

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM BÖLGESİ İÇİN FM BANDINDA VE UHF BANDINDA
ELEKTROMAGNETİK ALAN ŞİDDET DAĞILIMININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik Müh. Emel Elçin ESEN

AĞUSTOS 2010

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM BÖLGESİ İÇİN FM BANDINDA VE UHF BANDINDA
ELEKTROMAGNETİK ALAN ŞİDDET DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Elektronik Müh. Emel Elçin ESEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Elektronik Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.02.2010
Tezin Savunma Tarihi : 10.08.2010

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA
Jüri Üyesi : Doç. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR
Jüri Üyesi :Yrd. Doç. Dr Mustafa ULUTAŞ

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	III
SUMMARY	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
TABLolar DİZİNİ.....	VII
SEMBOLLER DİZİNİ	VIII
1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş	1
1.2 Elektromanyetik Dalgalar.....	2
1.3 Elektromanyetik Dalgaların Yayılımı	3
1.3.1 Yansıma	4
1.3.2 Kırılma (Refraction)	6
1.3.3 Kırınım (Diffraction)	6
1.3.4 Fraunhofer Kırınım Bölgeleri	7
1.3.5 Frensel Kırınım Bölgeleri	7
1.3.6 Huygens Teoremi	7
1.3.7 Frensel Bölgeleri	8
1.3.8 Kırınım Kayıpları Hesabı	10
1.3.9 Bıçak Kenarlı Kırınım Hesabı (Düz Bir Kenardan Frensel Kırınım Hesabı).....	10
1.3.10 İdeal Engeller Ve Yaklaşık Kırınım Kaybı Formülleri	13
1.3.10.1. Tek Bıçak Kenarlı Engel	14
1.3.10.2. Tek Yuvarlak Engel.....	15
1.3.10.3. İki Ayrı Engel	17

1.3.10.4. Epstein-Peterson Metodu.....	17
1.3.10.5. Deygout Metodu.....	18
1.3.11. Saçılma (Scattering).....	19
1.4 Elektriksel Alan Şiddeti	19
1.5 Anten	20
1.5.1 İzotropik Anten.....	20
1.5.2 Anten Radyasyon Diyagramı	20
1.5.3 Anten Kazancı ve Propagasyonu.....	21
1.6 Serbest Uzay Propagasyonu	22
1.7 Polarizasyon	23
1.8 Elektromanyetik Spectrum ve FM Bandı	23
1.8.1 Frekans Planlaması.....	26
1.8.2 Frekans Planlamasında Esas Alınan Kriterler	26
1.8.3 FM Radyo Servisi İçin Planlama Kriterleri.....	27
1.8.4 Analog TV Servisi İçin Planlama Kriterleri.....	27
2 YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	28
2.1 Erzurum Bölgesi İçin FM Bandında (98.8 MHz) ve UHF Bandında (39.Kanal) Elektromanyetik Alan Şiddet Dağılımının İncelenmesi.....	28
2.2 Ölçüm Yapılan Bölgenin Yapısı	28
2.3 Ölçüm Yapılan Vericilerin Özellikleri	29
2.4 Ölçüm Yapılan Cihazlar	29
2.5 Ölçüm Sonuçları.....	31
3 SONUÇ.....	57
4 ÖNERİLER	59
5 KAYNAKLAR.....	60

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Bu çalışmada FM ve TV yayınlarının elektrik alan şiddet dağılımı incelenmiştir. Bunun için Erzurum'da 98.8 MHz frekansında yayın yapan TRT-FM ve 39. kanaldan yayın yapan TRT-1 vericilerinin alan şiddet değerleri için Alan Şiddeti ve Spectrum cihazları ile ölçümler yapıldı. TRT Kurumunun kullanmış olduğu simülasyon programından TRT-FM ve TRT-1 vericilerine ait harita üzerinde alan kapsamalar, arazi profili ve Epstein-Peterson ve Deygout yöntemleri kullanılarak alan şiddet değerleri grafiksel olarak belirlendi. Elde edilen değerler grafiksel olarak aynı tabloda çizilerek analizler yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik alan şiddeti, FM Bandı, TV Kanalı, FM Verici, TV Verici

SUMMARY

Investigation of Electromagnetic Area Amplitude Range On FM and UHF Band For Erzurum Area

In this study electric field intensity distribution of FM and TV transmission has been analyzed. For this purpose, Field Intensity and Spectrum devices were used in order to measure the field intensity values of TRT-FM (broadcasted on 98.8 MHz frequency band) and TRT-1 (broadcasted on Channel 39) transmitters in Erzurum. Field intensity values were illustrated graphically by using field inclusion, domain profile, and Epstein-Peterson and Deygout techniques on the map belonging to TRT-FM and TRT-1 transmitters that TRT uses in simulation programs. The values that were obtained have been graphically represented in the same table and the analysis has been done.

Key Words: Elektromagnetic field intensity, FM Band, TV Channel, FM Transmitter, TV Transmitter

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Elektromanyetik dalga, Elektrik alan ve Manyetik alan	3
Şekil 2. Direk ve Yansıyan Dalga	5
Şekil 3. Huygens Teoremi	8
Şekil 4. Bir küre üzerindeki Frensel Bölgeleri	9
Şekil 5. Frensel girişim Bölgeleri	9
Şekil 6. Düz Bir Kenardan kırınım	10
Şekil 7. Bıçak Kenarlı engel	13
Şekil 8. Bıçak kenarı kırınım kaybı	14
Şekil 9. Yuvarlak engel	15
Şekil 10. Yuvarlak engel kırınım kaybı ($l_v = 5\text{km}$, $l_a = 3\text{km}$, $\lambda = 3\text{m}$)	16
Şekil 11. Epstein-Peterson Metodu	17
Şekil 12. Deygout Metodunun uygulaması	19
Şekil 13. Elektromanyetik Spectrum	25
Şekil 14. Anten Faktörünün Grafıksel gösterimi	31
Şekil 15. TRT 1 vericisinin Spectrum Analizör cihaz görüntüsü	33
Şekil 16. TRT 1 vericisi için Epstein-Peterson metodu ile kapsama alanı	38
Şekil 17. TRT 1 vericisi için Deygout metodu ile kapsama alanı	39
Şekil 18. TRT 1 vericisi için Arazi bilgisi ve Epstein-Peterson metodu ile alan şiddeti	40
Şekil 19. TRT 1 i vericisi için Arazi bilgisi ve Deygout metodu ile alan şiddeti	41
Şekil 20. TRT 1 vericisi İçin Ölçüm Sonuçlarının Grafıksel Gösterimi	42
Şekil 21. TRT FM vericisinin Spectrum Analizör cihaz görüntüsü	44
Şekil 22. TRT FM vericisi için Epstein-Peterson metodu ile kapsama alanı	49
Şekil 23. TRT FM vericisi için Deygout metodu ile kapsama alanı	50

Şekil 24. TRT FM vericisi için Arazi bilgisi ve Deygout metodu ile alan şiddeti	51
Şekil 25. TRT FM vericisi için Arazi bilgisi ve Epstein-Peterson metodu ile alan şiddeti.	51
Şekil 26. TRT FM vericisi İçin Ölçüm Sonuçlarının Grafikselleştirilmesi	52
Şekil 27. TRT FM vericisi İçin Palandöken Dağında yapılan ölçüm çalışması.....	55
Şekil 28. TRT 1 vericisi İçin Dağ Mahallesi'nde yapılan ölçüm çalışması	56

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Anten Kazançları.....	22
Tablo 2. Elektromanyetik Spectrum ve FM Bandı.....	24
Tablo 3. FM Radyo Alan Şiddetleri	27
Tablo 4. TV Alan Şiddetleri	27
Tablo 5. Anten faktör (K) tablosu	30
Tablo 6. Simülasyon haritalarında alan şiddet değerleri	32
Tablo 7. Çevre Yolu için TRT 1 Ölçüm Değerleri.....	34
Tablo 8. Cumhuriyet Cad. için TRT 1 Ölçüm Değerleri.....	35
Tablo 9. 50. Yıl Caddesi İstanbul Kapı için TRT 1 Ölçüm Değerleri.....	36
Tablo 10. TRT 1 için Serbest uzay alan şiddeti.....	37
Tablo 11. TRT 1 için Ölçüm Sonucu ve Hesap Sonuçları (Deygout, Epstein-Peterson ve Serbest Uzay).....	43
Tablo 12. Yoncalık Mahallesi için TRT FM Ölçüm Değerleri	45
Tablo 13. Çaykara Mevkii için TRT FM Ölçüm Değerleri.....	46
Tablo 14. Çevre Yolu için TRT FM Ölçüm Değerleri	47
Tablo 15. TRT FM için Serbest uzay alan şiddeti.....	48
Tablo 16. TRT FM için Ölçüm Sonucu ve Hesap Sonuçları (Deygout, Epstein-Peterson ve Serbest Uzay).....	53

SİMGELER DİZİNİ

EIRP	: Effective Isotropik Radiative Power (Etkin İzotropik
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
UHF	: Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans, 300-3000 MHz)
VHF	: Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans, 30-300 MHz)
λ	: Dalga boyu (m)
L	: Boşlukta (Free-space) iletim kaybı (m)
E	: Elektrik Alan
H	: Manyetik Alan
f	: Frekans
$\sigma(f)$: Yüzeyin İletkenliği (S/m)
η	: Serbest Uzay Dalga Empedansı
ITU	:International Telecommunication Union-Uluslar arası Telekomünikasyon Birliği
dB	: Desibel (Logaritmik Güç Orantısı $dB=10.\log (P1/P2)$)
K	: Anten Faktörü

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kablosuz haberleşmenin ilk adımları 1820'lerde Oersted, Faraday, Maxwell, Gauss ve Hertz tarafından atılmıştır. Önce Oersted elektrik akımının bir manyetik alan yarattığını göstermiş, Faraday da manyetik alanda değişimlerin elektrik alan ve manyetik bir akım yarattığını ortaya koymuştur. 1865 yılında Maxwell elektromagnetik alanın oluşumunu formüle etmiştir. 1877 ise Maxwell'in teorisi Hertz tarafından kanıtlanmıştır. 1895 yılında Marconi radyo sinyallerini 2 km mesafeye iletmeyi başarmıştır, 1901'de ise Cornwall'da (İngiltere) 1700 mil uzağa radyo sinyallerini yollamıştır.

Haberleşme ilk defa uzun dalga radyo yayınları ile başlamış ve daha sonra da yayın alanlarının genişletilmesine çalışılmıştır. Genlik modülasyonlu ilk yayın 1920'de başlamış ve hızlı bir şekilde yayılmıştır. Frekans modülasyonunun 1933'de Armstrong tarafından keşfedilmesi ile FM yayına geçilmiştir. Fakat II. Dünya Savaşı'na kadar AM yayınlar FM'e göre daha popüler olmayı sürdürmüştür, II. Dünya Savaşı'ndan sonra hızla FM yayın artmaya başlamıştır.

Radyo ve televizyon yayınları elektromanyetik dalgaların yayılımı sayesinde olmaktadır. Elektromanyetik yayılımı etkileyen arazi yapısı coğrafik yapı ve kentleşme gibi fiziksel özellikler vardır. Bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılabilmesi için çok sayıda araştırma ve çalışmalar yapılmıştır. Belirtilen arazi ve fiziki yapılardan kaynaklanan ve elektromanyetik yayılımı etkileyen faktörler yansıma, kırılma, saçılma ve kırınımdır. Elektromanyetik dalga yayılımını etkileyen faktörlerden en önemlisi kırınımdır. Elektromanyetik dalgaların yayılımı sırasında karşılaştığı engellerden dolayı oluşan kayıplar kırınım kayıpları olarak adlandırılmış, bunun için bilim adamları tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu konuyla ilgili ilk çalışma Huygens ile başlamıştır. Daha sonrasında Millington tek bıçak sırtı vericiden çıkan elektromanyetik dalganın alan şiddetinin yayılım esnasında karşılaştığı tek engel nedeniyle kırınıma uğramasından sonra alıcıya ulaşan dalganın alan şiddetindeki kaybı hesaplamaya çalışmıştır. Bu çalışmalardan sonra Bullington çoklu bıçak kırınım modelini geliştirmiştir. Daha sonra Epstein-Peterson başka bir bıçak sırtı yaklaşım modelini geliştirmişlerdir. Bu çalışmayı Deygout kırınımın

etkisini başka bir çalışmayla açıklamıştır. 1982 yılında da Vogler çoklu bıçak sırtı modelinin farklı bir uygulama yöntemi ile yeni bir model geliştirmiştir.

Frekans ve kanal planlaması yapılırken yukarıda bahsi geçen modellerden bazıları hesaplamalarda kullanılmaktadır.

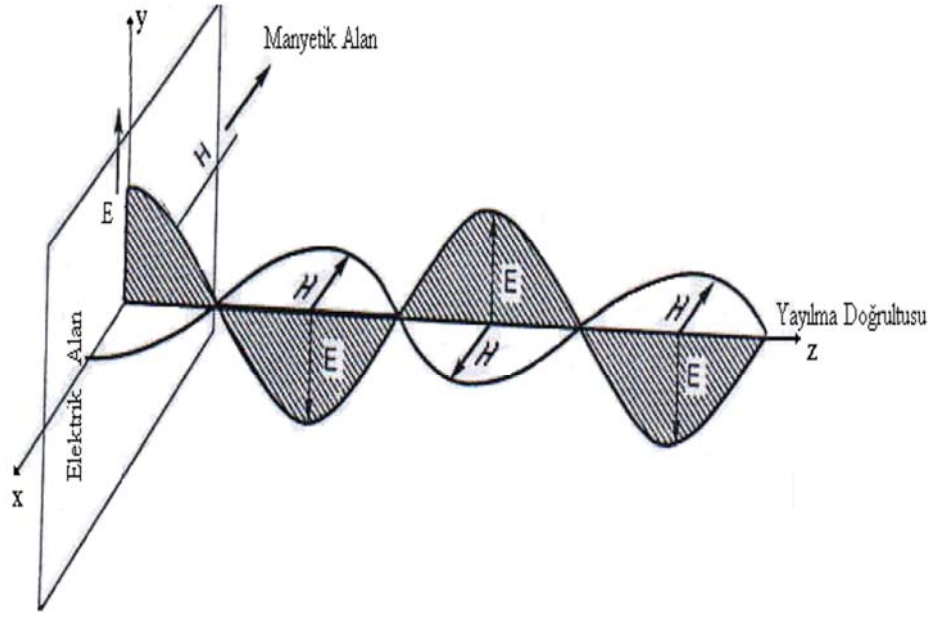
Radyo televizyonun toplumlar üzerindeki etkisi de göz ardı edilmemelidir. Çağımızın sanayi-kent toplumu koşullarında toplumlar arasındaki iletişim büyük ölçüde kitle iletişim araçlarıyla sağlanmaktadır. Bu araçların en önemlileri arasında radyo ve televizyon sayılabilir.

Televizyon ve radyo sadece teknolojik birer araç değil, toplumu değiştirme ve geliştirme sürecinde yaygın olarak kullanılmasından dolayı diğer iletişim araçlarına göre daha etkilidir. Bu yönüyle düşünüldüğünde sosyal kimliğin şekillenmesi sürecinde çok önemli bir rol oynadığı da göz ardı edilmemelidir. Radyo ve Televizyon; toplumu bilgilendiren, yönlendiren, genel kültüre katkıda bulunan en önemli iletişim araçlarıdır.

1.2. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik teorisinin temelini Maxwell'in elde ettiği denklemler oluşturmaktadır. Bu denklemlerde, zamanla değişen bir manyetik alanın bir elektrik alan oluşturması gibi zamanla değişen bir elektrik alanının da bir manyetik alan oluşturacağı ifade edilir. Buradan Maxwell teorisi ile elektrik ve manyetik alan arasında çok önemli bağlantı gerçekleştirilmiştir.

Elektromanyetik dalgalar ivmelendirilmiş elektrik yükleri tarafından oluşturulurlar. Yayınlanan bu tür dalgalar birbirlerine ve dalganın yayılma doğrultusuna dik olan ve titreşen elektrik ve manyetik alanlardan ibarettir. Bu nedenle elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır. [1]



Şekil 1. Elektromanyetik dalga, elektrik alan ve manyetik alan [1]

1.3. Elektromanyetik Dalgaların Yayılımı

Radyo haberleşmesi, elektromanyetik dalgaların yayılımı sayesinde olmaktadır. Bu dalgalar ışık hızıyla hareket ederler ve biri diğerine dik olan bir elektrik alan (E) ile bir manyetik alandan (H) oluşur. E vektörünün yönü yayılımın polarizasyonunu gösterir. Yayılım ortamı atmosferdir.

Bir izotropik (yönsüz) anten bütün yönlerde eşit enerji yayar. Herhangi bir uzaklıktaki güç yoğunluğu

$$W = W_t / 4 \pi r^2 \quad (1)$$

P_t : eirp (W) (İzotropik kaynak gücü)

Poynting teoremine göre bir izotropik antenden yayılan güç yoğunluğu E ve H vektörleriyle ilişkilidir.

$$\vec{W} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (2)$$

$$W = |E \times H| = E^2 / 120 \pi \quad (3)$$

Bu ifade yukarıdaki denklemde yerine koyulursa;

$$E^2 / 120 \pi = W_t / 4 \pi r^2 \Rightarrow E = \frac{(30 P_t)^{1/2}}{r} \quad (4)$$

r : mesafe (m)

Bu denklem dB cinsinden de aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$E = W_t - 20 \log(r) + 74,77 \quad V/m \quad (5)$$

E : Boşluktaki (free-space) alan şiddeti

W_t : Efektif izotropik yayılan güç (eirp) (dBW)

r : mesafe (km)

Boşluktaki (free-space) zayıflama:

$$L = 20 \log(4\pi r / \lambda) \quad dB \quad (6)$$

L : Free-space iletim kaybı (m)

λ : Dalga boyu (m)

$$L = 32,45 + 20 \log(f) + 20 \log(r) \quad dB \quad (7)$$

f : Frekans (MHz)

r : mesafe (km)

$$L = W_t - W_r \quad (8)$$

$$W_r = E - 20 \log(f) - 107,22 \quad (dBW) \quad (9)$$

İzotropik anten, kazancı 1 olan referans bir anten olup yarım dalga dipole göre kazancı G olan başka bir alıcı antenle alınan güç değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanır.

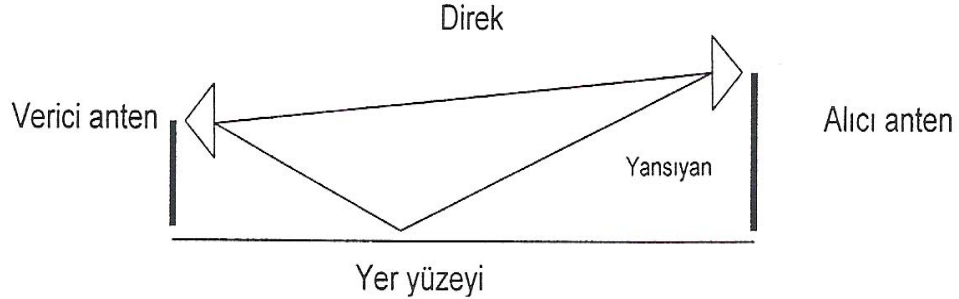
$$W_r = E + G - 20 \log(f) - 105,07 \quad (dBW) \quad (10)$$

Yayılm ortamı atmosfer olan elektromanyetik dalgalar ilerledikleri ortamda çeşitli engellerle karşılaşır. Bu engellere rağmen elektromanyetik dalgalar hareketlerine devam etme eğilimindedirler. Ancak elektromanyetik dalgalar bu engellerle karşılaştıklarında aralarında etkileşim meydana gelir. Bunlar aşağıda alt bölümlerde tanımlanmıştır. [2]

1.3.1. Yansıma

Elektromanyetik dalgalar elektriksel özellikleri farklı bir ortamdan diğer bir ortama geçerken yansıyan ve iletilen olmak üzere iki bileşene ayrılırlar. Yer yüzeyinden yansıyan dalgalar haberleşme sistemleri için büyük önem taşımaktadır. Bunun ana nedeni vericiden gönderilen sinyalin alıcıya ulaşırken bir direk bir de yansıyan olarak iki parçadan

oluşmasıdır. Bu iki dalga alıcı noktasında daha güçlü bir yayın elde edilmesine veya daha zayıf bir yayın elde edilmesine neden olacaktır.



Şekil 2. Direk ve yansıyan dalga [2]

Bir dalganın bir yüzeyden yansımaları incelenirken elektrik alan şiddetinin yansıma yüzeyine dik veya paralel olması yansıma açısından önemlidir. Bu amaçla öncelikle gelme düzlemi tanımlanır. Eğer, gelen dalganın elektrik alan şiddeti gelme düzlemine paralel ise dalganın polarizasyonu paralel polarizasyon, dik ise dik polarizasyon olarak tanımlanır.

Yansımayı propagasyon hesaplarında kullanmak için bir katsayı tanımlanır. Buna yansıma katsayısı denir. Düzlem bir yüzey için yansıma katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R = \frac{\sin \phi - \sqrt{C}}{\sin \phi + \sqrt{C}} \quad (11)$$

Burada ϕ yatay düzleme doğru gelen dalganın yatay düzlemle yapmış olduğu açı (grazing angle) ve C de

$$C = \eta - \cos^2 \phi \quad \text{Dik polarizasyon için} \quad (12)$$

$$C = (\eta - \cos^2 \phi) / \eta^2 \quad \text{Paralel polarizasyon için} \quad (13)$$

$$\eta = \epsilon_r(f) - j60\lambda\sigma(f) \quad (14)$$

ϵ_r : yüzeyin dielektrik sabiti

$\sigma(f)$: yüzeyin iletkenliği (S/m)

λ : serbest uzayda dalga boyu (m)

olarak tanımlanır. [2]

1.3.2. Kırılma (Refraction)

Elektromanyetik dalgalar, havanın yoğunluğuna bağlı olarak ilerleme yönünde yüzeye paralel olma eğilimindedir. Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama giren dalga normalden uzaklaşır. Eğilme yüzeye tam paralel olduğunda dalga artık yatay polarize olmuştur. Düşük frekanslarda bu eğilme daha az olduğundan elektromanyetik dalga daha uzun yol alabilir. Orta ve uzun dalga radyoların kapsama alanları bu yüzden daha geniştir.

Atmosferin kırılma katsayısı n (deniz seviyesinde) mevsime ve bulunulan yere göre değişiklikler gösterir. Bunun için aşağıdaki parametre tanımlanmıştır. [2]

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (15)$$

Türkiye için N değeri olarak 315- 330 arasında değerler kullanılmaktadır. Bu parametre genelde radyo kırılma indeksi (Radio Refractive Index – RRI) olarak kullanılır. Bu parametreyi etkileyen ana faktörler basınç, atmosferin ısısı ve su buharı basıncıdır. Bu etkileşim aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$N = \frac{77.6}{T} \left(P + 4810 \frac{e}{T} \right) \quad (16)$$

Burada; P : Atmosfer basıncı (milibar)

T : Atmosferin ısısı (Kelvin)

e : Su buharı basıncı (milibar)

Bu eşitlik 100 GHz 'e kadar olan frekans bölgesinde geçerlidir. (ITU-R P.835). [2]

1.3.3. Kırınım (Diffraction)

Radyo dalgalarının yayılması alıcı ile vericinin birbirlerini optik olarak görmesini gerektirmediği için önüne gelen engellerin arkasında da etkileri gözlenebilir, yani alıcı vericinin görüş çizgisinde (LOS: Line-of-Sight; görüş hattı) olmasa bile alıcı üzerinde yeterli elektrik alan şiddeti oluşabilir. Bu olaya kırınım adı verilir. Yer yüzeyi üzerinde olan yayılımlarda kırınım çoğu durumda kaçınılmazdır. [2]

Kırınımın alıcı üzerindeki etkilerini hesaplamak için değişik metotlar geliştirilmiştir. Bugün elektromanyetik alan şiddeti ve kapsama alan belirlemede bu yöntemler kullanılmaktadır.

1.3.4. Fraunhofer Kırınım Bölgeleri

Fraunhofer kırınım hesabında verici ve alıcı antenler kırınımına neden olan cisimlerden çok uzaktadırlar. Uzaklıktan dolayı radyo dalgaları çizgisel düşünülebilir. Bu bağlamda ışınımın birbirine paralel görünürler. Kırınım sonrası alıcıya ulaşan ışınımın aynı fazlı olduğu varsayılır. Bir alan şiddetinin bir kaynaktan yayılımı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\varphi \propto \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (17)$$

Burada; φ : alan şiddeti

k : serbest uzay propagasyon sabiti ($= 2\pi / \lambda_0$)

r : Kaynak ile alıcı anten arasındaki mesafe.

Alıcıya ulaşan sinyallerin birden fazla noktadan kırınımına uğrayarak geldiği, bu noktalar arasındaki mesafelerin dalga boyuna (λ_0) oranla küçük olduğu varsayılır. Alıcının kırınımına neden olan nesneden yeteri kadar uzak olduğu durumlarda eşitlik (17)'nin payındaki faz ışınların paralel olduğu düşünülerek hesaplanır ve paydasındaki mesafe terimleri bütün bu alıcıya ulaşan sinyaller için aynı olur ve alıcıdaki toplam alan şiddeti bunların vektörel toplamına eşit olur. [2]

1.3.5. Fresnel Kırınım Bölgeleri

Fresnel kırınım hesabında ise yine kırınımına neden olan cisim ile alıcı anten arasındaki mesafe büyük fakat bu büyüklük alıcıya ulaşan sinyallerin fazlarını eşit yapmaya yetmez, sadece sinyal şiddetlerinin büyüklüklerinin eşit olmasını sağlar. Yani, eşitlik (17) nin paydasındaki mesafe terimi aynı cisimden kırınımına uğramış bütün sinyaller için aynı alınır. Fazlarını belirleyen paydaki terim her bir sinyal için ayrıca belirlenmelidir.

1.3.6. Huygens Teoremi

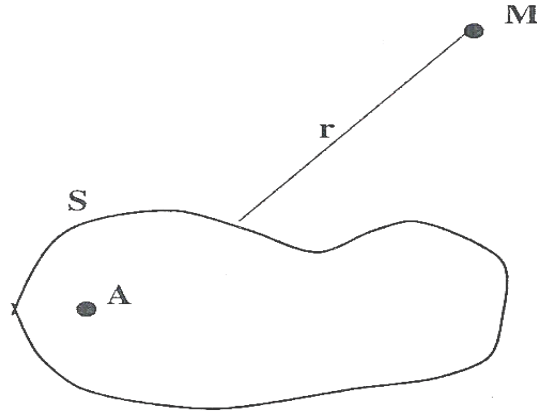
Huygens teoremine göre birincil bir kaynak tarafından yayılan bir dalganın yüzeyindeki her nokta küresel bir dalga yayan ikincil kaynaklar olarak düşünülür. Yani;

uzayda bir noktadaki elektromanyetik alan bu dalganın sabit faz düzlemi üzerindeki alan şiddetinden bulunabilir. Örneğin Şekil 3'deki A noktasında kaynak var olsun ve bu kaynak kapalı bir S yüzeyiyle çevrilsin. Bu yüzeyin üzerindeki elektrik alan şiddetinin bir bileşenine φ denirse ve herhangi bir B noktasındaki alan şiddetinin aynı bileşenini φ ile gösterilirse, B noktasındaki birim alan şiddeti ikincil kaynak olan yüzeydeki alan şiddetinden elde edilebilir.

$$d\varphi = A \varphi_s \frac{e^{-jkr}}{r} ds \quad (18)$$

Bu eşitlikte A sabittir. Bu eşitlikten B noktasındaki alan şiddeti birim alan şiddetinin integrali olarak bulunur.

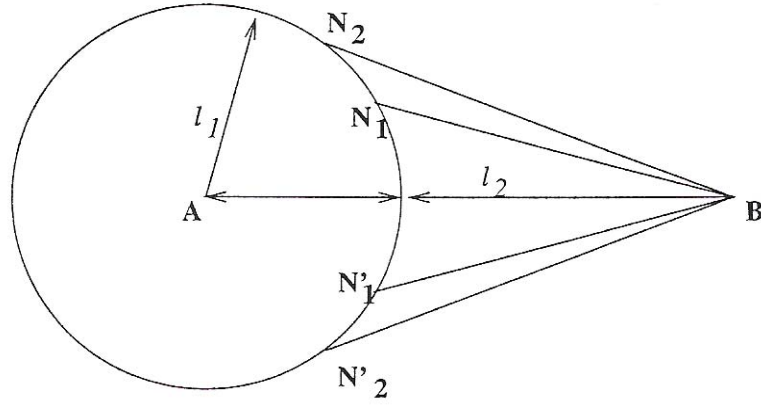
$$\varphi = \int_s A \varphi_s \frac{e^{-jkr}}{r} ds \quad (19)$$



Şekil 3. Huygens teoremi [2]

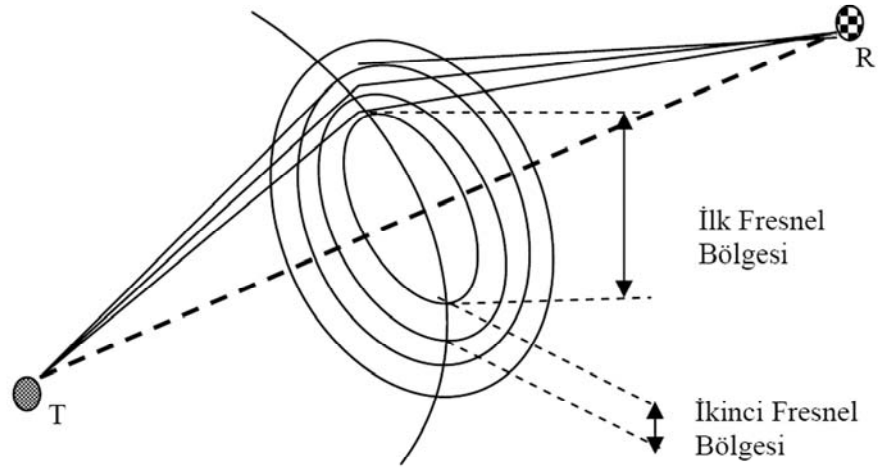
1.3.7. Fresnel Bölgeleri

Huygens teoremine göre dalganın sabit faz düzlemi üzerindeki alanların bilinmesi herhangi bir noktadaki alanların bulunması için yeterli olup matematiksel ifadesi eşitlik (19) daki gibidir. Bu eşitliğin sonucu olarak propagasyonun etkili olduğu bölge bulunabilir. A noktasında bir verici olduğu kabul edilerek l_1 yarıçaplı sabit faz düzlemi oluşturulur. B noktasına da bir alıcı anten yerleştirilir. Alıcı anten küreden l_2 uzaklıktadır. (Şekil 4). [2]



Şekil 4. Bir küre üzerinde fresnel bölgeleri [2]

Kürenin yüzeyinde alıcıya $(l_2 + \lambda/2)$ uzaklığında olan noktalar işaretlenir. Bu noktalar hep mevcut değere $\lambda/2$ eklenerek belirlenir. Yani verici ve alıcı noktalar arasındaki en kısa mesafeyi eksen kabul eden ve eksenden itibaren mesafeyi $\lambda/2$ artırarak oluşturulan bölgelere Fresnel bölgeleri denir. Kürenin yüzeyinde bu noktalar arasında kalan her noktanın alıcıya olan faz farkı 180 dereceden küçük olduğundan alıcı noktasında katkıları pozitifdir ($e^{-jk\lambda/2} = e^{-j\pi}$). Kürenin yüzeyinde alıcıdan $(l_2 + n\lambda/2)$ uzaklığında olan noktalar işaretlenir ve bu noktalar arasındaki küre parçasının bir önceki küre parçası ile arasındaki alana n. Fresnel Bölgesi denir. [1]



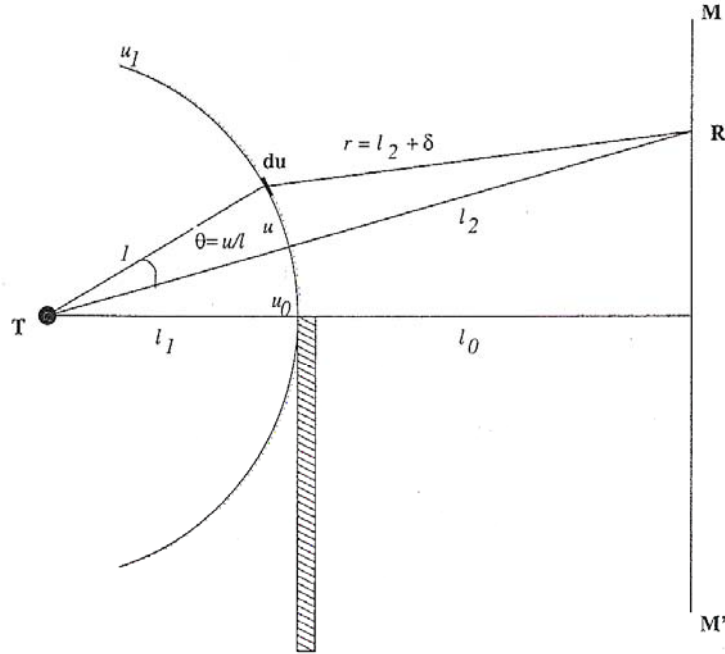
Şekil 5. Fresnel girişim bölgeleri [1]

1.3.8. Kırınım Kayıpları Hesabı

Elektromanyetik dalgaların yayılımı sırasında genellikle alıcı ile verici arasında bir veya birkaç engel olur ve bu engeller dalganın zayıflamasına neden olur. Bundan dolayı bu tür engellerin iletişim sistemlerinde yarattığı kayıpların hesaplanması ve planlama zamanında göz önüne alınması gerektiği anlaşılmıştır. Bu bağlamda kırınım kayıp hesaplarının yapabilmek için bu engeller basit geometrik şekillerle modellenmiştir. [2]

1.3.9. Bıçak Kenarı Kırınım Hesabı (Düz Bir Kenardan Fresnel Kırınım Hesabı)

Şekilde basit bir Fresnel kırınımı gösterilmektedir. Bir verici ile alıcı arasında düz bir engel yerleştirilmiştir. Buradaki amaç MM' doğrusu üzerinde herhangi bir noktada olabilecek alıcı üzerindeki alan şiddetini bulmaktır. Bu hesaplamada l_1 ve l_2 mesafeleri Fresnel kırınım yaklaşımının uygulanabileceği kadar uzak alınmıştır. [2]



Şekil 6. Düz bir kenardan kırınım [2]

T kaynağının (Çizgi kaynak-line source) sabit faz düzlemi olan silindirin birim yüzeyi du 'nun R noktasındaki etkisi genel olarak şöyle ifade edilebilir;

$$dE = \frac{Ae^{-jkr}}{f(r)} du \quad (20)$$

Bu eşitlikte; $k = 2\pi/\lambda$, $f(r)$ r'nin bir fonksiyonu ve A bir sabittir. Fresnel kırınım hesabı için paydadaki r bir sabit olarak alınır, fakat faz teriminde değişken olarak kullanılır. Şekil 6'dan

$$r^2 = (l_1 + l_2)^2 + l_1^2 - 2l_1(l_1 + l_2) \cos(u/l_1) \quad (21)$$

$$r^2 = (l_1 + l_2)^2 + l_1^2 - 2l_1(l_1 + l_2) \left(1 - \frac{u^2}{2l_1^2}\right) \quad (22)$$

$$r^2 = (l_2 + \delta)^2 \cong l_2^2 + u^2 \frac{l_1 + l_2}{l_1} \quad (23)$$

elde edilir. Bu eşitlikte sol taraftaki terim açılır ve δ^2 terimi ihmal edilirse,

$$\delta = u^2 \frac{l_1 + l_2}{2l_1 l_2} \quad (24)$$

bulunur. Bu sabit faz düzleminin u_0 ve u_1 noktaları arasında kalan bölgesinin R noktasındaki toplam etkisi eşitlik (20)'nin bu bölgedeki integrali ile hesaplanır.

$$E = \frac{A}{f(r)} \int_{u_0}^{u_1} e^{-jkr} du = \frac{Ae^{-jkl_2}}{f(l_2)} \int_{u_0}^{u_1} e^{-jk\delta} du \quad (25)$$

$$k\delta = \frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1 l_2} \right) u^2 = \frac{\pi}{2} v^2 \quad (26)$$

Eşitlik (26), eşitlik (25)'de yerine konursa ve değişken değiştirilirse elektrik alan şiddeti ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$E = K \int_{v_0}^{v_1} e^{-j(\pi/2)v^2} dv = K \left(\int_0^{v_1} e^{-j(\pi/2)v^2} dv - \int_0^{v_0} e^{-j(\pi/2)v^2} dv \right) \quad (27)$$

$$E = K [C(v_1) - C(v_0) - jS(v_1) + jS(v_0)] \quad (28)$$

Bu eşitlikte C ve S Fresnel integralleri olarak bilinirler ve.

$$C(v) = \int_0^v \cos \frac{\pi v^2}{2} dv; \quad S(v) = \int_0^v \sin \frac{\pi v^2}{2} dv$$

$$C(\mp\infty) = \mp \frac{1}{2} ; \quad S(\mp\infty) = \mp \frac{1}{2}$$

bağıntılarıyla verilirler. Eşitlik (26)'dan görülebileceği gibi v ve u doğru orantılı , v ve $\sqrt{\lambda}$ ters orantılı değişir. Yani büyük bir u değerine daha büyük bir v değeri karşılık gelir. Böylece büyük u_1 değerleri için $C(v_1) \rightarrow C(\infty)$; $S(v_1) \rightarrow S(\infty)$ olurlar. Eşitlik (28) yaklaşık olarak

$$E = K \left[\frac{1}{2} - C(v_0) - j \frac{1}{2} + jS(v_0) \right] \quad (29)$$

şeklinde ifade edilir. Şekil 6'dan da gözlenebileceği gibi eğer u_0 'a negatif büyük değerler verilirse eşitlik (29) de bulunmuş olan alan şiddet değeri serbest uzayda herhangi bir engel olmadığı durumda ki alan şiddet değerine eşit olur. Yani $E_0 = K(1-j)$ olur. Alıcı üzerindeki elektrik alan şiddetinin serbest uzay alan şiddetine oranı

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{1-j} \left[\frac{1}{2} - C(v_0) - j \frac{1}{2} + jS(v_0) \right] \quad (30)$$

olarak bulunur. Yukarıdaki eşitlikteki v_0

$$v_0 = u_0 \sqrt{\frac{2(l_1 + l_2)}{\lambda l_1 l_2}} \quad (31)$$

şeklinde ifade edilir.

Eşitlik (30) büyüklük ve faz olarak

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\sqrt{(0.5 - C)^2 + (0.5 - S)^2}}{\sqrt{2}} e^{-j \left(\tan^{-1} \frac{0.5 - C}{0.5 - S} - \frac{\pi}{4} \right)} \quad (32)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu verilen eşitlik çıkarılırken yapılan yaklaşımlar göz önüne alınırsa , $l_1, l_2 \gg u_0$ ve $l_1 l_2 \gg \lambda$ eşitsizlikleri sağlandığı durumlarda geçerlidir. Bıçak kenarı olarak modellenmiş bir engelin değişik yükseklikleri için eşitlik (32) kullanılarak hesaplanan kırınım kaybı Şekil 7'de verilmiştir.

Eşitlik (32) hesaplanması iki ayrı Fresnel integralinin, C ve S değerlerinin bulunmasını gerektirmektedir. Bunların direk integral tanımları kullanılarak hesaplanmaları oldukça zaman alıcı olduğu için aşağıdaki yaklaşık yöntemler önerilmiştir.

$$C(z) = \frac{1}{2} + f(z) \sin\left(\frac{\pi}{2} z^2\right) - g(z) \cos\left(\frac{\pi}{2} z^2\right) \quad (33)$$

$$S(z) = \frac{1}{2} - f(z) \cos\left(\frac{\pi}{2} z^2\right) - g(z) \sin\left(\frac{\pi}{2} z^2\right) \quad (34)$$

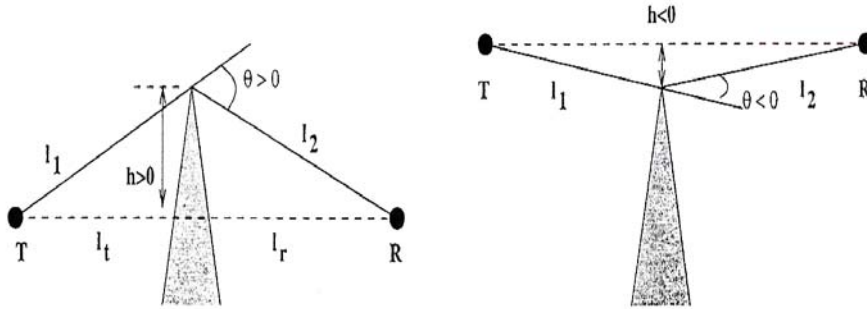
Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan yardımcı fonksiyonlar ise yaklaşık olarak;

$$f(z) = \frac{1 + 0.926x}{2 + 1.792x + 3.104x^2} + \varepsilon(z) \quad (35)$$

$$g(z) = \frac{1}{2 + 4.142x + 3.492x^2 + 6.60x^3} + \varepsilon(z) \quad (36)$$

şeklinde verilir. Burada hata miktarını belirten terim $|\varepsilon(z)| \leq 0.002$ olarak verilir.

Böylece eşitlik (32) daha hızlı şekilde hesaplanabilir. [2]



Şekil 7. Bıçak kenarlı engel [2]

1.3.10. İdeal Engeller ve Yaklaşık Kırınım Kaybı Formülleri

İdeal engellerden en çok kullanılanlar tek bıçak kenarı, tek yuvarlak, çoklu bıçak kenarı ve çoklu yuvarlak engeller gösterilebilir.

1.3.10.1. Tek Bıçak Kenarlı Engel

Bu ideal engeli modellemek için tek bir parametre v yeterli olmaktadır. Bu parametre bütün geometrik parametrelerin birleşiminden elde edilir.

$$V = h \sqrt{\frac{2(l_1 + l_2)}{l_1 l_2 \lambda}} = \theta \sqrt{\frac{2l_1 l_2}{(l_1 + l_2)\lambda}} \quad (37)$$

Buradaki geometrik parametreler şekil 7 de tanımlanmıştır. Bu engel tipi için şayet $v \geq -0.7$ ise, kırınım kaybını hesaplamak için aşağıdaki formül önerilmektedir.

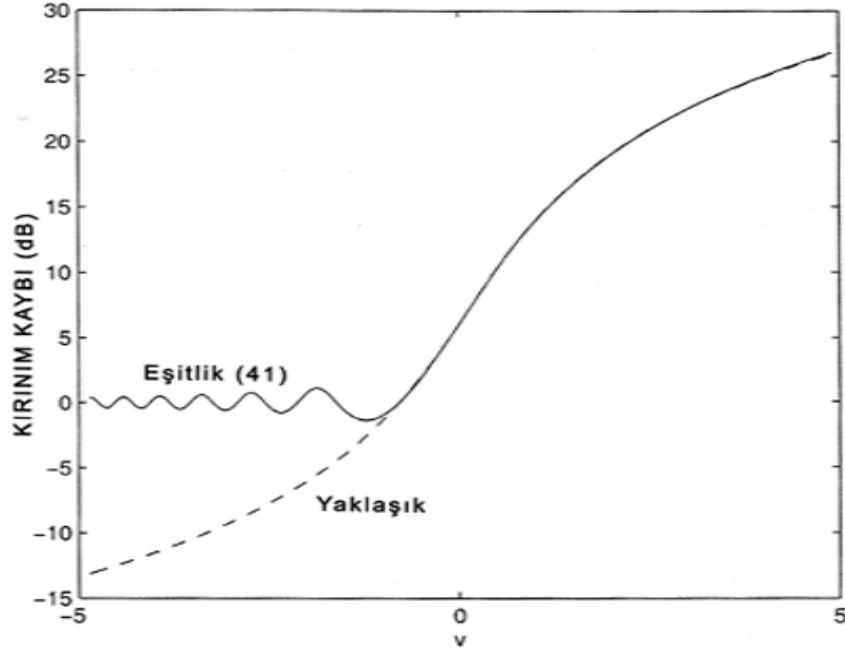
$$A_{bk} = 20 \log_{10} \frac{E}{E_0} = 6.9 + 20 \log_{10} \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \text{ dB} \quad (38)$$

Burada E/E_0 aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\sqrt{(0.5 C)^2 + (0.5 S)^2}}{\sqrt{2}} e^{j \tan^{-1} \left(\frac{0.5 S}{0.5 C} \right) \frac{\pi}{4}} \quad (32)$$

Bu eşitlikteki C ve S değerleri Fresnel integralleri olarak tanımlanırlar. [22]

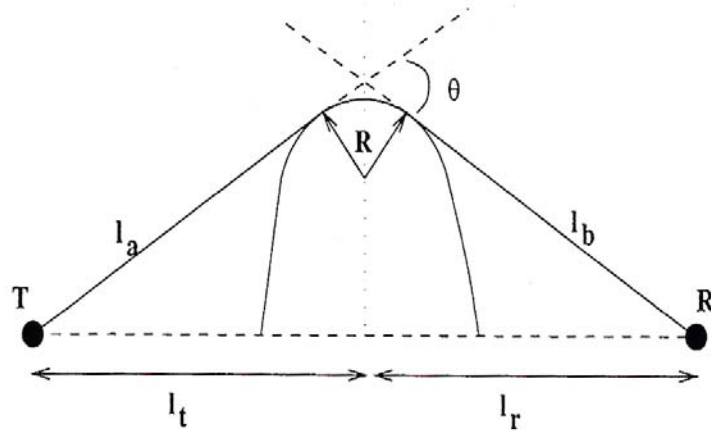
Bu yöntemle hesaplanmış kırınım kaybı Şekil 8 de kesik çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 8. Bıçak kenarı kırınım kaybı [2]

1.3.10.2. Tek Yuvarlak Engel

Gerçek sistemlerde var olan engeller bazen bıçak kenarlı engel modeliyle tanımlanmayacak kadar yuvarlak hatlıdır (Şekil 9). Burada kullanılan uzaklıklar l_a, l_b ve yükseklik h vericiden ve alıcıdan çıkan ışınların yuvarlak engelin yüzeyine teğet geçip kesiştikleri noktaya göre verilmişlerdir. [2]



Şekil 9. Yuvarlak engel [2]

Bu tip engellerde kırınım kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$A_{yuvarlak} = A_{bk} + T(m, n) \quad (39)$$

Burada A_{bk} ışınların kesiştiği yerde ve h yüksekliğinde bir bıçak kenarlı engelin neden olduğu kırınım kaybını verir. Bu hesap için gerekli olan parametre v

$$v = 0.0316 h \frac{2(l_a + l_b)^{1/2}}{l_a l_b \lambda} \quad (40)$$

eşitliğinde h ve λ metre, l_a ve l_b km olarak hesaplanabilir.

$T(m, n)$, dB olarak engelin yuvarlak yapısından kaynaklanan kırınım kaybını vermektedir.

$$T(m, n) = km^b \quad (41)$$

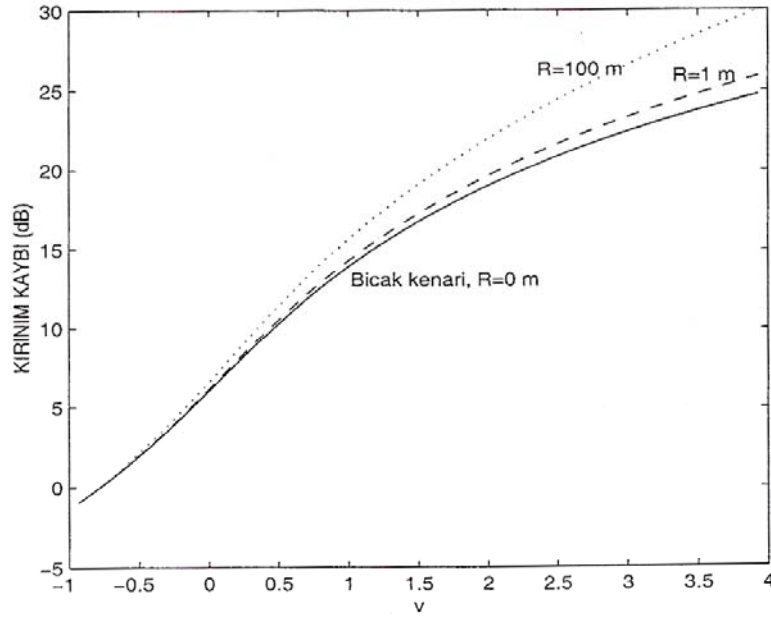
Bu eşitlikte

$$k = 8.2 + 12.0n \quad , \quad b = 0.73 + 0.27(1 - e^{-1.43n})$$

$$m = R \frac{(l_a + l_b) / l_a l_b}{(\pi R / \lambda)^{1/3}} \quad , \quad n = h \left(\frac{\pi R}{\lambda} \right)^{2/3} / R$$

R parametresi yuvarlak kısmın etkin çapıdır ve basitçe $R = kD_s / \theta$ eşitliğinden elde edilebilir. Bu eşitlikte k dünyanın yarıçapına troposferde olan kırılmanın etkisini katan bir çarpım faktörü, D ise alıcı ve vericinin engeli gördükleri noktalar arasında kalan yarıçapı R olan daire parçasının uzunluğudur. R = 0 için, m ve T(m,n) de sıfır olur. Böylece kırınım kaybı bıçak kenarı kırınım kaybına eşit olur.

Alıcı ile verici arasındaki mesafe ve engelin bulunduğu yer biliniyorsa; herhangi bir θ değeri için $h = \theta / (1/l_i + 1/l_r)$ ve $l_a = \sqrt{h^2 + l_i^2}$, $l_b = \sqrt{h^2 + l_r^2}$ hesaplanır. m ve n değerleri de yukarıdaki eşitliklerden hesaplanır. Şekil 10 da R nin 0, 1, 100 değerleri için hesaplanmış kırınım kaybı verilmiştir. [2]



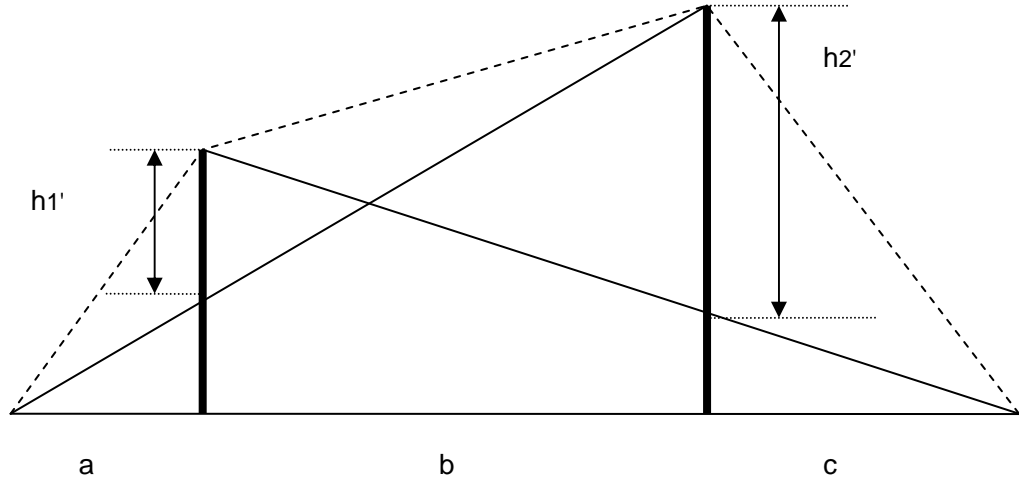
Şekil 10. Yuvarlak engel kırınım kaybı ($l_i = 5\text{km}$, $l_r = 13\text{km}$, $\lambda = 3\text{m}$) [28]

1.3.10.3. İki Ayrı Engel

İki ayrı, bıçak kenarı modeline uygun, engelden oluşan bir iletim hattında oluşan kırınım kayıplarının hesabı için ITU tarafından iki ayrı yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler Epstein-Peterson ve Deygout yöntemleridir.

1.3.10.4. Epstein-Peterson Metodu

Bu yöntem tek bıçak kenarlı kırınım kaybını iki ayrı engel için arka arkaya uygulamaktır. Burada birinci engelin tepesi, ikinci engelden olan kırınım kaybının hesabı için, vericinin olduğu yer olarak alınır. [2]



Şekil 11. Epstein-Peterson metodu [2]

Bu yöntemin uygulaması şöyledir. Birinci engelden (bıçak-kenarı) olan kırınım kaybının $L_{bk}^{(1)}$ hesabı için;

$$A_{bk} = 20 \log_{10} \frac{E}{E_0} = 6.9 + 20 \log_{10} (\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1) \text{ dB} \quad (38)$$

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\sqrt{(0.5 - C)^2 + (0.5 - S)^2}}{\sqrt{2}} e^{-j \tan^{-1} \left(\frac{0.5 - S}{0.5 - C} \right)} \quad (32)$$

formülleri kullanılabilir. Bu hesaplamada verici ve alıcı ile engel arasındaki mesafe sırası ile a ve b olarak ve engelin yüksekliği h_1' olarak alınır. İkinci engelden (bıçak-kenarlı) olan kırımın kaybı $L_{bk}^{(2)}$ hesabı içinde eşitlik (38) ve eşitlik (32) kullanılır.

Bu hesapta alıcı ve vericinin engel ile aralarındaki mesafe sırası ile b ve c, engelin yüksekliği h_2' olarak alınır. İki engel arasındaki mesafeyi hesaba katmak için de bir doğrulama terimi tanımlanır;

$$(L_{bk})^d = 10 \log_{10} \frac{(a+b)(b+c)}{b(a+b+c)} \quad (41)$$

Bu doğrulama teriminin geçerli olması için $(L_{bk})^{(1)}$ ve $(L_{bk})^{(2)}$ kırımın kayıplarının 15 dB den daha büyük olmaları gerekmektedir. Bu durumda toplam kırımın kaybı

$$L = L_{bk}^{(1)} + L_{bk}^{(2)} + L_{bk}^{(d)} \quad (42)$$

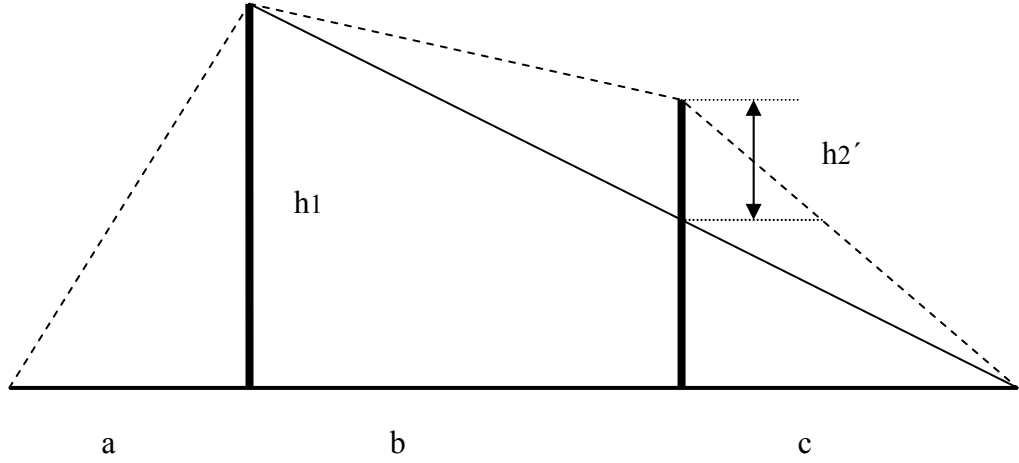
eşitliği ile verilir. [2]

1.3.10.5. Deygout Metodu

Engellerden birisi diğerine göre çok daha fazla kırımın kaybına neden oluyorsa o zaman Epstein-Peterson metodu yerine Deygout metodu kullanılır. Bu metodun uygulaması şekil 12'de verilen geometriye göre şöyledir. Birinci bıçak-kenarlı engelden olan kırımın kaybı, verici ve alıcının engel ile aralarındaki uzaklıkları sırası ile a ve b+c, engelin yüksekliğini h_1 alarak, eşitlik (38) veya eşitlik (32) kullanılarak hesaplanır.

İkinci bıçak-kenarlı engelden olan kırımın kaybı, verici ve alıcının engel ile aralarındaki uzaklıkları sırası ile b ve c, engelin yüksekliğini de h_2' alarak ve yine eşitlik (38) ve eşitlik (32)'den hesaplanır.

Toplam kırımın kaybı bu iki kaybın toplamına eşittir. [2]



Şekil 12. Deygout metodunun uygulanması [2]

1.3.11. Saçılma (Scattering)

İletişim ortamında bir alıcıya vericiden doğrudan gelen bileşen ile birlikte yansıma ve kırılma yoluyla oluşan bileşenler de gelir. Saçılma ise belli bir vericiden gelen sinyalin çeşitli cisim ve yüzeylerden rastgele yönlere dağıtılmasıdır. Ortamda çok sayıda ve rastgele konumlarda bulunan cisim ve yüzeylerden saçılan sinyal ortama yayınlandığında ortamda karmaşık bir yapıya neden olur. Bu durumda vericiden çıkan sinyal ile alıcıya ulaşan sinyal şiddeti arasında bu etkiden dolayı farklılıklar meydana gelir. Alınan sinyal, yansıma, kırınım ve saçılma etkileri ile tahmin edilenden daha güçlü ya da zayıf olabilir. [2]

1.4. Elektriksel Alan Şiddeti

Vericiden çıkan sinyali sahada herhangi bir noktada ölçüldüğünde alan şiddeti değeri ($E = \text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$) olmalıdır. Ancak burada ölçülen $\text{dB}\mu\text{V}$ veya μV cinsinden cihaz girişindeki sinyalin değeridir. Ölçüm tablolarında kullanılan değerler bu değerlerdir. Alıcıya doğrudan gelen sinyalle yansıyarak gelen sinyallerin birbirini enterfere etmesi yüzünden alışı antenin yüksekliğine göre alınan sinyal seviyesi değişmektedir. Alışı antenin yüksekliğine bağlı olarak sinyal seviyesi yere yaklaştıkça azalmakta ve yatay polarizasyonlu sinyaller yerin özelliğinden dolayı toprak seviyesinde sıfırlanmaktadır.

Alan şiddeti aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$E(dB\mu V / m) = V_0(dB\mu V) + k(dB / m) + a_k(dB) \quad (43)$$

k : Anten faktörü

a_k :Kablo kaybı

Alış anteninin anten faktörü (k), alan şiddetinin E , 50Ω yük direncinde antenin çıkış gerilimi V_0 oranıdır. Genelde, anten üreticileri anten faktörü yerine antenin izotropik antene ya da yarım dalga dipole göre kazancını (G) verirler. [2]

1.5. Anten

Elektrik sinyallerini (gerilim ve akım) elektromanyetik dalgalara veya elektromanyetik dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürmek için kullanılan araçtır.

Elektromanyetik enerjiyi uzayda kendinden eşit uzaklıktaki noktalara eşit olarak yayan ya da noktalardan eşit olarak alan antenlere yönsüz anten denir. Yönlü antenler ise elektromanyetik enerjiyi belirli bir yönde diğer yönlere göre daha etkin yayar veya alırlar.

Elektromanyetik dalga yaymak için anten üzerinde zamana göre değişen bir akım üretmek gerekir. Bu da antene iletim hattı ya da dalga kılavuzu bağlanması yoluyla yapılır.

Bir antenin birçok karakteristik özelliğinden bahsedilebilir. Bunlar, radyasyon diyagramı, huzme genişliği, yönelticilik, kazanç, radyasyon direnci, empedans, polarizasyon, bant genişliği gibi özelliklerdir. [2]

1.5.1. İzotropik Anten

İdeal bir antendir. Bundan dolayı gerçekte kullanılan antenlerin performanslarının karşılaştırılması için referans görevi görür. İdeal olan özelliği her yöne eşit enerji yaymasıdır. Genel olarak kullanılan antenlerin kazanç performansları bu antene göre verilir.

1.5.2. Anten Radyasyon Diyagramı

Radyasyonun yöne göre değişimine anten radyasyon diyagramı denir. Antenden yayılan dalganın elektrik ve manyetik alan vektörleri arasındaki ilişki antenden uzak

bölgelerde daha basit bir hal alır ve radyasyon da lokal olarak düzlem dalga gibi davranır. Bu durumun olması için gereken mesafeye ‘uzak alan mesafesi’ denir. Bu mesafe esas olarak anten boyutuna ve dalga boyuna bağlıdır. Radyasyon diyagramı yapılırken kesitler elektrik alanına paralel veya manyetik alana paralel olarak seçilir. Bunlara E ve H düzlemi denir. Bir dipol antenin H düzlemi dipolü tam ortasından geçen düzlemdir. E düzlemi de buna dik olan ve dipolü içeren düzlemdir. Yere dik duran bir dipol anten için E düzlemi düşey düzlem, H düzlemi de yatay düzlemdir. [2]

1.5.3. Anten Kazancı ve Yöneltiliği

Anten elektromanyetik enerjiyi her yöne eşit dağıtmadığı için, bu enerjinin eşit dağıtıldığı izotropik antene göre orantısı antenin yönlülüğü olarak tanımlanır. Eğer bir yön tanımlanmamışsa ana huzme yönündeki yönlülük kastedilir. Anten kazancı da yönlülük ile anten verimliliğinin çarpımıdır. Anten verimliliği ise antenden yayılan gücün antene giren güce oranıdır.

Elektrik (E) ve manyetik (H) alanları radyasyon bölgesinde birbirine dik ve aynı zamanda propagasyon yönüne de diktir. Birim alan başına düşen güç akışı

$$W [W / m^2] = \frac{E_{rms}^2}{\eta} \quad (44)$$

Olarak bulunur ($\eta = 120\pi$: serbest uzay dalga empedansı, E_{rms} : etkin değer). Herhangi bir r mesafesindeki birim açıda r^2 metrekairelik yüzey alan olduğundan, birim açı üzerine düşen güç yoğunluğu $\Phi(\theta, \phi) = r^2 W$ olarak bulunur ve bu güç yoğunluğu r’den bağımsızdır. Antenden yayılan toplam radyasyon gücü P_r ise bu güç yoğunluğunun r yarıçaplı küre üzerindeki bütün açılarda integraline eşittir. Yani

$$P_r [W] = \int_0^\phi \int_0^\theta \sin \theta d\theta d\phi \quad (45)$$

Bu küre yüzeyinde 4π birim açı bulunduğundan, izotropik antenin aynı radyasyon gücüne karşılık gelen birim açı üzerine düşen güç yoğunluğu $\Phi_{iz}(\theta, \phi) = P_r / 4\pi$ olur. Böylece antenin kazancı

$$G_d = \frac{\Phi(\theta, \phi)}{\Phi_{iz}(\theta, \phi)} = \frac{4\pi\Phi(\theta, \phi)}{P_r} \quad (46)$$

olarak bulunur. Bu kazanç hesabında anten kablo kayıpları ve empedans uyumsuzluğundan oluşabilecek kayıplar göz ardı edilmiştir. Bazı anten tipleri için kazanç değerleri tabloda verilmiştir. [2]

Tablo 1. Anten kazançları

Anten	Kazanç G (10 log G)
İzotropik	1,00 (0,00 dBi)
Yarım dalga dipol (Serbest uzay)	1,65 (2,15 dBi)
Kısa-dik monopol (İletken üzerinde)	3,00 (4,80 dBi)
Çeyrek dalga monopol (İletken üzerinde)	3,30 (5,20 dBi)

1.6. Serbest Uzay Propagasyonu

Serbest uzay propagasyonu iki farklı şekilde hesaplanabilir. Bu iki farklı hesap yöntemi iki değişik servis için kullanılmaktadır.

1- Noktadan alana

2- Noktadan noktaya

Alan şiddeti kapsama haritası çıkarılacağı için alan çalışması yapılmaktadır.

Noktadan Alana: Bu durumda bir verici birden fazla gelişigüzel dağılmış alıcıya yayın yapar (Radyo–Tv yayınları). Elektrik alan şiddeti alıcıların oldukları noktalarda şu eşitliklerden hesaplanır.[2]

$$E[V/m] = \frac{\sqrt{30P_t[W]}}{r[m]} \text{ veya } E[mW/m] = 173 \frac{\sqrt{P_t[kW]}}{r[km]} \quad (47)$$

P_t : Efektif izotropik yayılan güç

r : mesafe

1.7. Polarizasyon

Antenden yayılan dalganın elektrik alanının yönüdür. Bir dipol anten için yatay ve düşey polarizasyon olarak daha kolay tarif edilebilir. Eğer dipol anten yere dik olarak duruyorsa buradan yayılan radyasyonun elektrik alanı yere dik olacaktır. Buna düşey polarizasyon denir.

Elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır. Boyuna dalgaların tersine, enine dalgalarda titreşen elektrik ve manyetik alan vektörleri dalganın yayılma doğrultusuna diktir. Enine dalgaların bir özelliği de düzlemsel polarize olmalarıdır. Düzlem dalga yayılımında elektrik alanının bir noktadaki zamanla değişen davranışı polarizasyon olarak adlandırılır. [2]

1.8. Elektromanyetik Spektrum ve FM Bandı

Elektrik ve manyetik alanlar durgun ve hareketli yüklerden oluşur. Ancak bu alanların birlikte yayılması için yüklerin hareketli olması gerekir. Elektromanyetik spektrum, gamma ışınlarından radyo dalgalarına kadar geniş bir frekans aralığına yayılmıştır. (Tablo 2.) Bütün frekanslardaki ışınımlar aynı hızla yayılırlar ve aynı elektromanyetik yapıdadırlar ve yüklerin ivmeli hareketinden kaynaklanırlar.

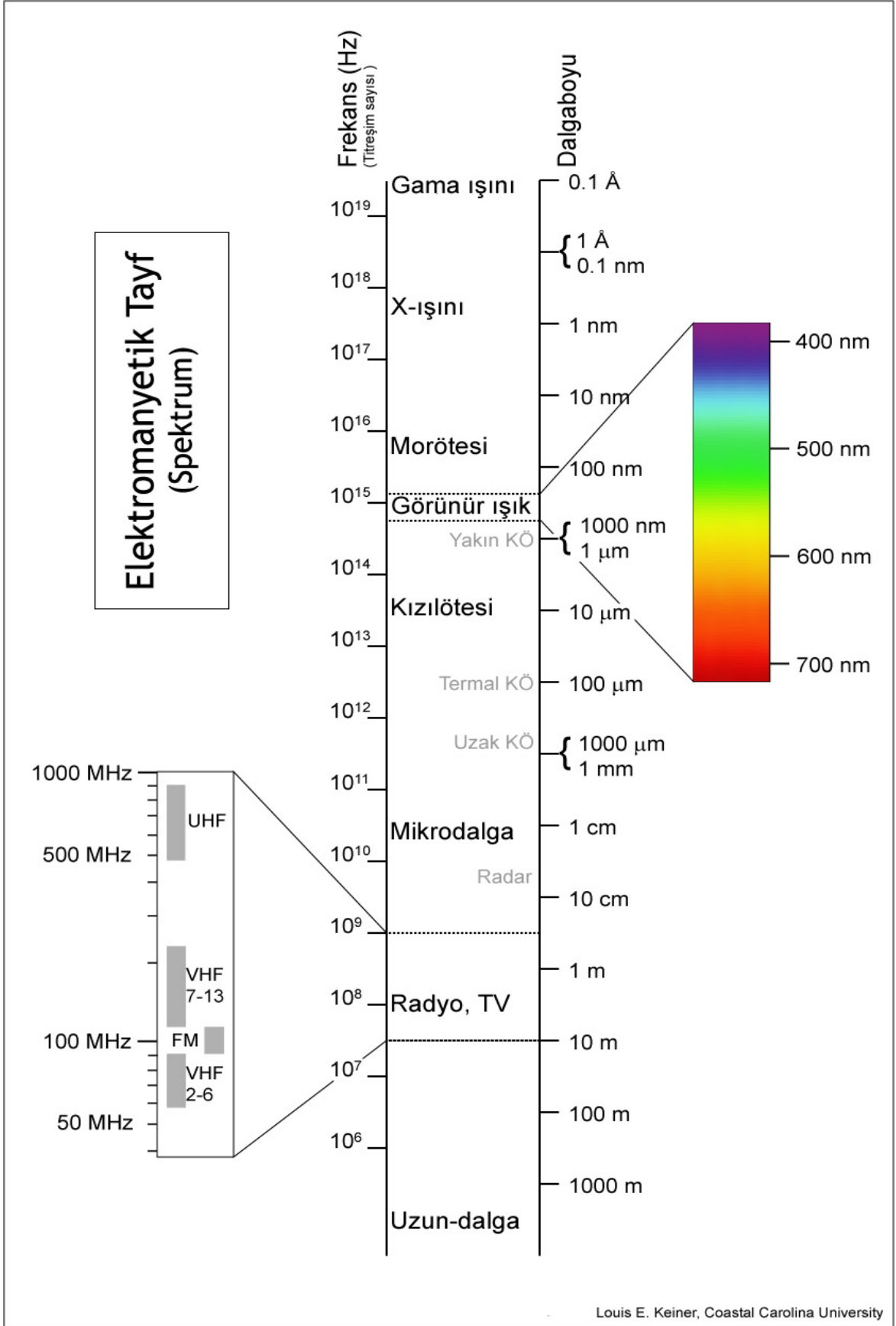
Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) kabullerine göre elektromanyetik spektrumda 300 GHz'in altında kalan kısım radyo frekans spektrumu ve bu kesimdeki elektromanyetik dalgalar da radyo frekans dalgaları olarak isimlendirilmektedir. Haberleşme amaçlı tüm elektromanyetik dalgalar, yani radyo frekans dalgaları bütünüyle spektrumda iyonlaştırmayan elektromanyetik dalgalar kesiminde bulunmaktadır. Spektrumunun çok dar bir kısmını kapsayan ve haberleşme hizmetlerinin yürütülmesinde kullanılan radyo frekansları; bantlara ve dalga boylarına göre kendi arasında sınıflandırılmaktadır (Şekil 13). [1]

Tablo 2. Elektromanyetik Spektrum ve FM Bandı

FREKANS ARALIĞI	DALGA BOYU	AÇIKLAMA	KISALTMA
3-30 KHz	100-10 Km	Çok düşük frekans (Very Low Frequency)	VLF
30-300 KHz	10-1 Km	Düşük frekans (Low Frequency)	LF
300-3000 KHz	1Km- 100 m	Orta frekans (Medium Frequency)	MF
3-30 MHz	100- 10 m	Yüksek frekans (High Frequency)	HF
30-300 MHz (88-108 MHz)	10- 1 m	Çok yüksek frekans (Very High Frequency)	VHF (FM bandı)
300-3000 MHz	1 m– 10 cm	Ultra yüksek frekans (Ultra High Frequency)	UHF
3-30 GHz	10- 1 cm	Süper yüksek frekans (Super High Frequency)	SHF
30-300GHz	1cm– 1mm	Ekstra yüksek frekans (Extra High Frequency)	EHF

Elektromanyetik spektrumun 30- 300 MHz frekans aralığını oluşturan Çok Yüksek Frekans (Very High Frequency, VHF) bandında bulunan 88- 108 MHz frekansına sahip banda FM Bandı denir. FM bandı Tablo 2’de gösterilmiştir.

Frekans Modülasyonu ve Genlik Modülasyonu ile elektromanyetik dalgalar bizlere radyo ve TV yayınlarını iletmektedir. VHF bandında, radyo ve TV yayınlarını dinlediğimiz bantlarda yayın yapan vericiler FM (frekans modülasyonu) şeklinde atmosfere yayılırlar. FM yayınları bölgeseldir; yansımaları binalar ve manyetik yansımaya uygun arazi yapıları ile mümkün olmaktadır. .[1]



Şekil 13. Elektromanyetik spektrum [3]

1.8.1. Frekans Planlaması

Radyo ve televizyon yayınları için ayrılmış olan frekans ve kanallar belirli bir band aralığında sınırlandırılmıştır. Bu bağlamda frekans kullanımı rastgele olmamalıdır. Frekans kullanımının doğru bir şekilde ve belirli bir düzen içerisinde yapılmasının önemi sürekli dile getirilmektedir.

Bu nedenle frekans planlaması için çalışmalar yapılmış ve aynı frekans kullanan vericilerin birbirine en az ne kadar uzaklıkta olması, bunların hangi özelliklerle (verici yeri, gücü, frekansı, anten yüksekliği vb.) yayın yapması gerektiğini belirten kriterler oluşturulmuştur. [2]

1.8.2. Frekans Planlamasında Esas Alınan Kriterler

STO- 61 (TV Yayıncılığı), Cenevre- 84 (FM Radyo Yayıncılığı), Uluslararası anlaşmalarına göre, uluslararası koordinasyonu yapılmış olan TRT vericilerine ait kanal ve frekansların korunması (RTÜK 1995).

Aynı şekilde komşu ülkelerde kullanılan ve STO- 61 (TV Yayıncılığı), Cenevre- 84 (FM Radyo Yayıncılığı)'e göre uluslararası koordinasyonu yapılmış olan kanal ve frekansların enterferansa neden olma veya enterferansa maruz kalma bakımından planlamada göz önüne alınması (RTÜK 1995).

ITU-R-RMD (Reflection plus Multiple Diffraction) propagasyon modelini kullanarak bir vericinin kapsama ve enterferans için yayılım analizlerinin yapılması, arazi bitki örtüsü bilgisinin (Küçük şehir, büyük şehir, seyrek bitki, yoğun bitki) belirlenmesidir.

Belirtilen kriterlere göre yapılan planlama çok önemlidir. Verici anteninden çıkan sinyal alıcıya zayıflayarak gelir. Bu soğurma atmosfer soğurmasından ve yeryüzündeki nesnelere dolaydır. Elektromanyetik dalga alıcıya direkt, yansıtılarak ve kırılarak ulaşmaktadır. Dolayısıyla, sinyal yayılımı serbest uzay kanunlarına uymaz ve sinyalin dağılım özelliği; yere, zamana ve iklim şartlarına göre değişir.

Bu nedenle planlamada herhangi bir yayılım (propagasyon) modeliyle birlikte bu etkilerin dikkate alındığı kırınım modelleri kullanılır. [2]

1.8.3. FM Radyo Servisi İçin Planlama Kriterleri

VHF bandında yayın yapan ve maksimum frekans sapması ± 75 kHz olan karasal FM radyo istasyonları için kapsama alanlarının tayininde kullanılan minimum ortalama alan şiddet değeri (10 m alıcı anten yüksekliği kabul edilerek) Tablo 3'de verilmiştir. (ITU-R Rec. BS.412). [2]

Tablo 3. FM radyo alan şiddetleri

	Mono	Stereo
Kırsal	48 dB μ V/m	54 dB μ V/m
Şehir	60 dB μ V/m	66 dB μ V/m
Büyük Şehir	70 dB μ V/m	74 dB μ V/m

1.8.4. Analog TV Servisi İçin Planlama Kriterleri

VHF-I, III VE UHF-IV, V bantlarında yayın yapan karasal AM TV istasyonları için kapsama alanlarının tayininde kullanılan minimum ortalama alan şiddet değerleri (10m alıcı anten yüksekliği kabul edilerek) Tablo 4'de verilmiştir. (ITU-R Rec. BT.417). [2]

Tablo 4. TV alan şiddetleri

	VHF-I	VHF-III	UHF-IV	UHF-V
Şehir	48 dB μ V/m	55 dB μ V/m	65 dB μ V/m	70 dB μ V/m
Kırsal	46 dB μ V/m	49 dB μ V/m	58 dB μ V/m	64 dB μ V/m

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Erzurum Bölgesi İçin FM (98.8 MHz) ve UHF Bandında (39. kanal) Elektromanyetik Alan Şiddet Dağılımının İncelenmesi

Türkiye’de Analog TV servisleri 174 -230 MHz VHF bandı, 470 – 862 MHz UHF bandı, FM radyo servisleri ise 88 – 108 MHz frekans bandı kullanılmaktadır. Karasal analog radyo ve TV yayın servislerinde yeni bir verici tahsisi için verici yeri, anten yüksekliği, etkin yayılan güç (erp) , verici frekansı ve arazi yapısının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada elektrik alan şiddeti dağılımı incelenmeye çalışıldı. Bunun için Erzurum ilinde yayın yapan 98.8 Mhz TRT FM ve 39. Kanaldan yayın yapan TRT 1 vericilerinin alan şiddet değerleri ölçüldü. Bu ölçümler için Alan şiddet cihazı ve Spektrum analizör ölçü aletleri kullanıldı. Ayrıca TRT Kurumunun kullandığı simülasyon programından yararlanılarak alan kapsama ve arazi profiline ait veriler elde edildi.

Erzurum ilinin tamamında alan şiddet dağılımının belirlenmesi için FM bandında her bir frekans için ve UHF bandında her bir kanal için bir vericinin referans alınıp yapılanlara benzer analizlerle tüm şehrin elektromanyetik şiddet dağılım haritasının çıkartılabileceği ortaya konulmuştur.

2.2. Ölçüm Yapılan Bölgenin Yapısı

Ölçümler Erzurum şehir merkezinde vericilerin buldukları yerlere yakın noktalardan başlayarak caddelerde ve bina dışı açık alanlarda gerçekleştirilmiştir.

Erzurum coğrafik olarak ova üzerine kurulmuştur. Ölçümler çaykara caddesi, yoncalık mahallesi, kayakyolu semti, havuzbaşı, karskapı, mumcu caddesi gibi şehir merkezinin muhtelif noktalarında yapılmıştır. Erzurum şehri bir ova üzerine kurulmuştur.

Erzurum şehri 1900 rakım olarak tanımlanır. Yapılan çalışmada, ölçüm yapılan alanlardaki rakım Erzurum ili için yaklaşık olarak 1800m ile 2000 m arasındadır.

2.3. Ölçüm Yapılan Vericilerin Özellikleri

Bu çalışmada TRT Kurumuna ait TRT 1 ve TRT FM vericileri için ölçüm çalışmaları yapılmıştır.

TRT FM vericisi Erzurum Palandöken dağında bulunmaktadır. Dağın yüksekliği 3176m'dir. İstasyon 39°49'59.2" N (Kuzey) 41°18'10.0" E (Doğu) koordinatlarında bulunmakta olup anten yüksekliği 98 metredir. Anten dört yana olup Reflektörlü K tipidir. TRT-FM için anten çıkış gücü 30 kW, verici gücü 5 kW 'dır.

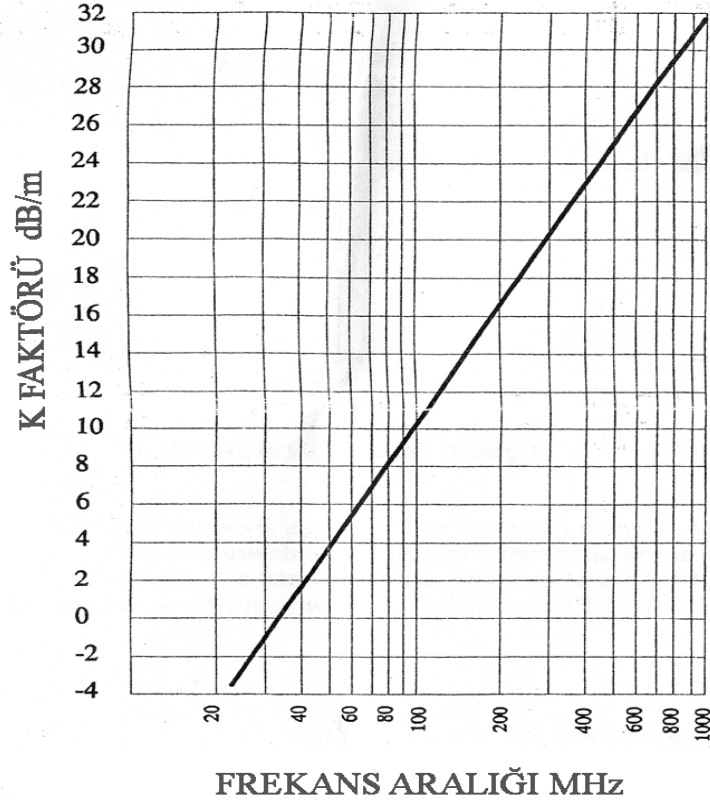
TRT 1 vericisi Dağmahallesi mevkiinde bulunmaktadır. İstasyonun bulunduğu mevkiinin rakımı 1990 metre olup, istasyonun koordinatları 39°55'22.3" N (Kuzey) 41°17'31.8" E (Doğu) dur. Anten yüksekliği 45m olup 3x2 pano tipi anten bulunmaktadır. TRT 1 için anten çıkış gücü 10 KW, verici gücü 1 kW'dır.

2.4. Ölçüm Yapılan Cihazlar

Ölçüm PROMAX Prolink 4C Premium Alan şiddeti cihazı ve Spektrum Analizör cihazları ile yapılmıştır. Ölçümde kullanılan anten türü yarım dalga dipol anten olup, anten faktörü ise tablo (tablo 5) ve grafiksel olarak (şekil 14) aşağıda verilmiştir.

Tablo 5. Anten faktör (K) tablosu

ANTEN FAKTÖR TABLOSU	
FREKANS (MHz)	ANTEN FAKTÖRÜ (K)
50	5.4
75	8.9
100	11.4
125	13.3
150	14.9
175	16.3
200	17.4
225	18.4
250	19.4
275	20.2
300	20.9
325	21.6
350	22.3
375	22.8
400	23.4
425	23.9
450	24.5
475	24.9
500	25.4
525	25.8
550	26.2
575	26.6
600	26.9
625	27.3
650	27.7
675	28.0
700	28.3
725	28.6
750	28.9
775	29.2
800	29.5
825	29.7
850	30.0
875	30.2
900	30.5
925	30.7
950	31.0
975	31.2
1000	31.4



Şekil 14. Anten faktörünün grafiksel gösterimi

2.5. Ölçüm Sonuçları

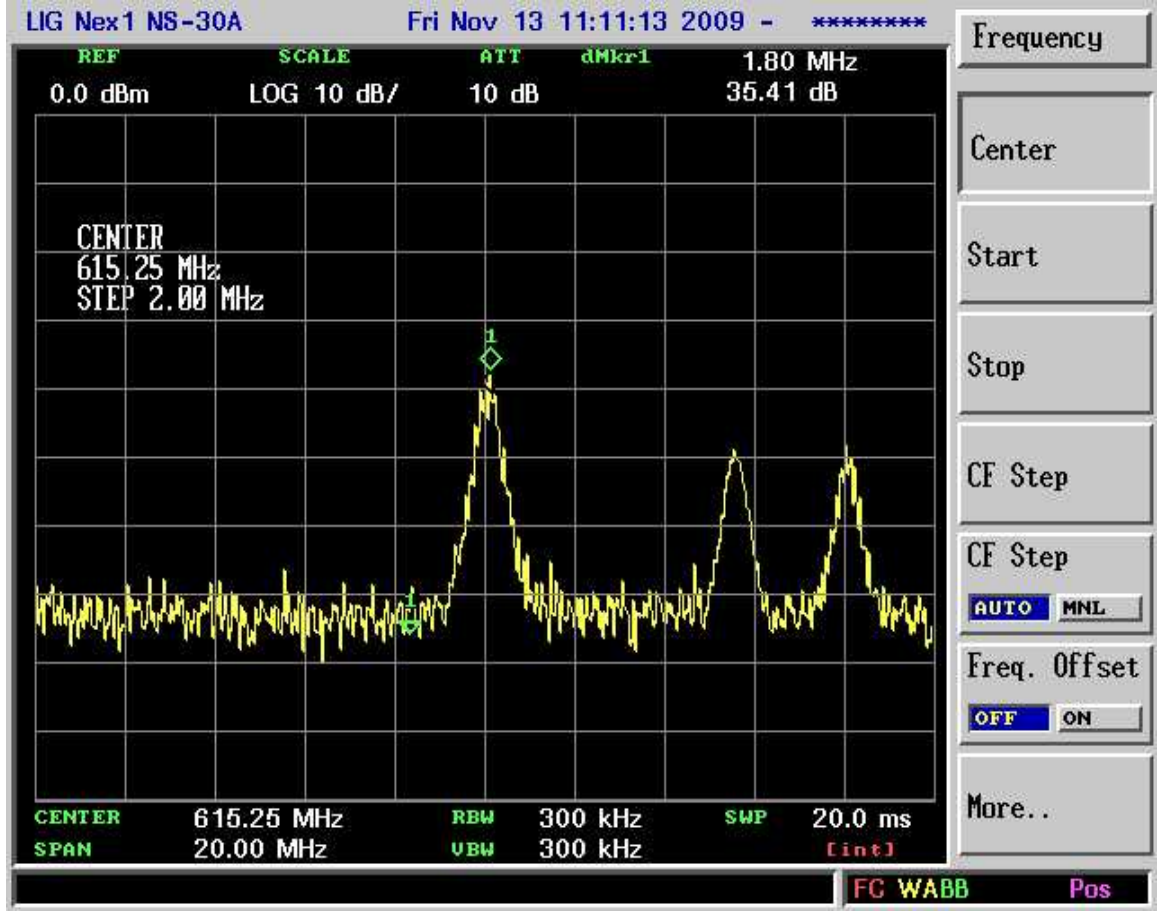
Promsx Prolink alan şiddet cihazı ve spektrum analizör cihazı kullanılarak TRT 1 ve TRT FM vericilerine ait cihazlar için şehrin farklı bölgelerinde alan şiddeti ölçümleri yapıldı. Ayrıca simülasyon programı kullanılarak, yukarıda bahsi geçen vericiler için, alan kapsama haritaları ve arazi bilgisi-alan şiddeti grafikleri elde edildi. Simülasyon programıyla elde edilen verilerde Epstein-Peterson ve Deygout kırınım modelleri kullanıldı. Kapsama alan haritaları incelendiğinde bazı değerler için renk kodlamaları yapılmıştır. Renklere karşılık gelen alan şiddet değerleri Tablo 6 da verilmiştir.

Tablo 6. Simülasyon Haritalarında Alan Şiddet Değerleri

KAPSAMA ALAN HARİTA DEĞERİ	
Renk	Alan Şiddet Değeri
Siyah	90 (dB μ V/m)
Kırmızı	80 (dB μ V/m)
Mavi	70 (dB μ V/m)
Yeşil	60 (dB μ V/m)
Sarı	50 (dB μ V/m)
Turuncu	40 (dB μ V/m)

TRT 1 ve TRT FM vericileri için yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

TRT 1 vericisi 39. kanalda yayın yapmakta olup, 614- 622 MHz aralığındadır. Bu verici için Çevre yolu, Cumhuriyet Caddesi ve 50. Yıl Caddesi olmak üzere 3 farklı güzergâhta ölçümler yapıldı. Spektrum Analizör cihazında elde edilen görüntü Şekil 15 de verilmiş olup kazanç ve frekans bilgileri görülmektedir. Promax Prolink alan şiddet cihazı ile yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7, 8, 9 da verilmiştir. Bu değerler alan şiddeti cihazından okunan değerler olup anten kazanç faktörü eklenmemiştir.



Şekil 15. TRT 1 vericisinin spektrum analizör cihaz görüntüsü

Tablo 7. Çevre yolu için TRT 1 verici ölçüm değerleri

39. Kanal TRT 1 Ölçüm Tablosu		
SIRA NO	MESAFE (km)	ÖLÇÜM DEĞERİ (dBμV)
1	0.5	82
2	1.0	82
3	1.5	80
4	2.0	81
5	2.5	77
6	3.0	75
7	3.5	71
8	4.0	67
9	4.5	67
10	5.0	66
11	5.5	65
12	6.0	63
13	6.5	62
14	7.0	60
15	7.5	59
16	8.0	57
17	8.5	50
18	9.0	47
19	9.5	41
20	10.0	44
21	10.5	46
22	11.0	49
23	11.5	50
24	12.0	52
25	12.5	47
26	13.0	47
27	13.5	47
28	14.0	48
29	14.5	48
30	15.0	45
31	15.5	45
32	16.0	41

Tablo 8. Cumhuriyet caddesi için TRT 1 verici ölçüm değerleri

39. Kanal TRT 1 Ölçüm Tablosu		
SIRA NO	MESAFE (km)	ÖLÇÜM DEĞERİ (dBμV)
1	0.5	79
2	1.0	79
3	1.5	78
4	2.0	76
5	2.5	71
6	3.0	71
7	3.5	68
8	4.0	65
9	4.5	67
10	5.0	63
11	5.5	62
12	6.0	58
13	6.5	58
14	7.0	55
15	7.5	56
16	8.0	55
17	8.5	48
18	9.0	42
19	9.5	37
20	10.0	40
21	10.5	44
22	11.0	46
23	11.5	47
24	12.0	50
25	12.5	56
26	13.0	58

Tablo 9. 50.yıl caddesi için TRT 1 verici ölçüm değerleri

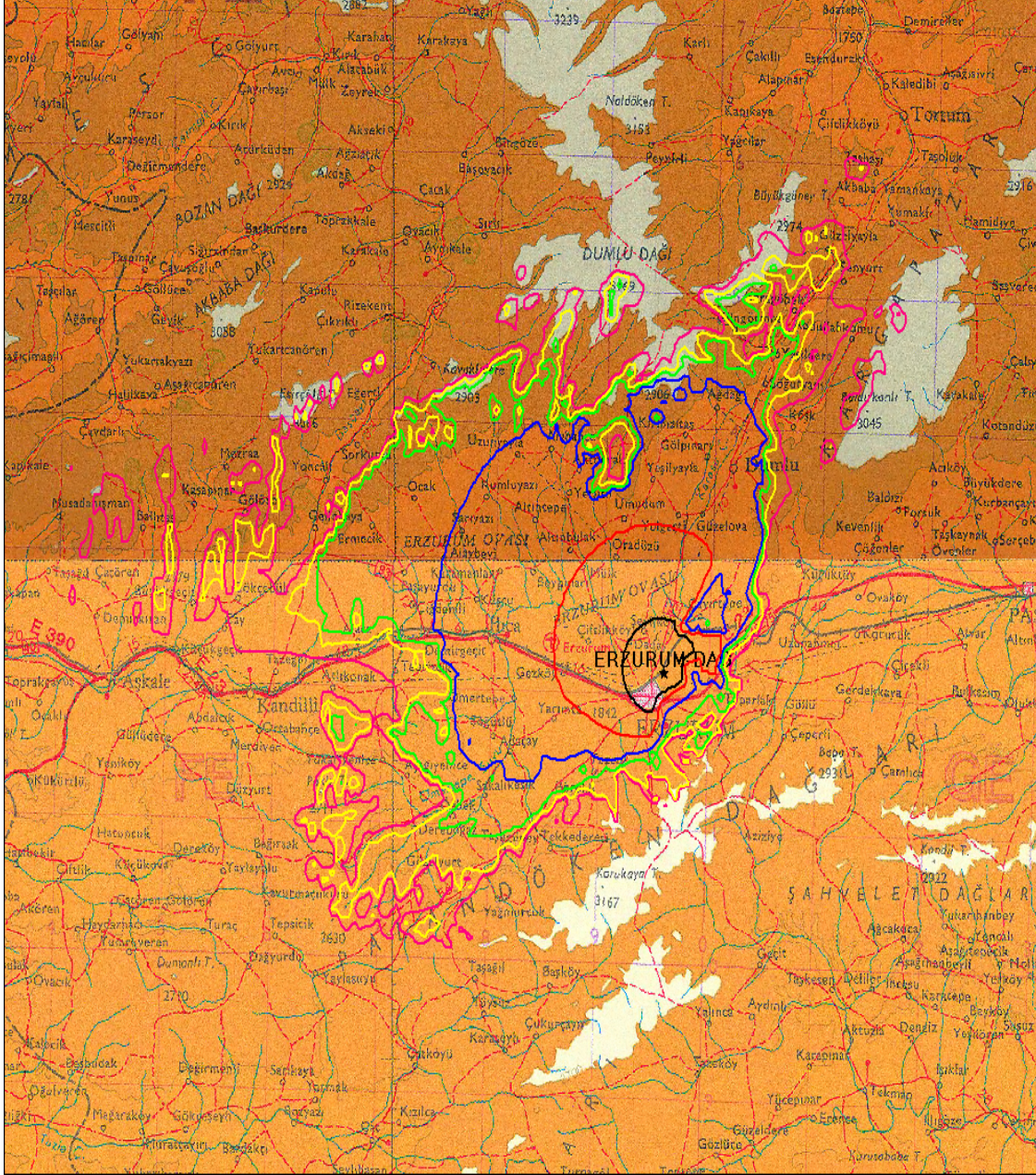
39. KANAL TRT 1 ÖLÇÜM TABLOSU		
SIRA NO	MESAFE (km)	ÖLÇÜM DEĞERİ (dBμV)
1	0.5	82
2	1.0	82
3	1.5	80
4	2.0	81
5	2.5	77
6	3.0	75
7	3.5	71
8	4.0	67
9	4.5	67
10	5.0	66
11	5.5	65
12	6.0	63
13	6.5	62
14	7.0	60
15	7.5	59
16	8.0	57
17	8.5	50
18	9.0	47
19	9.5	41
20	10.0	44
21	10.5	46
22	11.0	49
23	11.5	50
24	12.0	52
25	12.5	47
26	13.0	47
27	13.5	47
28	14.0	48
29	14.5	48
30	15.0	45
31	15.5	45
32	16.0	41

Ayrıca yapılan ölçümlerle serbest uzayda yayılım değerlerini kıyaslamak amacıyla hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen değerle Tablo 10 da gösterilmiştir.

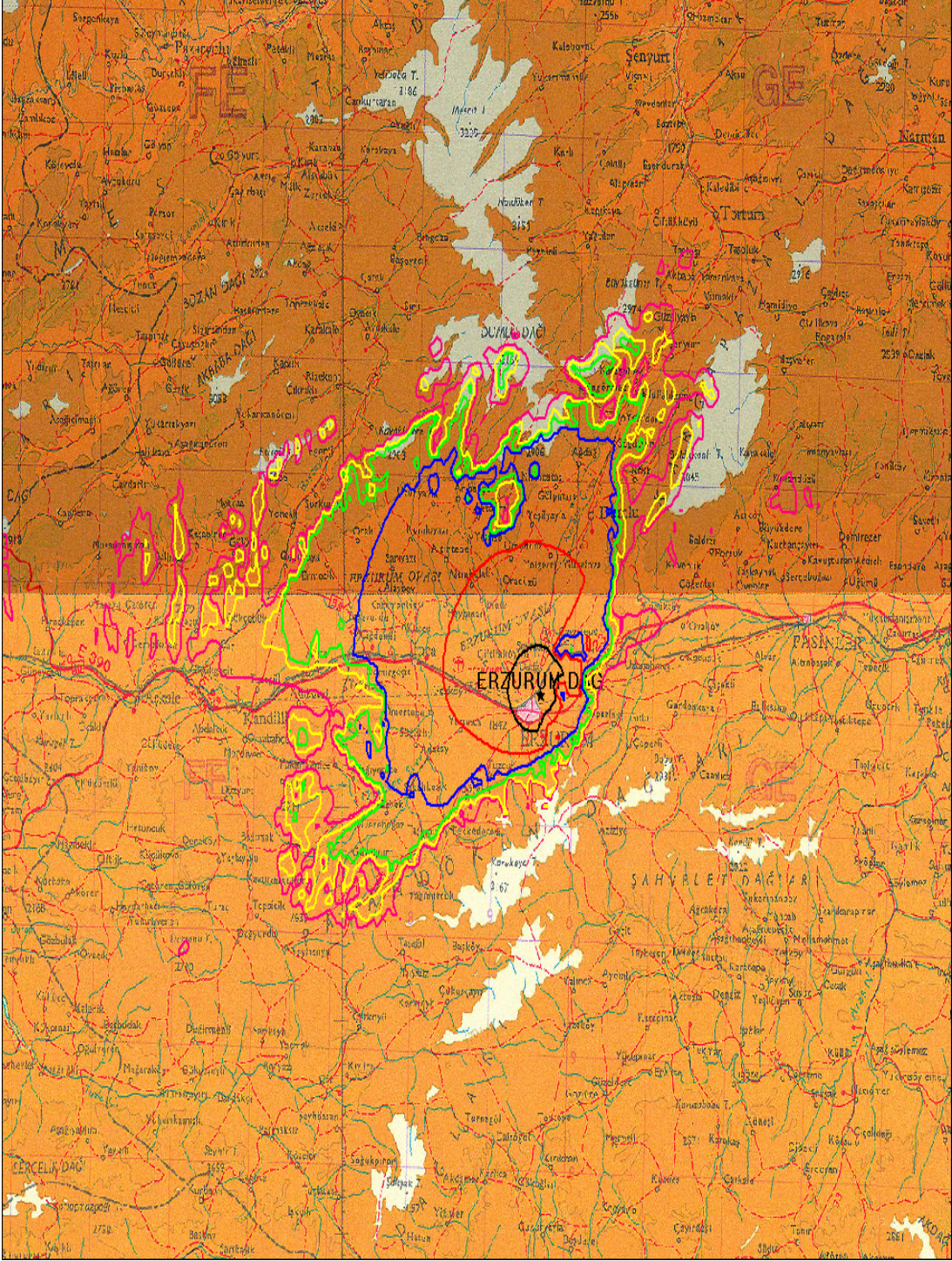
Tablo 10. TRT 1 için serbest uzayda alan şiddeti hesap sonuçları

39. KANAL TRT 1 HESAP SONUCU		
SIRA NO	MESAFE (km)	HESAP SONUCU (dBμV/m)
1	0.5	120.8
2	1.0	114.8
3	1.5	111.2
4	2.0	108.8
5	2.5	106.8
6	3.0	105.2
7	3.5	103.9
8	4.0	102.7
9	4.5	101.7
10	5.0	100.8
11	5.5	99.9
12	6.0	98.5
13	6.5	98.5
14	7.0	97.7
15	7.5	97.2
16	8.0	96.7
17	8.5	96.1
18	9.0	95.7
19	9.5	95.2
20	10.0	94.8
21	10.5	94.3
22	11.0	93.9
23	11.5	93.5
24	12.0	93.1
25	12.5	92.8
26	13.0	92.5

TRT 1 vericisi için simülasyon programı kullanılarak alan kapsama haritaları şekil 16, 17 de gösterilmiştir. Alan kapsama haritaları elde edilirken Epstein- Peterson ve Deygout kırınım modelleri kullanılmıştır.



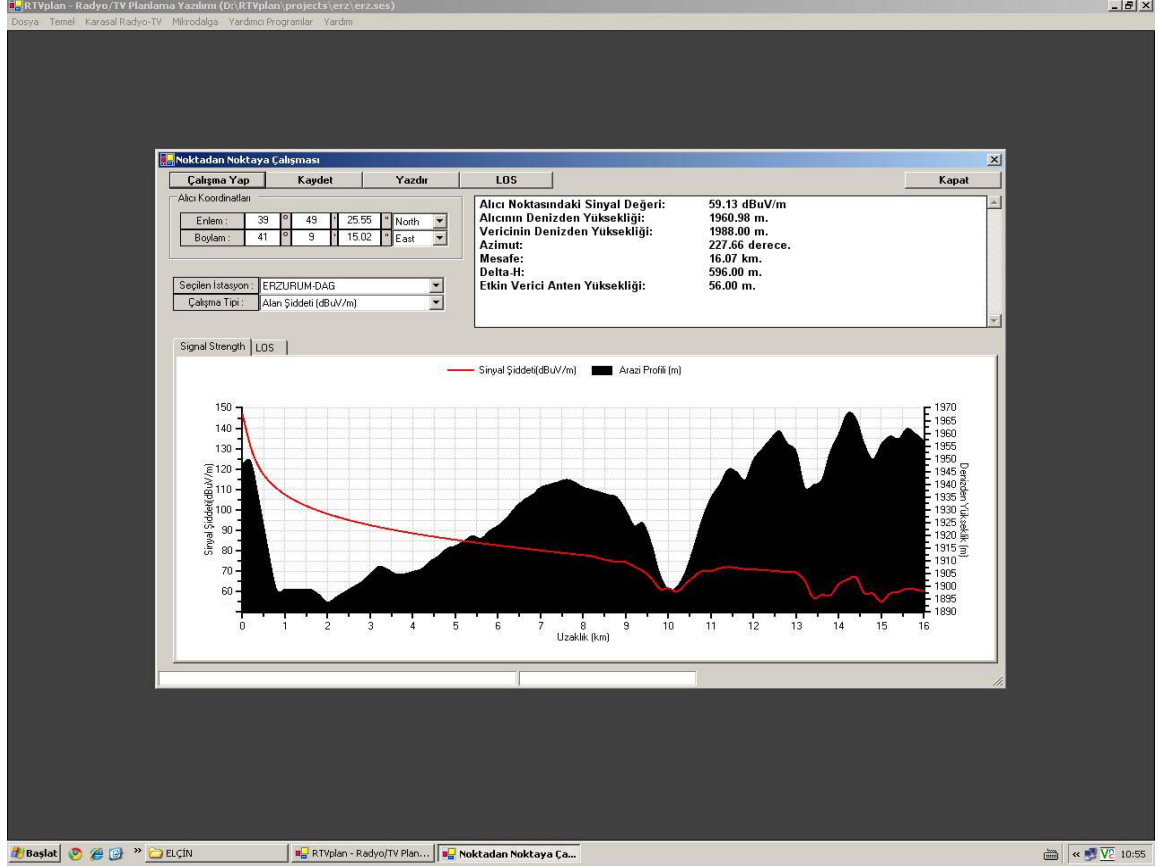
Şekil 16. TRT 1 vericisi için epstein-peterson metodu ile kapsama alanı



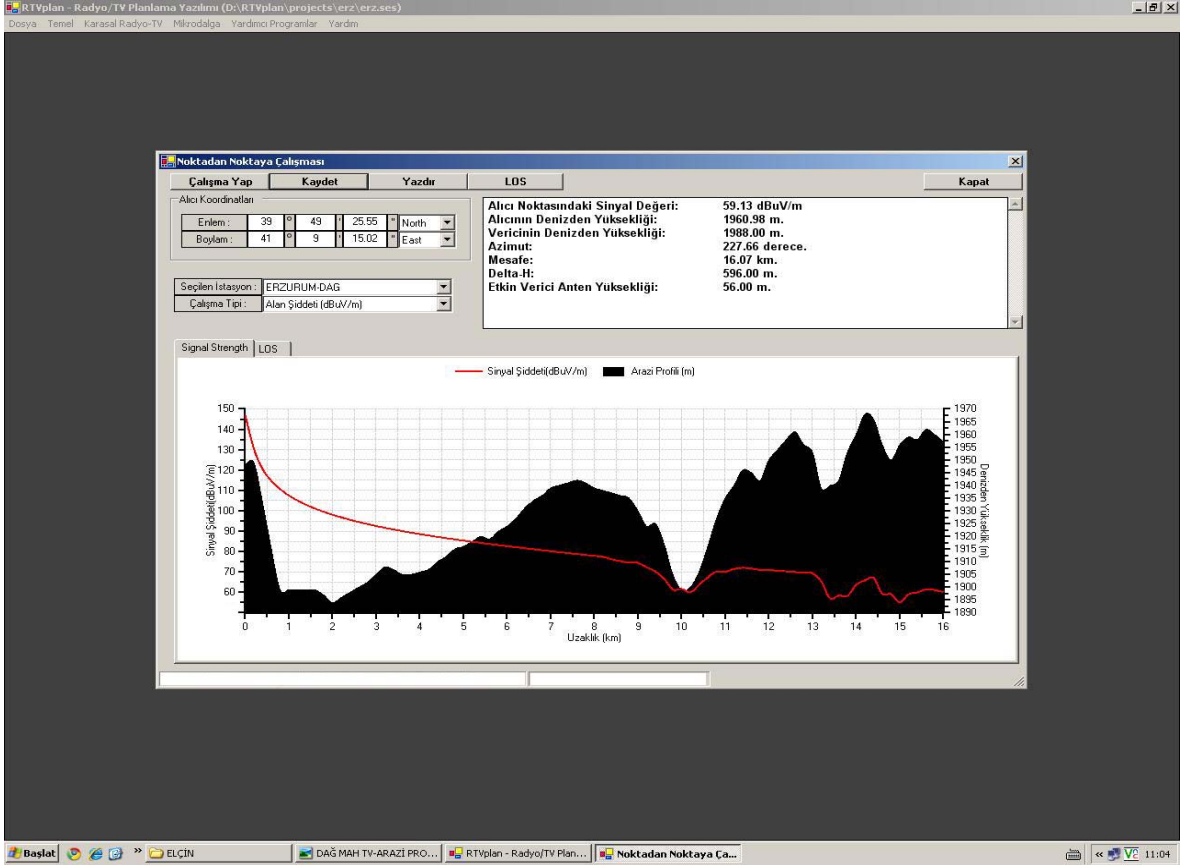
Şekil 17. TRT 1 vericisi için deygout metodu ile kapsama alanı

Şekil 16, 17 deki kapsama alanlarından da antenin 3 yöne olduğu görülmektedir. Verici Erzurum merkezine yayın yapmak üzere kurulmuştur.

Kırınımların alan şiddeti üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, simülasyon programında Epstein- Peterson ve Deygout modelleri kullanılarak elde edilen arazi profili- alan şiddeti grafikleri şekil 18 ve 19 da gösterilmiştir.



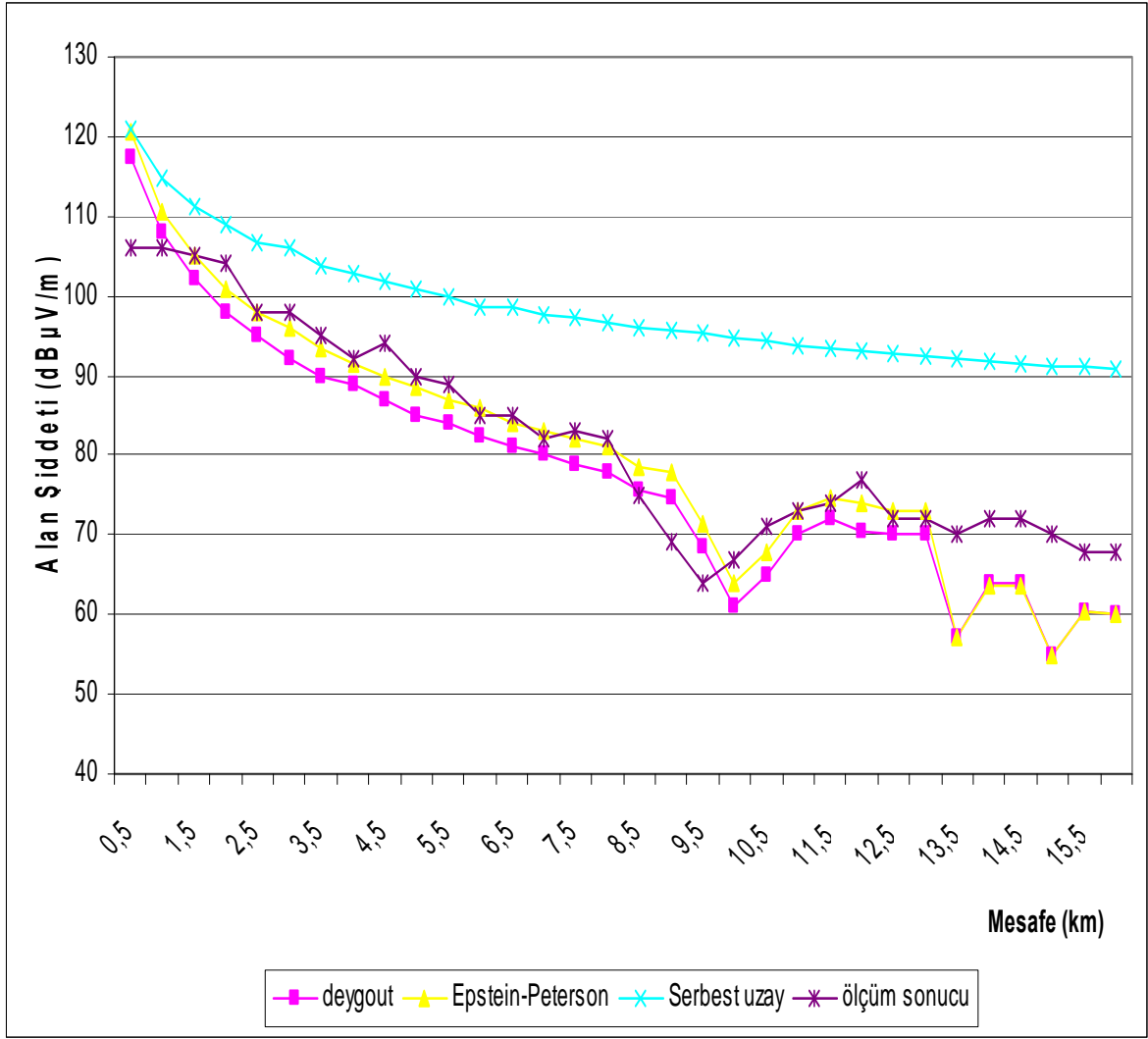
Şekil 18. TRT 1 vericisi için arazi bilgisi ve epstein-peterson metodu ile alan şiddeti



Şekil 19. TRT 1 vericisi için arazi bilgisi ve deygout metodu ile alan şiddeti

Yukarıdaki şekillerde kırmızı alan şiddeti değerini, siyah ise arazi yüksekliğe bağlı değişimini mesafeye bağlı olarak vermektedir. Bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere engellerin alan şiddeti üzerindeki olumsuz etkileri görülmektedir. 10., 13,5. ve 15. km lerde arazideki yükseltilerden dolayı alan şiddet değerinde belirgin bir düşüş olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 11 de, grafiksel olarak da Şekil 20 de gösterilmiştir.



Şekil 20. TRT 1 vericisi için sonuçlarının grafiksel gösterimi

Tablo 11. TRT 1 vericisi için toplu sonuçlar (ölçüm sonucu, deygout, epstein-peterson ve serbest uzay)

TRT 1 İÇİN ÖLÇÜM VE HESAP SONUÇLARI				
MESAFE (km)	DEYGOUT METODU (dB^μ V/m)	EPSTEİN-PETERSON METODU (dB^μ V/m)	SERBEST UZAY (dB^μ V/m)	ÖLÇÜM SONUÇLARI (dB^μ V/m)
0,5	117,5	120,5	120,8	106
1,0	108,0	110,5	114,8	106
1,5	102,0	105,0	111,2	105
2,0	98,0	101,0	108,8	104
2,5	95,0	98,0	106,8	98
3,0	92,0	96,0	106,2	98
3,5	90,0	93,5	103,9	95
4,0	89,0	91,5	102,7	92
4,5	87,0	90,0	101,7	94
5,0	85,0	88,5	100,8	90
5,5	84,0	87,0	99,9	89
6,0	82,5	86,0	98,5	85
6,5	81,0	84,0	98,5	85
7,0	80,0	83,0	97,7	82
7,5	79,0	82,0	97,2	83
8,0	78,0	81,0	96,7	82
8,5	75,5	78,5	96,1	75
9,0	74,5	78,0	95,7	69
9,5	68,5	71,5	95,2	64
10,0	61,0	64,0	94,8	67
10,5	65,0	68,0	94,3	71
11,0	70,0	73,0	93,9	73
11,5	72,0	74,5	93,5	74
12,0	70,5	74,0	93,1	77
12,5	70,0	73,0	92,8	72
13,0	70,0	73,0	92,5	72
13,5	57,0	57,0	92,2	70
14,0	64,0	63,5	91,9	72
14,5	64,0	63,5	91,5	72
15,0	55,0	55,0	91,2	70
15,5	60,5	60,5	91,0	68
16,0	60,0	60,0	90,7	68

Tablo 11 ve şekil 20 incelenecek olursa ölçüm sonuçları ile kırınım modellemelerinin (Epstein- Peterson ve Deygout) kullanıldığı simülasyon programı ile elde edilen sonuçların birbirlerine yakın değerler olduğu görülmektedir. Serbest uzay yöntemiyle hesaplanan alan şiddeti değerinin yakın mesafelerde ölçüm sonuçları ile kırınım modellemeleri ile elde edilen değerlere daha yakın olduğu, mesafe arttıkça aradaki değerlerin daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin, Şekil 18, 19 da görüleceği gibi arazi yapısı, anten yüksekliği, istasyonun bulunduğu mevkideki rakımın olabileceği düşünülebilir.

Benzer çalışmalar, TRT FM vericisi içinde yapıldı. Palandöken mevkiinde bulunan verici 98.8 MHz' de yayın yapmaktadır. TRT FM vericisi için Yoncalık mahallesi, Çaykara Caddesi ve Çevre yolunda olmak üzere 3 ayrı güzergahta ölçümler yapıldı. Kazanç ve frekans bilgilerinin elde edildiği Spektrum Analizör görüntüsü şekil 21 de verilmiştir. Promax ProLink alan şiddeti cihazı ile yapılan ölçüm sonuçları Tablo 12,13, 14 de sunulmuştur. Bu değerler alan şiddeti cihazından okunan değerler olup anten kazanç faktörü eklenmemiştir.



Şekil 21. TRT FM vericisinin spectrum analizör cihaz görüntüsü

Tablo 12. Yoncalık mahallesi için TRT FM ölçüm değerleri

98.8 MHz TRT FM Ölçüm Tablosu		
SIRA NO	MESAFE (Km)	ÖLÇÜM DEĞERİ (dBμV)
1	0,5	108
2	1	101.6
3	1,5	101.6
4	2	98.6
5	2,5	96.6
6	3	93
7	3,5	95
8	4	85
9	4,5	60
10	5	89
11	5,5	90
12	6	84.6
13	6,5	84
14	7	84.7
15	7,5	84.7
16	8	89.6
17	8,5	89
18	9	90
19	9,5	85.6
20	10	83.6
21	10,5	84.6
22	11	90.6
23	11,5	89.6
24	12	90
25	12,5	85.6
26	13	85.7
27	13,5	82.6
28	14	84.6
29	14,5	80.4
30	15	80.4

Tablo 13. Çaykara mevkii için TRT-FM lim değerleri

98.8 MHz TRT Fm lim Tablosu		
SIRA NO	MESAFE (Km)	LİM DEğERİ (dBμV)
1	0,5	108.6
2	1	107
3	1,5	101.6
4	2	96.6
5	2,5	96.6
6	3	90.6
7	3,5	90.6
8	4	87.6
9	4,5	90.2
10	5	90
11	5,5	89.2
12	6	89.2
13	6,5	87
14	7	85
15	7,5	85
16	8	89.6
17	8,5	89.6
18	9	87.2
19	9,5	85
20	10	83
21	10,5	84.9
22	11	85.6
23	11,5	88.6
24	12	89.6
25	12,5	90.6
26	13	89.6
27	13,5	89
28	14	86.6
29	14,5	84.6
30	15	80.6

Tablo 14. Çevre yolu için TRT-FM ölçüm değerleri

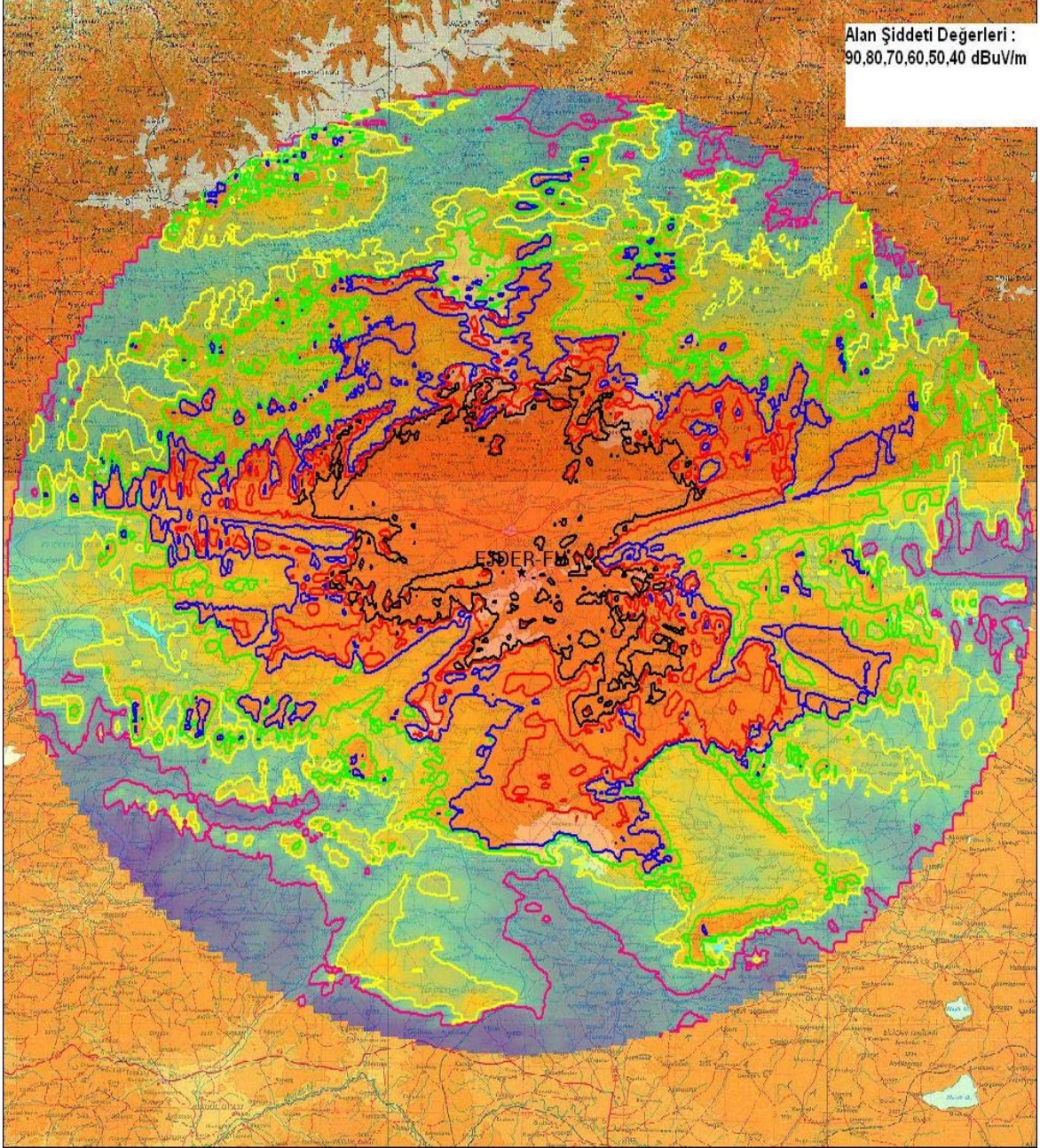
98.8 MHz TRT Fm Ölçüm Tablosu		
SIRA NO	MESAFE (Km)	ÖLÇÜM DEĞERİ (dBµV)
1	0,5	108.6
2	1	101.6
3	1,5	96.6
4	2	95.9
5	2,5	87.6
6	3	78.6
7	3,5	79.6
8	4	84.6
9	4,5	83.6
10	5	89.6
11	5,5	91.6
12	6	91.6
13	6,5	90.6
14	7	90.6
15	7,5	90
16	8	89.6
17	8,5	89.6
18	9	89.2
19	9,5	86.6
20	10	87.6
21	10,5	85.6
22	11	85.6
23	11,5	85.6
24	12	85.3
25	12,5	84.9
26	13	84.7
27	13,5	84.6
28	14	84.6
29	14,5	84.6
30	15	84.6

Ayrıca yapılan ölçümlerle TRT FM için de serbest uzayda yayılım değerlerini kıyaslamak amacıyla hesaplanmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 10 da gösterilmiştir.

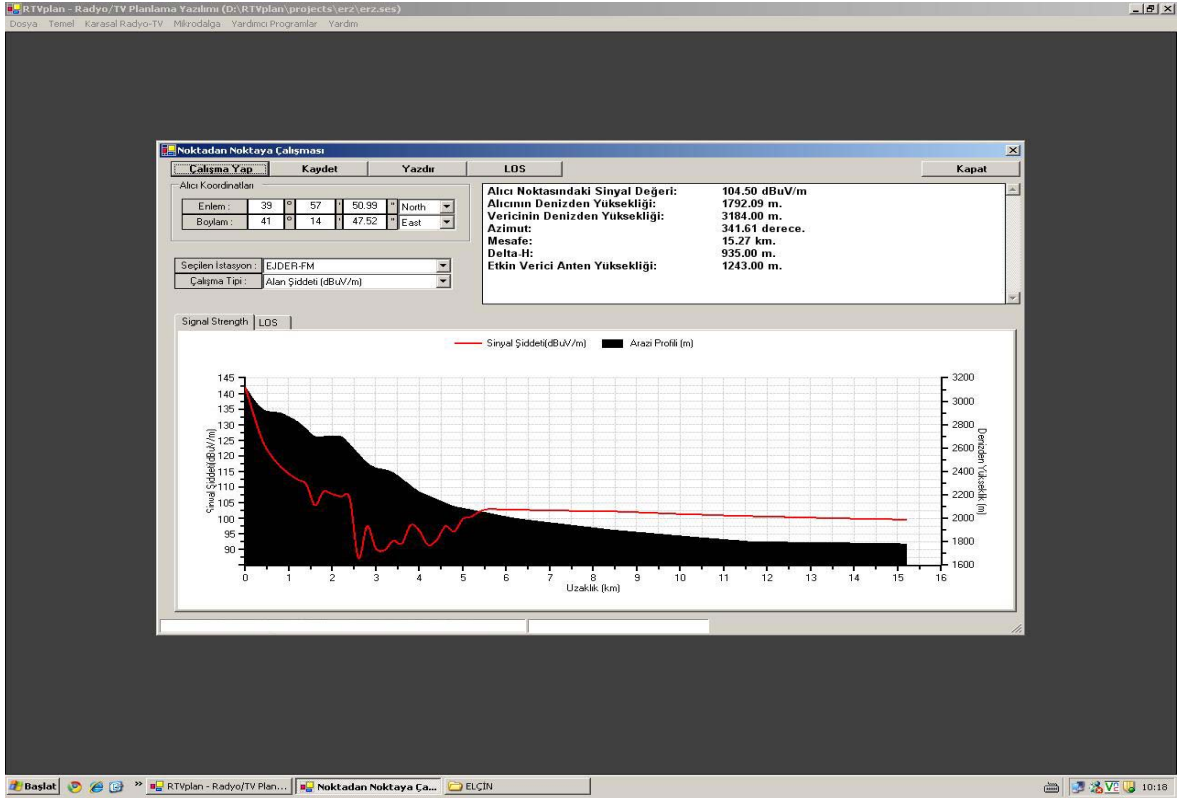
Tablo 15. TRT FM için serbest uzayda alan şiddeti hesap sonuçları

TRT FM İÇİN HESAP SONUÇU		
SIRA NO	MESAFE (Km)	HESAP SONUCU (dBμV/m)
1	0,5	133,33
2	1	127,31
3	1,5	123,79
4	2	121,29
5	2,5	119,35
6	3	117,77
7	3,5	116,43
8	4	115,27
9	4,5	114,25
10	5	113,33
11	5,5	112,51
12	6	111,75
13	6,5	111,05
14	7	110,41
15	7,5	109,81
16	8	109,25
17	8,5	108,72
18	9	108,23
19	9,5	107,76
20	10	107,31
21	10,5	106,89
22	11	106,48
23	11,5	106,1
24	12	105,73
25	12,5	105,37
26	13	105,03
27	13,5	104,71
28	14	104,39
29	14,5	104,08
30	15	103,79

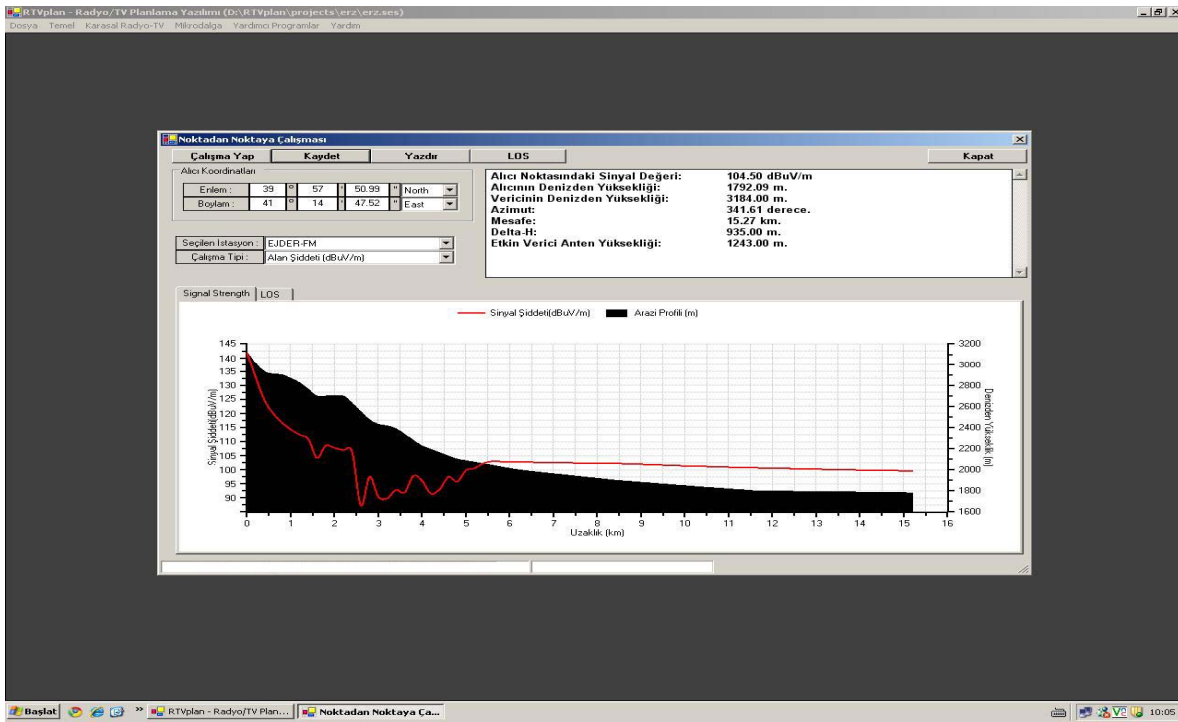
TRT FM vericisi için simülasyon programı kullanılarak alan kapsama haritaları şekil 22, 23 de gösterilmiştir. Alan kapsama haritaları elde edilirken Epstein- Peterson ve Deygout kırınım modelleri kullanılmıştır.



Şekil 22. TRT FM için epstein-peterson metodu ile kapsama alanı



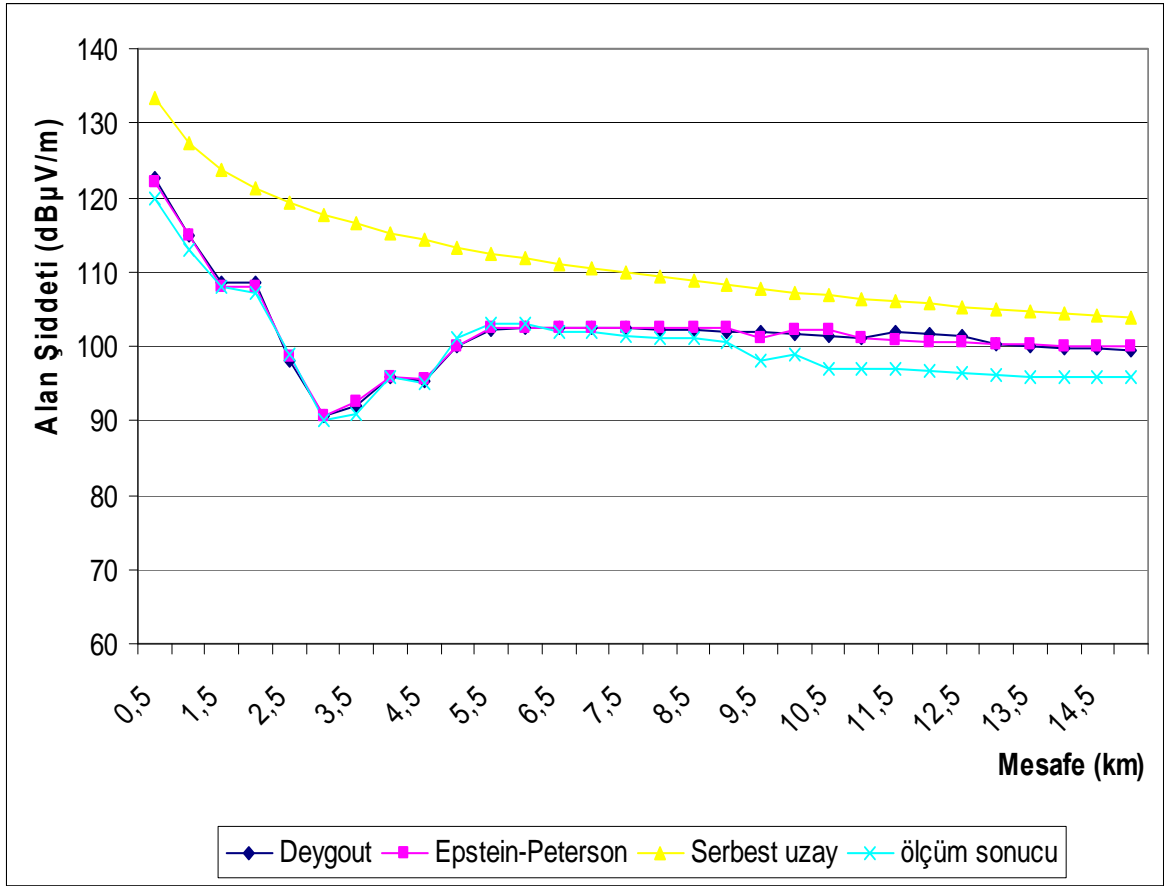
Şekil 24. TRT FM için arazi bilgisi ve deygout metodu ile alan şiddeti



Şekil 25. TRT FM için arazi bilgisi ve epstein-peterson metodu ile alan şiddeti

Yukarıdaki şekillerde kırmızı alan şiddeti değerini, siyah ise arazi yüksekliğe bağlı değişimini mesafeye bağlı olarak vermektedir. Bu grafiklerde arazi yapısının alan şiddeti üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. 2.5 ve 4.5 km deki alan şiddeti değerindeki düşüşten ve 5,5 km den sonra alan şiddeti değerinin istikrarlı halinden arazi yapısının ve engellerin etkisi anlaşılabilir.

TRT FM vericisi için yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 16 da, grafiksel olarak da Şekil 26 de gösterilmiştir.



Şekil 26. TRT FM için ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

Tablo 16. TRT FM için Ölçüm Sonucu ve Hesap Sonuçları (Deygout, Epstein-Peterson ve Serbest Uzay)

TRT-FM İÇİN ÖLÇÜM VE HESAP SONUÇLARI				
MESAFE (Km)	DEYGOUT METODU (dBμV/m)	EPSTEİN-PETERSON METODU (dBμV/m)	HESAP SONUCU (dBμV/m)	ÖLÇÜM SONUÇLARI (dBμV/m)
0,5	122,5	122	133,33	120
1	115	115	127,31	113
1,5	108,6	108	123,79	108
2	108,6	108	121,29	107,3
2,5	98	98,5	119,35	99
3	90,5	90,5	117,77	90
3,5	92	92,5	116,43	91
4	96	96	115,27	96
4,5	95,3	95,5	114,25	95
5	100	100	113,33	101
5,5	102,3	102,5	112,51	103
6	102,5	102,5	111,75	103
6,5	102,5	102,6	111,05	102
7	102,4	102,6	110,41	102
7,5	102,4	102,5	109,81	101,4
8	102,2	102,5	109,25	101
8,5	102,2	102,4	108,72	101
9	102	102,4	108,23	100,6
9,5	101,8	101,2	107,76	98
10	101,6	102,1	107,31	99
10,5	101,3	102,1	106,89	97
11	101	101	106,48	97
11,5	100,8	100,8	106,1	97
12	100,6	100,6	105,73	96,7
12,5	100,4	100,5	105,37	96,3
13	100,2	100,4	105,03	96,1
13,5	100	100,3	104,71	96
14	99,8	100,1	104,39	96
14,5	99,6	100	104,08	96
15	99,5	99,9	103,79	96

Tablo 16 ve Şekil 26 incelenecek olursa 5.5 km ye kadar olan bölümde ölçüm sonuçları ile Epstein- Peterson ve Deygout kırınım modellemelerinin kullanıldığı simülasyon programı ile elde edilen sonuçların birbirlerine yakın değerler olduğu, fakat 6.0 km den sonra bu değerlerin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

Bunu biraz daha irdeleyecek olursak, Erzurum Şehrinin ova üzerine kurulu olduğu ve vericinin Palandöken dağının 3176 metresinde kurulduğu belirtilmişti. 2 ila 5.5 km arasında kalan bölüm Palandöken dağının alt kısımlarıdır. Antende tilt yoktur. Bu bölgede dağın oluŐturduđu engellerden dolayı alan Şiddeti değerı düŐüktür. Mesafe arttıka (6.0 km den sonra) ve arada da herhangi bir engel olmadığı için alan Şiddeti değerı pratikte ki değer yaklaŐmaktadır.

TRT 1 ve TRT FM vericileri için ölçüm çalışmaları yapılırken çekilen fotoğraflar Şekil 27 ve 28 de verilmiştir.



Şekil 27. TRT FM vericisi için palandöken dağında yapılan ölçüm çalışması



Şekil 28: TRT 1 vericisi için dağ mahallesinde yapılan ölçüm çalışması

3. SONUÇ

TRT 1 ve TRT FM vericileri için Erzurum şehrinin değişik bölgelerinde yapılan ölçümler, Epstein- Peterson ve Deygout modelleri kullanılarak simülasyon programıyla elde edilen değerler ve serbest uzay yöntemiyle yapılan hesaplamalar Tablo 11 ve 16 da sunulmuştur. Elde edilen veriler Şekil 20 ve 26 da grafiksel olarak gösterilmiştir.

Bu veriler ışığında;

1- TRT 1 vericisi için Epstein- Peterson ve Deygout modelleri kullanılarak elde edilen değerler ölçüm sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Serbest uzay yöntemiyle yapılan hesaplamaların yakın mesafede benzeştiği, mesafe arttıkça farkın arttığı görülmektedir.

2- TRT FM vericisi için de Epstein- Peterson ve Deygout modelleri kullanılarak elde edilen değerler ölçüm sonuçları ile benzerlik gösterdiği, değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Serbest uzay yöntemiyle yapılan hesaplamaların yakın mesafede aradaki farkın fazla olduğu, mesafe arttıkça farkın azaldığı ve benzeştiği görülmektedir.

3- TRT 1 vericisi için şekil 18 ve 19 da, TRT FM vericisi için de şekil 24 ve 25 de arazi profili- alan şiddeti değeri incelendiğinde arazi yapısının ve engellerin sinyal üzerindeki etkisi anlaşılmaktadır.

4- Yukarıda bahsedildiği üzere TRT 1 vericisi Dağ Mahallesi mevkiinde 1990 m. yükseklikte, TRT FM vericisi ise Palandöken Dağında 3176 m. yükseklikte bulunmaktadır. Erzurum şehrinin rakımı ise yaklaşık 1900 m. dir.

TRT FM vericisinden elde edilen alan şiddeti değerleri TRT 1 vericisinden elde edilen alan şiddeti değerlerinden daha büyüktür. Ayrıca daha uzak mesafelerde daha iyi yayın yaptığı da anlaşılmaktadır. Bu veriler ışığında verici planlamasında verici gücünün, anten yüksekliğinin ve vericinin bulunduğu konumun (yayın yapılacak bölgeye hâkim bir yükseklik) önemi anlaşılmaktadır.

5- TRT FM vericisi için elde edilen sonuçlarla oluşturulan grafik (Şekil 26) incelendiğinde, 2.5 km de sinyal seviyesinde meydana gelen düşüşün mesafe büyüdükçe alan şiddeti değerindeki artışın bir sebebinin de tilt olmayışından kaynaklandığı düşünülebilir.

6- Yapılan ölçüm sonuçlarının simülasyon programıyla elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği daha önce belirtilmişti. Program yardımıyla alan şiddet haritası

ıkarılabilir. Verici gücü, anten yüksekliği ve verici istasyonun yeri de bu program yardımıyla belirlenebilir.

4. ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma elektromanyetik alan şiddet dağılımının belirlenmesi için değişik zaman aralıklarında, çok veri toplamakla, birçok noktada ölçümler yapmakla ve bu verilerin işlenmesinin önemini göstermektedir. Elde edilen bu verilerin bilgisayar ortamında yapılan simülasyon programlarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Doğru modelleme yapabilmesi için yer ve zaman yüzdeleri belirleyebilmek için birçok ölçü yapılması gerekir. Ayrıca simülasyon programında kullanılan harita bilgilerinin doğruluğu da önemlidir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda oluşturulan simülasyon programıyla istenilen frekansın istenilen yerin elektromanyetik şiddet dağılım haritası çıkarılabilir. Planlama aşamasında zaman ve işgücünden tasarruf sağlanmış olur.

5. KAYNAKLAR

1. Güngör, Y., FM Bandında (92.4 MHz) Ankara Bölgesi için Elektromanyetik Alan Şiddet Dağılımının İncelenmesi, Ankara, 2005
2. Altıntaş, A., Spektrum Mühendisliği ve Teknik Analiz Kurs Notları, Ankara, 2002
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum

ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kastamonu'da tamamladı. 1990 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 1991 de PTT Vericiler Bölge Müdürlüğünde göreve başladı. 1994 yılında PTT Başmüdürlüğünde Bilişim Ağları Servisinde çalıştı. 2001 yılında TRT Kurumuna naklen geçiş yaptı. Halen TRT Kurumunda Başmühendis olarak görev yapmakta olup orta derecede İngilizce bilmektedir.