

## Mikrodalga Karasal Radyo Link Analiz ve Simülasyonlarının Rec. ITU-R P.530 Tavsiyesine Uygun Olarak Gerçeklenmesi

Polat Göktaş<sup>1</sup>, Satılmış Topcu<sup>2</sup>, Ezhan Kardeşan<sup>1</sup> ve Ayhan Altıntaş<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup> İletişim ve Spektrum Yönetimi Araştırma Merkezi (İSYAM)

Bilkent Üniversitesi

TR - 06800, Bilkent, Ankara

[pgoktas@ee.bilkent.edu.tr](mailto:pgoktas@ee.bilkent.edu.tr), [topcu@ee.bilkent.edu.tr](mailto:topcu@ee.bilkent.edu.tr), [ezhan@ee.bilkent.edu.tr](mailto:ezhan@ee.bilkent.edu.tr), [altintas@ee.bilkent.edu.tr](mailto:altintas@ee.bilkent.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada, NATO Band 3+ (1350 – 2690 MHz) ve NATO Band 4 (4400 – 5000 MHz) frekanslarında çalışan karasal mikrodalga radyo linklerin analizi için gerekli olan yansıma noktası hesabının iyileştirilmesi ve yansımadan dolayı oluşan çok yollu sönümlenme yayılım mekanizmasının en kötü aydaki link kullanılabilirliğinin hesaplanması ele alınmıştır. TX (verici) ve RX (alıcı) istasyonlarının koordinat bilgileri, radyo linkin TX ve RX istasyonları arasındaki mesafesi, TX ve RX antenlerinin yerden yükseklikleri ve kazançları, polarizasyon tipi, radyo kırılma indisi, zamanın yüzdesi, SNR, sayısal arazi yükseklik haritası ve iklimsel veriler gibi yayılım parametreleri kullanılarak çeşitli linkler için analizler yapılmıştır. Yağmur ve atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflamayı dikkate alarak alıcıdaki güç seviyesi hesaplanmıştır ve yansımadan kaynaklanan çok yollu sönümlenmenin en kötü aydaki link kullanılabilirliği üzerindeki etkileri incelenmiştir.

**Abstract:** In this study, the calculation method of reflection points on the terrain path profile is improved and the worst month link availability of multipath fading propagation mechanism due to reflection point(s) is investigated for terrestrial microwave links operating in NATO Band 3+ (1350 – 2690 MHz) and NATO Band 4 (4400 – 5000 MHz) frequency ranges. Several links are analyzed using the propagation parameters such as TX and RX station coordinates, path length, antenna heights (above ground level), antenna gains, polarization, radio refractivity gradient, time percentage, SNR (Signal to Noise Ratio), digital terrain elevation and climate data. Received power are calculated by taking into consideration the attenuation due to rain and atmospheric gase and the effect of multipath fading due to reflection point(s) on the worst month link availability is investigated in these analyses.

### 1. Giriş

Bu çalışmada amaç mikrodalga radyo linklerinin analiz ve simülasyonlarının Rec. ITU-R P.530 Tavsiyesine uygun olarak gerçekleşmesidir. Ayrıca, çok yollu sönümlenmeye neden olan yansıma noktalarının hesabının iyileştirilmesi ve sönümlenme marjinin hesaplanmasının formülasyonu geliştirilmesi hedeflenmiştir. Literatürde radyo linklerindeki çok yollu sönümlenme mekanizması ve yol kaybı hesaplanması durumlarında, yaygın olarak Barnett – Vigants [1], Morita [2] ve Rec. ITU-R P.530 [3] analitik metodları uygulanmaktadır.

Türkiye coğrafyası için Barnett – Vigants modelinde jeoklimatik faktörü tek değer alırken, Morita modelinde ise coğrafyanın dağlık, düzlük ve kıyıya yakın olan bölgeleri için üç farklı değer alabilmektedir. Ancak Türkiye coğrafyasında Rec. ITU-R P.530 [3] modelinde ise kırınım indisine ve arazi engebesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ericssonwide Internal Report dokümanında [4] ve Olsen-Tjelta makalesinde [5] ifade edildiği üzere, dünyanın etrafında birçok bölge için üç çok yollu sönümlenme metodunun uygulamalarında gösteriyor ki Rec. ITU-R P.530 [3] metodu karasal, ayrıca dağlık ve dağlık olmayan linklerde düz-sönümlenme istatistiklerinde en başarılı performansı vermektedir. Çalışmamızda, bu sebeplerden dolayı mikrodalga radyo linklerin analizinde metod olarak Rec. ITU-R P.530 [3] kullanılmıştır.

### 2. Yayılım Mekanizmalarının Analiz Yöntemi

Bu bölümde, mikrodalga radyo linkleri için alıcıdaki güç seviyesinin ve en kötü aydaki link kullanılabilirliğinin hesaplanmasındaki yayılım mekanizmaları açıklanacaktır.

#### 2.1 Atmosferik gazlardan kaynaklanan sinyal gücünün zayıflaması

Atmosferik gaz kayıpları (Agas), oksijen ve su buharı ve diğer gaz bileşenlerinin atmosfer içerisinde hareket eden elektromanyetik dalgaları soğurmasından kaynaklanmaktadır. Atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflama, 10 GHz altındaki frekanslarda 0.01 dB/km'nin altındadır ve bu nedenle NATO Band 3+ ve 4 frekans-

larında ihmal edilecek kadardır. Rec. ITU-R P. 530 Tavsiyesinde [3], atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflamanın 10 GHz üzerindeki frekanslarda maksimuma ulaşacağı belirtilmektedir.

## 2.2 Yağmurdan kaynaklanan zayıflama

Yağmur damlacıkları, radyo sinyallerinin zayıflamasına neden olmaktadır. Radyo link mesafesi 68.29 km'lik Polatlı – HüseyinGazi radyo linkinde üç değişik frekans için atmosferik etkilerden kaynaklanan zayıflamanın değişimi Tablo 1'de görülmektedir. Yağmurdan kaynaklanan zayıflama, 27.81 mm/h yağış miktarı için verilmiştir.

**Tablo 1.** Polatlı – HüseyinGazi radyo linkindeki atmosferik etkilerinden kaynaklanan zayıflama

Atmosferik etki	1.350 GHz	2 GHz	5 GHz
Atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflama	0.33 dB	0.37 dB	0.48 dB
Yağmurdan kaynaklanan zayıflama (27.81 mm/h )	0.10 dB	0.14 dB	0.89 dB

NATO Band 3+ frekans bandında yağmurdan kaynaklanan zayıflama, atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflamaya göre daha küçüktür. 5 GHz üzerindeki frekanslarda ise yağmurdan kaynaklanan zayıflama, 1 dB'nin üzerinde olmaktadır. Yağmur kayıpları polarizasyon ile değişmektedir ve yatay polarizasyon kullanıldığında kayıp miktarı artmaktadır.

## 2.3 Kırınımdan kaynaklanan kayıp

Mikrodalga radyo linklerinde kırınımdan kaynaklanan kayıp hesabında Rec. ITU-R P.526 Tavsiyesinde [6] bahsedilen kama kırınım modeli kullanılmaktadır. Arazi profilindeki kırınımdan kaynaklanan kayıp hesaplanmasında aşağıdaki algoritma takip edilmektedir.

- Blokajlar eğer birinci Fresnel Bölgesi'nin %60'nı kapsayan ellipsoidin altında ise kırınımdan kaynaklanan kayıp 0 dB'dir.
- Blokajlar birinci Fresnel Bölgesi'nin %60'nı kapsayan ellipsoidin içerisinde ve karasal görüş çizgisinin (LOS) altında ise Delta – Bullington kama kırınım modeli kullanılmaktadır. Karasal görüş çizgisi altında iken Epstein – Peterson ve Deygout kama kırınım modelleri kullanılmamaktadır.
- Blokajlar karasal görüş çizgisi (LOS) üzerinde iken üç farklı kama kırınım modeli kullanılmaktadır. Blokaj sayısı ikiden fazla (çoklu kama kırınım model) iken Epstein – Peterson ve Deygout kama kırınım modelleri için düzeltme faktörleri belirtilmediğinden kullanılmamaktadır. Rec. ITU- R P.526 Tavsiyesinde [6], Epstein – Peterson ve Deygout kama kırınım modellerinde blokaj sayısı iki (çift kama kırınım modeli) iken düzeltme faktörü ile kırınım kaybı hesaplanmaktadır.
- Arazi profilinde kama kırınım modelleri ile kırınım kaybı hesaplandıktan sonra Rec. ITU-R P.530 Tavsiyesinde [3], kırınım kaybı eğer 15 dB'den büyük ise o zaman arazi profilindeki belirgin blokajın denizden olan yüksekliği ve verici istasyonundan olan uzaklığına göre tekrar kırınım kaybı hesaplanır.

## 2.4 Yansıma noktasından kaynaklanan kayıp

Karasal mikrodalga radyo linklerinde yansıma noktasından oluşan çok yollu sönümlenme yayılım mekanizmasının en kötü aydaki link kullanılabilirliğinin hesaplanması gösterilmektedir. Gerekli olan yansıma noktalarının hesaplanmasında kullanılan algoritma Şekil 1'de verilmektedir.

Yansıma noktalarının hesaplanmasında kullanılan algoritma sonucu bulunan yansıma noktası adayları için tanımlanan polarizasyon tiplerinde yansıma katsayısı ( $\rho$ ) ve iraksaklık faktörü ( $D$ ) hesaplanır. Denklem (1)'de difüz yansıma katsayısı ( $\rho_{eff}$ ) formülü verilmektedir. Denklem (2)'de ise anten ayrımcılığında verici ile alıcı istasyonları arasındaki direk sinyale göre yansıyan noktaların sinyallerinin zayıflama ( $L_a$ ) formülü verilmektedir.  $\alpha_{TX}$  ve  $\alpha_{RX}$  katsayıları, verici ve alıcı istasyonlar arasındaki direk ile yansıyan sinyaller arasındaki açıdır. Denklem (3)'de ise verilen formül yansıyan noktalardan kaynaklanan toplam yansıma kaybını ( $L_s$ ) ifade etmektedir.

$$\rho_{eff} = \rho D \quad (1)$$

$$L_a = 12 \left[ \left( \frac{\alpha_{TX}}{HPBW_{TX}} \right)^2 + \left( \frac{\alpha_{RX}}{HPBW_{RX}} \right)^2 \right] \quad (dB) \quad (2)$$

$$L_s = L_a - 20 \log \rho_{eff} \quad (dB) \quad (3)$$

Eğer birden fazla yansıma noktası adayı varsa tanımlanan mikrodalga radyo linkinde yansıma kaybı olarak yansıyan noktalardan kaynaklanan toplam yansıma kayıpların en düşüğü yani  $\min\{L_s\}$  alınır.

```

Yansıma Noktalarının Hesaplanmasındaki Algoritma
1: procedure YansımaNoktası()
2:   for arazi profilindeki her bir nokta i = 1→n do
3:     m(i), yeryüzü eğimi
4:     mTX(i), arazi profilindeki noktanın verici istasyonu ile yapmış olduğu eğimi
5:     mRX(i), arazi profilindeki noktanın alıcı istasyonu ile yapmış olduğu eğimi
6:     ΘTX(i) = atan(m(i)) * 180/π - atan(mTX(i)) * 180/π
7:     ΘRX(i) = atan(mRX(i)) * 180/π - atan(m(i)) * 180/π
8:     Reflection(i) = ΘTX(i) - ΘRX(i) hesaplanır.
9:   end for
10:  for i = 1→n do
11:    if ((Reflection(i-1)>0 AND Reflection(i)<0) OR (Reflection(i-1)<0 AND Reflection(i)>0))
12:      Yansıma noktası adaylarının verici istasyonundan olan mesafelerini bulmak için doğrusal interpolasyon kullanılır.
13:      Yansıma noktası adaylarının denizden olan yüksekliklerini bulmak için doğrusal interpolasyon kullanılır.
14:      Yansıma noktası adaylarının hem verici hem de alıcı istasyon tarafından görünürlüğü kontrol edilir.
15:    end if
16:  end for
17: end procedure

```

Şekil 1. Yansıma noktalarının hesaplanmasında kullanılan algoritma

### 2.5 Sönümlenme marjinin formülasyonu

Mikrodalga radyo linklerinde serbest uzay kaybı dB cinsinden (4) nolu denklemde verilmektedir. Besleyici, konnektör ve diğer kayıp faktörleri de ilave kayıplar kategorisine dahil edilmiştir. Direk sinyalinin alıcıdaki güç seviyesi (5) nolu denklemde verilmektedir. Radyo linkinde yansıyan sinyalinin alıcı güç seviyesindeki etkisi (6) nolu denklemde gösterilmektedir. (7) nolu denklemde ise gürültü seviyesi formülü tanımlanmaktadır. En kötü aydaki link kullanılabilirliğinin hesaplanması için gerekli olan sönümlenme marjini (8) nolu denklemde verilmektedir.

$$FSL \text{ (dB)} = 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (4)$$

$$P_r \text{ (dBm)} = TX_{power} + G_{TX} + G_{RX} - \text{İlave Kayıp} - (FSL + A_{gas} + A_{rain} + A_{diff}) \quad (5)$$

$$P_{total} \text{ (dBm)} = 10 \log \left( 10^{10} \cdot \left( 1 - 10^{-\frac{\min\{L_s\}}{20}} \right) \right) \quad (6)$$

$$N \text{ (dBm)} = kTB \quad (7)$$

$$A \text{ (dB)} = P_{total} - N - SNR \quad (8)$$

### 3. Numerik Sonuçlar

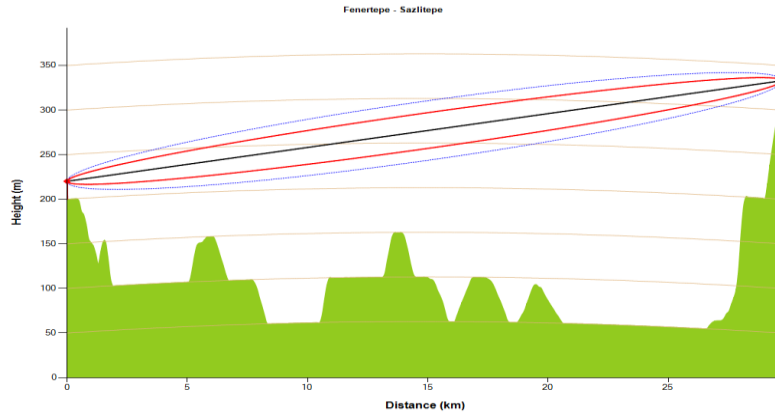
Verici ve alıcı istasyonu arasındaki arazi profilini 3×3 saniyelik çözünürlüğe (yaklaşık 100 metre) sahip DTED formatında Sayısal Arazi Yükseklik Haritası kullanılarak elde edildi. Simülasyon çalışması olarak iki farklı link çalışması yapıldı. Fenertepe – Sazlıtepe radyo linki karasal görüş çizgisi (LOS)'dir ama Polatlı – HüseyinGazi radyo linki ise karasal görüş çizgisi olmayan (NLOS) linktir. Tablo 2'de mikrodalga radyo linklerin çalışma parametreleri gösterilmektedir. Şekil 2 ve 3'de radyo linklerin arazi profilleri verilmektedir. Tablo 3'de ise linklerin çalışma sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 2. Örnek mikrodalga radyo linklerinin çalışma parametreleri

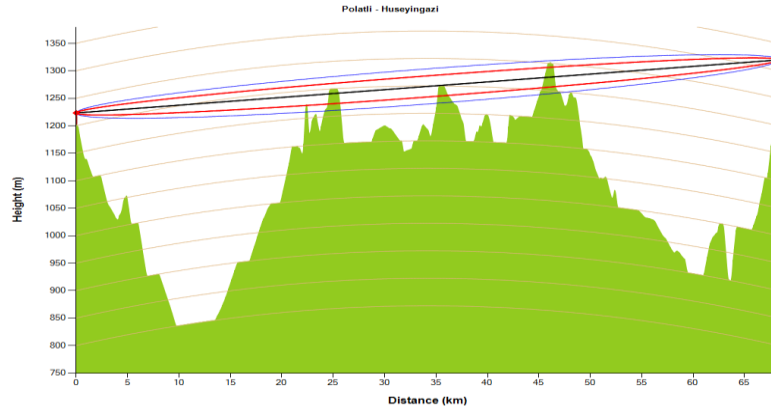
Parametre	Fenertepe – Sazlıtepe R/L	Polatlı – HüseyinGazi R/L
TX İstasyon koordinat	41 N 9' 2.4" 28 E 47' 9.6"	39 N 36' 38.0" 32 E 17' 35.0"
RX İstasyon koordinat	41 N 28' 42.8" 28 E 25' 51.89"	39 N 57' 17.0" 32 E 57' 18.0"
Frekans (GHz)	2	2
Radyo link mesafesi (km)	29.72	68.29
TX/RX antenin yerden yüksekliği (m)	20	20
TX/RX antenin kazancı (dBi)	27.15	27.15
TX çıkış gücü (dBm)	20	30
İlave kayıplar (dB)	1	1
Bant genişliği (MHz)	20	20
SNR (dB)	17.5	17.5
HPBW (degree)	8	8
Polarizasyon Tipi	Dikey	Yatay
Mevsim Tipi	Yaz	Kış
Toprak Tipi	Deniz Suyu	Orta Kuru Toprak

**Tablo 3.** Örnek mikrodalga radyo linklerinin çalışma sonuçları

Parametre	Fenertepe – Sazlıtepe R/L	Polatlı – HüseyinGazi R/L
Radyo kırılma indisi (N-units/km)	-456.54	-236.77
Arazi engebesi (m)	101.72	209.53
Yağış miktarı (mm/h)	38.94	27.81
Serbest uzay kaybı (dB)	127.98	135.21
Atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflama (dB)	0.20	0.37
Yağmurdan kaynaklanan zayıflama (dB)	0.23	0.14
Yansımadan kaynaklanan kayıp (dB)	2.05	0.00
Kırınımdan kaynaklanan kayıp (dB)	0.00	21.06
Alıcıdaki güç seviyesi (dBm)	-60.31	-74.43
Gürültü seviyesi (dBm)	-100.96	-100.96
Sönümlenme marjini (dB)	23.16	9.04
Link kullanılabilirliği (%)	<b>99.99</b>	<b>99.70</b>



**Şekil 2.** Fenertepe – Sazlıtepe mikrodalga radyo linkinin arazi profili



**Şekil 3.** Polatlı – HüseyinGazi mikrodalga radyo linkinin arazi profili

## Kaynaklar

- [1]. W. T. Barnett, "Multipath propagation at 4, 6 and 11 GHz," Bell System Technical Journal, vol. 51, no. 2, pp. 311–361, 1972.
- [2]. K. Morita, "Prediction of rayleigh fading occurrence probability of line of sight microwave links," Rev. Elec. Com. Lab, Japan, vol. 18, pp. 310–321, 1970.
- [3]. International Telecommunication Union, "Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems," Recommendation ITU-R P.530-15, 2013.
- [4]. KI/EAB/ZG/NH Tyrone Vieira, "Comparisons of Barnett-Vigants method with ITU-R link data base" EAB/G-03:002609 Uae Ericssonwide Internal Report, August 2003
- [5] R.L.Olsen, T.Tjelta, L.Martin and B.Segal, "Worldwide Techniques for Predicting the Multipath Fading Distribution on Terrestrial LOS Links: Comparison with Regional Techniques", IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 51, 23-30, 2003
- [6]. International Telecommunication Union, "Propagation by diffraction," Recommendation ITU-R P.526-13.