



**EHB 473**

**Mikrodalga & RF  
Haberleşmesi**

**Dönem Projesi**

**Kılavuzlu - Uçanlar Arası 1500 Kullanıcılı  
Telefon Konuşması Radyolink Tasarımı**

**Danışman: Prof. Dr. Mesut Kartal**

**Sezai Burak Kantarcı**



**Figür 1:** 64 Metre çapında hareketli dish anteni; “Parkes Gözlemevi”

*İstanbul Teknik Üniversitesi*

**2019**

## İçindekiler

<b>1. GİRİŞ</b>	3
<b>2. TASARIM</b>	5
1.1 Kule yüksekliklerinin Hesaplanması	6
1.2 Frekans Planı	7
1.3 Sistem Kayıpları	9
1.3 Fade Marjı	10
1.3 Link Bütçesi	11
<b>3. SONUÇ</b>	13
<b>4. KAYNAKÇA</b>	14

## 1. GİRİŞ

Yerel linkler, bu ders kapsamında ele alınmış ve yeryüzünden yeryüzüne işaret iletimi hedeflenerek tasarımları yapılmıştır.

Bu tasarımlar, kullanılacak uygulamaya göre değişmekle birlikte bir radyolink tasarımı için göz önünde bulundurulması gereken parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir [1].

- Kullanılacak Merkez Frekansı
- Kullanılacak Bant Genişliği
- Yol Profili
- Clearance Mesafesi
- Atmosferik Etkiler
- Çevre Etkileri
- İklim Durumu
- Çevrede Oluşabilecek Girişim Kaynakları
- İzin Verilebilecek Kesinti Süresi
- Link Mesafesi
- Muhtemel Fading Durumları
- Kule İnşa İmkânları
- Alan Kısıtları
- Olası Soğutma Sistemleri Tasarımları
- Frekans Planlaması

Bu bağlamda, belirli bir problemin çözümü veya sunulması planlanan hizmet olarak tasarımı yapılacak radyolinkte, bir haberleşme mühendisi; öncelikle sistemin düzgün olarak çalıştırılmasına odaklanmalıdır. Bu noktada tasarımın mümkün olan en düşük maliyet ile yapılıp, en yüksek hizmet kalitesinin - örneğin klasik bir parametre olan en yüksek link

kullanılabilirliğinin - ortaya konulması, tasarımdan sorumlu mühendislerin tecrübe ve becerilerini gün yüzüne çıkaracaktır.

Takip edilmesi gereken standartlar yerel yönetimde bulunan iletim planıdır. Ülkemizde bu konudan sorumlu olan kuruluş “Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu” olarak adlandırılır. Özel Radyo / TV yayıncı kuruluşları BTK’dan frekans tahsisi almak durumundadır. Bununla ilgili dokümana BTK’nın web sitesinden ulaşabilmek mümkündür [2].

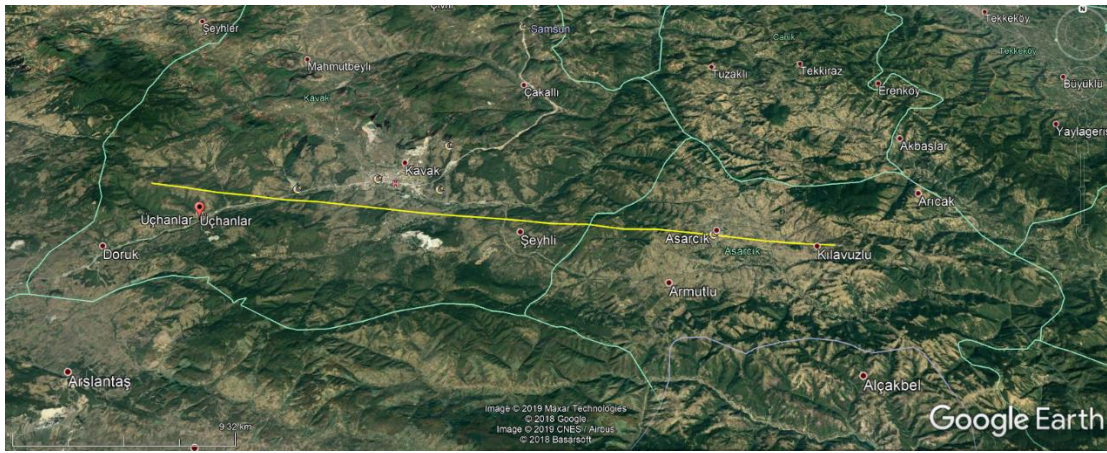
Genel olarak radyolinkler kendilerinden daha büyük bir haberleşme sisteminin alt sistemi olarak düşünülür ve kullanım amaçlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [3].

- Telefon Haberleşmesi
- Video, Özellikle Konferans TV
- Telemetry
- Faks
- Endüstriyel ve Bilimsel Araştırmalar

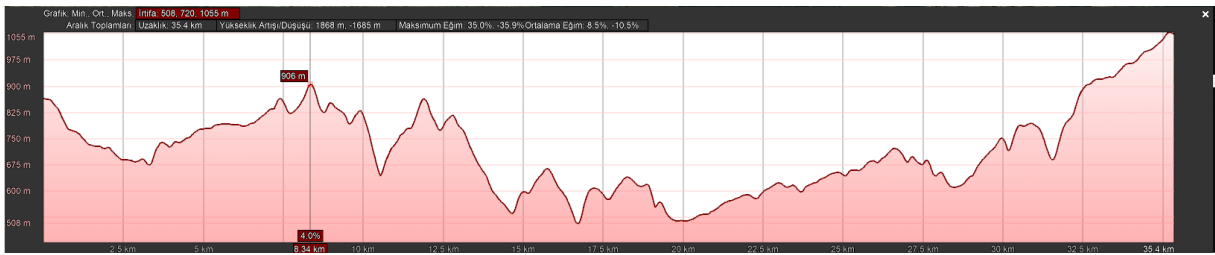
Gerçekleştirilecek radyolinkin tasarımı en temelde, iletilmesi planlanan bilgi işareti ile şekillenecektir. Farklı haberleşme hedefleri için değişen merkez frekanslar ve bant genişlikleri; tasarım amacına uygun şekilde, kullanıcı sayısı ve kullanılabilirlik (availability) göz önünde bulundurularak radyolink tasarımı yapılır. Buna ek olarak, bölge topoloji haritaları, anten kule yüksekliklerinin gerçekleştirilebilirliği ve frekans planı verimi tasarımda önemli kelimeleri oluşturacaktır.

## 2. TASARIM

Bu tasarım kapsamında Kılavuzlu ve Üçanlar arasında 1500 kullanıcılı Telefon Konuşması aktarımı konusunda hizmet verilmek istenmiştir. Kılavuzlu, Samsun ilinin Asarcık ilçesine bağlı bir mahalledir. Üçanlar ise yine Samsun ilinin Kavak ilçesine bağlı bir mahallesidir. Radyolinkin tasarımının planlandığı fiziki harita ve topoloji haritaları Figür 2 ve Figür 3 üzerinde incelenebilir.



**Figür 2:** Kılavuzlu Üçanlar arasında tasarımı planlanan radyolink [4].



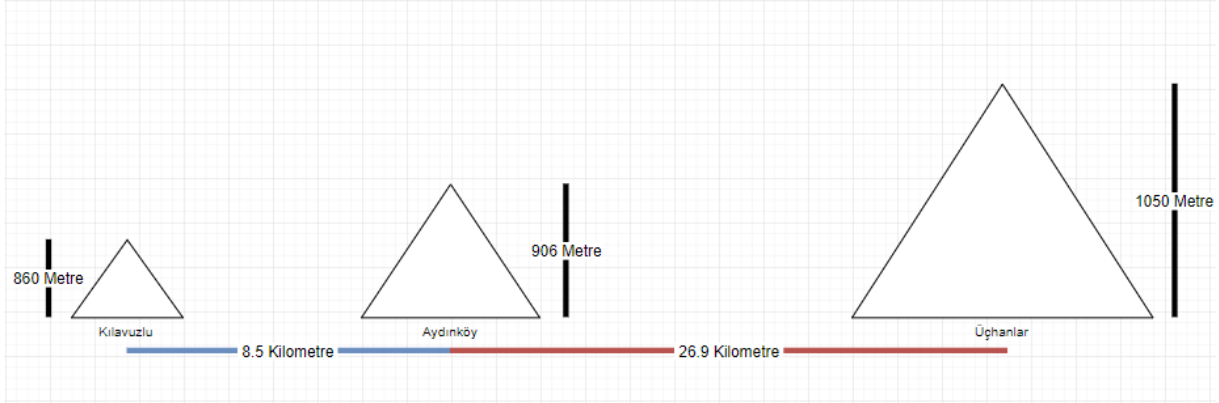
**Figür 3:** Kılavuzlu – Üçanlar arası yükselti değişimi haritası [4].

Figür 2 ve Figür 3 incelenerek radyolink tasarımı ve yol profili hakkında bilgi edinilebilir.

Tasarım bölümünde öncelikle antenler için kule yükseklikleri Clearance göz önünde bulundurularak hesaplanacak, sonrasında önerilen frekans planı hakkında bilgi verilecek, sistem kayıpları ve Fade marjı hesaplandıktan sonra link bütçesi hesabı yapılacaktır.

## 1.1 Kule Yüksekliklerinin Hesaplanması

Figür 3 üzerinde görülebileceği gibi olası yansıtıcı nokta, Asarcık merkezine yakın bir noktada bulunan Aydıncöy girişindeki 906 metre rakımına sahip yükseltidir. Bu yükselti ile radyolinkin Kılavuzlu'dan 8.5 kilometrelik bir noktasına karşılaşılmaktadır. Bu yükselti göz önüne alınarak planlanan kule yükseklikleri ile ilgili çizim Figür 4 üzerinde incelenebilir.



**Figür 4:** Yükselti değişimlerine göre çizilmiş yol profili.

Aydıncöy açıklarında bulunan bu yükselti için açıklık (Clearance) hesabı aşağıdaki gibi yapılabilir.

Clearance hesabı yapılırken üç farklı yükselti katkısı hesaplanacaktır.  $h1$ ,  $h2$  ve  $h3$  şu şekilde tanımlanabilir.

$h1$ : Fresnel Alanının hesaplanması ile oluşan yükselti eki.

$h2$ : Dünyanın şekli ve atmosferik kırılma indisi ile oluşan yükselti eki.

$h3$ : Bölgedeki bitki örtüsünün uzunluğunun zaman ile değişimi düşünülerek oluşturulan yükselti eki. Bu yükselti, iğne yapraklı ormanları barındıran sarıçam ve karaçam gibi ağaçları içerir [5]. Bu ağaçların gelişimi düşünülerek 6 metre mesafe  $h3$ 'e atanmıştır.

Bu üç yükselti katkısı kullanılarak Clearance;

$$h = \sum_{i=1}^3 h_i$$

Şeklinde hesaplanabilir. Bu bağlamda,  $h1$ ,  $h2$  ve  $h3$  için gerekli işlemler yapılırsa clearance'a ulaşılabilir.

$$n = 1, d1 = 8.5 \text{ km}, d2 = 26.9 \text{ km}, f = 8 \text{ GHz}, D = 35.4 \text{ km},$$

$$F1 = 17,3 * \sqrt{(n * d1 * d2) / f * D} = 15.54 \text{ metre}$$

$$h1 = F1 * 0.6 = 9.32 \text{ metre}$$

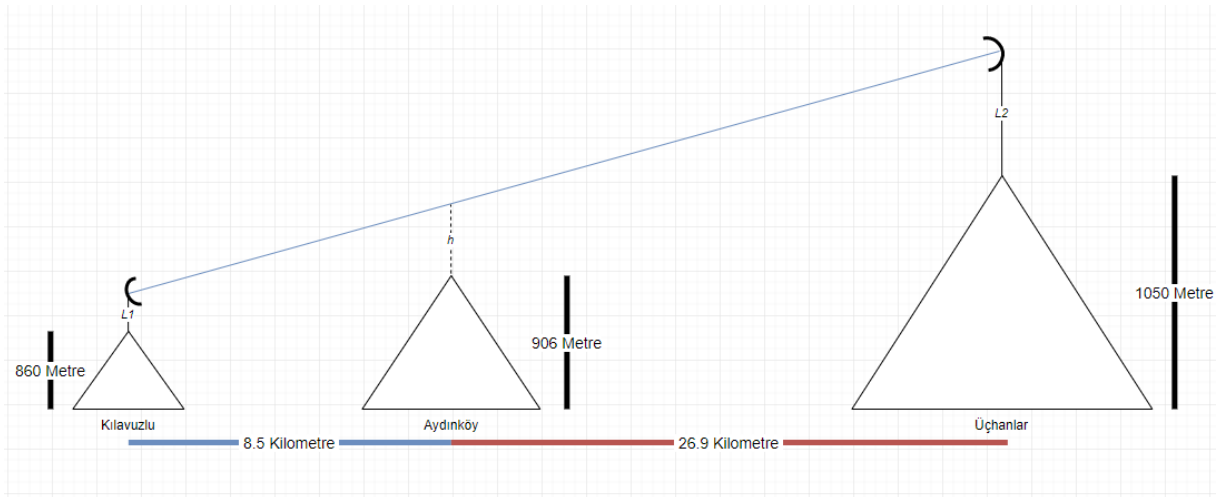
$$h2 = \frac{d1 * d2}{12.76 * k} = 13.6 \text{ metre}$$

$$h3 = 6 \text{ metre}$$

$$h = 29 \text{ metre}$$

Clearance mesafesi 29 metre bulunmuştur.

Bu Clearance mesafesi için kule yükseklikleri hakkında yapı planı, Figür 5 üzerindeki gibi inşa edilebilir.



**Figür 5:** Kule yüksekliklerinin belirlenmesi.

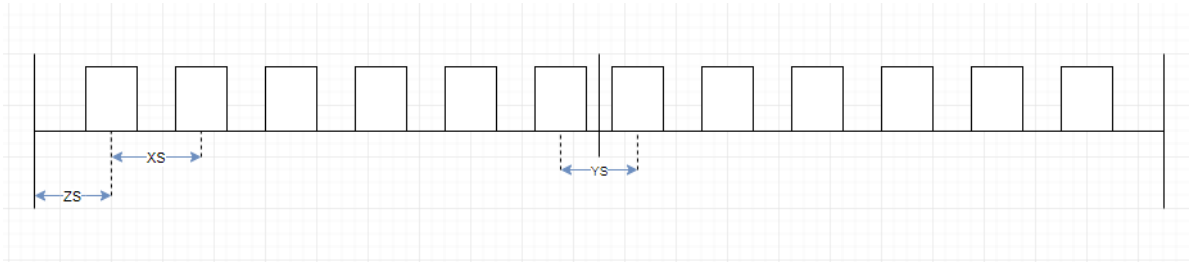
Üçgen benzerliği kullanılarak  $h = 29 \text{ metre}$  değeri için sırası ile

$$L1 = 20 \text{ metre}, L2 = 40 \text{ metre}$$

şeklinde kule yükseklikleri elde edilmiştir. Bu yükseklikler ile ilgili yorum sonuç bölümünde yapılmıştır.

## 1.2 Frekans Planı

Çapraz polarizasyon kullanılmamış 6 alt kanal içeren QPSK modülasyonu kullanılan frekans planı Figür 6 üzerinde incelenebilir.



**Figür 6:** 6 alt kanallı frekans planı.

Ses işaretinin 4 KHz’lik bir bant için alınıp 8 KHz ile örneklendiği bir sistemde, 8’li kodlama ile bir kullanıcı için gereken bit hızı 64 KBit olarak bulunur.

$$R_b = 1500 * 64 \text{ Kbit} = \mathbf{96 \text{ Mbit}}$$

Her bir kanal için gereken bit hızı 6 alt kanal için,  $R_{b_i}$

$$R_{b_i} = 96 \text{ Mbit} / 6 = \mathbf{16 \text{ Mbit}}$$

Olarak elde edilir. QPSK modülasyonu için sembol hızı:

$$M = \log_2 4 = 2$$

$$S = R_b / M = 16 / 2 = \mathbf{8 \text{ MBaud}}$$

Genel olarak kabul edilen X, Y, Z değerleri için;

$$X=2, Y=3, Z=1$$

$$XS = X * S = \mathbf{16 \text{ MHz}}$$

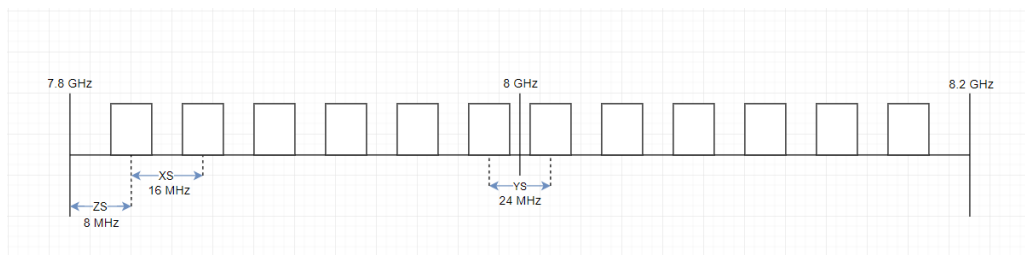
$$YS = Y * S = \mathbf{24 \text{ MHz}}$$

$$ZS = Z * S = \mathbf{8 \text{ MHz}}$$

elde edilir. Bant genişliği “B” üzerinde çalışılan frekans planına göre;

$$B = ( 10 * XS + 2 * ZS + YS ) = \mathbf{200 \text{ MHz}}$$

Merkez frekans 8GHz, alt kesim frekansı 7.8 GHz ve üst kesim frekansı 8.2 GHz için frekans planının güncel durumu Figür 7 üzerinde görülebilir.



**Figür 7:** Merkez ve kesim frekansları ve bant genişliği parametreleri ile frekans planı



Her bir alt kanalın bant genişliği  $B_i$ , QPSK modülasyon verimi 1.6 için;

$$B_i = R_b / 1.6 = \mathbf{10\ MHz}$$

Bulunabilir.

### 1.3 Sistem Kayıpları

Tasarlanan link için serbest uzay yol kaybı  $L_{FSL}$

$$L_{FSL} = 92.4 + 20 * \log_{10}(f) + 20 * \log_{10}(D) = \mathbf{141.4\ dB}$$

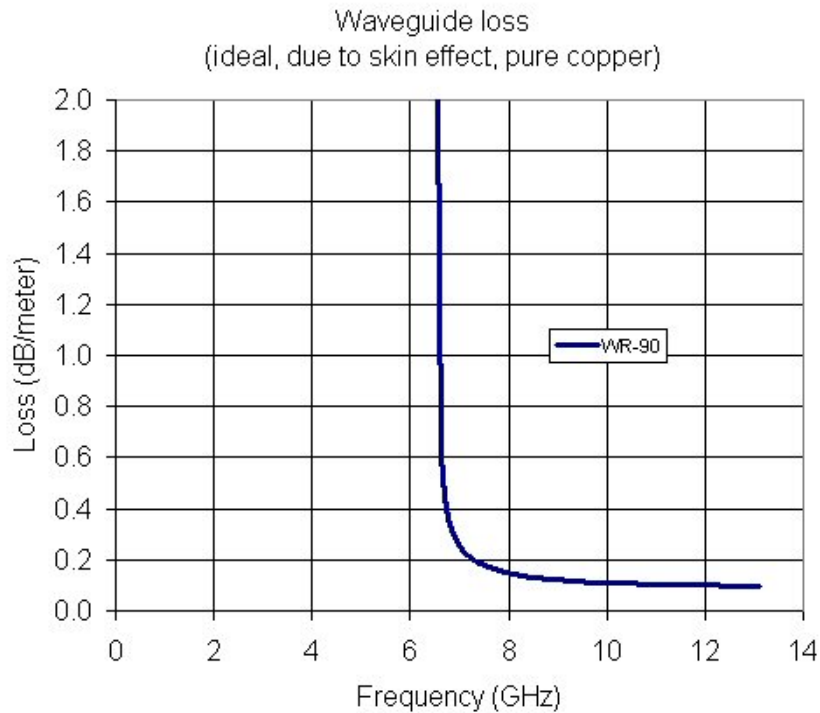
Şeklinde hesaplanır.

Kulelerden 5 metre uzaklığa yerleştirilmesi planlanan kontrol merkezleri için toplam iletim hattı  $Y1$  ve  $Y2$ ;

$$Y = \text{Birinci kule yüksekliği} + \text{Yatay iletim hattı boyu} = 20 + 5 = \mathbf{25\ metre}$$

$$Y2 = \text{İkinci kule yüksekliği} + \text{Yatay iletim hattı boyu} = 40 + 5 = \mathbf{45\ metre}$$

Bu uzunluklar kullanılarak, Figür 8 üzerinde gösterilmiş WR - 90 dalga kılavuzu için kayıp değeri;



**Figür 8:** WR-90 dalga kılavuzu metre başına kayıp – frekans grafiği [6].

$$L_t = 0.17 * (25 + 45) = \mathbf{11.9\ dB}$$

Şeklinde elde edilir.

Anten ayarsızlığı, devre aşınması alıcı güç sayısı değişimi gibi kayıpları ayarsızlık kaybı  $L_m$ ,

$L_m = 3 \text{ dB}$  olarak kabul edilebilir.

Dallanma kaybının hesabında tercih edilebilecek PE8403 sirkülatörü için öznitelikler Figür 9 üzerinde görülebilir.

#### Electrical Specifications

Description	Minimum	Typical	Maximum	Units
Frequency Range	7		12.4	GHz
Impedance		50		Ohms
Insertion Loss		0.4	0.5	dB
Isolation	18	20		dB
VSWR		1.25:1	1.3:1	
Forward Power, CW			10	Watts
Reverse Power, CW			10	Watts

Electrical Specification Notes:  
Values at 25°C, sea level.

**Figür 9:** PE8403 öznitelikleri [7].

Seçilen sirkülatör için, dallanma kaybı  $L_b$ ;

$L_b = 0.5 \text{ dB}$  olarak görülebilir.

Hesaplanmış tüm kayıplar toplanarak toplam kayıp “ $L$ ”;

$L = 141.4 + 11.9 + 3 + 0.5 = 156.8 \text{ dB}$  bulunacaktır.

#### 1.3 Fade Marjı

Orta Karadeniz bölgesi içinde yer alan tasarım bölgesi için, iklim faktörü “ $b$ ” 1/4, çevre faktörü “ $a$ ” 1 kabul edilmiştir.

Yılda ortalama 10 dakikalık bir aşımın gerçekleşeceği bir olasılık hesabında, kullanılabilirlik (availability) “ $A$ ” ve aşım olasılığı “ $P(0)$ ”;

$$P(0) = 600 / 365 * 24 * 60 * 60 = 1.9 * 10^{-5}$$

$$A = 1 - P(0) = 0.99998$$

İle hesaplanabilir.

Diversity uygulanmadan hesaplanacak Fade marjı “ $F$ ”;

$$F = 30 \log(D \text{ (mil)}) + 10 \log(a * b * f \text{ (GHz)}) - 56 - 10 \log P(0)$$

$$F = 34.4 \text{ dB}$$

Uzay diversitesi kullanılarak fade marjı iyileştirmesi yapılması düşünülmüş, ve antenler arası mesafe “ $S$ ” 5 feet olarak seçilmiştir. Birleştirici histerisizi için “ $h^2$ ” 2 ve dolayısıyla “ $h^{-2}$ ” 1/2 kullanılmıştır. Bu durumda hesaplanacak yeni ve etkin fade marjı “ $F_s$ ”

$$F_s = 20 \log(D \text{ (mil)}) - 10 \log(S \text{ (feet)}) + 5 \log(\{h^2 + h^{-2}\} / 2) + 5 \log(a * b) - 7.2 - 5 \log P(0)$$

$$F_s = 26.8 - 6.9 - 1.5 - 3 - 7.2 + 23.6 = 31.8 \text{ dB}$$

Olası dağılma ve girişim durumlarına karşı hesaplanacak düz fade marjı “FFM” ,  
“DFM = 42 dB” ve “IFM = 60 dB” için;

$$FFM = -10 \log ( 10^{-EFM/10} - 10^{-DFM/10} - 10^{-IFM/10} ) = 32.24 \text{ dB}$$

Bulunacaktır. Bu noktada son olarak hesaplanmış FFM değerini fade marjı olarak kabul etmek olası dağılma ve girişim durumlarına karşı da bir koruma sağlayacaktır.

### 1.3 Link Bütçesi

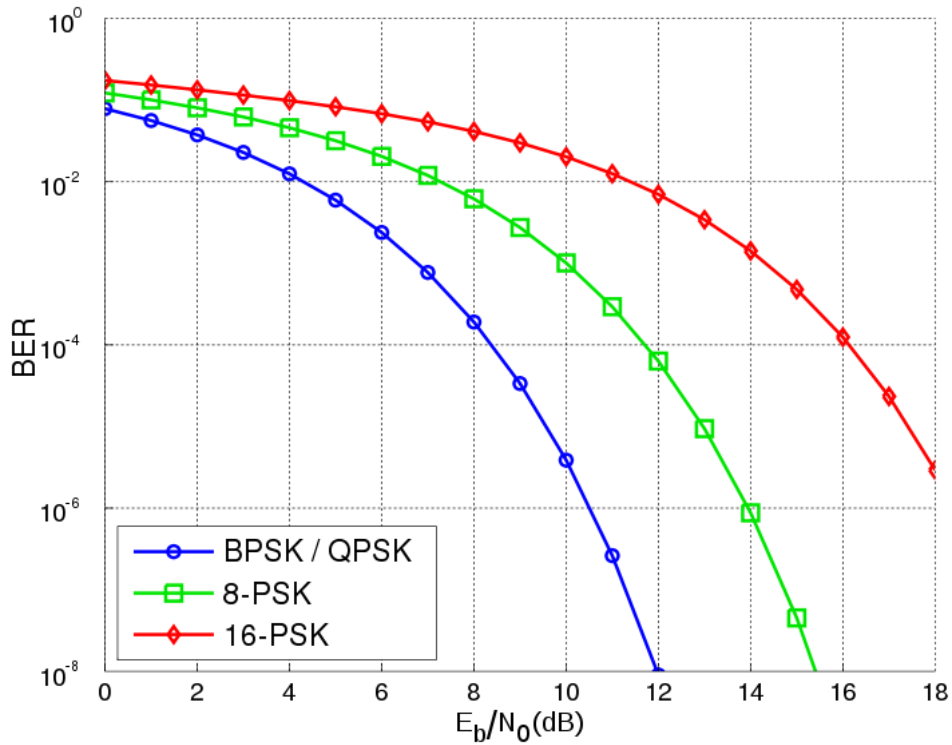
Sistem toplam kazancı Gs verici gücünden alınan işaretin sahip olması gereken minimum seviye çıkarılarak hesaplanabilir.

Verici gücü “ $P_t$ ” 40 dBm olarak seçilirse;

Alıcıda görülmesi beklenen işaretin minimum seviyesi “ $RSL_m$ ”

$RSL_m = k * T_o + R_b + N_f + E_b/N_0 \text{ dB}$  ile elde edilir.

Q-PSK için  $E_b/N_0$  değerine Figür 10 incenelerek ulaşılabilir.



**Figür 10:** Farklı modülasyon türleri için  $E_b/N_0$  – BER grafiği

$k * T_o = -174 \text{ dBm/Hz}$  oda sıcaklığında sabittir.

$R_b = 10 \log (R_b) = 79.82 \text{ dB}$  bit hızı ile bulunur.

$N_f = 8 \text{ dB}$  alıcı gürültü sayısı için tercih edilmiş değerdir.

$E_b/N_0 = 10 \text{ dB}$  olarak figür üzerinde okunmuştur.

Böylece “ $RSL_m$ ”

$$RSL_m = -174 + 79.82 + 8 + 10 = \mathbf{-76\ dBm}$$
 bulunur.

Sistem kazancı “ $G_s$ ” ve anten kazançları “ $G_t$ ” ve “ $G_r$ ” için hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$G_s = P_t - RSL_m = \mathbf{116\ dB}$$

$$G_s = L + F - G_t - G_r$$

$$116 = 156.8 + 32.24 - G_t - G_r$$

$$G_t + G_r = \mathbf{73\ dB}.$$

Antenler alıcıda ve vericide eş olarak tercih edilirse bir antenin kazancı

$$G = \mathbf{36,5\ dB}$$

Olarak bulunabilir.

Antenlerin çanak olarak seçileceği düşünülürse yarıçapları “ $r$ ”;

$$G = 17,8 + 20\log(r\ (metre)) + 20\log(f\ (GHz))$$

$r = \mathbf{1.07\ metre}$  çanak yarıçapı elde edilir.

### 3. SONUÇ

Kılavuzlu Üçhanlar arasında tasarımı yapılmış bu radyolinkte elde edilen sonuçlar dönem boyunca üzerine çalışılmış tasarımlardan yanıltıcı seviyede uzak değildir. Hesaplanan anten çapı kabul 1.07 metre uygulanabilir ve kabul edilebilir bir tercihtir. Verici çıkış gücü çok küçük bir güç olmamakla birlikte, azaltılması hedeflendiğinde anten kazançları arttırılabileceği gibi; alıcı gürültü sayısı azaltılabilir veya kayıpların azaltılması yoluna gidilebilir. Farklı bir modülasyon türünün kullanılması veya frekans planına çapraz modülasyon eklenmesi de olası tercih seçenekleri arasındadır.

Sistemin gerçekleşmesinde karşılaşılabilecek en önemli problem eşit olmayan ve düşük sayılmayacak kule yükseklikleri konusudur. Her iki kulenin yüksekliklerinin idealde eşit, ancak pratikte birbirine çok yakın olması istenmesi durumunda yeni üçgenler kurularak tasarım tekrarlanabilir.

10 GHz altında çalışıldığından atmosferik etkiler ve yağıştan kaynaklı olacak kayıplar ihmal edilmiştir. Telefon iletimi yerine daha kritik ve yüksek frekanslı bir uygulamada bu kayıpların hesaplara dahil edilmesi gerekmektedir.

## 4. KAYNAKÇA

- [1] Prof. Dr. Mesut Kartal, “Ders Notları” , İTÜ, 2019
- [2] Freeman, R. (2007). *Radio system design for telecommunications*. New York: IEEE.
- [3] Ali, Mohammad & Jayakody, Dushantha Nalin & Chursin, Yury & Affes, Sofiène & Dmitry, Sonkin. (2019). Recent Advances and Future Directions on Underwater Wireless Communications. Archives of Computational Methods in Engineering. 26. 1-34.  
10.1007/s11831-019-09354-8.
- [4] Google Earth Pro, link : <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/>
- [5] Karadeniz Ormanları, link : <https://www.orman.gen.tr/karadeniz-ormanlari.html>
- [6] Waveguide Kayıpları, link : <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/waveguide-loss>
- [7] Sirkülatör, link : <https://www.pasternack.com/images/ProductPDF/PE8403.pdf>
- [8] Eb / N0 grafikleri, link : <https://en.wikipedia.org/wiki/Eb/N0>