Sabit Karasal Mikrodalga LOS/NLOS Radyo Linklerin Enterferans Analizi

Interference Analysis of Fixed Terrestrial Microwave LOS/NLOS Radio Links

Polat Göktas^{1,2}, Satılmış Topcu², Ezhan Karaşan¹ ve Ayhan Altıntaş^{1,2}

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bilkent Üniversitesi

Ankara, TR-06800, Türkiye

{pgoktas, ezhan, altintas}@ee.bilkent.edu.tr

²İletişim ve Spektrum Yönetimi Araştırma Merkezi (İSYAM), Bilkent Üniversitesi

Ankara, TR-06800, Türkiye

topcu@ee.bilkent.edu.tr

Özetçe —Bu çalışmada, NATO Band 3+ (1350-2690 MHz) ve NATO Band 4 (4400-5000 MHz) frekans bantlarında çalışan sabit karasal mikrodalga LOS (karasal görüş çizgisi)/ NLOS (ufuk ötesi) radyo linkleri için enterferans modellenmesi ele alınmıştır. Sabit karasal noktadan-noktaya haberleşme sistemlerinde enterferansa maruz kalan istasyonlardaki hem açık havadaki hem de yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferansın hesaplanması yapılmıştır. Ayrıca, ITU-R P.452 Tavsiyesinde bahsedilen açık havadaki enterferans kaybının hesabındaki enterferans yayılım mekanizmaları incelenmiştir. Enterferansa neden olan verici ve enterferansa maruz kalan alıcı istasyonların koordinat bilgileri, enterferansa neden olan verici ve enterferansa maruz kalan alıcı istasyonların antenlerinin yerden yükseklikleri, anten ayrımcılığı, polarizasyon tipi, radyo kırılma indeksi, deniz seviyesinden ortalama kırıcılık, zaman yüzdesi, yığın kategorisi, sayısal arazi yükseklik haritası ve iklimsel veriler gibi enterferans yayılım parametreleri kullanılarak çeşitli mikrodalga radyo linkler için enterferans analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler—ITU-R P. 452, açık havadaki enterferans, karasal görüş çizgisi ve ufuk ötesi mikrodalga radyo linkler, yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferans.

Abstract—In this study, interference modelling is investigated for fixed terrestrial microwave LOS (line-of-sight)/ NLOS (trans-horizon) radio links operating in NATO Band 3+ (1350-2690 MHz) and NATO Band 4 (4400-5000 MHz) frequency bands. The calculation of the interference due to both clear-air and hydrometeor scattering interference mechanisms are made for the interfered-with receiver stations of fixed terrestrial point-to-point systems. Moreover, interference propagation mechanisms of the calculation of the clear-air interference basic transmission loss mentioned in the Rec. ITU-R P. 452 are examined. Interference analysis for several microwave radio links are analyzed using the interference propagation parameters such as interfering transmitter and interfered-with receiver station coordinates, antenna heights above ground level, antenna discrimination, polarization, radio refractivity index lapse, sea-level surface refractivity, time percentage for which the calculated basic transmission loss is not exceeded, clutter information, digital terrain elevation and climate data.

Keywords—Rec. ITU-R P. 452, clear-air interference, hydrometeor scattering interference, line-of-sight (LOS) and non line-of-sight (NLOS) microwave radio links.

I. GİRİŞ

Bu çalışmada amaç sabit karasal mikrodalga LOS/NLOS radyo linklerinde bir linki meydana getiren enterferansa maruz kalan alıcı istasyonundaki enterferans analiz ve benzetim çalışmalarının Rec. ITU-R P.452 Tavsiyesine [1] uygun olarak gerçekleştirilmesidir. Rec ITU-R P.452 Tavsiyesi esas olarak enterferansa neden olan verici istasyonlarının enterferansa maruz kalan alıcı istasyonundaki hem açık havadaki hem de yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferans iletim hat kaybının hesaplanmasını inceler. Açık havadaki enterferans iletim hat kaybında hangi enterferans yayılım mekanizmasının baskın olduğu yani mikrodalga radyo linkinin en düşük enterferans iletim hat kaybına sahip olduğu yayılım mekanizmasıdır. Bu yayılım mekanizmasını belirleyen en önemli parametreler ise enterferans hesabı için tanımlanan zaman yüzdesi, radyo linkin enterferansa neden olan verici ve enterferansa maruz kalan alıcı istasyonları arasındaki mesafesi ve LOS/NLOS hat türüdür.

Eğer bir linki meydana getiren istasyonlardan biri üzerinde mikrodalga enterferans analizi yapılacaksa, linkin diğer ucundaki istasyon istenen gücü yayıyor, ve etraftaki diğer istasyonlar ise alıcı noktasında istenmeyen güç oluşturuyor demektir. Ayrıca, enterferans analizi yapılmak istenen istasyon herhangi bir linkin elemanı değilse alıcı noktasında istenen bir güce sebep olmamaktadır.

Bu makalede, Rec. ITU-R P.452 Tavsiyesinde bahsedilen hem açık havadaki hem de yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferans iletim hat kaybının hesaplanması incelenmiş ve enterferans analiz çalışmasının topografisi gösterilmiştir. Ayrıca, NATO Band 3+ ve Band 4 frekans bantlarında çalışan İstanbul'da konumlandırılmış Sariyer-Maslak mikrodalga radyo linkine enterferansa neden olan Küçükkuşka ve Çataltepe verici istasyonları için mikrodalga enterferans analiz çalışmaları örnek olarak verilmiştir. Ayrıca, Ankara'da konumlandırılmış enterferansa maruz kalan Polatlı istasyonunda enterferansa neden olan Hüseyingazi ve Elmadağ verici istasyonları için açık havadaki enterferans analiz çalışmasındaki baskın enterferans yayılım mekanizmaları gösterilmiştir.

II. ENTERFERANSA BAĞLI İLETİM HAT KAYBININ HESAPLANMASI

Açık havadaki enterferans hesaplama modülü; Karasal görüş çizgisi, Kama kırınım, Troposferik saçılma ve Oluklama enterferans yayılım mekanizmalarını kapsar. Ayrıca, yığıntı etkisinden kaynaklanan ek kayıplarda hesaplanmaktadır. Enterferansa bağlı toplam hat kaybı Denklem-1 [1] ile hesaplanmaktadır.

$$L = -5\log(10^{-0.2L_{bs}} + 10^{-0.2L_{bam}}) + A_{ht} + A_{hr} \text{ (dB)} \quad (1)$$

Burada, L_{bs} dB cinsinden troposferik saçılma, L_{bam} yayılım kaybının hesabında karasal görüş çizgisi, kama kırınım ve oluklama yayılım mekanizmalarının hat kayıpları dahil edilmekte ve $A_{ht,hr}$ dB cinsinden verici veya alıcı istasyondaki yığın etkisini açıklamak için ek kayıptır.

Yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferans hat kaybı ise Denklem-2 [1], [2] ile hesaplanmaktadır.

$$L = 208 - 20\log f - 10\log Z_R - 10\log C + 10\log S + A_g - M \text{ (dB)} \quad (2)$$

Burada, Z_R mm/h cinsinden radar yansıtıcı, $10\log S$ dB cinsinden Rayleigh saçılmadaki sapmayı açıklayan düzeltme faktörü, A_g dB cinsinden atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflama ve M ise dB cinsinden enterferansa neden olan verici ve enterferansa maruz kalan alıcı istasyonların arasındaki polarizasyon uyumsuzluğu parametresidir.

Enterferansa bağlı iletim hat kaybının hesabı ise Denklem-3'de gösterilmektedir.

$$L_{iletim} = L - G_t - G_r \text{ (dB)} \quad (3)$$

Burada, L dB cisinden enterferans hat kaybı Denklem-1 veya Denklem-2 ile hesaplanmakta, G_t ve G_r enterferansa neden olan verici ve enterferansa maruz kalan alıcı istasyonların anten ayrımcılığıdır.

III. BENZETİM SONUÇLARI VE KIYASLAMALAR

Benzetim çalışması olarak İstanbul'da konumlandırılmış Sariyer-Maslak mikrodalga radyo linkine enterferansa neden olan Küçükkuşkaya ve Çataltepe verici istasyonları için hem açık havadaki hem de yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferans analizleri incelenmiştir. Ayrıca, Ankara'da konumlandırılmış enterferansa maruz kalan Polatlı istasyonunda enterferansa neden olan Hüseyingazi ve Elmadağ verici istasyonları için açık havadaki enterferans analiz çalışmasındaki baskın enterferans yayılım mekanizmaları incelenmiştir.

Şekil-1 ve Şekil-2’de enterferans analiz çalışmasının harita üzerindeki görünümü gösterilmektedir. Tablo-1’de İstanbul’da konumlandırılmış mikrodalga radyo linkleri için enterferans çalışma parametreleri verilmektedir. Enterferans iletim hat kaybı hesabındaki anten ayrımcılığı için kullanılan anten ışıma örüntüsü Şekil-3’de verilmektedir. Tablo-2’de enterferansa neden olan Küçükkuşkaya ve Çataltepe verici istasyonlarının enterferansa maruz kalan Sariyer istasyonundaki hem açık havadaki hem de yağmur saçılmasındaki enterferans iletim hat kayıp değerleri gösterilmektedir. Tablo-3’de ise Ankara’da konumlandırılmış mikrodalga radyo linklerin açık havadaki enterferans türü için çalışma parametreleri verilmektedir. Şekil-4 ve Şekil-7’de radyo linklere ait arazi hat profilleri ve LOS

çizgisi ile Fresnel bölgeleri gösterilmektedir. Birinci Fresnel (F1) bölgesi mavi renk ve birinci Fresnel bölgesinin %60'lık kısmı (0.6 F1) kırmızı renk ile gösterilmektedir. Şekil-5 ve Şekil-6'da Polatlı-Hüseyingazi mikrodalga NLOS radyo linki için NATO Band 3+ ve 4 frekans aralığında ve zamanın %0.01, %50'sinde açık havadaki enterferans hesaplamasında kullanılan yayılım mekanizmaları incelenmiştir. Ayrıca, Polatlı-Elmadag mikrodalga LOS radyo linki için zamanın %0.01 ve %50'sinde açık havadaki enterferans hesaplamasında kullanılan yayılım mekanizmaların hat kayıplarının değişimi de Şekil-8 ve Şekil-9'da gösterilmiştir.

Şekil 1: İstanbul'da konumlandırılmış mikrodalga radyo linkleri için enterferans analiz çalışmasının harita üzerindeki görünümü.

Şekil 2: Ankara’da konumlandırılmış mikrodalga radyo linkleri için enterferans analiz çalışmasının harita üzerindeki görünümü.

Şekil 3: Anten ışıma örüntüsü.

Parametre	Küçükkuşkaya-Çataltepe R/L	Sariyer-Maslak R/L
TX ^a istasyon, enlem	41° N 20' 49.5"	41° N 11' 48.1"
TX istasyon, boylam	28° E 21' 5.5"	29° E 4' 9.6"
RX ^b istasyon, enlem	41° N 2' 57.9"	41° N 6' 39.4"
RX istasyon, boylam	29° E 17' 48.1"	29° E 1' 40.7"
Frekans	2 GHz	
TX&RX antenlerin yerden yüksekliği	20 m	
Zaman Yüzdesi	%0.01	
Zaman Yüzdesinin Tipi	En Kötü Ay	
TX&RX Yığın Türü	Kırsal Alan	
Enterferans Türü	Açık Hava ve Yağmurdan Saçılma	
Polarizasyon Tipi	Dikey	
Mevsim Tipi	Yaz	
Toprak Tipi	Orta Kuru Toprak	

^a Verici istasyon, ^b Alıcı istasyon.

Tablo I: Enterferans analizi için mikrodalga radyo linklerin çalışma parametreleri.

Enterferansa Neden Olan İstasyon	Açık Hava (dB)	Yağmurdan Saçılma (dB)
Küçükkuşkaya	155.80	183.07
Çataltepe	160.28	174.95

Tablo II: Enterferansa maruz kalan Sariyer istasyonu için enterferans iletim hat kayıp değerleri.

Parametre	Polatlı-Hüseyingazi R/L	Polatlı-Elmadag R/L
TX ^a istasyon, enlem	39° N 36' 38.0"	39° N 36' 38.0"
TX istasyon, boylam	32° E 17' 35.0"	32° E 17' 35.0"
RX ^b istasyon, enlem	39° N 57' 17.0"	39° N 48' 3.3"
RX istasyon, boylam	32° E 57' 18.0"	32° E 59' 2.0"
Frekans	1.350-5 GHz	
TX&RX antenlerin yerden yüksekliği	20 m	
Zaman Yüzdesi	%0.01 ve %50	
Zaman Yüzdesinin Tipi	En Kötü Ay	
TX&RX Yığın Türü	Yok	
Enterferans Türü	Açık Hava	
Polarizasyon Tipi	Yatay	
Mevsim Tipi	Kış	
Toprak Tipi	Orta Kuru Toprak	

^a Verici istasyon, ^b Alıcı istasyon.

Tablo III: Enterferans analizi için mikrodalga radyo linklerin çalışma parametreleri.

Şekil 4: Polatlı-Hüseyingazi mikrodalga NLOS radyo linkinin arazi hat profili (Frekans: 1.350 GHz, TX&RX antenlerin yerden yükseklikleri: 20 m).

Şekil 5: Polatlı-Hüseyingazi mikrodalga NLOS radyo linkinde zamanın %0.01'deki enterferans yayılım kayıplarının frekansa göre değişimi.

Şekil 6: Polatlı-Hüseyingazi mikrodalga NLOS radyo linkinde zamanın %50'sindeki enterferans yayılım kayıplarının frekansa göre değişimi.

Şekil 7: Polatlı-Elmadag mikrodalga LOS radyo linkinin arazi hat profili (Frekans: 5.0 GHz, TX&RX antenlerin yerden yükseklikleri: 20 m).

Şekil 8: Polatlı-Elmadag mikrodalga LOS radyo linkinde zamanın %0.01'deki enterferans yayılım kayıplarının frekansa göre değişimi.

Şekil 9: Polatlı-Elmadag mikrodalga LOS radyo linkinde zamanın %50'sindeki enterferans yayılım kayıplarının frekansa göre değişimi.

Enterferansa maruz kalan Polatlı istasyonunda enterferansa neden olan Hüseyingazi ve Elmadag verici istasyonları için açık havadaki enterferans benzetim çalışması sonrası hangi yayılım mekanizmasının baskın olduğunu belirten sonuçlar Tablo-4'de gösterilmektedir. Türkiye coğrafyasında yapılan enterferans benzetim çalışması sonuçları [3], [4] teknik raporlarında verilen verilerle uyumludur.

		Karasal Görüş Çizgisi Mikrodalga R/L	Ufuk Ötesi Mikrodalga R/L
Zaman Yüzdesi	Yüksek (e.g. %50)	Karasal Görüş Çizgisi	Kama Kırınım
	Düşük (e.g. %0.01)	Karasal Görüş Çizgisi	Oluklama

Tablo IV: Baskın yayılım mekanizmaları.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sabit karasal mikrodalga LOS/NLOS radyo linklerinde hem açık havadaki hem de yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferans iletim hat kaybının hesaplanması ve enterferans analiz çalışmasının topografisi incelenmiştir. Ayrıca, açık havadaki enterferansa bağlı iletim hat kaybının hesaplanmasındaki yayılım mekanizmaları incelenmiştir.

NATO Band 3+ ve NATO Band 4 frekans bandlarında yapılan örnek enterferans benzetim çalışması sonuçlarından LOS radyo linklerinde enterferansa bağlı iletim hat kaybı hesabında karasal görüş çizgisi girişimi baskın yayılım mekanizmasıdır. NLOS radyo linklerinde ise zaman yüzdesinin aralığına göre kama kırınım yada oluklama girişimi baskın yayılım mekanizması olduğu gözlenmiştir. Türkiye coğrafyasındaki enterferans analizinin sonuçları [3], [4] teknik raporlarındaki veriler ile kıyaslanıp ve sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Gelecekte saha ölçümleri yapılarak Türkiye coğrafyasında yapılan benzetim çalışma sonuçlarının doğrulanması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Recommendation ITU-R P.452, "Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz," International Telecommunication Union, Geneva, 2013.
- [2] C. J. Gibbins, "Modelling of rain scatter interference: a fresh analysis," Proceedings of URSI Commission F Meeting on Climatic Parameters in Radiowave Propagation Prediction (Climpara'01), Budapest, Hungary, ESA WPP-184, pp. 7-14.
- [3] K. Craig and M. Willis, "Propagation model development," tech. rep., GRMT Final Report, Annex B, March 2007.
- [4] "Removal of discontinuities in the clear-air model of Recommendation ITU-R P.452", tech. rep., Final Report, August 2002.