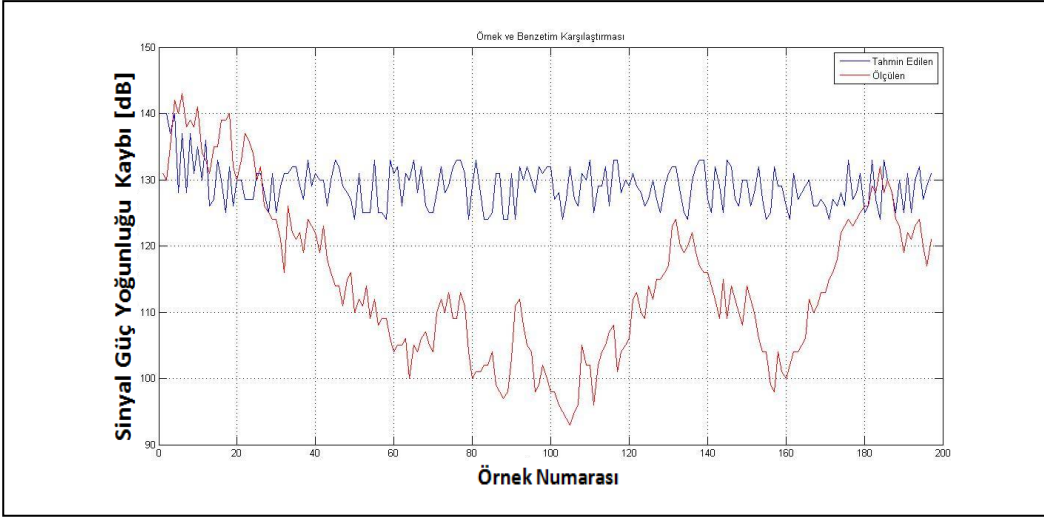
Şekil 6.1 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900Mhz – Dense urban



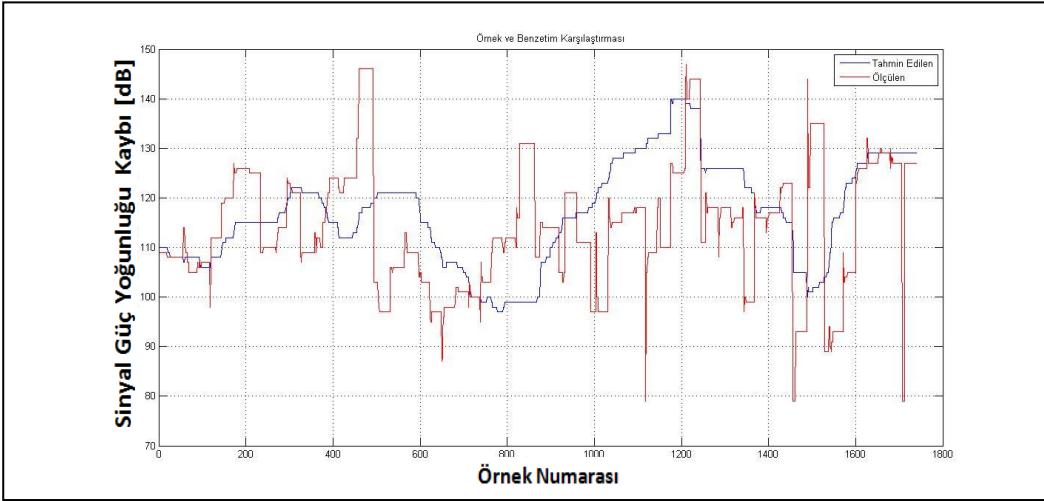
Şekil 6.2 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz –Dense urban



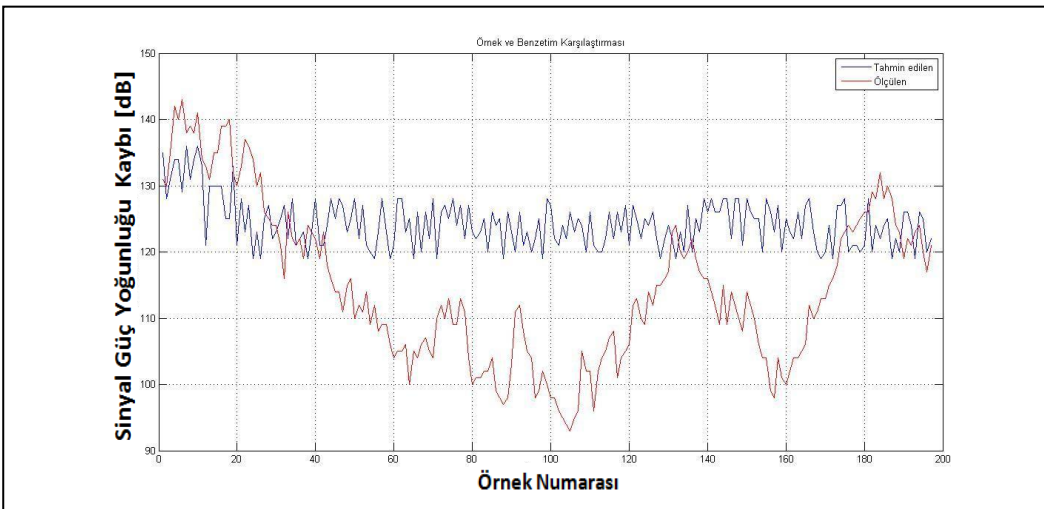
Şekil 6.3 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Dense urban



Şekil 6.4 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH



Şekil 6.5 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI



Şekil 6.6 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999

6.1.2 900 Mhz Urban Karşılaştırması

Bu kısımda, urban olarak sınıflandırılan bölgelerde yer alan vericilerden yapılan saha ölçümleri ve Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak oluşturulan benzetim çıktıları karşılaştırılmıştır.

Bornova Sahasının Özellikleri:

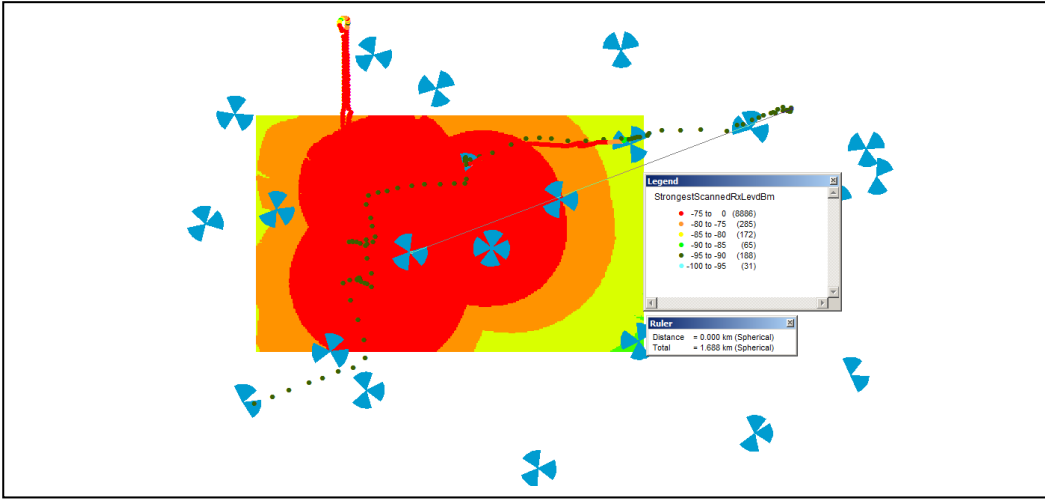
- Anten yönleri: 80-220-320°
- Anten yüksekliği: 18m
- Anten tipi: PW7750
- Urban - Bornova

Bornova bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçümlerinin Advanced Okumura- Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 5.443902, standart sapma ise 7.622417 olarak hesaplanmıştır. Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 11.37447, standart sapma ise 14.2009 olarak hesaplanmıştır. Algorithm 9999 benzetim sonuçları ile gerçek sinyal seviyesi ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ise ortalama hata -7.10732, standart sapma ise 8.202499 olarak hesaplanmıştır. Görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 10000 tekil örnek teker teker karşılaştırılmıştır. Birbirine 10 m'den yakın olan örneklerin ortalamaları alınarak, 10000 örnekten yaklaşık 2000 ortalama değer elde edilerek ortalama hata ve standart sapma hesaplamalarında bu değerler kullanılmıştır.

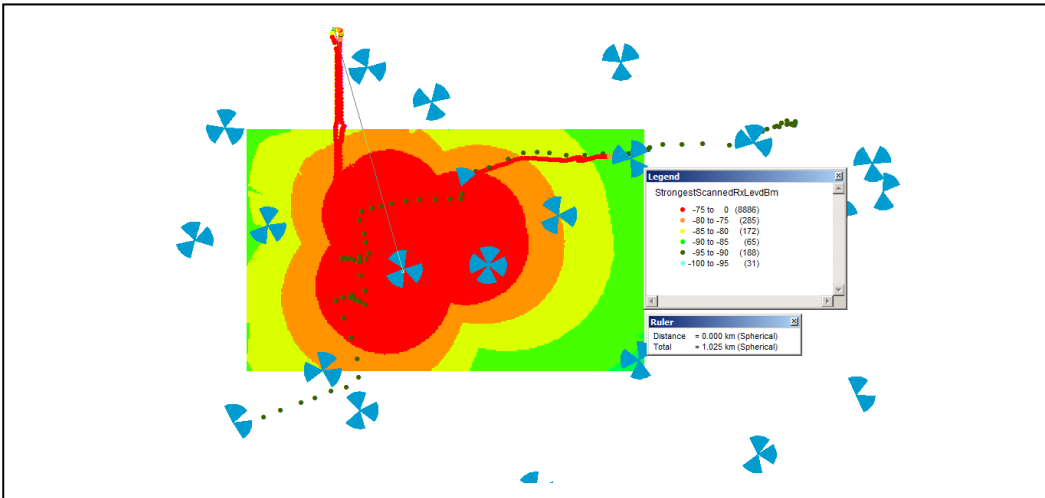
Şekil 6.7 ile Şekil 6.9 arasında Bornova bölgesinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılımı modelleri kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarının görsel olarak karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.10'da Advanced Okumura-Hata, Şekil 6.11'de Advanced Walfisch-Ikegami, Şekil 6.12'de ise Algorithm 9999 kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının, saha ölçümü sonuçlarıyla karşılaştırılması yer almaktadır. Çizelge 6.2'de bu çalışmalar esnasında Algorithm 9999'da kullanılan A değişkenleri yer almaktadır.

Çizelge 6.2 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 900 Mhz - Urban

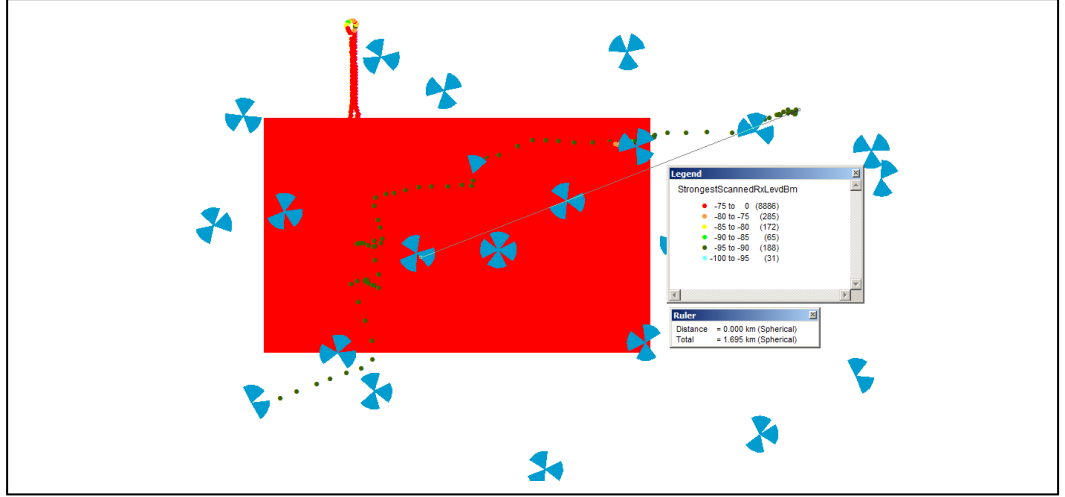
Değişken	Değer
A_0	36.2
A_1	27.5
A_2	-12
A_3	0.1



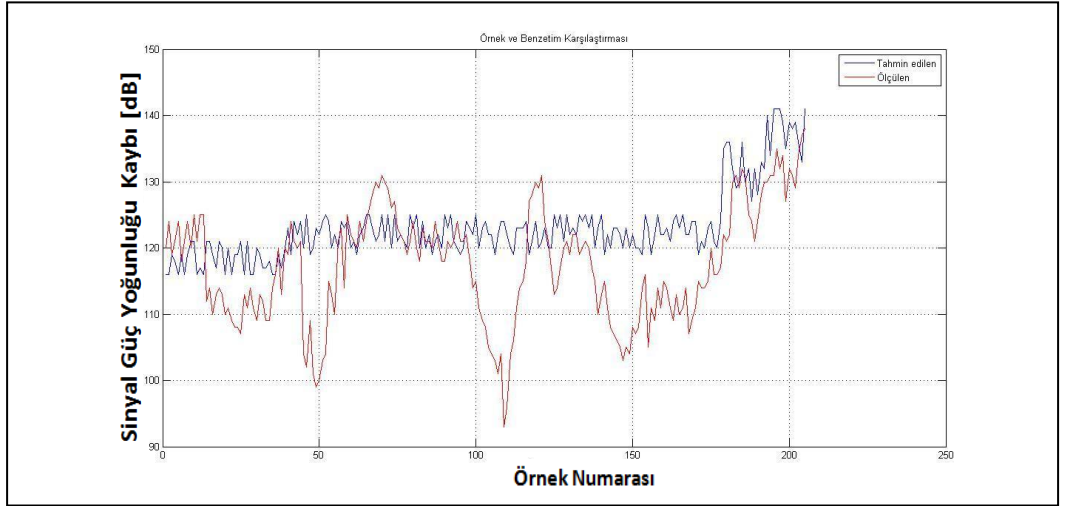
Şekil 6.7 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz –Urban



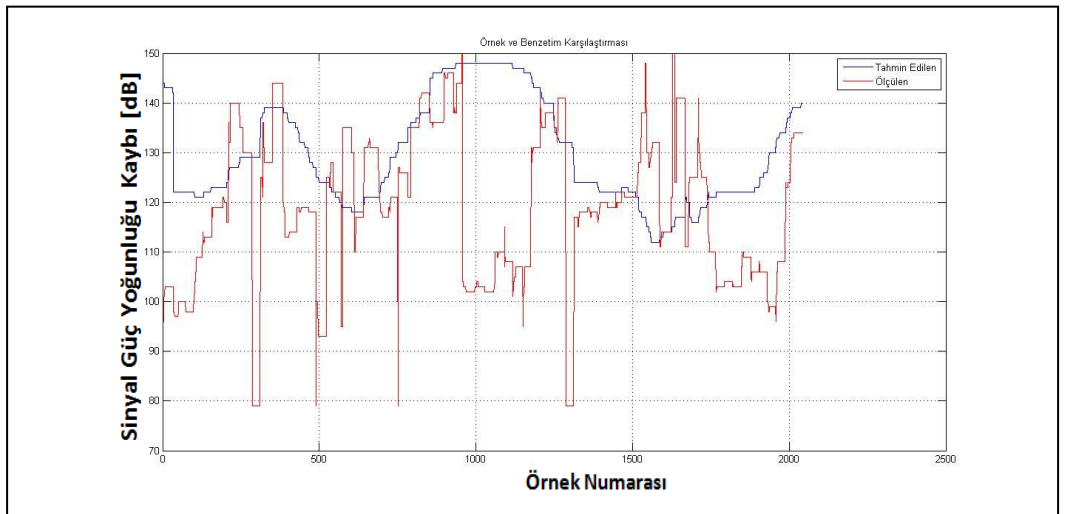
Şekil 6.8 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz-Urban



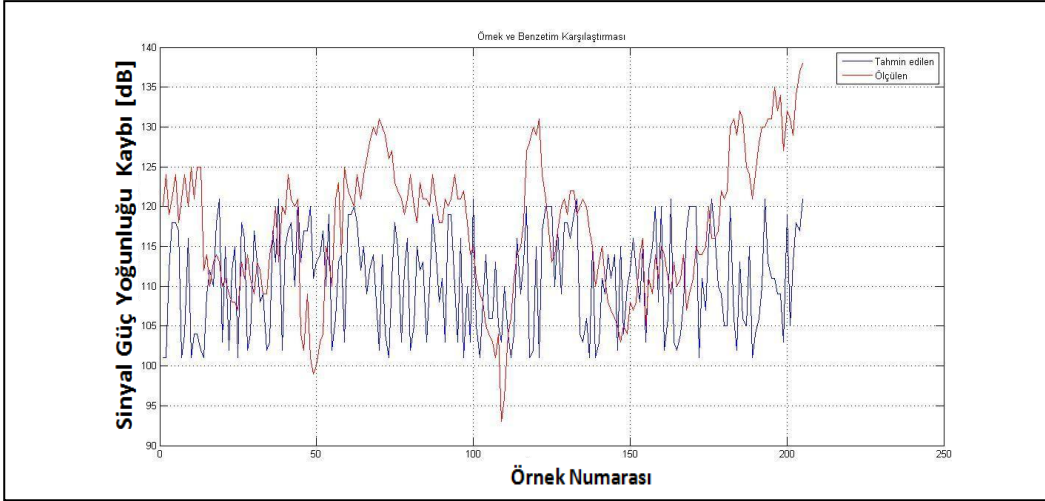
Şekil 6.9 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Urban



Şekil 6.10 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması - AOH



Şekil 6.11 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI



Şekil 6.12 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999

6.1.3 900 Mhz Suburban Karşılaştırması

Bu kısımda, suburban olarak sınıflandırılan bölgelerde yer alan vericilerden yapılan saha ölçümleri ve Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak oluşturulan benzetim çıktıları karşılaştırılmıştır.

Narlidere Sahasının Özellikleri:

- Anten yönleri: 0-145-215°
- Anten yüksekliği: 31m
- Anten tipi: K739684
- Suburban - Narlıdere

Narlidere bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçümlerinin Advanced Okumura- Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 8.3266666, standart sapma ise 16.692 olarak hesaplanmıştır. Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 13.085808, standart sapma ise 11.39606 olarak hesaplanmıştır. Algorithm 9999 benzetim sonuçları ile gerçek sinyal seviyesi ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ise ortalama hata -0.89, standart sapma ise 9.70627 olarak hesaplanmıştır. Görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 25000 tekil örnek karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi esnasında örnekler herhangi bir sistematik sıraya sokulmamıştır.

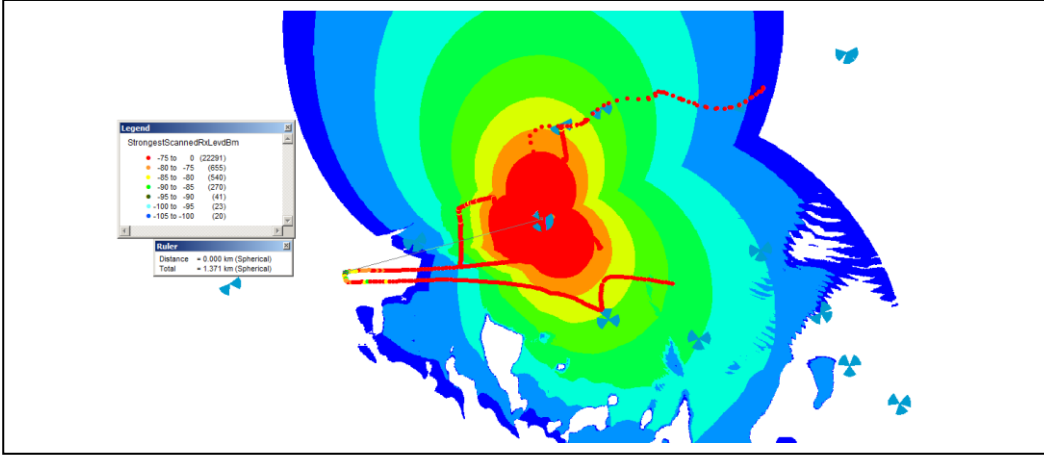
Birbirine 20 m'den daha yakın olan örneklerin ortalamaları alınarak 25000 tekil örnekten yaklaşık 1000 adet ortalama değer elde edilmiş ve ortalama hata ve standart sapma hesaplarında bu değerler kullanılmıştır.

Çizelge 6.3'te Algorithm 9999 ile 900 Mhz bandında, suburban olarak sınıflandırılmış bölgeler için yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan A değişkeni değerleri görülmektedir.

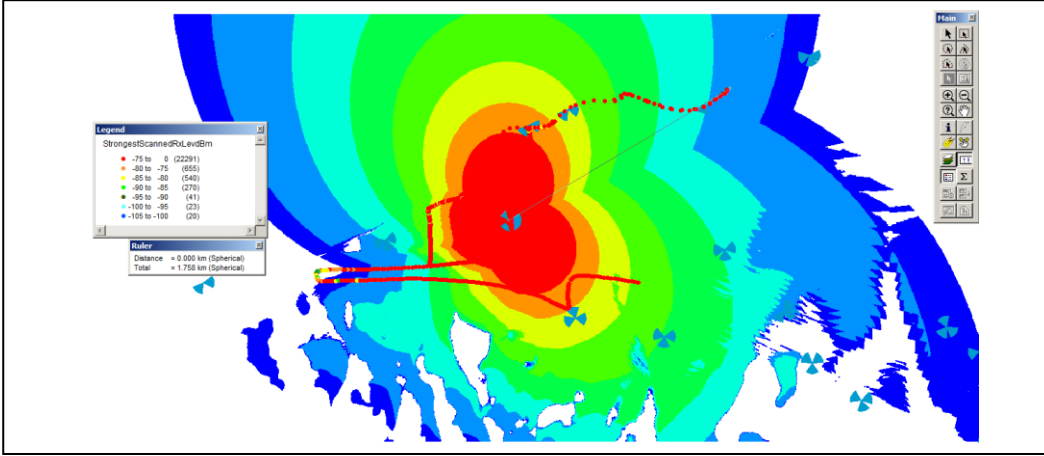
Çizelge 6.3 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 900 Mhz - Suburban

Değişken	Değer
A_0	36.2
A_1	26.9
A_2	-12
A_3	0.1

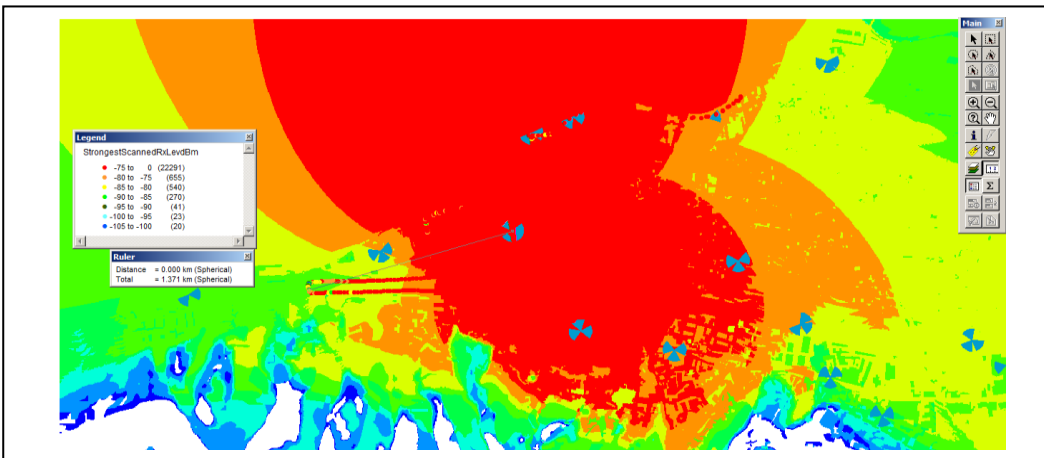
Şekil 6.13 ile Şekil 6.15 arasında Narlıdere bölgesinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile benzetim sonuçlarının görsel olarak karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.16'da Advanced Okumura-Hata, Şekil 6.17'de Advanced Walfisch-Ikegami, Şekil 6.18'de ise Algorithm 9999 kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının, saha ölçümü sonuçlarıyla karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de, grafiklerin x eksenleri karşılaştırmada kullanılan örneğin numarasını, y eksenini ise o örnek için ölçülen ve hesaplanan güç yoğunluğu kaybını (path loss) ifade etmektedir. Ölçülen path loss değerleri kırmızı çizgi ile, benzetim sonucu hesaplanan path loss değerleri ise mavi çizgi ile çizilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan path loss değerlerinin örtüşmesi durumunda iki çizgi üst üste gelmektedir.



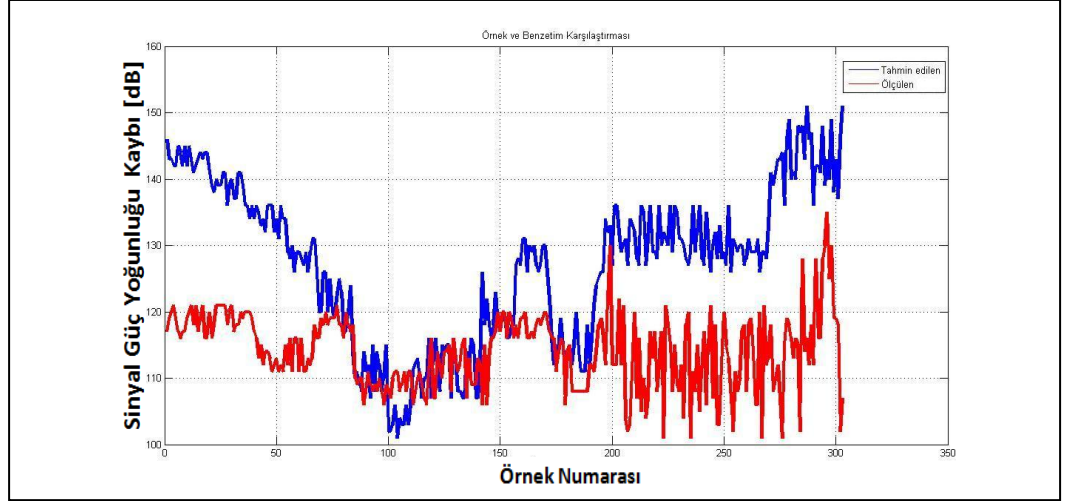
Şekil 6.13 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Suburban



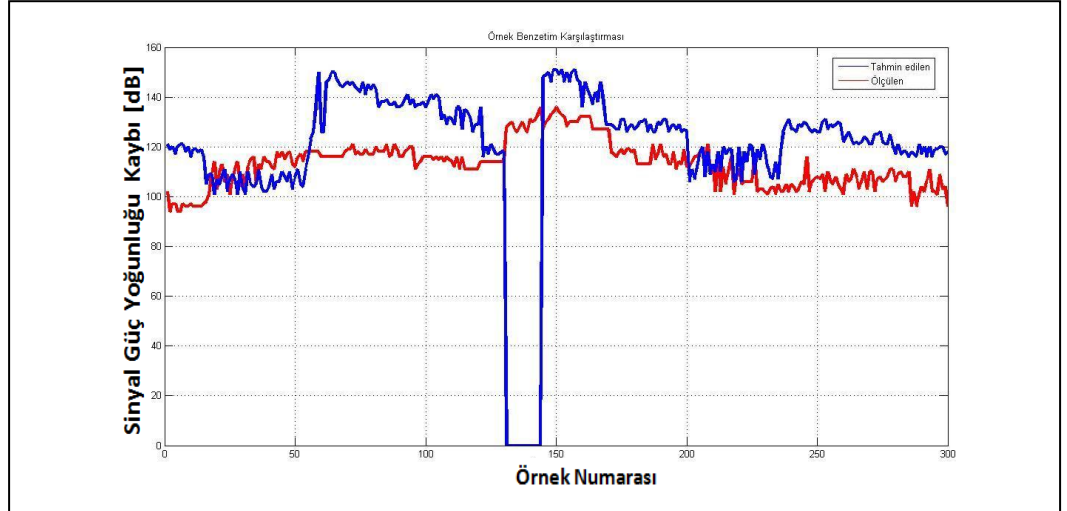
Şekil 6.14 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Suburban



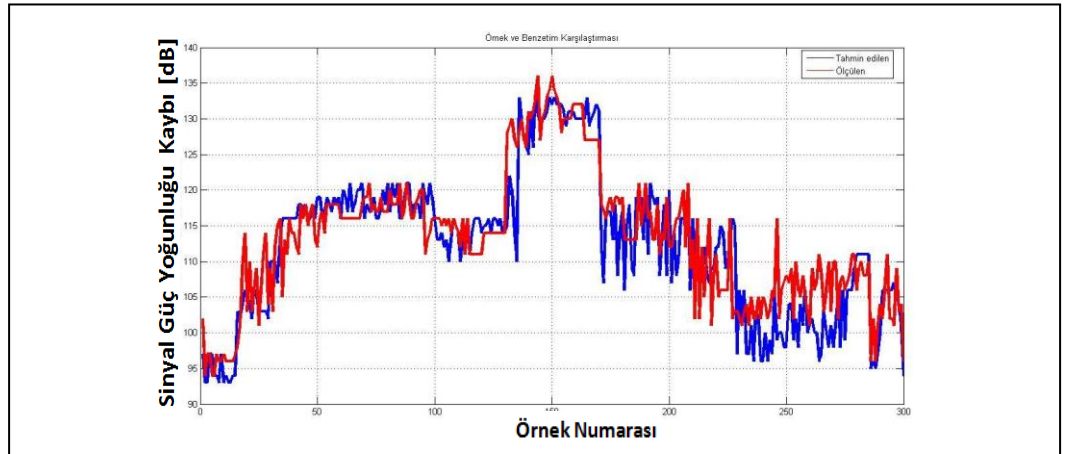
Şekil 6.15 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 900 Mhz – Suburban



Şekil 6.16 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH



Şekil 6.17 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI



Şekil 6.18 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999

6.2 1800 Mhz Bandında Yapılan Hata ve Standart Sapma Hesaplamaları

Bu kısımda 1800 Mhz bandından yayın yapan 2G şebekelerden alınan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılım modelleri kullanılarak yapılan benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılırken kullanılan ölçüm verileri dense urban, urban ve suburban olarak gruplanmıştır. Karşılaştırma sırasında ham ölçüm değerleri sinyal güç yoğunluğu kaybı (path loss) hesaplamada kullanılmış ve bu path loss değerleri benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kistası olarak ortalama hata ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Karşılaştırma sonuçlarının görsel olarak incelenmesi için MapInfo Professional, istatistiksel olarak incelenmesi için MATLAB kullanılmıştır. Karşılaştırma esnasında kullanılan sinyal seviyesi ölçüm değerleri -45 dBm ile -110 dBm arasında değişmektedir. Renklendirme skalası olarak 2G şebekelerden yapılan çalışmalarda -75 dBm'den daha kuvvetli sinyaller tek grupta, diğer sinyal seviyeleri ise 5'er dBm'lik gruplar halinde, 3G şebekelerden yapılan çalışmalarda ise -60 dBm'den kuvvetli sinyaller tek grupta, diğer sinyal seviyeleri ise 10'ar dBm'lik gruplar halinde renklendirilmiştir. Renklendirme aralıkları 4. Bölüm içerisinde verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Dense urban olarak Konak, urban olarak Buca ve suburban olarak Çiğli bölgelerinde bulunan vericiler kullanılmıştır.

6.2.1 1800 Mhz Dense Urban Karşılaştırması

Bu kısımda, dense urban olarak sınıflandırılan bölgelerde yer alan vericilerden yapılan saha ölçümleri ve Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak oluşturulan benzetim çıktıları karşılaştırılmıştır. Ölçüm yapılan bölgeye servis veren vericinin özellikleri aşağıda yer almaktadır.

Konak Sahasının Özellikleri:

- Anten yönleri: 40-180-270°
- Anten yüksekliği: 18m
- Anten tipi: K742215
- Dense Urban - Konak

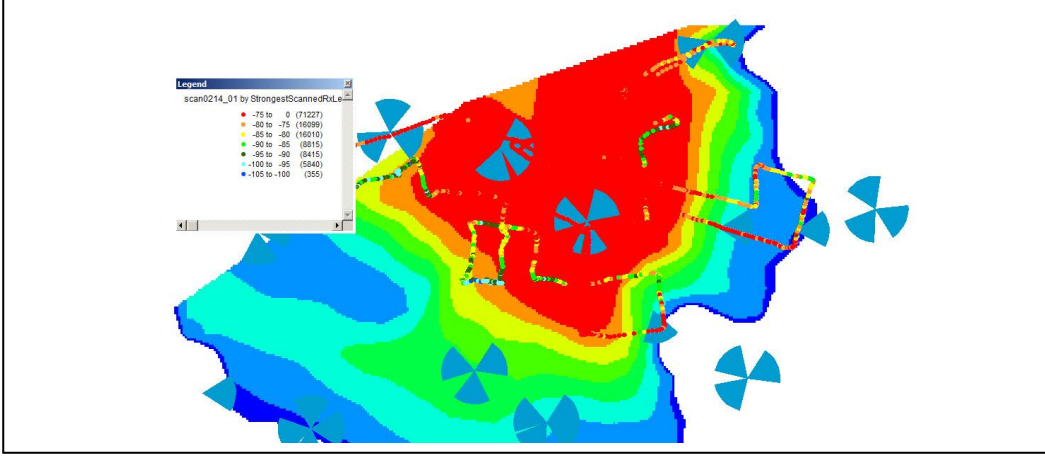
Konak bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçümlerinin Advanced Okumura-Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 0.04, standart sapma ise 10.98618 olarak hesaplanmıştır. Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 5.640783, standart sapma ise 13.60384 olarak hesaplanmıştır. Algorithm 9999 kullanılırken modelin içerdiği A değişkenlerinde yapılan değişikliklerin benzetim sonuçlarına etkisinin gözlemlenmesi amacıyla, model hem standart hem de bölgeye göre karakterize edilmiş haliyle kullanılmıştır. Standart değişkenlerini kullanan Algorithm 9999 kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ve saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucu ortalama hata 2.216667, standart sapma ise 10.01989 olarak hesaplanmıştır. Bölgeye göre karakterize edilmiş Algotihm 9999 kullanılan karşılaştırma çalışmaları sonucunda ortalama hata 2.15, standart sapma ise 8.105025 olarak hesaplanmıştır.

Görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 125000 tekil örnek kullanılmıştır. Karşılaştırma grafikleri çizilirken örnekler herhangi bir sistematik sıraya sokulmamıştır. Benzetim çalışması yapılan alan parsellere bölünerek, bu parseller içerisinde kalan örneklerin ortalamaları alınmıştır. 25 metrekarelik parseller kullanılması sonucunda 125000 tekil örnekten yaklaşık 70000 örnek elde edilmiştir. Ortalama hata ve standart sapma hesaplamalarında elde edilen bu 70000 örnek kullanılmıştır. Şekil 6.19 ile Şekil 6.22 arasında Konak bölgesinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılımı modelleri kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının görsel olarak karşılaştırılması yer almaktadır.

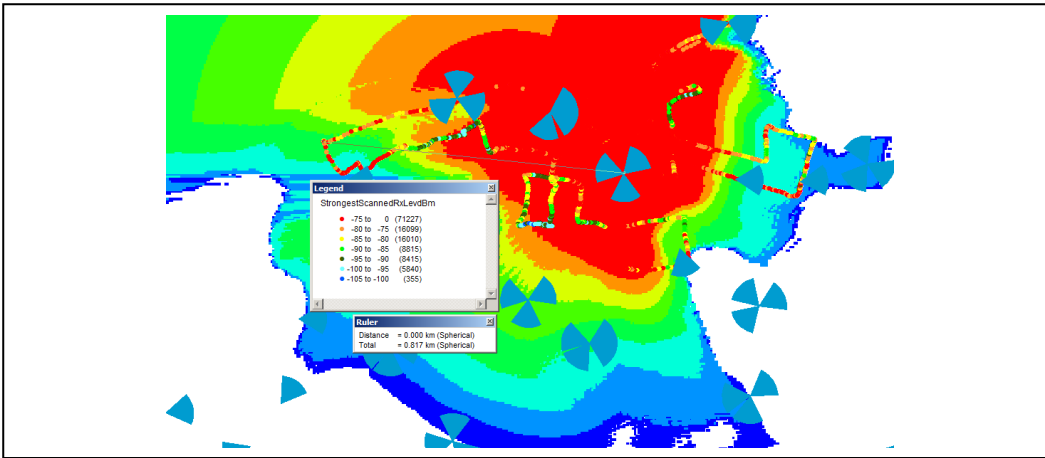
Çizelge 6.4'te Algorithm 9999 ile 1800 Mhz bandında, dense urban olarak sınıflandırılmış bölgeler için yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan A değişkeni değerleri görülmektedir. Şekil 6.23 ile Şekil 6.26 arasında grafiklerin x eksenleri karşılaştırmada kullanılan örneğin numarasını, y eksenini ise o örnek için ölçülen ve hesaplanan güç yoğunluğu kaybını (path loss) ifade etmektedir. Ölçülen path loss değerleri kırmızı çizgi ile, benzetim sonucu hesaplanan path loss değerleri ise mavi çizgi ile çizilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan path loss değerlerinin örtüşmesi durumunda iki çizgi üst üste gelmektedir. Şekil 6.21'de Algorithm 9999'in standart değişkenleriyle, Şekil 6.22'de ise Çizelge 6.4'teki değişkenler kullanılarak elde edilen benzetim-ölçüm karşılaştırmaları görülmektedir.

Çizelge 6.4 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 1800 Mhz – Dense urban

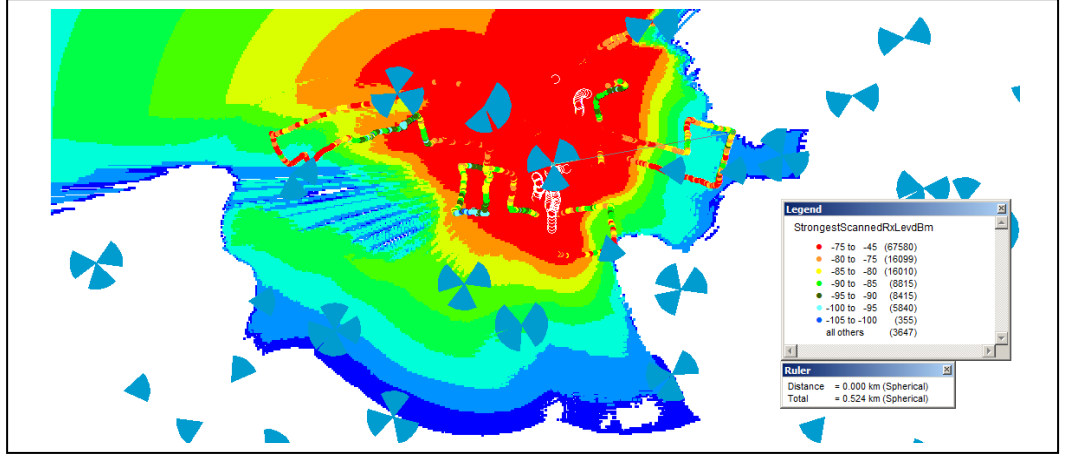
Değişken	Değer
A_0	36.2
A_1	29.1
A_2	-12
A_3	0.1



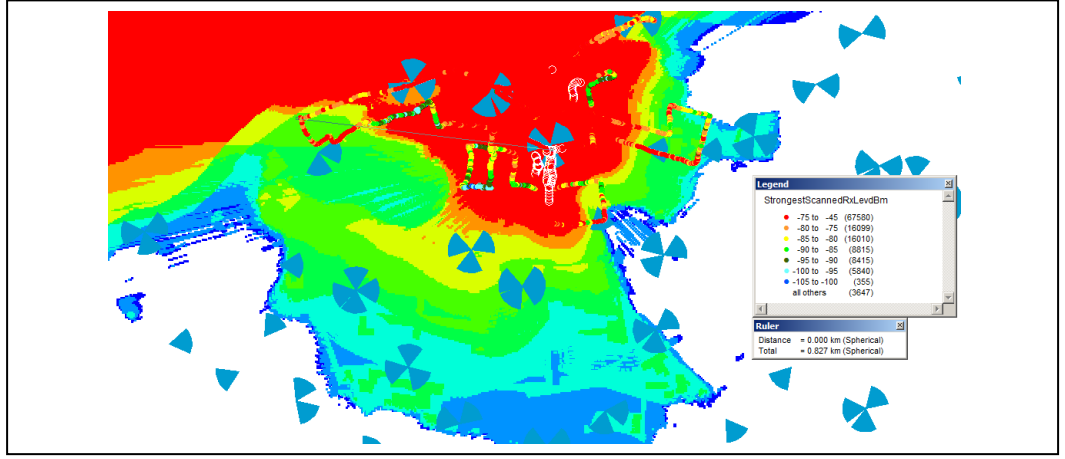
Şekil 6.19 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Dense urban



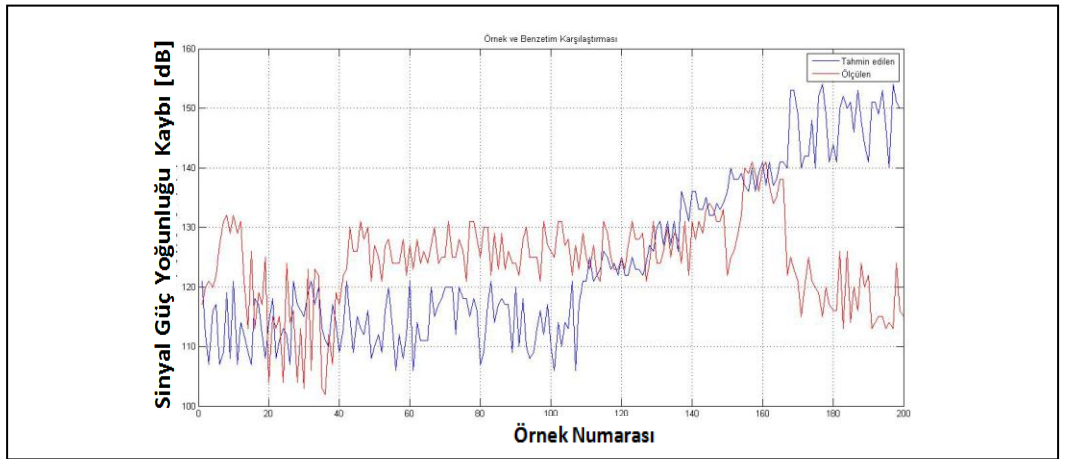
Şekil 6.20 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Dense urban



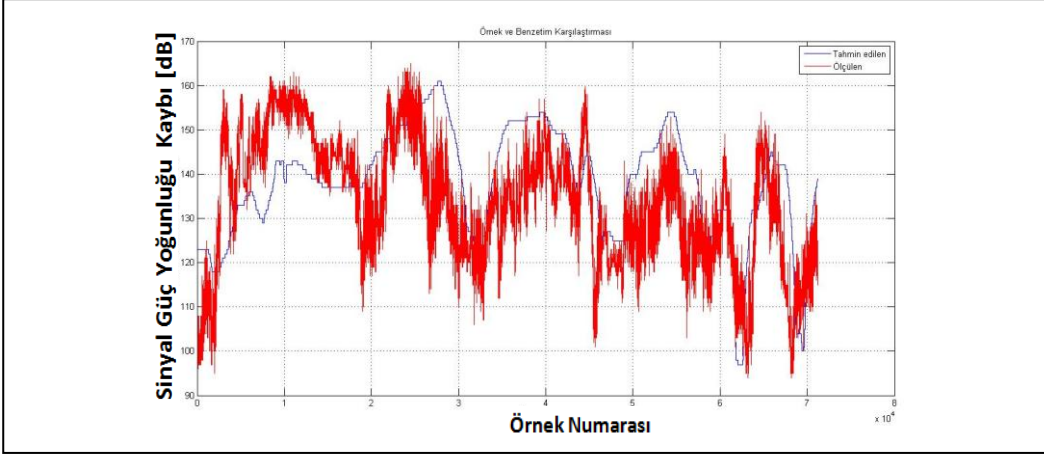
Şekil 6.21 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Dense urban



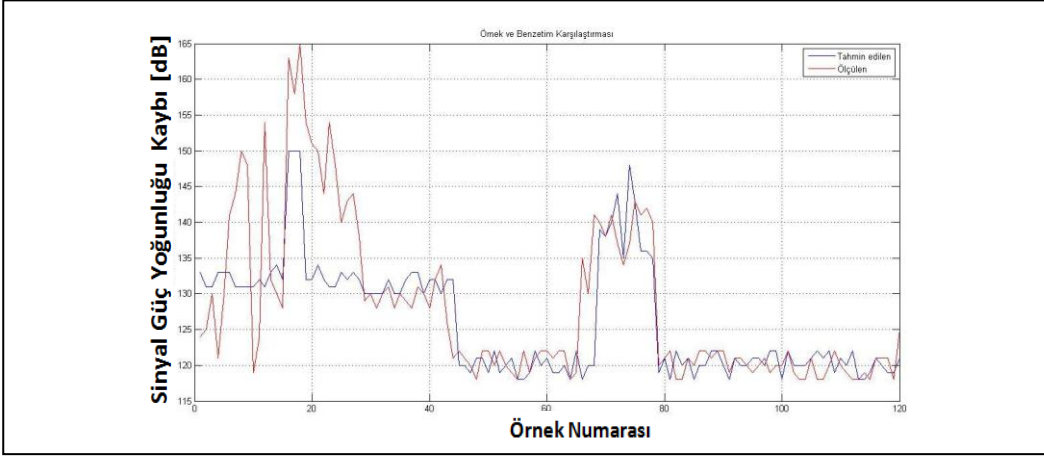
Şekil 6.22 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Dense urban



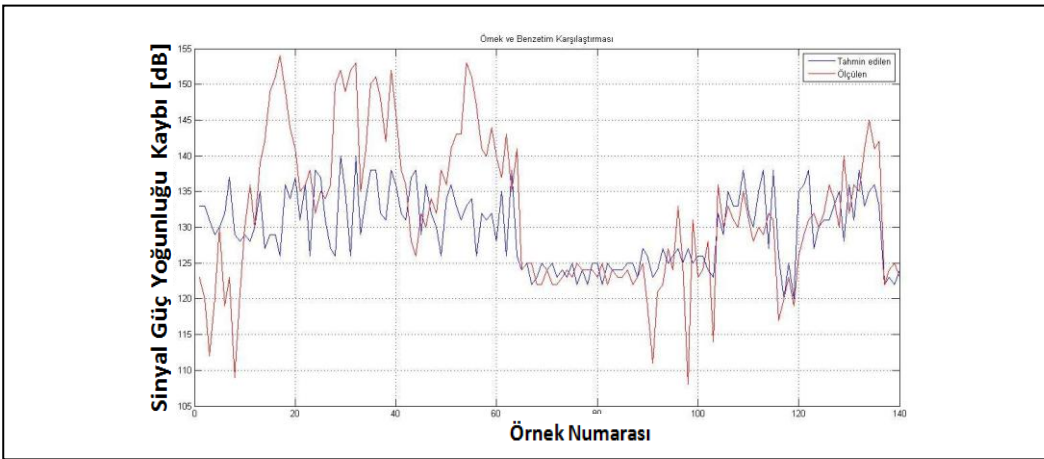
Şekil 6.23 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması –AOH



Şekil 6.24 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI



Şekil 6.25 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-1



Şekil 6.26 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-2

6.2.2 1800 Mhz Urban Karşılaştırması

Bu kısımda urban olarak sınıflandırılan bölgelerde yer alan vericilerden yapılan saha ölçümleri ve Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak oluşturulan benzetim çıktıları karşılaştırılmıştır.

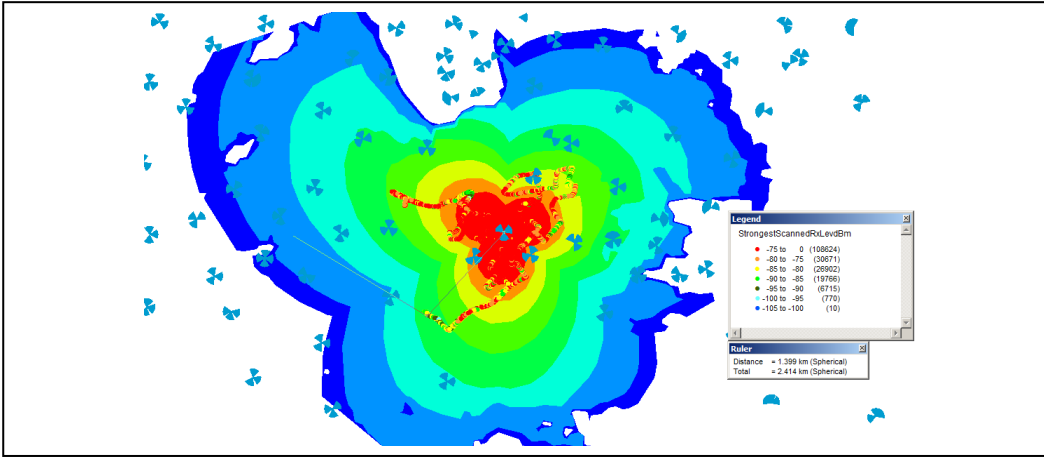
Buca Sahasının Özellikleri:

- Anten yönleri: 60-170-300°
- Anten yüksekliği: 20m
- Anten tipi: K742237
- Urban - Buca

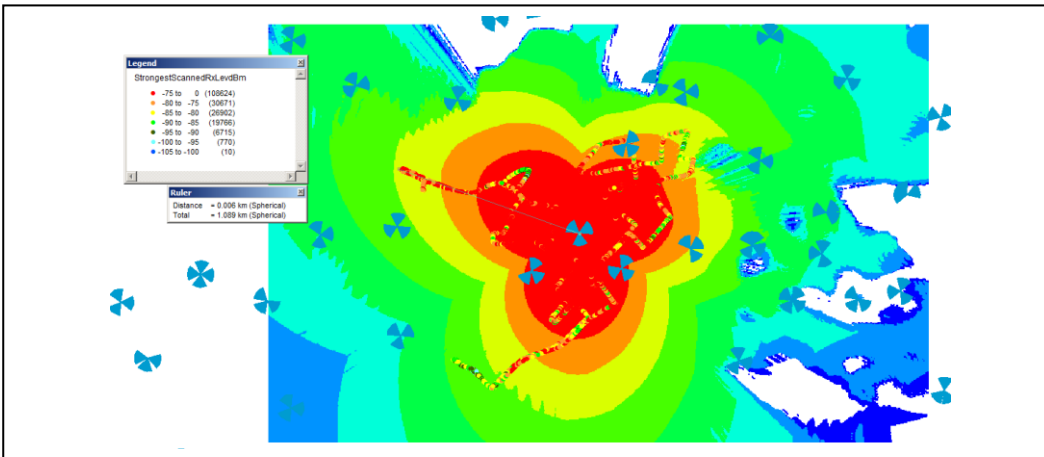
Buca bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçümlerinin Advanced Okumura-Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 1.57778, standart sapma ise 8.51884 olarak hesaplanmıştır. Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ortalama hata -2.257272, standart sapma ise 7.171806 olarak hesaplanmıştır. Algorithm 9999 kullanılırken modelin içerdiği A değişkenlerinde yapılan değişikliklerin benzetim sonuçlarına etkisinin gözlemlenmesi amacıyla model hem standart hem de bölgeye göre karakterize edilmiş haliyle kullanılmıştır. Standart A değişkenleri kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ve ölçüm karşılaştırması sonucu ortalama hata 1.26667, standart sapma ise 8.223728 olarak hesaplanmıştır. Karakterize edilmiş model ile yapılan benzetim çıktıları ve ölçüm karşılaştırması sonucu ortalama hata 1.2522, standart sapma ise 6.380186 olarak hesaplanmıştır. Görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 150000 tekil örnek kullanılmıştır. Karşılaştırma grafikleri çizilirken örnekler herhangi bir sistematik sıraya sokulmamıştır. Birbirine 10 m'den daha yakın olan örneklerin ortalamalarının alınması sonucunda 150000 tekil örnekten yaklaşık 30000 ortalama örnek elde edilmiştir. Ortalama hata ve standart sapma hesaplamalarında elde edilen bu 30000 örnek kullanılmıştır. Şekil 6.27 ile Şekil 6.30 arasında Konak bölgesinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılımı modelleri kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının görsel olarak karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.31 ile Şekil 6.34 arasında ölçülen ve tahmin edilen path loss değerlerinin örnek örneğe karşılaştırılması yer almaktadır. Çizelge 6.5'te Algorithm 9999 ile yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan A değişkeni değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.5 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 1800 Mhz - Urban

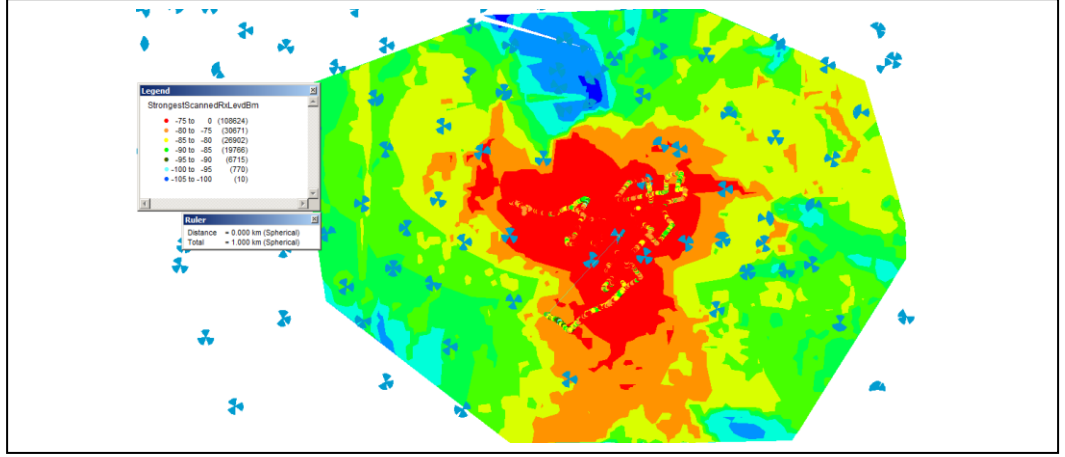
Değişken	Değer
A_0	36.2
A_1	33.7
A_2	-12
A_3	0.1



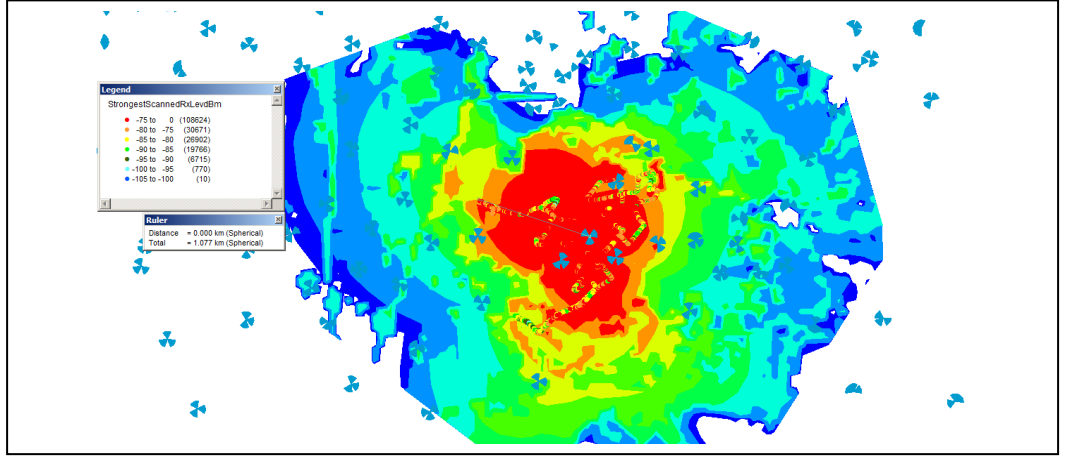
Şekil 6.27 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz –Urban



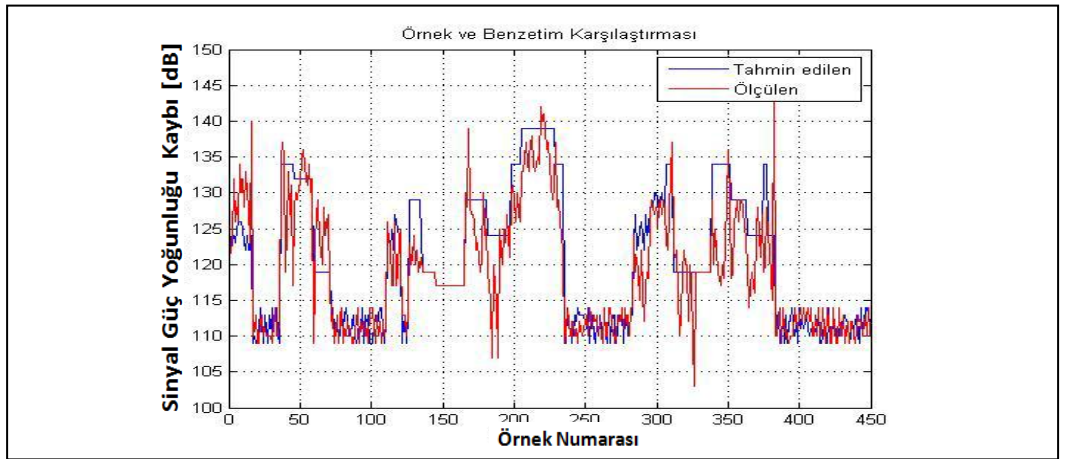
Şekil 6.28 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz-Urban



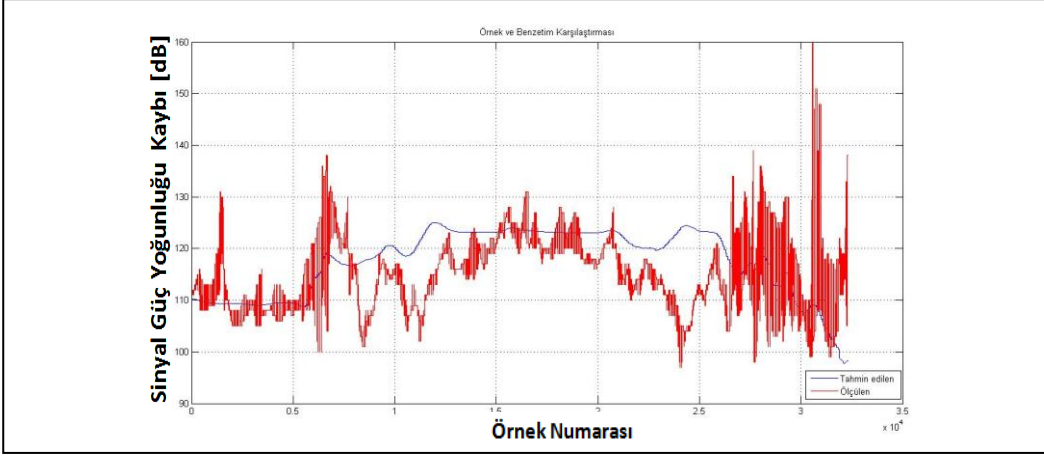
Şekil 6.29 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Urban



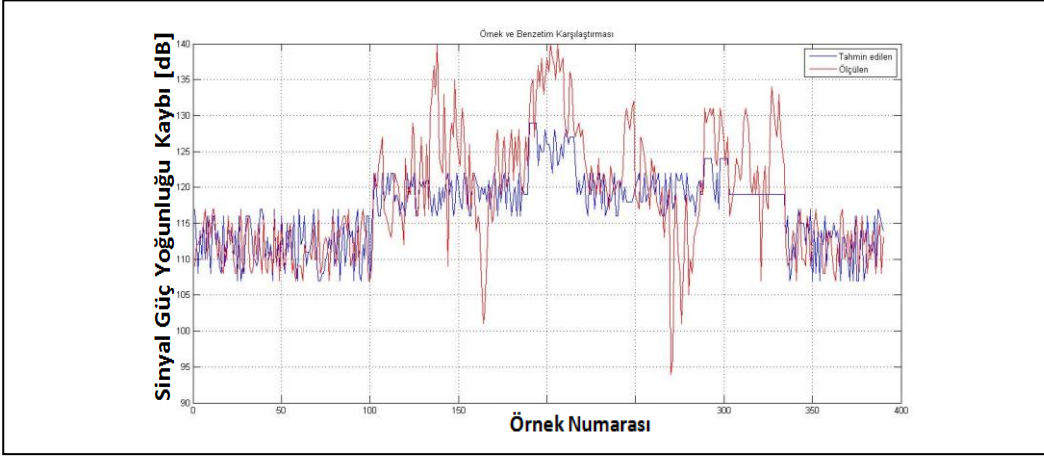
Şekil 6.30 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Urban



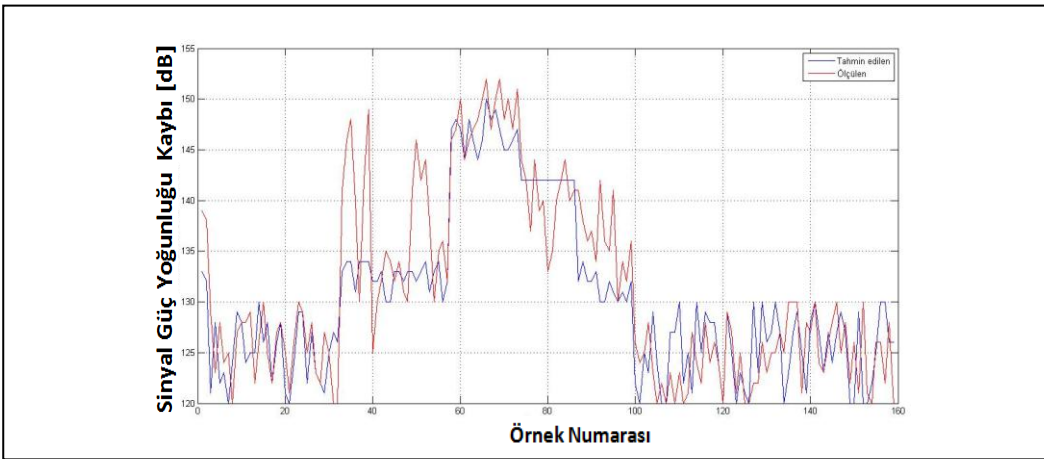
Şekil 6.31 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH



Şekil 6.32 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI



Şekil 6.33 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-1



Şekil 6.34 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-2

6.2.3 1800 Mhz Suburban Karşılaştırması

Bu kısımda suburban olarak sınıflandırılan bölgelerde yer alan vericilerden yapılan saha ölçümleri ve Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak oluşturulan benzetim çıktıları karşılaştırılmıştır.

Çiğli Sahasının Özellikleri:

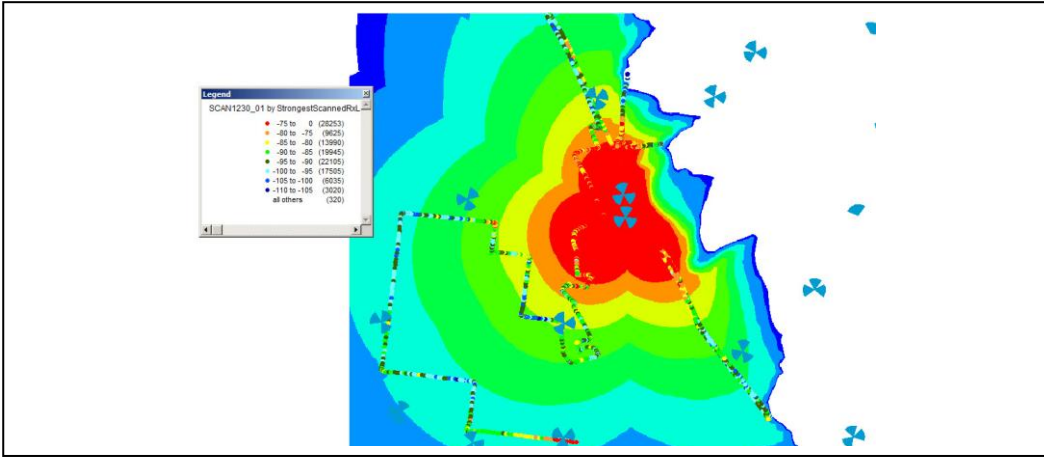
- Anten yönleri: 0-120-240°
- Anten yüksekliği: 30m
- Anten tipi: K742215
- Suburban - Çiğli

Çiğli bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçümlerinin Advanced Okumura-Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 3.61, standart sapma ise 9.588741 olarak hesaplanmıştır. Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ortalama hata -2.62532, standart sapma ise 12.34041 olarak hesaplanmıştır. Algorithm 9999 kullanılan benzetim sonuçlarının sinyal seviyesi ölçümleriyle karşılaştırılması sonucunda ortalama hata -4.525, standart sapma ise 12.34829 olarak hesaplanmıştır. Görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 130000 tekil örnek kullanılmıştır. Karşılaştırma grafikleri çizilirken örnekler herhangi bir sistematik sıraya sokulmamıştır. Birbirine 20 m'den daha yakın örneklerin ortalamalarının alınması sonucunda 130000 tekil örnekten yaklaşık 1500 ortalama örnek elde edilmiştir. Ortalama hata ve standart sapma hesaplamalarında elde edilen bu 1500 örnek kullanılmıştır. Şekil 6.35 ile Şekil 6.37 arasında Çiğli bölgesinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılımı modelleri kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının görsel olarak karşılaştırılması yer almaktadır.

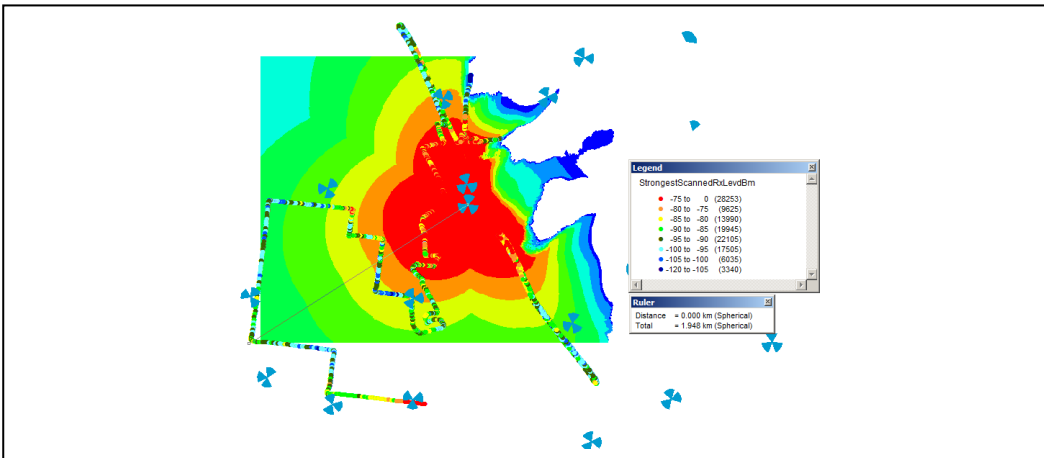
Şekil 6.38'de Advanced Okumura-Hata, Şekil 6.39'da Advanced Walfisch-Ikegami, Şekil 6.40'ta ise Algorithm 9999 kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının, saha ölçümü sonuçlarıyla karşılaştırılması yer almaktadır. Çizelge 6.6'da Algorithm 9999 ile 1800 Mhz bandında, suburban olarak sınıflandırılmış bölgeler için yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan A değişkeni değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.6 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 1800 Mhz - Suburban

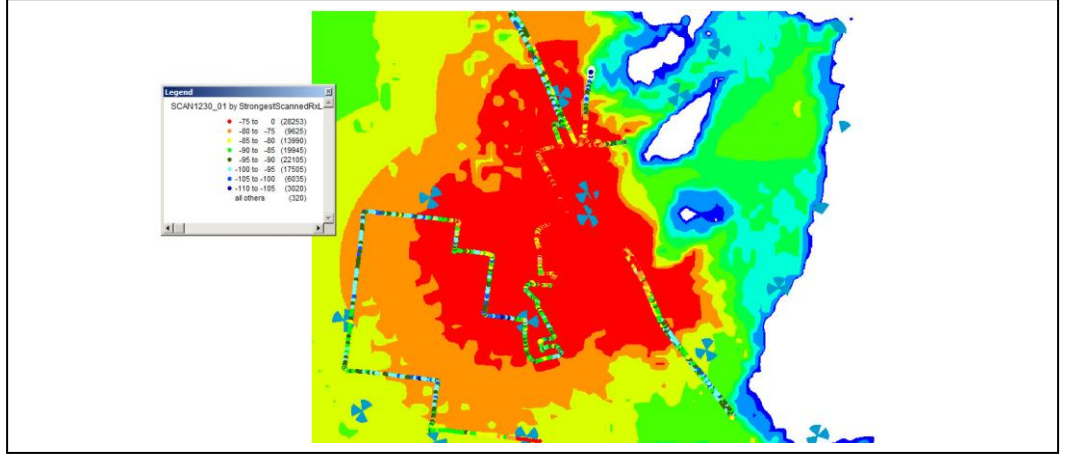
Değişken	Değer
A ₀	36.2
A ₁	31.8
A ₂	-12
A ₃	0.1



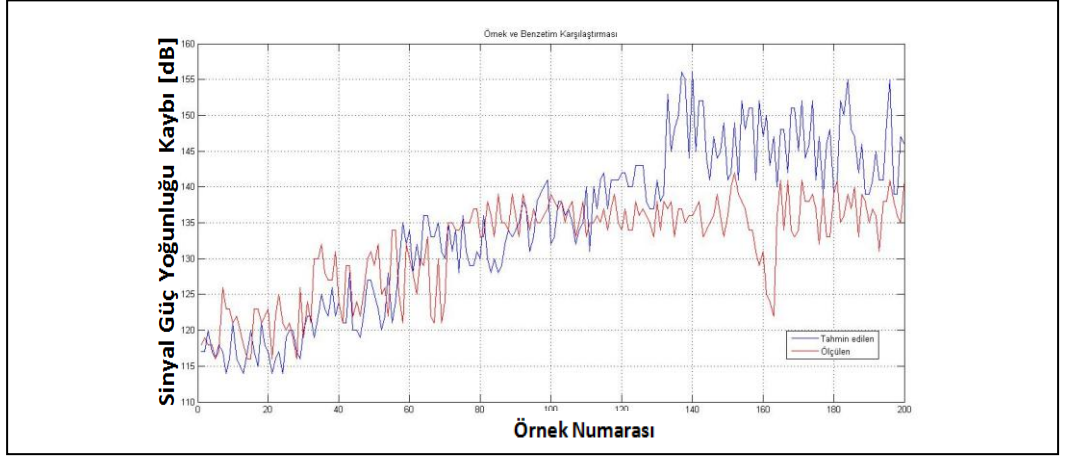
Şekil 6.35 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Suburban



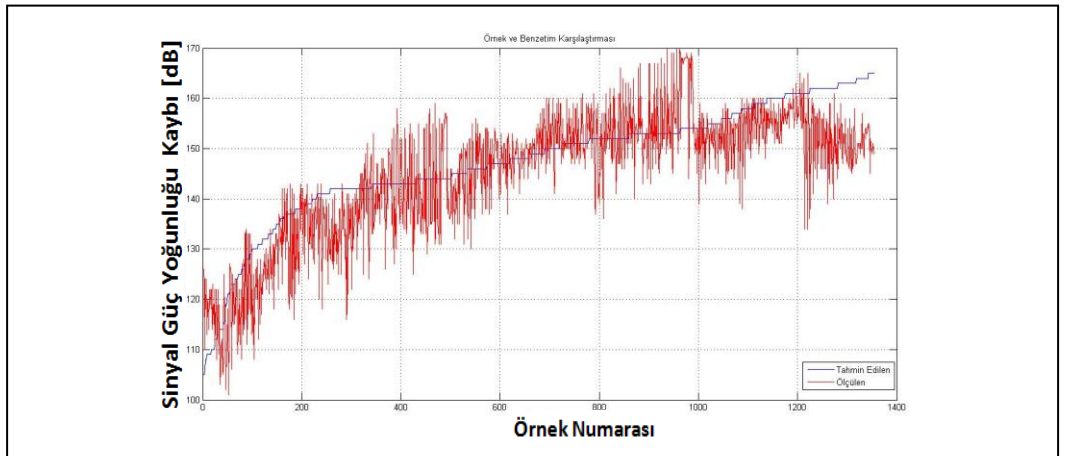
Şekil 6.36 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Suburban



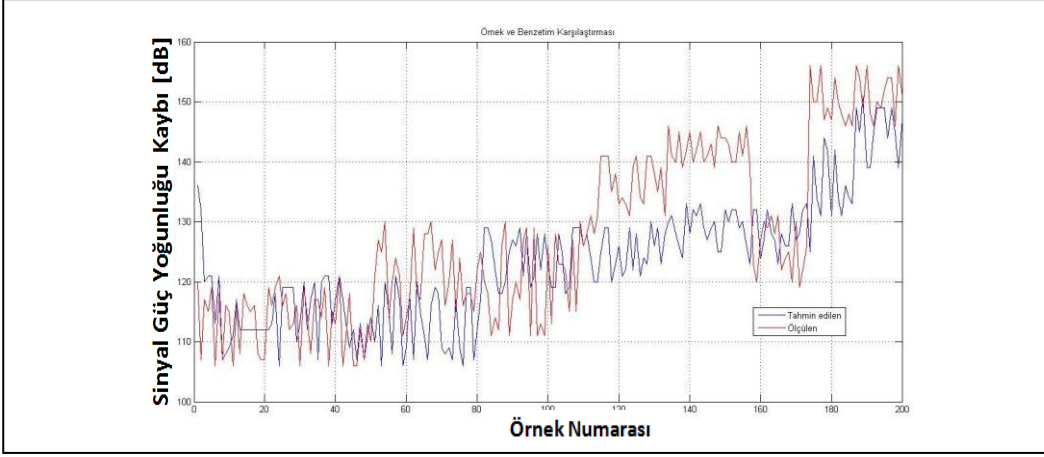
Şekil 6.37 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 1800 Mhz – Suburban



Şekil 6.38 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH



Şekil 6.39 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI



Şekil 6.40 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999

6.3 2100 Mhz Bandında Yapılan Hata ve Standart Sapma Hesaplamaları

Bu kısımda, 2100 Mhz bandından yayın yapan 3G şebekelerden alınan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılım modelleri kullanılarak yapılan benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılırken kullanılan ölçüm verileri, dense urban, urban ve suburban olarak gruplanmıştır. Karşılaştırma sırasında ham ölçüm değerleri sinyal güç yoğunluğu kaybı hesaplamasında kullanılmış ve bu değerler benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kıstası olarak ortalama hata ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Karşılaştırma sonuçlarının görsel olarak incelenmesi için MapInfo Professional, istatistiksel olarak incelenmesi için MATLAB kullanılmıştır. Karşılaştırma esnasında kullanılan sinyal seviyesi ölçüm değerleri -45 dBm ile -110 dBm arasında değişmektedir. Renklendirme aralıkları olarak -60 dBm'den kuvvetli sinyaller tek grupta, diğer sinyal seviyeleri ise 10'ar dBm'lik gruplar halinde renklendirilmiştir. Renklendirme aralıkları 4. Bölüm içerisinde verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Dense urban olarak Alsancak ve Çankaya, urban olarak Karşıyaka ve suburban olarak Çiğli bölgelerinde bulunan vericiler kullanılmıştır.

6.3.1 2100 Mhz Dense Urban Karşılaştırması

Bu kısımda, dense urban olarak sınıflandırılan bölgelerde yer alan vericilerden yapılan saha ölçümleri ve Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak oluşturulan benzetim çıktıları karşılaştırılmıştır.

Alsancak Sahasının Özellikleri:

- Anten yönleri: 0-110-260°
- Anten yüksekliği: 36m
- Anten tipi: K742236
- Dense Urban - Alsancak

Çankaya Sahasının Özellikleri:

- Anten yönleri: 120°
- Anten yüksekliği: 25m
- Anten tipi: K742236
- Dense urban – Çankaya

Alsancak bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçümlerinin Advanced Okumura- Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 6.58, standart sapma ise 10.23208 olarak hesaplanmıştır. Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ortalama hata -5.55057, standart sapma ise 10.1933 olarak hesaplanmıştır. Bölgeye göre karakterize edilmiş Algotihm 9999 kullanılan karşılaştırma çalışmaları sonucunda Alsancak bölgesi için ortalama hata -0.8619, standart sapma ise 7.208588, Çankaya bölgesi için ortalama hata -0.08824, standart sapma ise 4.949747 olarak hesaplanmıştır. Çankaya bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçüm çalışmaları, düz bir yol üzerinde ve alıcı verici arasında çoğunlukla doğrudan görüş olan bir durumda gerçekleştirildiği için alınan örnek sayısı normalden daha düşüktür ve ölçülen ve tahmin edilen örnekler büyük ölçüde örtüşmektedir. Çankaya bölgesindeki çalışma, herhangi bir bölge için hesaplanan A değişkenlerinin başka bir bölgede uygulanabilirliğini görmek için yapıldığı için bu bölgede sadece Algorithm 9999'un gerçek sinyal seviyesi ölçümleriyle karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

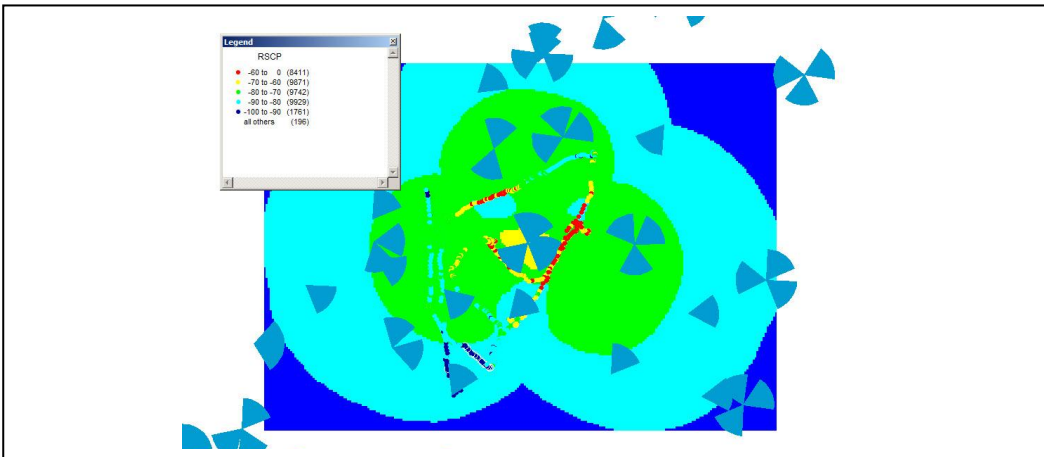
Alsancak bölgesi için görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 50000, Çankaya bölgesi için görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 5000 tekil örnek kullanılmıştır. Karşılaştırma grafikleri çizilirken örnekler herhangi bir sistematik sıraya sokulmamıştır. Şekil 6.41 ile Şekil 6.44 arasında Alsancak bölgesinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılımı modelleri kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarının görsel olarak karşılaştırılması yer almaktadır.

Çizelge 6.7’de Algorithm 9999 ile 2100 Mhz bandında, dense urban olarak sınıflandırılmış bölgeler için yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan A değişkeni değerleri görülmektedir.

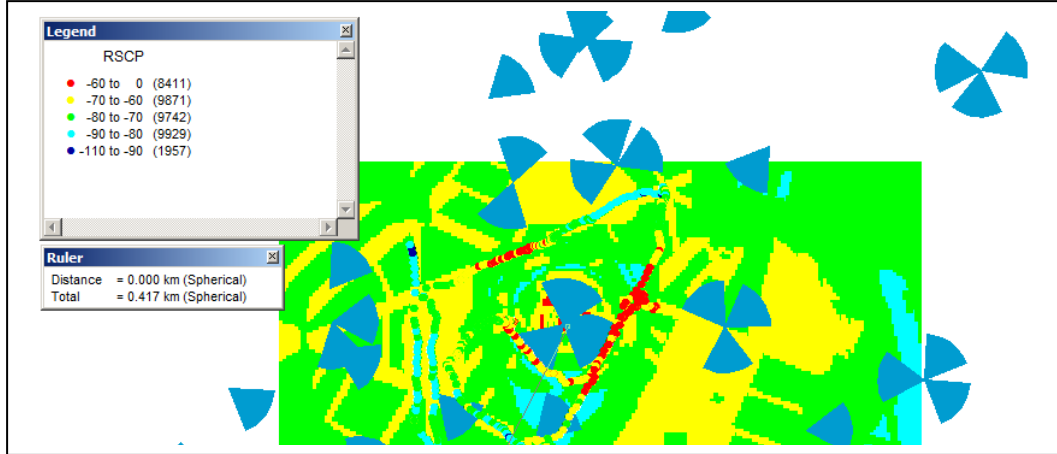
Çizelge 6.7 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 2100 Mhz – Dense urban

Değişken	Değer
A ₀	36.2
A ₁	32.7
A ₂	-12
A ₃	0.1

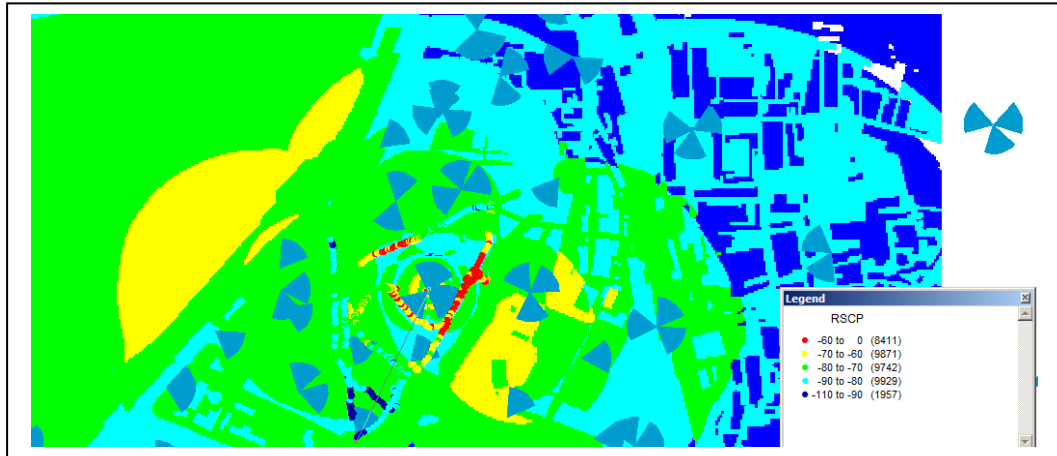
Şekil 6.45’te Advanced Okumura-Hata, Şekil 6.46’da Advanced Walfisch-Ikegami, Şekil 6.47’de ise Algorithm 9999 kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının, saha ölçümü sonuçlarıyla karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.48’de Çankaya sahası için Algorithm 9999 kullanılan benzetim sonuçlarının ölçümler ile karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.45 ile Şekil 6.48 arasında, grafiklerin x eksenleri karşılaştırmada kullanılan örneğin numarasını, y eksenini ise o örnek için ölçülen ve hesaplanan path loss ifade etmektedir. Ölçülen path loss değerleri kırmızı çizgi ile, benzetim sonucu hesaplanan path loss değerleri ise mavi çizgi ile çizilmiştir.



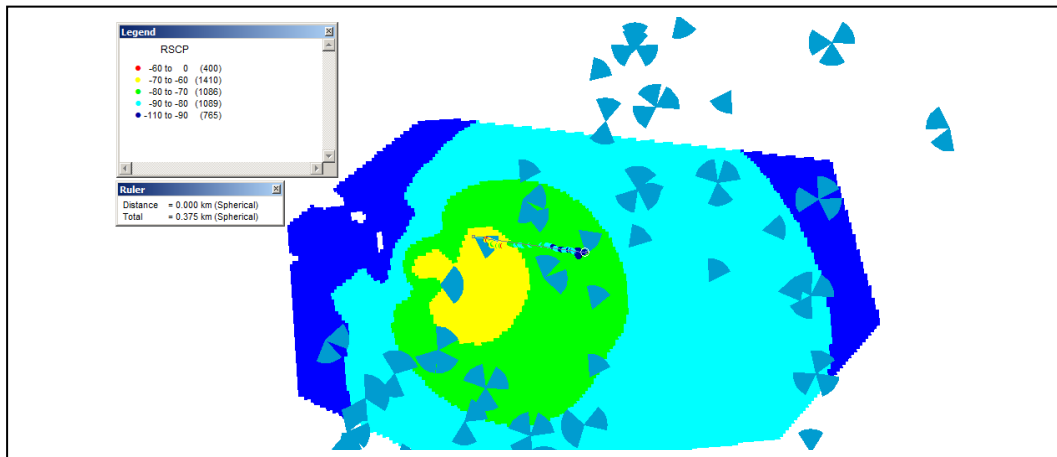
Şekil 6.41 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Dense urban



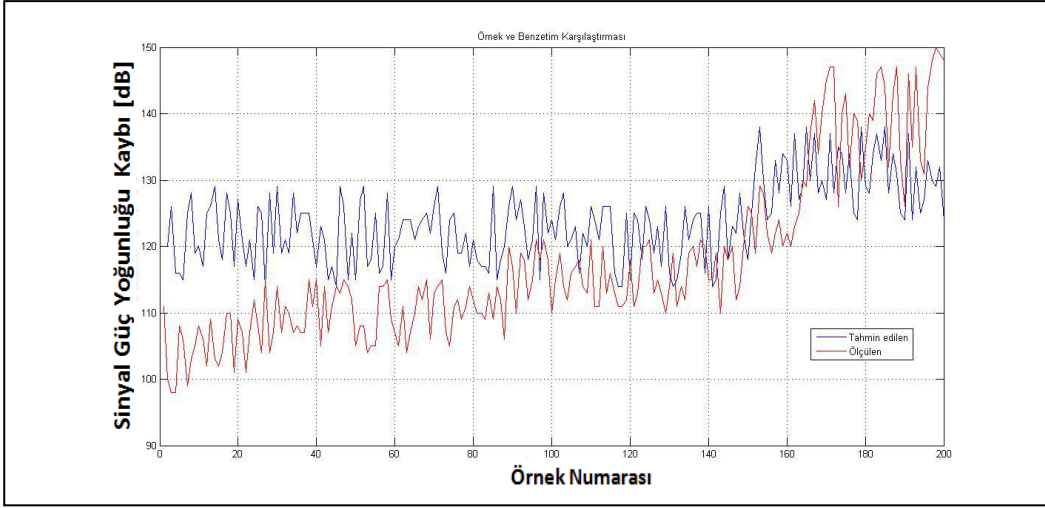
Şekil 6.42 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz- Dense urban



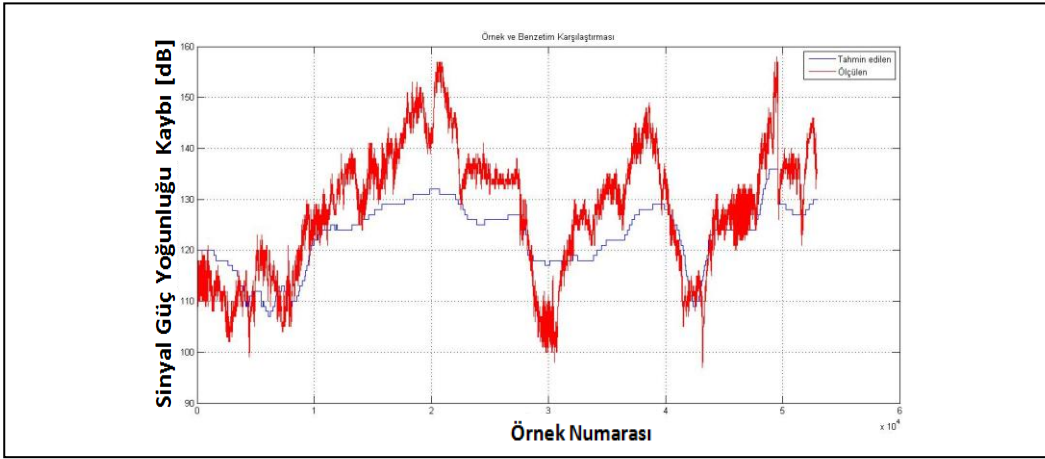
Şekil 6.43 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Dense urban



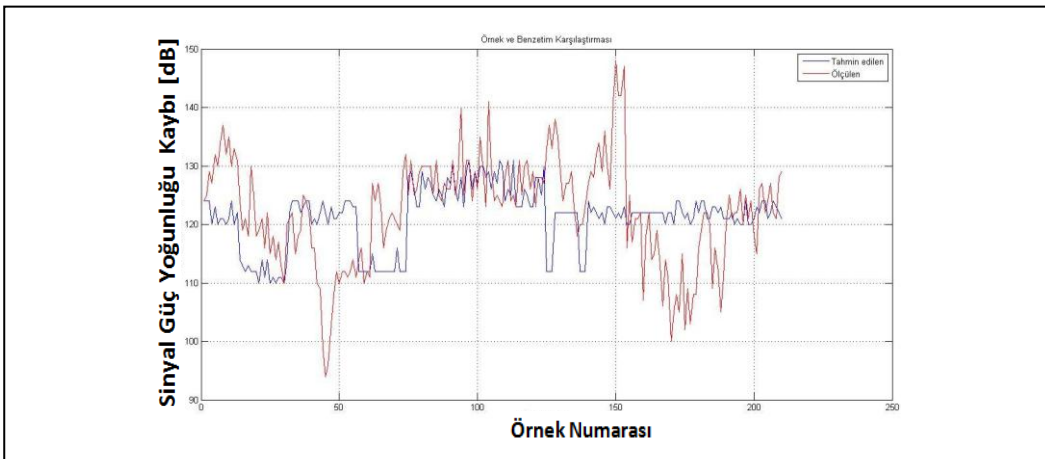
Şekil 6.44 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Dense urban



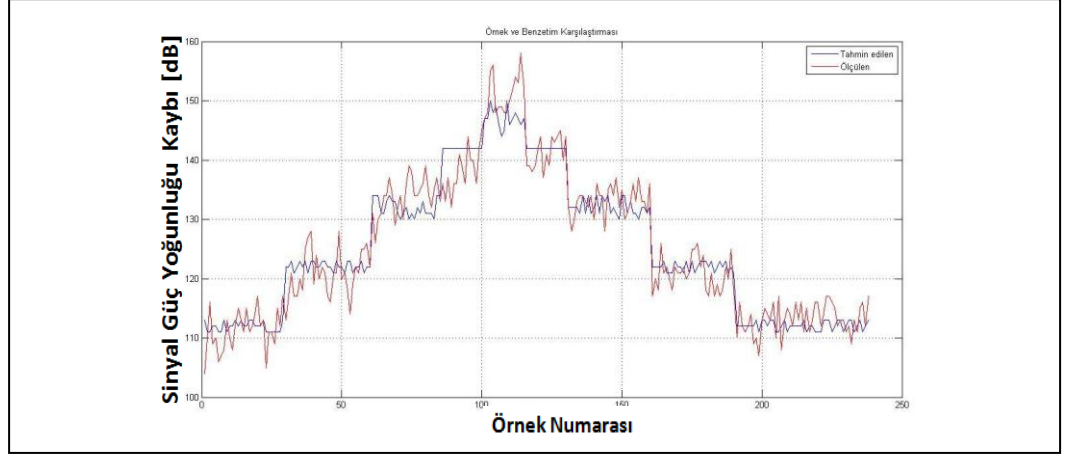
Şekil 6.45 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH



Şekil 6.46 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI



Şekil 6.47 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999



Şekil 6.48 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999

6.3.2 2100 Mhz Urban Karşılaştırması

Bu kısımda, urban olarak sınıflandırılan bölgelerde yer alan vericilerden yapılan saha ölçümleri ve Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak oluşturulan benzetim çıktıları karşılaştırılmıştır.

Karşıyaka Sahasının Özellikleri:

- Anten yönleri: 10-170-280°
- Anten yüksekliği: 14m
- Anten tipi: K742236
- Urban - Karşıyaka

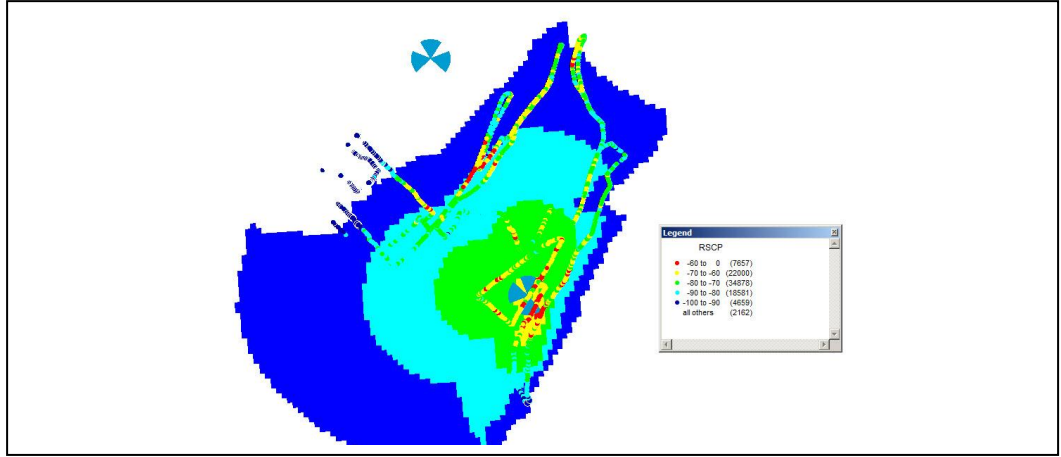
Karşıyaka bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçümlerinin Advanced Okumura- Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 6.34186, standart sapma ise 9.800037 olarak hesaplanmıştır. Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan simülasyon çıktıları ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 4.766597, standart sapma ise 13.40951 olarak hesaplanmıştır. Algorithm 9999 kullanılırken modelin içerdiği A değişkenlerinde yapılan değişikliklerin benzetim sonuçlarına etkisinin gözlemlenmesi amacıyla, model hem standart hem de bölgeye göre karakterize edilmiş haliyle kullanılmıştır. Standart A değişkenleri kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ve ölçüm karşılaştırması sonucu ortalama hata 7.5348848, standart sapma ise 8.143061 olarak hesaplanmıştır. Karakterize edilmiş model ile yapılan benzetim çıktıları ve ölçüm

karşılaştırması sonucu ortalama hata 0.495556, standart sapma ise 8.165599 olarak hesaplanmıştır. Karşıyaka bölgesi için görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 100000 tekil örnek kullanılmıştır. Birbirine 10m'den yakın olan örneklerin ortalamasının alınması sonucunda yaklaşık 25000 değer elde edilmiş ve hata ve standart sapma hesaplamalarında bu değerler kullanılmıştır. Karşılaştırma grafikleri çizilirken örnekler herhangi bir sistematik sıraya sokulmamıştır. Şekil 6.49 ile Şekil 6.52 arasında, Karşıyaka bölgesinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılımı modelleri kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının görsel olarak karşılaştırılması yer almaktadır.

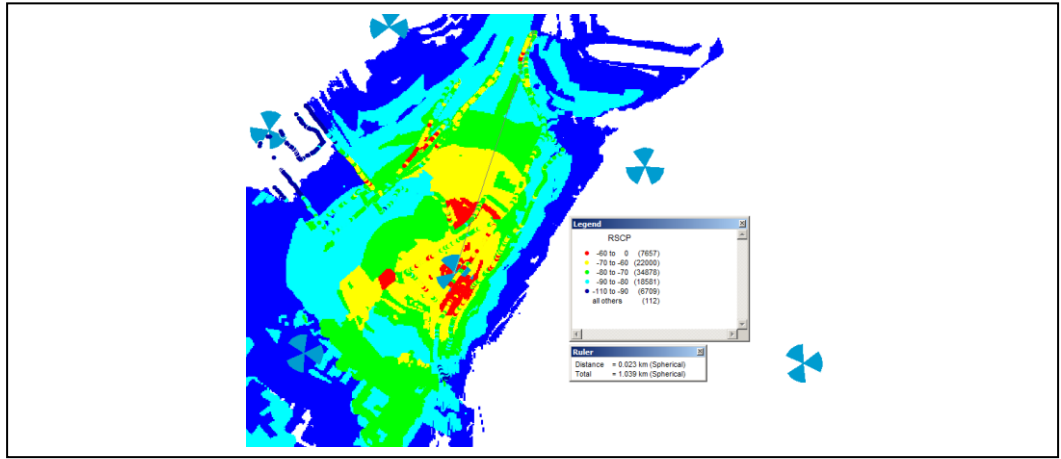
Şekil 6.53'te Advanced Okumura-Hata, Şekil 6.54'te Advanced Walfisch-Ikegami, Şekil 6.55'te standart A değişkenleri kullanılan Algorithm 9999, Şekil 6.56'da ise Çizelge 6.8'de verilen A değişkeni değerleri kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının, saha ölçümü sonuçlarıyla karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.53 ile Şekil 6.56 arasındada, grafiklerin x eksenleri karşılaştırmada kullanılan örneğin numarasını, y eksenini ise o örnek için ölçülen ve hesaplanan path loss değerini ifade etmektedir. Ölçülen path loss değerleri kırmızı çizgi ile, benzetim sonucu hesaplanan path loss değerleri ise mavi çizgi ile çizilmiştir. Çizelge 6.8'de Algorithm 9999 ile 2100 Mhz bandında, urban olarak sınıflandırılmış bölgeler için yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan A değişkeni değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.8 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 2100 Mhz - Urban

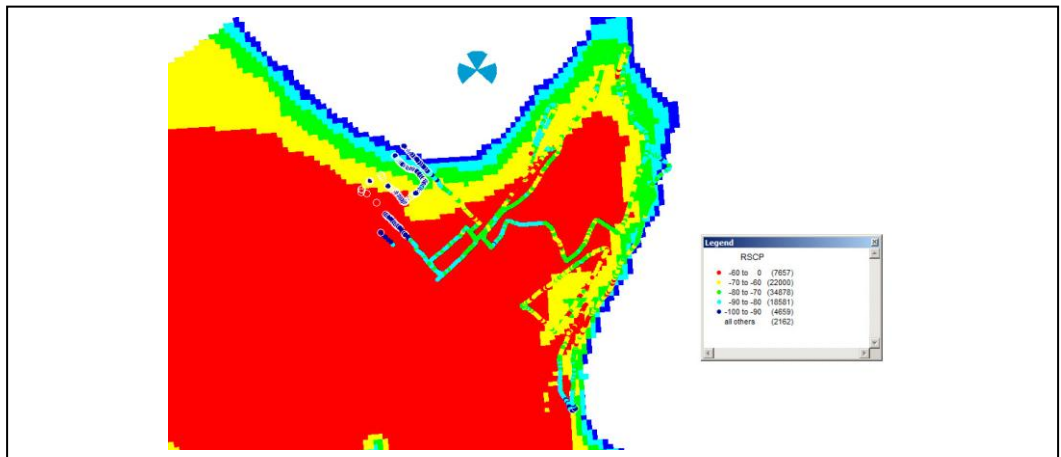
Değişken	Değer
A_0	36.2
A_1	32.2
A_2	-12
A_3	0.1



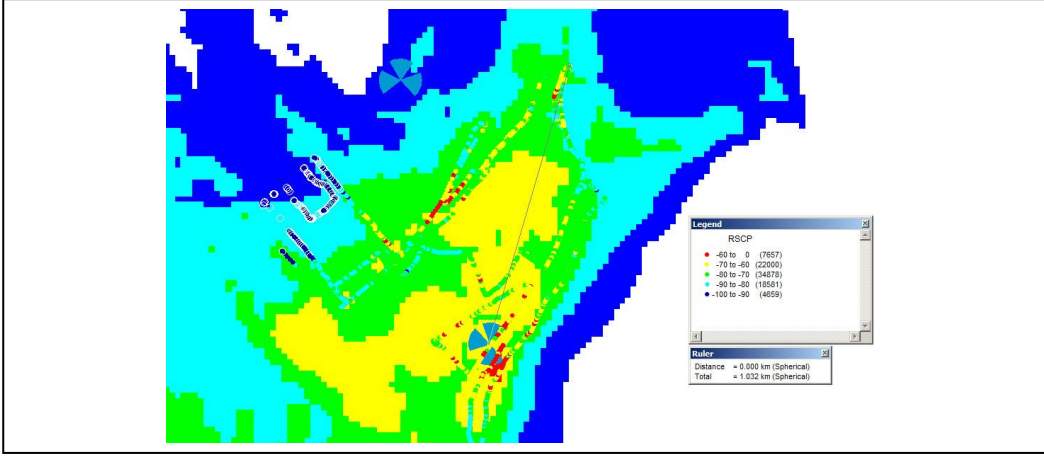
Şekil 6.49 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz –Urban



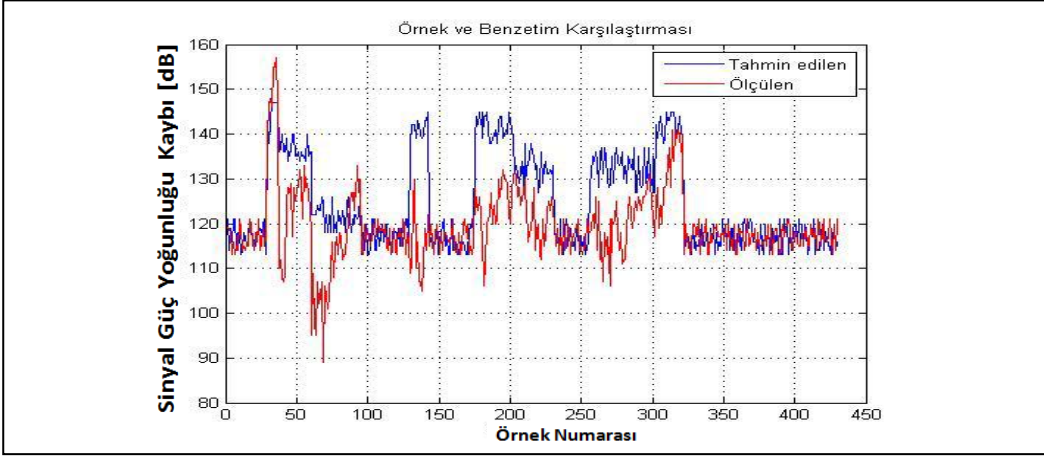
Şekil 6.50 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz –Urban



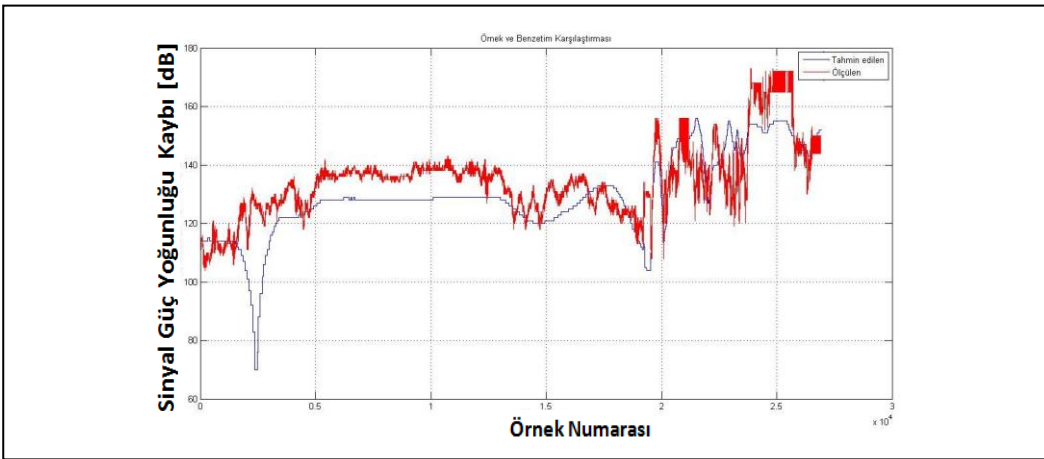
Şekil 6.51 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Urban



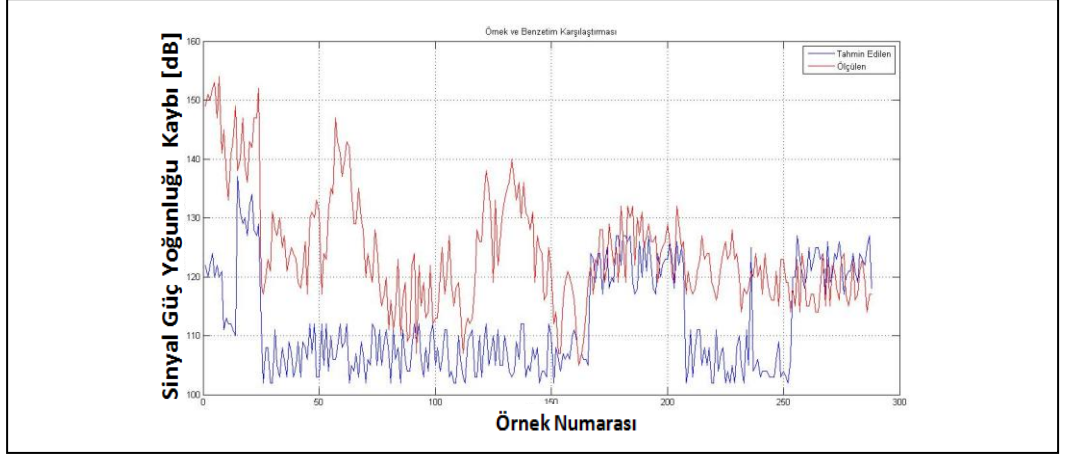
Şekil 6.52 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Urban



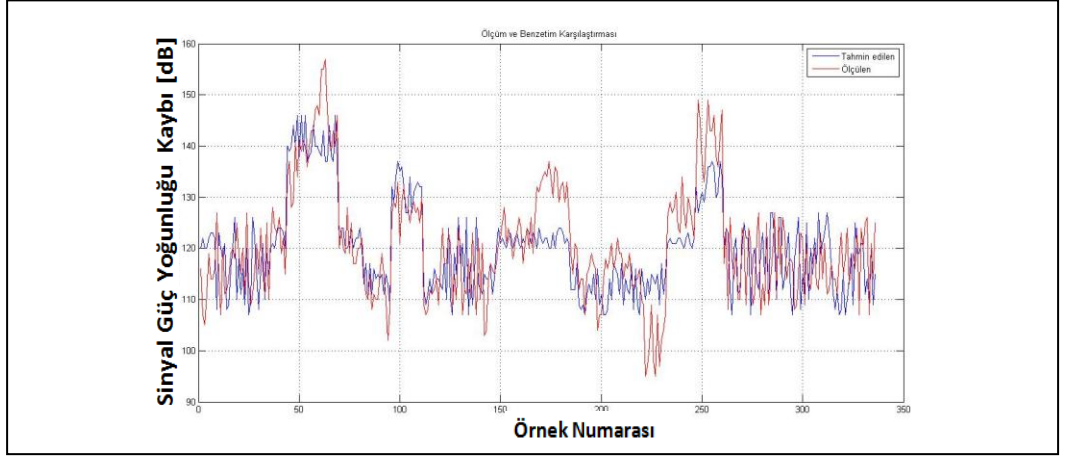
Şekil 6.53 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH



Şekil 6.54 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI



Şekil 6.55 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-1



Şekil 6.56 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999-2

6.3.3 2100 Mhz Suburban Karşılaştırması

Bu kısımda, suburban olarak sınıflandırılan bölgelerde yer alan vericilerden yapılan saha ölçümleri ve Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 modelleri kullanılarak oluşturulan benzetim çıktıları karşılaştırılmıştır.

Çiğli Sahasının Özellikleri:

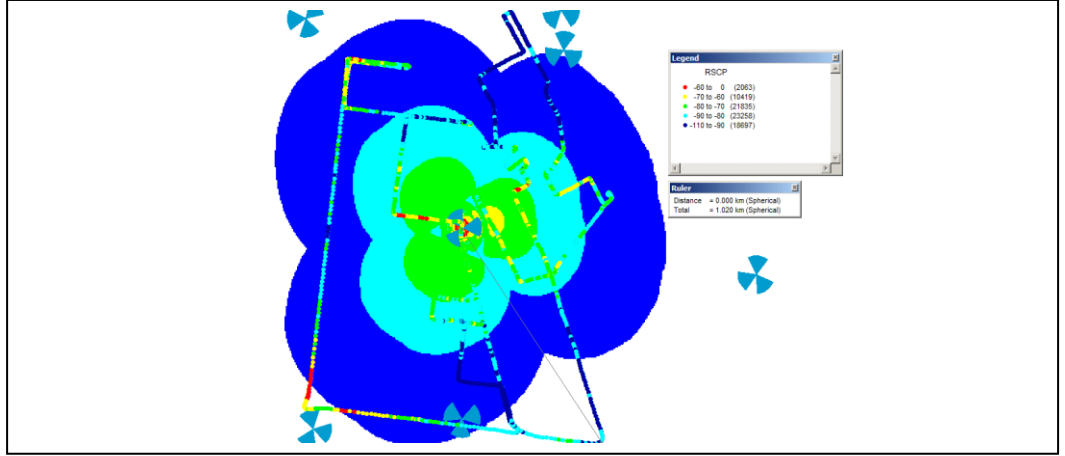
- Anten yönleri: 80-210-320°
- Anten yüksekliği: 22m
- Anten tipi: K742236
- Suburban - Çiğli

Çiğli bölgesinde yapılan sinyal seviyesi ölçümlerinin Advanced Okumura-Hata modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda ortalama hata 5.24515, standart sapma ise 14.14264 olarak hesaplanmıştır. Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetim çıktıları ile saha ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda ortalama hata -6.21738, standart sapma ise 6.49395 olarak hesaplanmıştır. Karakterize edilmiş A değişkenleri kullanılan Algorithm 9999 ile yapılan benzetim çıktıları ve ölçüm karşılaştırması sonucu ortalama hata 0.852071, standart sapma ise 10.17029 olarak hesaplanmıştır. Çiğli bölgesi için görsel karşılaştırma esnasında yaklaşık 75000 tekil örnek kullanılmıştır. Birbirine 20 m'den yakın olan örneklerin ortalamasının alınması sonucunda yaklaşık 2500 ortalama değer elde edilmiş ve hata ve standart sapma hesaplamalarında bu değerler kullanılmıştır. Karşılaştırma grafikleri çizilirken örnekler herhangi bir sistematik sıraya sokulmamıştır.

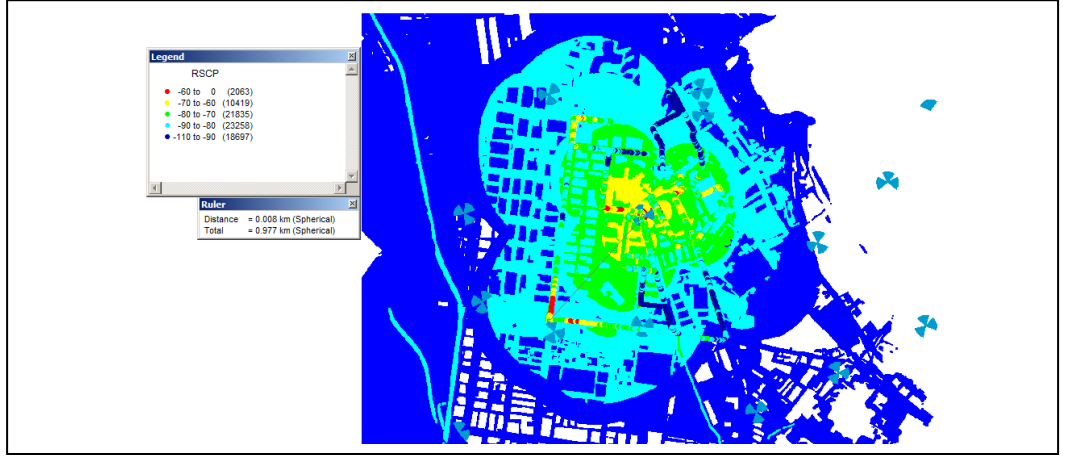
Şekil 6.57 ile Şekil 6.59 arasında Çiğli bölgesinden yapılan sinyal seviyesi ölçümleri ile farklı radyo dalgası yayılımı modelleri kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarının görsel olarak karşılaştırılması yer almaktadır. Şekil 6.60'ta Advanced Okumura-Hata, Şekil 6.61'da Advanced Walfisch-Ikegami, Şekil 6.62'de ise Algorithm 9999 kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarının, saha ölçümü sonuçlarıyla karşılaştırılması yer almaktadır. Bu grafiklerin x eksenleri karşılaştırmada kullanılan örneğin numarasını, y eksenini ise o örnek için ölçülen ve hesaplanan path loss değerini ifade etmektedir. Ölçülen path loss değerleri kırmızı çizgi ile, benzetim sonucu hesaplanan path loss değerleri ise mavi çizgi ile çizilmiştir. Çizelge 6.9'da Algorithm 9999 ile 2100 Mhz bandında, urban olarak sınıflandırılmış bölgeler için yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan A değişkeni değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.9 Benzetim esnasında kullanılan A değişkeni değerleri, 2100 Mhz - Suburban

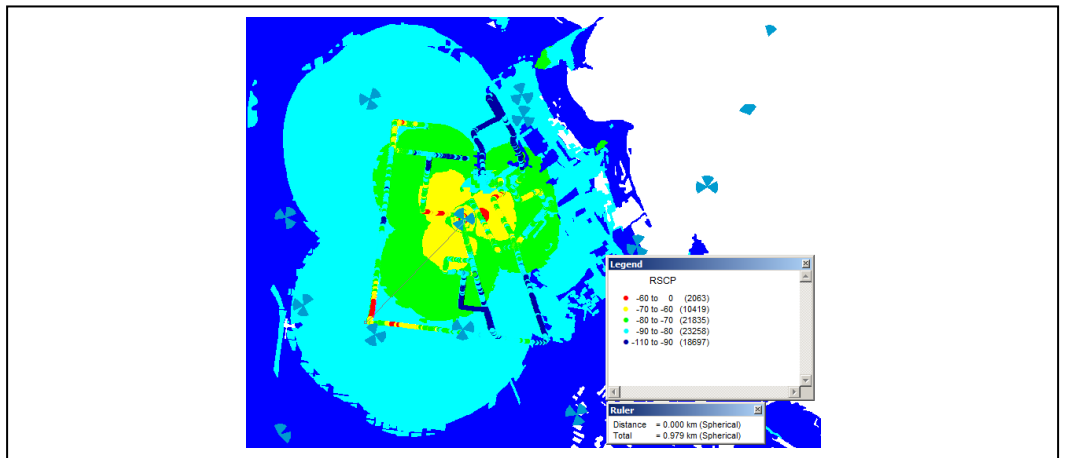
Değişken	Değer
A_0	36.2
A_1	31.6
A_2	-12
A_3	0.1



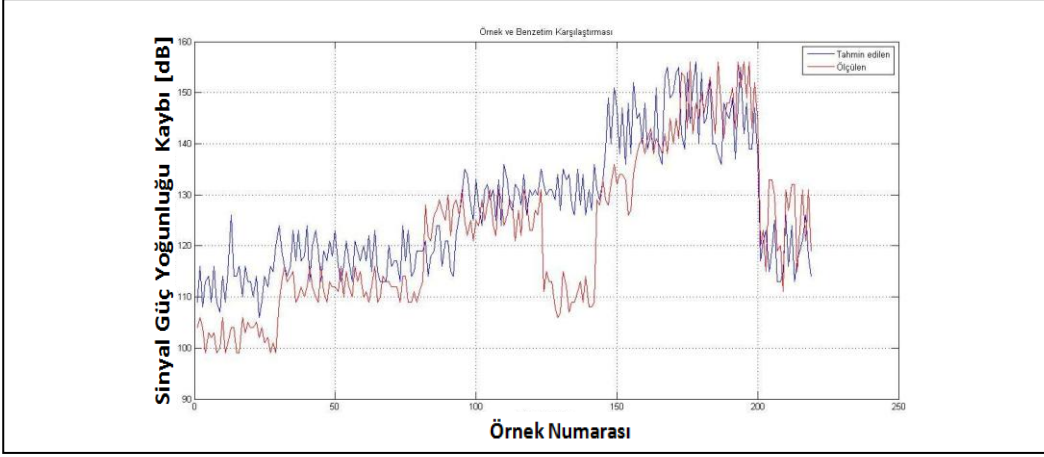
Şekil 6.57 Advanced Okumura-Hata Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Suburban



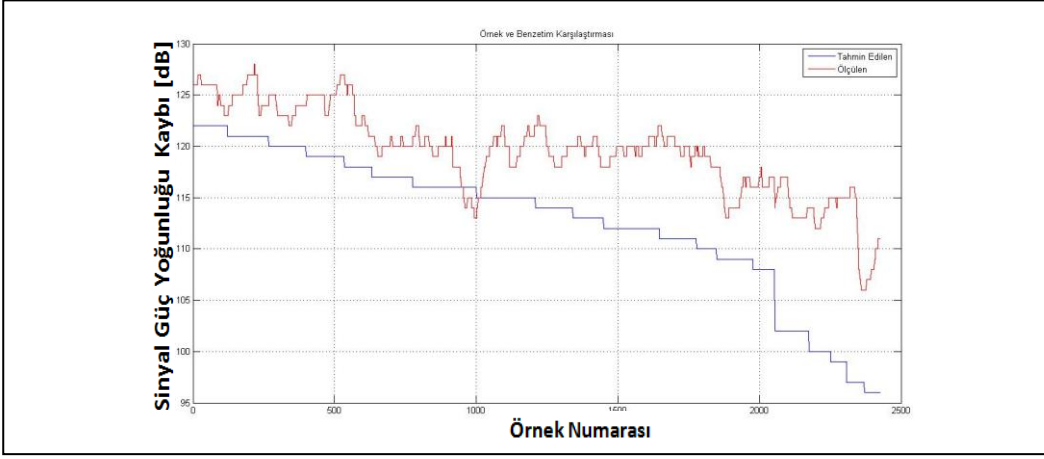
Şekil 6.58 Advanced Walfisch-Ikegami Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Suburban



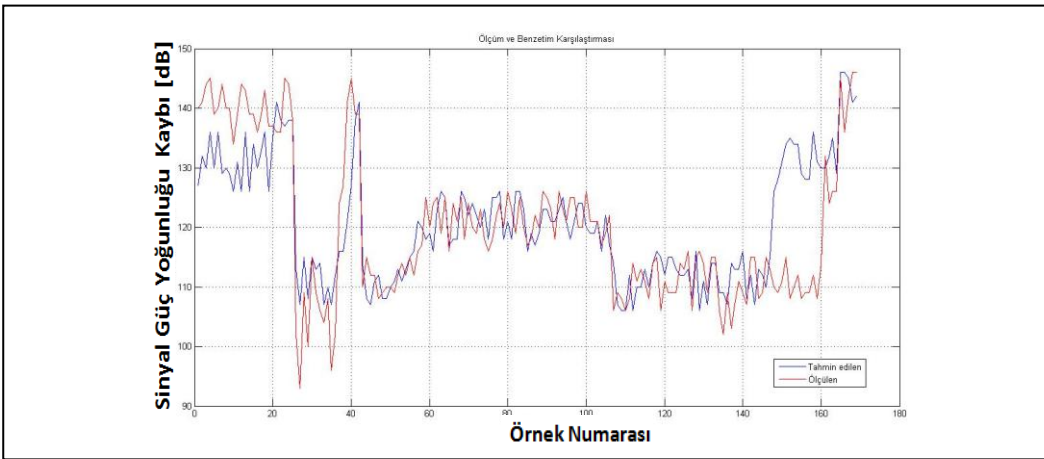
Şekil 6.59 Algorithm 9999 Benzetim ve Ölçüm karşılaştırması 2100 Mhz – Suburban



Şekil 6.60 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AOH



Şekil 6.61 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – AWI



Şekil 6.62 Tahmin edilen ve ölçülen güç yoğunluğu kayıpları karşılaştırması – A9999

6.4 Modeller Arasında Tutarlılık Karşılaştırması

Bu bölümde, proje kapsamında yapılan benzetim ve ölçüm sonuçları karşılaştırılarak hesaplanan ortalama hata ve standart sapma değerlerinin bölgelere ve yayın yapılan frekansa göre dağılımları incelenmiştir.

Bir RF Dalga yayılım modeli hazırlanırken ortalama hatanın sıfır veya sıfıra yakın, standart sapmanın ise mümkün olduğunca düşük olması hedeflenir. Ortalama hata değeri sıfırdan fazlaysa o model sinyal seviyesi tahmini bakımından normalden kötümser, sıfırdan düşük ise normalden daha iyimser bir model olarak adlandırılabilir. 10 dB'lik bir standart sapma değeri kabul edilebilir seviyelerdeyken, 8 dB'lik bir standart sapma değeri iyi olarak değerlendirilir. Eğer hesaplanan standart sapma değeri 10 dB üzerindeyse, kullanılan modelde değişken değişikliği yapılması veya offset eklenmesi gerekebilir. Bu proje esnasında kullanılan modeller arasında sadece Algorithm 9999 için A_1 değişkeni değiştirilmiştir.

Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve İzmir için optimize edilmiş Algorithm 9999 karşılaştırılmıştır. Bu proje kapsamında yapılan 900 ve 1800 Mhz ölçümler 2. nesil şebekelerden, 2100 Mhz tüm ölçümler ise 3. nesil şebekelerden alınmıştır. Hesaplama sonuçlarının frekanslara göre dağılımı bu bölüm içerisinde verilmiştir. Çizelge 6.10'da 900 Mhz bandında yapılan benzetim sonuçlarının istatistiksel karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 6.10 Benzetim sonuçlarının istatistiksel karşılaştırması – 900 Mhz

Bölge Sınıfı	Okumura-Hata		Walfisch-Ikegami		Algorithm 9999	
	μ (dB)	σ (dB)	μ (dB)	σ (dB)	μ (dB)	σ (dB)
Dense urban	13.8803	11.10312	3.36228	11.5598	9.6345	10.0015
Urban	5.443902	7.622417	11.37447	14.2009	-7.10732	8.202499
Suburban	8.3266666	16.692	13.085808	11.39606	-0.89	9.706270

Bu çalışmalara göre 900 Mhz bandında yayın yapılırken dense urban olarak belirlenmiş bölgelerde karşılaştırılan her üç model de yüksek ortalama hata

değerlerine sahiptir. Hata ve standart sapma değerleri karşılaştırıldığında en düşük değerlerin Advanced Walfisch-Ikegami modeli kullanılarak yapılan benzetime ait olduğu görülür fakat elde edilen tahmin değerleri kabul edilebilir seviyelerde değildir.

Urban olarak sınıflandırılan bölgeler için yapılan hesaplama çalışmaları sonucunda Advanced Okumura-Hata ve Advanced Walfisch-Ikegami modelleri normalden daha kötümser sonuç verirken, Algorithm 9999 ise normalden daha iyimser sonuç vermiştir. Her üç model de iyi olarak kabul edilebilecek seviyelerde standart sapma değerlerine sahip tahminler yapmışlardır. 900 Mhz bandında, urban bölgeler için en iyi sonucu Advanced Okumura-Hata modelinin verdiği görülmüştür.

Suburban olarak sınıflandırılmış bölgelerde yapılan 900 Mhz ölçüm ve benzetim karşılaştırmalarının sonuçlarına göre, Advanced Okumura-Hata ve Advanced Walfisch-Ikegami modelleri kabul edilemeyecek derecede yüksek standart sapma ve ortalama hata değerleri vermişlerdir. Algorithm 9999, bölgeye göre karakterize edildiği için beklenildiği gibi sifıra yakın bir hata değeri vermiştir. Algortihm 9999 ile yapılan benzteim sonuçlarına göre hesaplanan standart sapma ise kabul edilebilir seviyededir.

900 Mhz bandında yapılan tüm benzetim ve ölçüm çalışmaları karşılaştırıldığında şehir merkezinde Advanced Walfisch-Ikegami, şehir içinde Advanced Okumura-Hata, şehir dışında ise Algorithm 9999 gerçeğe en yakın benzetim sonuçlarını vermiştir. Çizelge 6.11’de 1800 Mhz bandında yapılan benzetim sonuçlarının istatistiksel karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 6.11 Benzetim sonuçlarının istatistiksel karşılaştırması – 1800 Mhz

Bölge Sınıfı	Okumura-Hata		Walfisch-Ikegami		Algorithm 9999	
	μ (dB)	σ (dB)	μ (dB)	σ (dB)	μ (dB)	σ (dB)
Dense urban	0.04	10.98618	5.640783	13.60384	2.15	8.105025
Urban	1.57778	8.51884	-2.257272	7.171806	1.2522	6.380186
Suburban	3.61	9.588741	-2.62532	12.34041	-4.525	12.34829

Bu proje kapsamında yapılan ölçüm ve benzetimlere dayanarak, dense urban olarak adlandırılan bölgeler için Advanced Okumura-Hata ve Algorithm 9999 modellerinin, Advanced Walfisch-Ikegami modeline göre daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Advanced Okumura-Hata modelinin ortalama hata değeri sıfıra oldukça yakındır ve standart sapma değeri de kabul edilebilir sınırlar dahilindedir. Algorithm 9999 kullanılarak elde edilen standart sapma değeri iyi olarak değerlendirilirken, ortalama hata değerini düşürmek için offset değerleri kullanılabilir.

1800 Mhz yayın yapılan urban bölgeler için, her üç modelin de ortalama hata değerleri sıfıra yakındır ve standart sapmaları 10 dB'nin altındadır. Her üç model de başarılı sonuçlar veriyor olarak değerlendirilebilir. İçlerinden ortalama hata ve standart sapma değerleri en düşük olan Algorithm 9999'dur.

Suburban olarak sınıflandırılmış bölgelerde yapılan benzetim ve ölçüm karşılaştırılmalarında Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999, normalden iyimser sinyal seviyeleri tahmin etmişlerdir. Her iki modelin standart sapmaları birbirlerine çok yakın ve istenilen seviyelerin dışındadır. 1800 Mhz suburban şebekeler için gerçeğe en yakın sonucu Advanced Okumura-Hata modeli vermiştir ve bu bölgede kabul edilebilir derecede hata ve standart sapma değerlerine sahiptir.

1800 Mhz bandında yapılan ölçüm ve benzetim çalışmalarının karşılaştırılması sonucunda, dense urban ve urban olarak belirlenen bölgelerde en iyi sonucu Algorithm 9999 verirken, suburban olarak sınıflandırılan bölgelerde en iyi sonucu Advanced Okumura-Hata modeli vermiştir. Çizelge 6.12'de 2100 Mhz bandında yapılan benzetim sonuçlarının istatistiksel karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 6.12 Benzetim sonuçlarının istatistiksel karşılaştırması – 2100Mhz

Bölge Sınıfı	Okumura-Hata		Walfisch-Ikegami		Algorithm 9999	
	μ (dB)	σ (dB)	μ (dB)	σ (dB)	μ (dB)	σ (dB)
Dense urban	6.58	10.23208	-5.55057	10.1933	-0.8619	7.208588
Urban	6.34186	9.800037	4.766597	13.40951	0.495556	8.165599
Suburban	5.24515	14.14264	-6.21738	6.49395	0.852071	10.17029

Daha önce karşılaştırılan ölçümlerin aksine bu ölçümler 3. nesil şebekelerden alınmıştır. Dense urban olarak sınıflandırılan bölgeler için yapılan benzetim ve ölçüm karşılaştırma çalışmaları sonucunda Advanced Okumura-Hata ve Advanced Walfisch-Ikegami modellerinin standart sapmalarının kabul edilebilir düzeylerde olduğu fakat ortalama hata değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Algorithm 9999 modelinin ortalama hata değeri sıfıra çok yakındır, standart sapma değeri ise çok iyi olarak nitelendirilebilecek seviyededir.

Urban olarak sınıflandırılmış, 3. nesil şebekelerden yapılan ölçüm ve benzetim karşılaştırmaları sonucunda Advanced Okumura-Hata ve Advanced Walfisch-Ikegami modellerinin göreceli olarak yüksek hata ve standart sapma değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Algorithm 9999, 2100 Mhz urban şebekeler için sıfıra yakın ortalama hata değeri vermiştir ve standart sapması bu modeli iyi olarak sınıflandırmaya yetecek düzeydedir.

Suburban olarak sınıflandırılmış bölgelerdeki 3. nesil şebekelerde ise Advanced Okumura-Hata modeli yüksek hata ve standart sapma değerlerine sahipken Advanced Walfisch-Ikegami'nin standart sapması düşük olsa da ortalama hata değeri kabul edilemeyecek kadar yüksektir, bu da offset değerleri ile bu modelin bölgeye uygun hale getirilebileceğini akla getirmektedir. Algorithm 9999 aynı şartlar altında sıfıra yakın hata değeri ve kabul edilebilecek kadar standart sapma değerleri vermiştir. 2100 Mhz'den yapılan karşılaştırmaların tamamında en başarılı model Algorithm 9999'dur.

7. SONUÇ

Bu proje kapsamında Türkiye’de yayın yapan üç GSM operatörünün hücresel ağlarından yapılan sinyal seviyesi ölçümleri farklı matematiksel modeller kullanılarak yapılan benzetim çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar üç farklı frekans dilimini ve iki ayrı hücresel ağ teknolojisini içermektedir. 2. nesil şebekelerden yapılan ölçümler 900 ve 1800 Mhz dilimlerindeyken, 3. nesil şebekelerden yapılan ölçümler 2100 Mhz dilimindedir. Karşılaştırılmak üzere ölçüm ve benzetim yapılan bölgeler üç alt bölgeye bölünmüştür. Bunlar dense urban yani şehir merkezi, urban yani şehirleşmiş alanlar ve suburban yani şehir dışı alanlar olarak belirlenmiştir. Belirlenen bölgelerin şehrin karakteristik yapısını en iyi şekilde göstermesine çalışılmıştır. Dense urban olarak seçilen bölgelerde binalar genellikle 10 kattan yüksek, vericiler ise 30 metreden yüksektir. Urban olarak seçilen bölgelerde verici yükseklikleri genelde 20 metre, binalar ise 6 kat dolayındadır. Suburban olarak belirlenen bölgelerde ise binalar genellikle müstakil veya 3 kat civarındadır. Verici yükseklikleri ise 30 metre dolayındadır. Benzetim ve ölçümler karşılaştırılırken kıstas olarak ölçülen ve hesaplanan örneklerin güç yoğunluğu kayıpları arasında standart sapma ve ortalama hata değerleri alınmıştır. Farklı frekans bantları için Advanced Okumura-Hata, Advanced Walfisch-Ikegami ve Algorithm 9999 kullanılarak yapılan benzetim çıktıları, gerçek sinyal seviyesi ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar daha sonra bölgelere ayrılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda şehrin hangi bölgesinde, üç frekans için en iyi sonuç veren RF Dalga yayılım modelinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çizelge 7.1’de benzetim yapılan bölgeye ve frekansa göre en iyi benzetim sonuçlarını veren modeller görülmektedir.

Çizelge 7.1 Frekansa ve bölgeye göre en iyi benzetim sonucu veren modeller

Bölge Sınıfı	Yayın Frekansı		
	900 Mhz	1800 Mhz	2100 Mhz
Dense urban	Advanced Walfisch - Ikegami	Algorithm 9999	Algorithm 9999
Urban	Advanced Okumura - Hata	Algorithm 9999	Algorithm 9999
Suburban	Algorithm 9999	Advanced Okumura-Hata	Algorithm 9999

Çizelge 7.1'e göre dense urban olarak sınıflandırılan şehir merkezindeki vericiler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, bu proje kapsamında yararlanılan modeller arasında, 900 Mhz frekans bandında Advanced Walfisch-Ikegami en iyi sonucu verirken 1800 ve 2100 Mhz bantlarında Algorithm 9999, gerçeğe en yakın benzetimleri yapmıştır. Urban olarak belirlenen bölgelerde yapılan çalışma çıktılarına göre, 900 Mhz bandında gerçeğe en yakın sonucu Advanced Okumura-Hata modelinin, 1800 ve 2100 Mhz bantlarında ise Algorithm 9999'un verdiği görülmüştür. Suburban olarak belirlenen bölgelerde 900 ve 2100 Mhz bantlarında en gerçekçi sonucu Algorithm 9999 verirken 1800 Mhz bandında Advanced Okumura-Hata modeli gerçeğe en yakın sonucu vermiştir. Bu proje esnasında Advanced Okumura-Hata modelinin, vericinin yüksek olduğu ve alıcı ile arasında yüksek engellerin bulunmadığı durumlarda gerçeğe yakın benzetim sonuçları verdiği görülmüştür. Advanced Walfisch-Ikegami modeli, benzetim yapılan bölgenin bina ve yerleşim şekli ne kadar homojense gerçeğe o kadar yakın benzetim sonuçları vermektedir. Bu proje esnasında Advanced Walfisch-Ikegami modelinin, sokak genişliklerinin ve bina boylarının hemen hemen aynı olduğu yerleşim yerlerinde gerçeğe yakın sonuç verdiği görülmüştür. Algorithm 9999, bu proje esnasında ölçüm ve benzetim yapılan tüm bölgelerde gerçeğe yakın benzetim sonuçları vermektedir.

Bu proje esnasında yapılan benzetim ve ölçümlerin karşılaştırılması sonucu 1800 ve 2100 Mhz bantlarında Algorithm 9999'un ortalama hata değerleri sıfıra yakınken, karşılaştırılma yapılan diğer modeller gibi 900 Mhz bandında oldukça yüksektir. Hata değerlerini sıfıra indirmek için daha ayrıntılı ölçümler yapılarak, model içerisindeki A değişkenleri değiştirilebilir. 900 Mhz bandında yapılan hata ve standart sapma sonuçlarının, 1800 ve 2100 Mhz bantlarında yapılanlara göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Karşılaştırma yapılan tüm modeller 900 Mhz bandında benzetim yapmakta zorlanmaktadırlar. 1800 ve 2100 Mhz frekansa sahip yayınlar bir engelin içinden geçerken büyük ölçüde engel tarafından soğuruldukları için ikinci veya üçüncü kez bir engelden yansırken güç yoğunlukları, benzetim esnasında hesaba katılmayacak seviyelere düşmektedirler. 900 Mhz frekansa sahip radyo dalgasının önüne çıkan engellerden diğer frekans bantlarına göre daha az etkilenmesi ve engelleri aşan bu dalgaların çevredeki bina ve coğrafi yapılardan tekrar tekrar yansiyarak çeşitli yollar izleyerek yayılmaya devam etmesi benzetim yapmayı oldukça güçleştirmektedir. 900 Mhz bandında, sinyalin yayılırken izlediği yolu takip eden bir model (ray tracing) kullanılarak tekrar tekrar oluşacak yansımalar tek tek hesaplanabilir. Ray tracing modellerin bir dezavantajı, sinyalin takip ettiği yolu

hesaplamak için yüksek işlem gücüne ve çevrenin çok ayrıntılı bir sayısal haritasına ihtiyaç duymalarıdır (Rappaport, 2002). Bu yüzden büyük alanlar için bu tip modellerin kullanılması pratik olmayabilir.

Farklı şehirlerin coğrafi şekilleri ve bina yapıları farklı olduğu için her bölgede farklı RF Dalga Yayılım Modellerinin en iyi sonucu vermesi kaçınılmazdır. İzmir şehri için yapılan bu çalışma sonucunda, hücresel ağlarda radyo yayılımını tahmin etmek için kullanılan modelin hem coğrafi şekilleri hem de bina yapılarını hesaba katan bir model olması gerektiği görülmüştür.

Bu proje kapsamında karşılaştırılan modeller arasında benzetim yapılan on bölgenin yedisinde gerçeğe en yakın benzetim sonuçlarını Algorithm 9999 vermiştir. Çizelde 7.1'e göre İzmir'de 900 Mhz bandında RF dalga yayılım benzetimleri yapılırken şehir merkezi için Advanced Walfisch-Ikegami modeli, şehir içi için Advanced Okumura-Hata modeli, şehir dışı bölgeler için ise Çizelge 5.1'deki A değişkenleri ile Algorithm 9999 kullanılması uygundur. Ayrıca 900 Mhz bandında daha düşük ortalama hata ve standart sapma değerlerine sahip benzetim çalışmaları yapılmak istenir ise, Algortihm 9999 üzerinde karakterize etme çalışmaları (model tuning) yapılabilir veya ray tracing modeller kullanılabilir. Bu proje kapsamında çalışma yapılan bölgelerde, ray tracing modellerin mevcut yarı empirik modellerle karşılaştırılmasıyla ilgili bir çalışma henüz yapılmamıştır.

1800 Mhz bandında yapılacak bir benzetim çalışmasında şehir içindeki tüm bölgelerde Çizelge 5.1'deki A değişkenleri ile Algorithm 9999 kullanılması, şehir dışında ise Advanced Okumura-Hata modeli kullanılması gerçeğe en yakın sonucu verecektir. İzmir'de UMTS şebekeler için yapılacak bir sinyal seviyesi benzetim çalışmasında şehrin tüm bölgeleri için Çizelge 5.1 deki A değerleri ile Algortihm 9999 kullanılması uygun olacaktır. İzmir'in tamamının bölgesel olarak sınıflandırılmış hali Ek 15'te verilmiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- AWE Communications GmbH**, 2003, Winprop Wave Propagation Tool Proman User Reference, Gärtringen, 36p.
- Chevallier, C., Brunner, C., Garavaglia, A., Murray, K.P., and Baker, K. R.**, 2006, WCDMA Deployment Handbook. Planning and Optimization Aspects, John Wiley and Sons, Ltd, Chichester, 366p.
- Cosmo Telecom**, 2011, Izmir Model Tuning Report for 25 Clutter Map, Submitted to AVEA, 32p (unpublished).
- COST Action 231**, 1996, “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems, COST 231 Final Report”, <http://www.lx.it.pt/cost231/> (Erişim tarihi: 13.08.2011)
- Cruz, R. M. S., da Costa, F. C., Braga, P. F., Fontgalland, G. M., Barbosa deMelo, A., and Do Valle R. R. M.**, 2005, A Comparison Between Theoretical Propagation Models and Measurement Data to Distinguish Urban, Suburban and Open Areas in João Pessoa, João Pessoa, 5p.
- Ericsson TEMS AB.**, 2008, TEMS Cell Planner Universal Common Features User’s Guide, 563p.
- Ericsson TEMS AB.**, 2008, TEMS Cell Planner Universal Common Features Technical Reference Manual, 129p.
- Forsk**, 2003, Atoll Global RF Planning Solution Technical Reference Guide version 2.2.0, 231p.
- Forsk**, 2010, Atoll Radio Planning & Optimisation Software Measurements and Model Calibration Guide version 2.8.3, Blagnac, 90p.
- Kathrein Werke KG.**, 2004, 790 - 2500 Mhz Base Station Antennas for Mobile Communications, Rosenheim, 202p.
- Kathrein Werke KG.**, 2011, 790 – 6000 Mhz Base Station Antennas, Filters, Combiners and Amplifiers for Mobile Communications, Rosenheim, 318p.
- Mansour, N. A.**, 1994, RF Predictions and Modelling for Microcells and PCS Cell Design, Colorado, 5p.
- Medeisis, A., and Kajackas, A.**, 2000, On the Use of the Universal Okumura-Hata Propagation Prediction Model in Rural Areas, Kaunas, 4p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mogensen, P.E., Eggers, P., Jensen C., and Andersen, J.B.**, 1991, Urban Area Radio Propagation Measurements at 955 and 1845 Mhz for Small and Micro Cells, Aalborg, 6p.
- Mutlu, M. and Çavdar, I. H.**, 2010, Adaptation of COST-231 Walfisch-Ikegami Method to Ordu City in GSM 900 Frequency Band, Ordu, 7p.
- Powerwave Technologies, Inc.**, 2010, Dual Broadband Antennas 7750 Datasheet, California, 1p.
- Rappaport, T. S.**, 2002, Wireless Communications Principles and Practice Second Edition, Prentice Hall PTR, New Jersey, 599p.
- Seker, S. S., Yelen, S., and Callialp Kunter, F.**, 2010, Comparison of Propagation Loss Prediction Models of UMTS for an Urban Areas, İstanbul, 4p.

ÖZGEÇMİŞ

Erdem EKİZ 1987 yılında İzmir’de doğdu. İlköğretimini M.E.V. Özel İzmir İlköğretim Okullarında tamamladıktan sonra, M.E.V. Özel İzmir Fen Lisesinden 2004 yılında mezun oldu.

2004 yılında başladığı Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde eğitimini 2008 yılında tamamladı. Mezun olduktan sonra Ericsson Telekomünikasyon A.Ş. adına çeşitli projelerde yer aldı, şu anda Avea İletişim Hizmetleri A.Ş.’de RF Planlama Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**İZMİR ve ÇEVRESİNDE 900 - 2100 MHZ BANDINDA
AÇIK ALANDA RADYO DALGASI YAYILIMININ
MODELLENMESİ**

EKLER

- Ek 1 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 1
- Ek 2 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 2
- Ek 3 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 3
- Ek 4 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 4
- Ek 5 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 5
- Ek 6 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 6
- Ek 7 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 7
- Ek 8 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 8
- Ek 9 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 9
- Ek 10 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 10
- Ek 11 Kathrein 739 684 Anten Teknik Detay Formu
- Ek 12 Kathrein 742 215 Anten Teknik Detay Formu
- Ek 13 Kathrein 742 236 Anten Teknik Detay Formu
- Ek 14 Powerwave 7750 Anten Teknik Detay Formu
- Ek 15 Bölgesel Olarak Sınıflandırılmış İzmir Haritası

Bornova-İZMİR

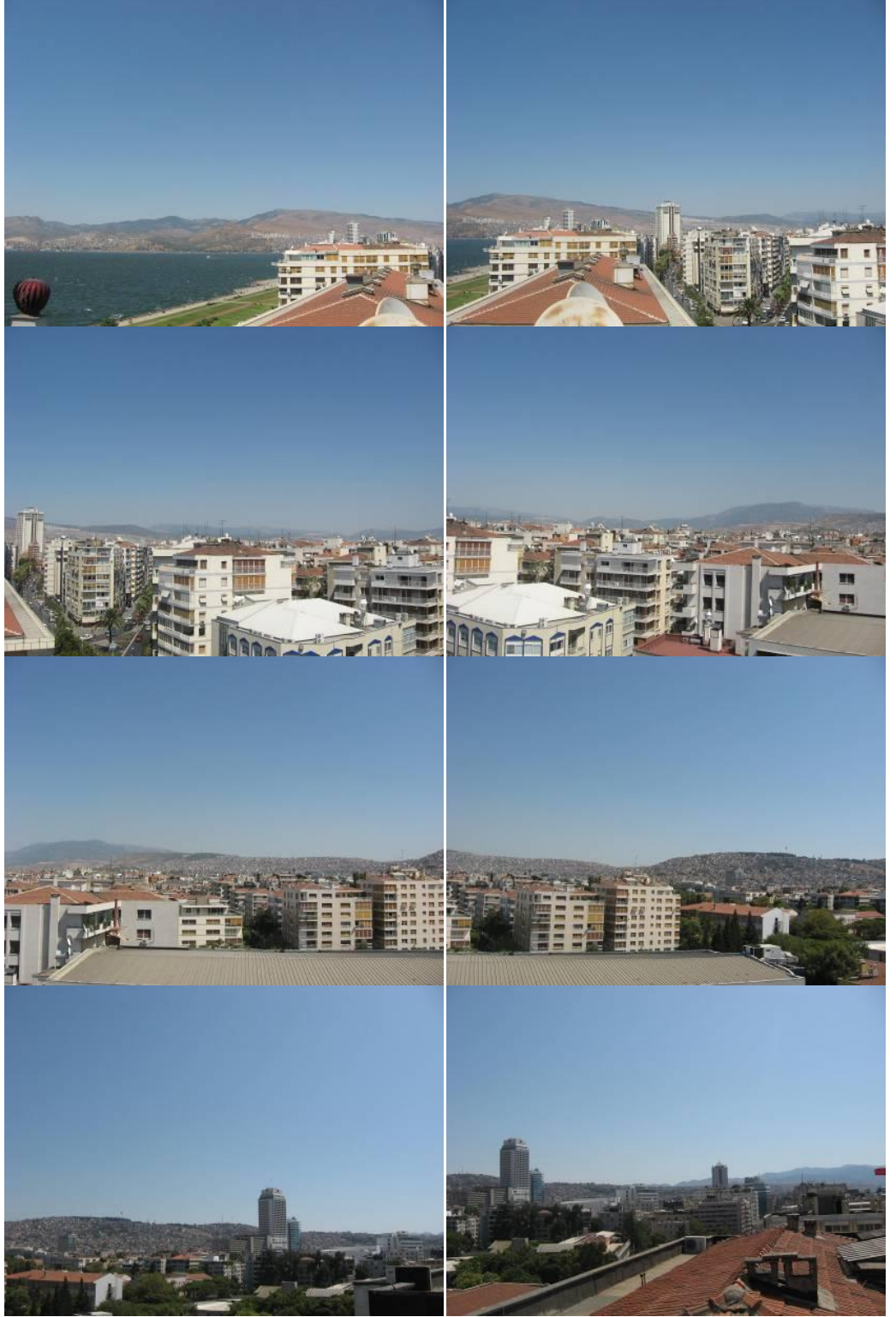
2011

Ek 1 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 1





Ek 2 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 2





Ek 3 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 3



Ek 4 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 4



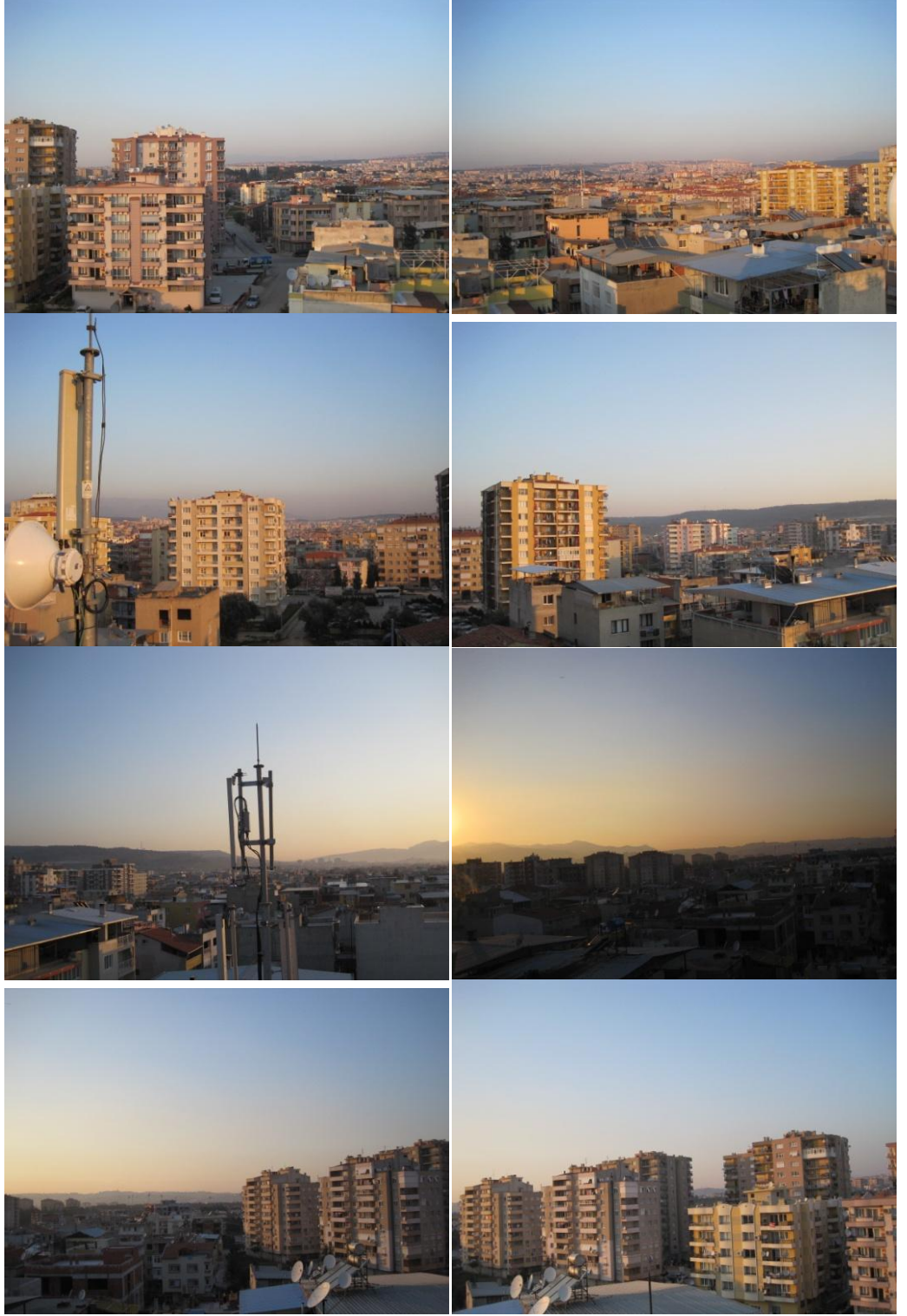
Ek 5 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 5



Ek 6 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 6



Ek 7 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 7



Ek 8 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 8



Ek 9 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 9



Ek 10 Sinyal Seviyesi Ölçümü Yapılan Bölge Fotoğrafları - 10



Ek 11 Kathrein 739 684 Anten Teknik Detay Formu



739 684 65° Panel Antenna

Kathrein X-polarized adjustable electrical downtilt antennas offer the wireless carrier the ability to tailor polarization diversity sites for optimum performance. Using variable downtilt, only a few models need be procured to accommodate the needs of widely varying conditions.

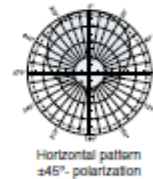
- 0-14° downtilt range.
- UV resistant pultruded fiberglass radome...
- DC Grounded.
- No moving electrical connections.
- Wideband vector dipole technology.
- Remote control option.



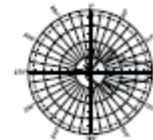
General specifications:

Frequency range	806-960 MHz
VSWR	<1.5:1
Impedance	50 ohms
Intermodulation (2x20W)	IM3: <-150 dBc
Polarization	+45° and -45°
Connector	2 x 7/16 DIN female
Isolation	>30 dB
Maximum input power	400 watts (at 50°C) per input
Weight	30.9 lb (14 kg)
Dimensions	51 x 10.3 x 4.6 inches (1296 x 262 x 116 mm)
Equivalent flat plate area	4.81 ft² (0.447 m²)
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	61.5 x 11.3 x 6.5 inches (1562 x 287 x 165 mm)
Shipping weight	34.4 lb (15.6 kg)
Mounting	Fixed mount options are available for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD masts.
See reverse for order information.	

Specifications:	806-866 MHz	824-894 MHz	880-960 MHz
Gain	14.5 dBi	14.7 dBi	15 dBi
Front-to-back ratio	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)
+45° and -45° polarization horizontal beamwidth	70° (half-power)	68° (half-power)	65° (half-power)
+45° and -45° polarization vertical beamwidth	16° (half-power)	15.5° (half-power)	15° (half-power)
Electrical downtilt continuously adjustable	0°-14°	0°-14°	0°-14°
Sidelobe suppression for sector 0°-30° above main beam	14 dB	15 dB	15 dB
Cross polar ratio			
Main direction 0°	25 dB (typical)	25 dB (typical)	25 dB (typical)
Sector ±60°	>10 dB	>10 dB	>10 dB



Horizontal pattern
±45° polarization



Vertical pattern
±45° polarization



* Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in EIA-222-F (June 1996) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.

10755-D
936.2201/d

Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com

Ek 12 Kathrein 742 215 Anten Teknik Detay Formu

Multi-band Panel 1710-2200
Dual Polarization X
Half-power Beam Width 65°
Adjust. Electrical Downtilt 0°-10°
 set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

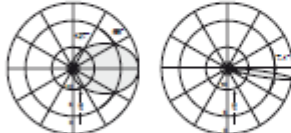
KATHREIN
 Antennen · Electronic

XPol Panel 1710-2200 65° 18dBi 0°-10°T

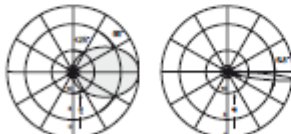
Type No.	742 215		
Frequency range	1710 - 1880 MHz	1850 - 1990 MHz	1920 - 2200 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 17.7 dBi	2 x 17.9 dBi	2 x 18 dBi
Horizontal Pattern:			
Half-power beam width	68°	66°	64°
Front-to-back ratio (180° ± 30°)	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB
Cross polar ratio	Typically: 25 dB > 10 dB	Typically: 25 dB > 10 dB	Typically: 25 dB > 10 dB
Main direction Sector	0° ± 60°		
Vertical Pattern:			
Half-power beam width	7.1°	6.8°	6.4°
Electrical tilt	0°-10°, continuously adjustable		
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0° ... 4° ... 8° ... 10° T 18 ... 18 ... 17 ... 17 dB	0° ... 4° ... 8° ... 10° T 18 ... 18 ... 17 ... 17 dB	0° ... 4° ... 8° ... 10° T 18 ... 18 ... 17 ... 17 dB
Isolation, between ports	> 30 dB		
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Intermodulation (IM)	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		



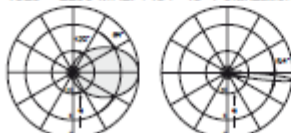
1710 - 1880 MHz: +45°/-45° Polarization



1850 - 1990 MHz: +45°/-45° Polarization



1920 - 2200 MHz: +45°/-45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Weight	6.2 kg
Wind load	Frontal: 350 N (at 150 km/h) Lateral: 90 N (at 150 km/h) Rearward: 350 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	1595 x 172 x 92 mm
Height/width/depth	1314 / 155 / 70 mm

000 310304 Subject to alteration

Internet: www.kathrein.de

742 215 Page 1 of 3

KATHREIN-Werke KG · Anson-Kathrein-Str. 6 1 - 3 · D.O. Box 10 04 44 · 83004 Rosenheim · Germany · Phone +49 8031 154-0 · Fax +49 8031 154-973

Ek 13 Kathrein 742 236 Anten Teknik Detay Formu

2-Multi-band Panel	1710-2200	1710-2200
Dual Polarization	X	X
Half-power Beam Width	65°	65°
Adjust. Electr. Downtilt	0°-10°	0°-10°

KATHREIN
Antennen · Electronic

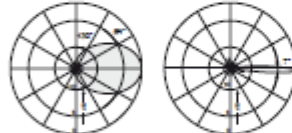
set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

XXPol Panel 1710-2200/1710-2200 65°/65° 18/18dBI 0°-10°/0°-10°T

Type No.	742 236		
Frequency range	1710 - 1880 MHz	1850 - 1990 MHz	1920 - 2200 MHz
Polarization	+45°, -45°, +45°, -45°	+45°, -45°, +45°, -45°	+45°, -45°, +45°, -45°
Gain	4 x 17.6 dBi	4 x 17.8 dBi	4 x 18 dBi
Horizontal Pattern:			
Half-power beam width	64°	64°	60°
Front-to-back ratio	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB
Cross polar ratio			
Main direction	0°	0°	0°
Sector	±60°	±60°	±60°
Typically: 25 dB	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB
Typically: > 10 dB	Typically: > 10 dB	Typically: > 10 dB	Typically: > 10 dB
Vertical Pattern:			
Half-power beam width	7°	6.8°	6.5°
Electrical tilt	0°-10°, continuously adjustable		
Side-lobe suppression for first side-lobe above main beam	0° ... 5° ... 10° T 20 ... 18 ... 16 dB	0° ... 5° ... 10° T 20 ... 18 ... 16 dB	0° ... 5° ... 10° T 16 ... 18 ... 16 dB
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Isolation, between inputs	> 30 dB		
Inmodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		

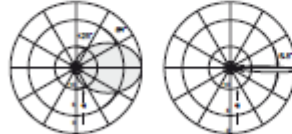


1710 - 1880 MHz: +45°/-45° Polarization



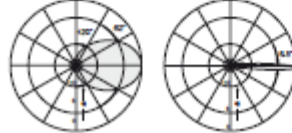
Horizontal Pattern Vertical Pattern
0°-10° electrical downtilt

1850 - 1990 MHz: +45°/-45° Polarization



Horizontal Pattern Vertical Pattern
0°-10° electrical downtilt

1920 - 2200 MHz: +45°/-45° Polarization



Horizontal Pattern Vertical Pattern
0°-10° electrical downtilt

1710-2200 +45°	1710-2200 -45°	1710-2200 +45°	1710-2200 -45°
7-16	7-16	7-16	7-16

Mechanical specifications

Input	4 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	2x, Position bottom continuously adjustable
Weight	14.6 kg
Wind load	Frontal: 650 N (at 150 km/h) Lateral: 100 N (at 150 km/h) Rearside: 700 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	1574 x 360 x 130 mm
Height/width/depth	1319 / 303 / 71 mm

001.0200 Subject to alteration

Internet: www.kathrein.de

742 236 Page 1 of 4

KATHREIN-Werke KG · Anton-Kathrein-Strasse 1 - 3 · P.O. Box 10 04 44 · 83004 Rosenheim · Germany · Phone +49 8031 184-0 · Fax +49 8031 184-973

Ek 14 Powerwave 7750 Teknik Detay Formu

POWERWAVE

Dual Broadband Antennas

7750.00

Dual Broadband Cross Polarized

POLARIZATION: XX-Pol
 FREQUENCY (MHz): 824-960, 1710-2170
 HORIZONTAL BEAM WIDTH (°): 65
 GAIN (dB@d5): 15.2/13.1, 18/15.9
 TLT: 2-12/10-8°
 LENGTH: 1.4m (4'7")

ELECTRICAL SPECIFICATIONS*

	824-960		1710-2170		
	824-895 14.9/12.5	870-960 15.2/13.1	1710-1880 17.5/15.4	1890-1990 17.7/15.6	1900-2170 18.0/15.9
Frequency range (MHz)	824-960		1710-2170		
Gain (dB@d5)	Dual linear ±45°		Dual linear ±45°		
Polarization	50		50		
Nominal Impedance (Ω)	1.5:1		1.5:1		
VSWR	59		65		
Horizontal beam width, -3 dB (°)	67		65		
Vertical beam width, -3 dB (°)	14.9		6.9		
Electrical down tilt (°)	2 - 12		0 - 8		
Side lobe suppression, vertical 1st upper (dB)	>18,17,16,15,15Ⓢ	>18,17,16,15,15Ⓢ	>18,18,18,15,14Ⓢ	>18,18,18,15,14Ⓢ	>18,18,18,15,14Ⓢ
Isolation between inputs (dB)	2,4,8,8,10,12*	2,4,8,8,10,12*	2,4,8,8*	2,4,8,8*	2,4,8,8*
Inter-band isolation (dB)	30	30	30	30	30
Tracking, horizontal plane ±90° (dB)	40				
First null fill (dB)	<1.0	<1.0	<2.0	<2.0	<2.0
Vertical beam squint (°)	>25	>25	>25	>25	>25
Front to back ratio (dB) 180°±30° copolar	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3
Front to back ratio (dB) 180°±30° total power	>27	>27	>27	>27	>27
Cross polar discrimination (XPD) 0° (dB)	>24	>24	>24	>24	>24
Cross polar discrimination (XPD) ±90° (dB)	15	15	20	20	20
Far field coupling	10	8	7	> 7	> 7
IM3, 2x1x@43dBm (dBc)	+0.33	+0.48	+0.62	+0.62	+0.62
IM3, 2x1x@43dBm (dBc)	<-153		<-153		
IM7, 2x1x@43dBm (dBc)	-		<-160		
Power handling, average per input (W)	300		250		
Power handling, average total (W)	600		500		

MECHANICAL SPECIFICATIONS*

Connector	4 x 7/16 DIN Female
Connector position	Bottom
Dimensions, HxWxD, mm (ft)	1408x280x125mm (47"x11"x4")
Mounting	Pre-mounted heavy duty brackets
Weight, with brackets, kg (lbs)	17.8 (39)
Weight, without brackets, kg (lbs)	12.1 (27)
Wind load, front/side/rear side @ 40 m/s Co=1.6 (ft)	415
Maximum operational wind speed, m/s (mph)	42 (93)
Survival wind speed, m/s (mph)	55 (123)
Lighting protection	DC grounded
Operating Temperature	-40°C to +60°C
Radome material	GRP
Packlet size, HxWxD, mm (ft)	1590x355x255 (5'1"x1'2"x1'0")
Radome colour	Light Grey
Shipping weight, kg (lbs)	21.5 (47.3)
REL7	8210.40, 8210.10, 8220.40, 8220.10
Brackets	7296.00, 7454.00



*All specifications subject to change without notice. Please contact your Powerwave representative for complete performance data.

ANTENNA PATTERNS*

For detailed patterns visit <http://www.powerwave.com/pal>.

Ek 15 Bölgesel Olarak Sınıflandırılmış İzmir Haritası

