

# MİKRODALGA RADYO LİNKLERİN DEĞİŞİK KOŞULLAR ALTINDA NUMERİK ANALİZİ İÇİN YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ

M.Can<sup>1,2</sup>, S.Kharkovsky<sup>1</sup>, A. Saygın<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Çukurova Üniversitesi, 01330, Balcalı, Adana

E-mail: memduh.can@telsim.com.tr, Kharkovsky@mail.cu.edu.tr, vahapsaygin@hotmail.com

<sup>2</sup>Telsim A.Ş., Medyapark, Star Gazetesi Tesisleri, No:118, Yüreğir, Adana

**Özet:** Bu çalışmada hücresele şebekelerde kullanılan radyo linklerin dizaynı ve transmisyon şebekesinin optimum şekilde planlanabilmesi için, radyo link sistem gücünün numerik analizi yapılmıştır. 10.5 GHz, 23 GHz ve 38 GHz olmak üzere üç değişik frekans bandının; verici çıkış gücü seviyesi, yağış miktarı, sis yoğunluğu, radyo link veriş ve alışı noktaları arasındaki uzaklık, polarizasyon tipi, anten çapı, sıcaklık, bitki örtüsü gibi parametrelerin değişimine göre davranışları incelenmiştir. Değişik radyo link tipleri ve çevresel koşullar için alışı gücü seviyeleri ölçülmüş, hesaplanmış ve raporlanmıştır. Sistem güç analizi ve buna bağlı olarak daha verimli radyo link planlaması yapmak için yeni bir yazılım geliştirilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan değerler karşılaştırılmış, aralarındaki olası farklılıkların sebepleri araştırılmış ve sorgulanmıştır.

## 1. Sistem güç paketinin formülasyonu

Bu bölümde, sistem güç paketinde değişimlere sebep olan parametrelerin davranışlarını hesaplamak için yazılımda kullanılan formüller verilecek ve açıklanacaktır (Şekil 1). Sistem kaybı, üzerinde durulması gereken en önemli kavram olup propagasyon kaybı, konnektör, kablo ve benzeri diğer tüm kayıpların kombinasyonundan, sistemde kullanılan parabolik antenlerin kazançlarının çıkarılması sonucu elde edilen değer olarak ifade edilmektedir. Bir radyo linkin kesintisiz çalışabilmesi için, birincil Fresnel Bölgesi'nin kapsadığı elipsoid içerisinde, alışı tarafına sistem gücünün taşınmasını engelleyecek hiç bir engelin olmaması gerekmektedir [3].

$$G = \frac{4\pi(\pi r^2)f^2}{2c^2} = \left( \frac{D\pi f}{\sqrt{2}c} \right)^2$$
 (1) mikrodalga parabolik anten kazancının son hali olup, formülde:

$$A_e = \eta_a A, \quad n\eta_a = 1/2, \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad \text{ve} \quad D = 2r.$$
 Anten kazanç formülünü dB

formunda:  $g = 17.39027 + 20 \log D + 20 \log f$  (2) olarak ifade edebiliriz.

Mikrodalga haberleşme sistemlerinde, transmisyon kayıplarının büyük bir kısmının serbest uzay kaybından kaynaklandığı çok iyi bilinmektedir. İki izotropik anten arasındaki kaybın frekans ve uzaklığa bağlı ifadesi watt

cinsinden:  $A_0 = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi d f}{c} \right)^2$  (3) 'dir. (3) nolu eşitliğin dB formunda ifadesi:

$a_0 = 92.44178 + 20 \log d + 20 \log f$  (4) 'dir[4]. Atmosferik gaz kayıpları, oksijen (O<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O) ve diğer gaz bileşenlerinin atmosfer içerisinde hareket eden elektromanyetik dalgaları soğurmasından kaynaklanmaktadır. Bu kayıplar, gaz moleküllerinin mekanik rezonans frekanslarıyla çakışan belirli frekanslarda maksimuma ulaşmaktadır. Günümüz teknolojisinde, en büyük atmosferik gaz kayıpları 24 GHz ve 60 GHz frekans bandlarında gerçekleşmektedir. Gaz kayıpları, belli farklılıktaki meteorolojik koşullar ve belli çeşitlilikteki geometrik konfigürasyonlar altında yaklaşık varsayımlar öneren ITU-R P.676-3 'deki formüllerle hesaplanmaktadır [1, 6].

Mikrodalga propagasyonunu yağmur da etkilemektedir. Yağmur damlacıkları, elektromanyetik dalgaboylarıyla hemen aynı ölçülerdedir ve radyo sinyallerinin zayıflamasına neden olmaktadır. Geliştirilen programda yağmur zayıflaması  $\gamma_R$ , ilgili frekans, polarizasyon tipi ve yağış miktarı için:  $\gamma_{Rain} = k \times R_p^\alpha$  (5)

eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Burada:  $R$ , mm/h cinsinden yağış miktarı,  $p$  [%], yağış miktarının bir yıl içinde,  $R$  'yi geçtiği zamanın tüm zamana göre yüzdesi,  $k$  ve  $\alpha$  regresyon katsayılarını ifade etmektedir.

(5) nolu eşitlikteki regresyon katsayıları şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \quad (6)$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2k \quad (7)$$

Bu formüllerde:  $\theta$  yol erim açısını,  $\tau$  yataya göre polarizasyon tilt açısını ifade etmektedir. Radyolinklerle transmisyon için kullanılan lineer dikey ve yatay polarizasyonlar için, polarizasyon tilt açısı  $\tau$ , ( $0^\circ \leq \tau < 180^\circ$ ) BTS'deki lokal yatay eksene göre elektrik alan vektörünün oryantasyonunu ifade etmekte ve dikey polarizasyon için  $\tau = 90^\circ$ , yatay polarizasyon için  $\tau = 0^\circ$  olmaktadır. Yol erim açısı, sinyalin alışı ve veri noktalarında yerle yaptığı açının  $0^\circ$  olduğu varsayımıyla  $\theta = 0^\circ$  olarak alınmıştır [1, 5].

$p$  [%]=0.01 için yağmur kaybının ifadesi dB cinsinden:  $a_{Rain} = \gamma_{Rain} d_{eff}$  (8) olup formülde geçen efektif

$$\text{uzaklık: } d_{eff} = \frac{1}{1 + d/d_0} \text{ ve } d_0 = 35e^{-0.015R_{0.01}} \text{ 'dir.}$$

Sise bağlı elektromanyetik dalga zayıflamasını hesaplamak için:  $\gamma_{Fog} = K_I M$  (9) formülü kullanılmakta

olup,  $K_I$  sis için spesifik zayıflama katsayısını,  $M$  sis içerisindeki sıvı su yoğunluğunu ifade etmekte ve hesaplama yapılırken ITU-R P.840-2'de verilen formüller kullanılmaktadır. Orta büyüklükteki sis kütlesi için (görüş mesafesi 300 m. civarında) sis içerisindeki sıvı su yoğunluğu tipik olarak  $0.05 \text{ g/m}^3$  olarak alınmakta, kalın sis kütleleri için (görüş mesafesi 50 m. civarında) sıvı su yoğunluğu  $0.5 \text{ g/m}^3$  alınmaktadır [1, 2].

Folyaj (radyolink alışı ve veri noktaları arasında kalan bitki örtüsü v.b.) kaybı, folyaj derinliğinin 400 metreden düşük olduğu durumlar için ortaya atılan dB formundaki:  $a_{foliage} = 0.2 f^{0.3} d_f^{0.6}$  (10) ifadesiyle hesaplanmaktadır. Bu formülde  $d_f$  folyaj derinliğini vermekte ve formül ancak,  $d_f < 400 \text{ m}$  koşulu altında kullanılmaktadır [2].

Kablo kaybı, özellikle parabolik antenlerin uzun kulelerin tepe noktalarına asıldığı radyo link sistemlerinde, kablo uzunluğu azımsanmayacak miktarlara ulaştığı için, sistem kaybını etkileyen önemli bir kayıp faktörüdür. Kablo kaybı, kullanılan radyo link kablosunun kalitesine de bağlıdır. Geliştirilen dijital radyo link dizayn programında, kablo kaybı 100 metre için 3 dB olarak alınmıştır. Besleyici, konnektör ve diğer kayıp faktörleri de ek kayıplar kategorisine dahil edilmiş ve transmisyon planlamacısının öngördüğü değerler olarak programa dışarıdan girilebilmiştir.

## 2. Program ve ölçüm metodu

Program, radyo link hopu hakkında bilgilerin girildiği “radios” ve “basics” adlı iki pencereye sahiptir. “Radios” penceresiyle, kullanılan üç değişik radyo link tipinden birini seçmek mümkündür. Radyo link tipi seçildiğinde BER  $10^{-3}$  için maksimum veri gücü ve alışı tarafının eşik güç değerleri otomatik olarak seçilmektedir. Ancak seçilen radyo link tipinin karakteristiğini daha spesifik olarak incelemek için sözü edilen güç değerlerini düşürmek veya arttırmak mümkündür. “Basics” penceresi, radyo link hakkında spesifik bilgilerin girildiği penceredir. Radyo link hopuna isim vermek, alışı ve veri noktalarını isimlendirmek ve rakımlarını girmek mümkündür.  $p$  [%], “unavailability” faktörü, hop uzunluğu, yağış miktarı, sis yoğunluğu, folyaj derinliği, ortam sıcaklığı ve ek kayıplar, “basics” penceresindeki bilgi giriş kutucukları ile radyo link verileri olarak girilebilmektedir. Ortamın coğrafik durumu (kara, deniz, yarı kara), radyo link diversite modu ve varsa koruma tipi, polarizasyon tipi gibi radyo link verileri de yine bu pencere yardımıyla belirlenmektedir. Veri ve alışı noktalarındaki parabolik anten çapları ve radyo link kablo uzunlukları da mutlaka girilmelidir.

“Basics” penceresindeki “calculate” butonuna basıldığında, “system power budget analysis” penceresi ekrana gelir. Bu pencere yardımıyla, “basics” penceresinde belirlenen kriterlere göre, serbest uzay, gaz, yağmur, sis, folyaj, kablo, ve ek kayıpların dB cinsinden miktarlarını görmek mümkündür. Sistem kaybı, alışı gücü ve “fade margin” gibi temel sonuçlar da hesaplanmaktadır.

Alış tarafındaki güç seviyesini ölçmek için iki değişik metod kullanılmıştır (Şekil 6). Birinci yöntem, parabolik antenin arkasındaki dış birime bir wattmetre bağlanmasıdır. Burada ölçülen güç watt cinsindedir ve dB formuna kolayca çevrilebilmektedir [7]. Ancak burada radyo link kablosundaki kayıplar görülememektedir. İkinci metod, radyo linkin iç birimine bir bilgisayarın mevcut COM1 portuyla lokal bağlantı sağlamaktır. Özel bir yazılım sayesinde, radyo linke ait tüm bilgilerin yanında dBm cinsinden alış gücünü de görmek mümkündür. Radyo linkin her iki tarafındaki alış gücü seviyeleri, kullanılan kablo miktarlarındaki farklılık, olası anten çapı farklılıkları v.b. nedenlerden dolayı çoğu zaman birbirinden farklıdır.

### 3. Numerik sonuçlar

Değişik parametrelerin, radyo linklerin davranışlarına olan etkilerini göstermek için programdan bazı numerik sonuçlar alınmıştır. Şekil 2’de de gösterildiği gibi, serbest uzay kaybı frekans ve uzaklığa direk ve doğru orantılı olarak bağlı olduğu için, 38 GHz için 23 GHz’den daha fazla, 23 GHz için de 10.5 GHz’den daha fazladır.

Şekil 5 toplam gaz kaybının 1013 hPa, 15°C ve 7,5 g/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O yoğunluğu altında üç değişik radyo link tipi için değişimini göstermektedir. Toplam gaz kaybı 23 GHz için en yüksek iken 10.5 GHz için en düşüktür. Aslında O<sub>2</sub> kaybı 38 GHz’de 23 GHz’den daha fazla olmasına rağmen H<sub>2</sub>O kaybı için bunun tersi doğrudur ve toplam gaz kaybı 23 GHz için daha fazladır. Şekil 4, yağmur kayıplarının 51.4 mm/h yağış miktarı için frekans ve polarizasyon tipine göre değişimini göstermektedir. Yağmur kaybı, 38 GHz yatay polarizasyon için en yüksek, 10.5 GHz dikey polarizasyon için en düşük seviyededir. Radyo link gücünü etkileyen kayıplar içerisinde polarizasyon tipinden etkilenen tek kayıp türü yağmur kayıplarıdır ve yatay polarizasyon kullanıldığında kayıp miktarı artmaktadır.

Sis kaybının 1013 hPa hava basıncı ve 0.5 g/m<sup>3</sup> sis yoğunluğu altındaki değişimi, Şekil 3’de görülmektedir. Sis kaybı, frekans artışıyla birlikte artarken sıcaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir.

Programdan alınan numerik verilerle ölçüm sonuçlarını karşılaştırmak için, tüm hoplarda dikey polarizasyon ve maksimum çıkış güçleri kullanılmak üzere (38 GHz için 16 dBm, 23 GHz için 18 dBm ve 10.5 GHz için 25 dBm), sekiz değişik radyo link hopu 33°C yağışsız, 17°C ve 22,4 mm/h’lik yağış miktarı, 21°C ve 78,5 mm/h’lik yağış miktarı olmak üzere üç değişik koşul altında incelenmiştir. Üç değişik link için ölçülen ve hesaplanan değerler Tablo 1’de verilmiştir. Adana Bölgesi için 38 GHz radyo linklerde maksimum hop mesafesi dikey polarizasyon için 4.8 Km, yatay polarizasyon için 3.8 Km olarak hesaplanmıştır. 23 GHz bandında ise dikey polarizasyon için 12.3 Km, yatay polarizasyon için 9.7 Km kullanılabilir maksimum hop mesafeleridir. Bu değerler, Adana Bölgesi’ne ait yıllık ortalama yağış miktarı (51.8 mm/h), ortalama sıcaklık (20°C) ve sis yoğunluğu (0.5 g/m<sup>3</sup>) için hesaplanmıştır. Alış noktalarında ölçülen ve hesaplanan güç değerleri farklılıklar göstermekle beraber, aradaki farklar belirlenen limitlerin altında kalmaktadır. İncelenen RL hopları için ölçülen maksimum farklılık %8.22 iken tolerans değeri %10 olarak kabul edilmektedir. Aradaki farkın sebepleri; kablo uzunlukları, yol erim açısı ve polarizasyon tilt açılarındaki değişimler, 10.5 GHz RL’er için antenler arasındaki olası folyajlar, radyo dalgalarının yerden yansması ve benzeri olabilir.

RL Freq. (GHz)	Dist. (Km)	Ant. Diam. (meter)	Rain Rate (mm/h)	Temp. (°C)	Rx Calc. (dBm)	Rx Meas. (dBm)	Diff. (%)
38	1,45	0,3	0	33	-37,07	-38,4	3,464
38	1,45	0,3	22,4	17	-44,12	-45,23	2,454
38	1,45	0,3	78,5	21	-58,59	-60,01	2,37
23	10,23	0,6	0	33	-46,61	-47,48	1,83
23	10,23	0,6	22,4	17	-63,79	-64,78	1,53
23	10,23	0,6	78,5	21	-92,79	-93,70	0,97
10,5	28,27	1,2	0	33	-41,71	-43,87	4,92
10,5	28,27	1,2	22,4	17	-47,71	-49,74	4,08
10,5	28,27	1,2	78,5	21	-58,91	-61,45	4,13

### 4. Referanslar

[1] ITU-R s.676-3, s.837-1, s.838, s.840-2, s.530-7.

[2] Federal Communications Commission (FCC) Office of Engineering and Technology, “Millimeter-Wave Propagation: Spectrum Management Implications”, Bülten No.70, 1997.

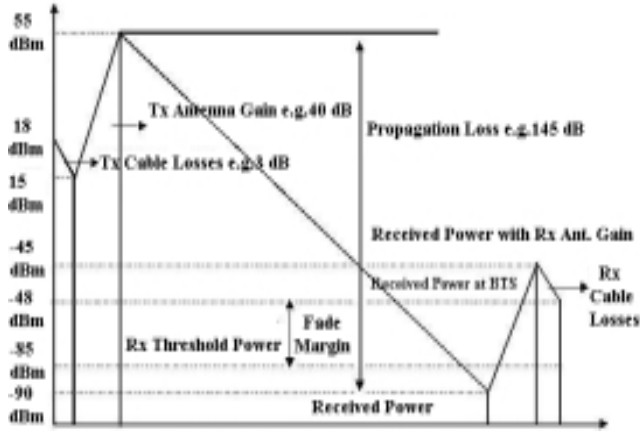
[3] JOHNSON,R.C., JASIK,H.,Antenna Engineering Handbook, McGraw Hill Int. Editions, 1984, s.30-1/30-25.

[4] KRAUS, J.D., Electromagnetics, McGraw Hill Int. Editions, 1991, s.716-784.

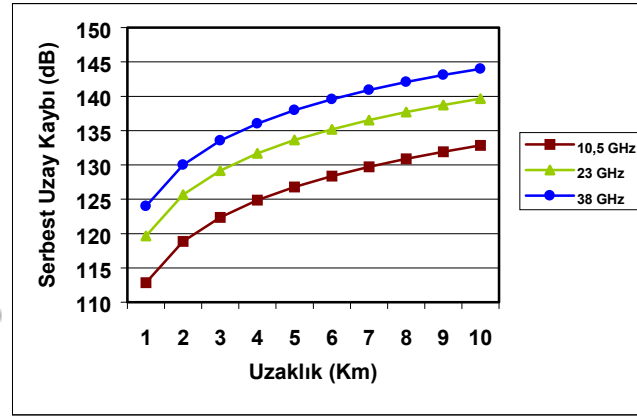
[5] VASSEUR, H., “Degradation of Availability Performance in Dual-Polarized Satellite Communications Systems”, IEEE Trans. On Comms., March 2000, Vol.48, No.3, s.465-472.

[6] ANGELAKOS,D.J., EVERHART,T.E., Microwave Communications, McGraw-Hill, 1968, s.162-182.

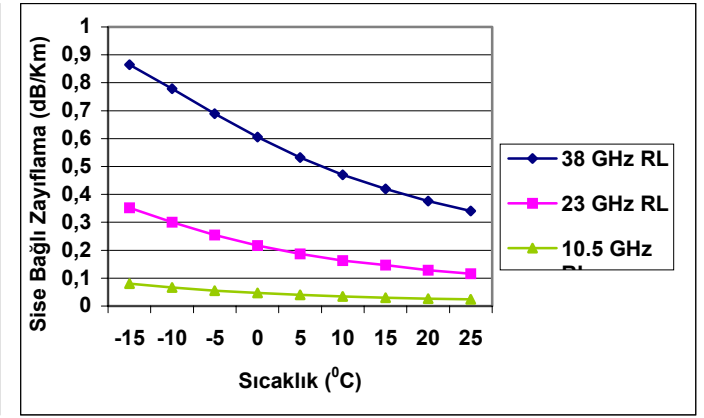
[7] BADENFULLER,A.J.,An Intro. to Microwave Theory and Techniques, Pergamon Press, 1979, s.287-29.



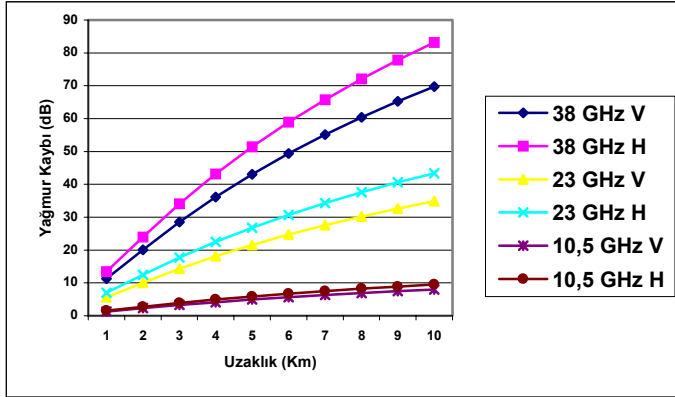
Şekil 1: Tipik Bir Sistem Güç Paketi Diagramı



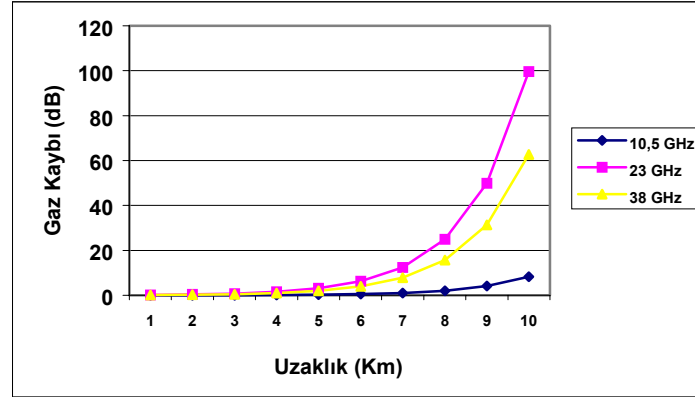
Şekil 2: Üç Değişik Frekans Bandı İçin Serbest Uzaklık Kaybı



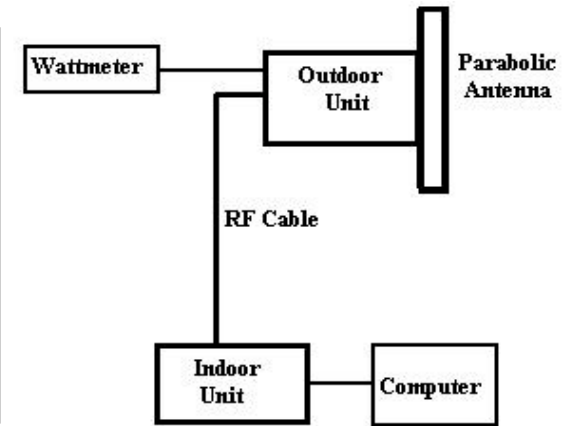
Şekil 3: Sise Bağlı Zayıflamanın Sıcaklıkla Değişimi



Şekil 4: Yağmur Kaybının Frekans ve Polarizasyona Bağlı Değişimi



Şekil 5: Gaz Kaybının Frekansa Göre Değişimi



Şekil 6: Radyo Link Gücü Ölçüm Şeması