

# SÜREKLİ PARAMETRELİ GENETİK ALGORİTMA İLE UYDU LİNK TASARIMI

**Hv.Mu.Ütğm. Murat BAĞCI\***

Hava Harp Okulu  
Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü  
Uzay Bilimleri Ana Bilim Dalı  
Yeşilyurt / İSTANBUL  
bagci\_murat@windowslive.com

**Tayfun GÜNEL**

İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Maslak / İSTANBUL  
gunelmur@itu.edu.tr

*Geliş Tarihi: 24 Haziran 2010, Kabul Tarihi: 27 Temmuz 2011*

## ÖZET

*Bu çalışmada; verici yer istasyonu, frekans dönüştürücü yer eşzamanlı yörünge uydusu ve alıcı yer istasyonu arasında tek yönlü bir uydu haberleşme link tasarımı yapılmıştır. Link yapısı, farklı polarizasyonların kullanımı ile çift yönlü olarak da kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır. Link tasarımı sürecinde çeşitli yağmur ve girişim etkileri de dikkate alınmıştır. Sayısal haberleşmenin kullanıldığı senaryolar içerisinde; C, X, Ku ve Ka frekans bantlarında link'e ait bit hata olasılıkları incelenmiştir. Modülasyon türü olarak QPSK (Kuadrattir Faz Kaydırmalı Anahtarlama) ve BPSK (İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama) modülasyonları kullanılmış olup, 36 MHz ve 72 MHz uydu transponder band genişlikleri için haberleşme senaryoları geliştirilmiş ve "Sürekli Parametrelili Genetik Algoritma" yardımıyla eniyileme işlemi gerçekleştirilmiştir. Verici ve alıcı görevinde bulunan birbirinden ayrı iki bölgede konuşlu yer istasyonları arasında, bir "Yer Eşzamanlı Yörünge Uydusu" aracılığıyla, kurulacak tek yönlü link'e ait en hatasız iletişimi sağlayacak link parametreleri belirlenmiştir. Hesaplamalar için MATLAB programı kullanılarak, grafik kullanıcı arayüzüne sahip bir yazılım geliştirilmiştir.*

***Anahtar Kelimeler:** Uydu Haberleşmesi, Genetik Algoritma, Link Tasarımı.*

## SATELLITE LINK DESIGN BY THE CONTINUOUS PARAMETER GENETIC ALGORITHM

### ABSTRACT

*In this study, a simplex satellite communications link has been designed between a transmitting ground station, and a receiving ground station, by way of a geosynchronous satellite. Design structure allows duplex utilization of the link by employing different polarizations. Effects of precipitation and interference have been taken into consideration. Link bit error rates have been analyzed for digital communications at C, X, Ku and Ka bands, using "Quadrature Phase Shift Keying" (QPSK) and "Binary Phase Shift Keying" (BPSK) modulations, and for satellite transponder bandwidths of 36 MHz and 72 MHz. Studies were carried out under various scenarios and optimizations were achieved utilizing the "Continuous Parameter Genetic Algorithm" (CPGA) method. Optimum link parameters were determined in each case, resulting in the lowest bit error rate, for a simplex communications link established between a transmitting ground station and a receiving ground station, by exploiting a geosynchronous satellite. Calculations were performed using a unique computer program incorporating a graphic interface, which was developed in MATLAB.*

***Keywords:** Satellite Communications, Genetic Algorithm, Link Design.*

## 1. GİRİŞ

Uzay ve Roket Bilimlerinin öncüsü olarak kabul edilen Konstantin Eduardoviç Tsiolkovski'nin 20. yüzyılın başındaki çalışmalarından sonra, 2. Dünya Savaşı Dönemi Almanya'sında özellikle roketler ve mikrodalga alanında çarpıcı gelişmeler kaydedilmiştir [1]. Soğuk Savaş dönemine gelindiğinde, Rusya (o

dönemki adıyla Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği) ve Amerika Birleşik Devletleri arasında başlayan uzay yarışı aklın sınırlarını zorlayacak bir rekabete yol açmış ve bu rekabet neticesinde çok önemli bilimsel gelişmeler tarihteki yerlerini almıştır.

1957 yılında ilk yapay uydu olan SPUTNIK'in Ruslar tarafından fırlatılması ile Uzay Çağı başlamıştır [2].

\* Sorumlu Yazar

Takip eden yıllar içinde çeşitli gelişmeler olmuştur. 1965 yılında ilk ticari yer eşzamanlı yörünge uydusu INTELSAT-1 (EARLY BIRD) hizmete başlamış ve günümüze kadar uzayın haberleşme alanındaki önemi katlanarak artmıştır.

Günümüzde VSAT (Çok Küçük Açıklıklı Yer Terminalleri) olarak adlandırılan küçük boyutlu yer istasyonları aracılığıyla tek noktadan çok noktaya ve çok noktadan tek noktaya uydular aracılığı ile haberleşme hizmetleri sağlanmaktadır. Ayrıca mobil haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler ile dünyanın her yerinde telefon görüşmesine imkân tanıyan küresel haberleşme sistemleri de haberleşme uyduları ile sağlanabilmektedir. Bu el tipi terminaller aslında çok küçük boyutlu yer istasyonları olarak da adlandırılabilirler.

Geleneksel bir uydu haberleşme sistemi üç temel bölümden oluşur [2]. Bunlar:

- Uzak Bölümü,
- Kontrol Bölümü,
- Yer Bölümü

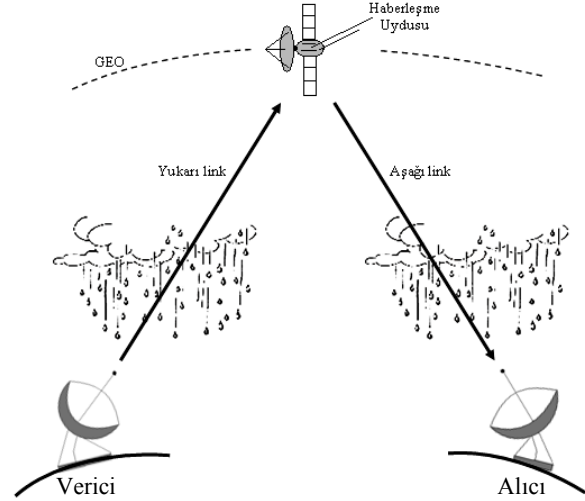
Bu çalışmada tasarlanmış olan uydu haberleşme link yapısında; uzay ve yer bölümlerine yer verilmiştir. Tasarımın yer bölümünde; biri verici diğeri alıcı görevinde olan iki adet yer istasyonu bulunmaktadır. Uzay bölümünde ise frekans dönüştürücü tipte bir GEO (yer eşzamanlı yörünge) haberleşme uydusu yer almaktadır. Verici yer istasyonundan uydu aracılığıyla alıcı yer istasyonuna uydu haberleşme linki ile tek yönlü veri aktarımının en az hatayla yapılmasının hedeflendiği bu çalışmada: Anten çap değerlerinin, verici güç değerlerinin, verici frekans değerlerinin ve kullanılan modülasyon türünün en uygun değerleri SPGA (Sürekli parametrel genetik algoritma) ile araştırılmıştır [3].

## 2. KURAMSAL TEMELLER

Uydu haberleşme sisteminin uzay ve yer bölümünde görev alan temel sistemler Şekil 1 ile verilen haberleşme senaryosunda gösterildiği gibi düşünülmüştür. Uydu ve yer istasyonlarına ait bilgiler aşağıda verildiği gibidir [4,5,6,7].

- Uyduya ait bilgiler:
  - Yörünge türü: GEO,
  - Yörünge şekli: Dairesel,
  - Yörünge yarıçapı,  $r_{GEO}$ : 42164,3 km;
  - İrtifası: 35786,16 km,
  - Boylamı,  $\Lambda_U$ : 42 ° D
  - Enlemi,  $\varphi_U$ : 0 ° (Ekvatoral),
  - Dünyanın ekvatoral yarıçapı,  $r_d$ : 6378,14 km,
  - Dünyanın dışmerkezlilik katsayısı,  $e_d$ : 0,08182
- Verici yer istasyonuna ait bilgiler:

- Rakımı,  $Y_{YI}$ : 1 km,
- Boylamı,  $\Lambda_{YI}$ : 30,5972 ° D,
- Enlemi,  $\varphi_{YI}$ : 38,725 ° K
- Alıcı yer istasyonuna ait bilgiler:
  - Rakımı,  $Y_{YI}$ : 1,274 km,
  - Boylamı,  $\Lambda_{YI}$ : 32,7675 ° D,
  - Enlemi,  $\varphi_{YI}$ : 39,8395 ° K



Şekil 1. Uydu Haberleşme Senaryosu.

Şekil 1 ile verilen link yapısını oluşturmak için öncelikle yer istasyonlarının antenleri ile uydu antenlerinin birbirlerini görmeleri sağlanmalıdır. Anten görüş açıları olarak bilinen yükseklik “ $\Theta$ ” ve istikamet “ $Az$ ” açıların bulunması ile bu işlem yapılır. Bu açı değerlerinin bulunabilmesi için uydu ile yer istasyonları arasındaki mesafe “ $d$ ” hassas bir şekilde hesaplanmalıdır. Coğrafi koordinatları bilinen bir noktada konuşlu bulunan yer istasyonu için; dünyanın tam küre olmaması nedeniyle o noktaya has dünyanın yarıçap değeri “ $r_{YI}$ ” hesaplanmalıdır. Bu çalışmada kullanılan yöntemle ait hesaplama adımları aşağıda verilmiştir [8].

$$A = \left( \frac{r_d}{\sqrt{1 - e_d^2 \sin^2(\varphi_{YI})}} + Y_{YI} \right) \cos(\varphi_{YI}) \quad (2.1)$$

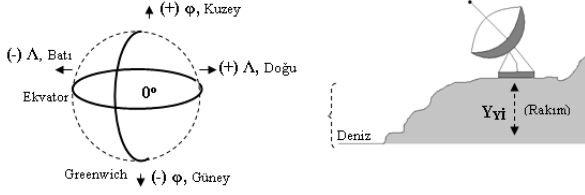
$$B = \left( \frac{r_d(1 - e_d^2)}{\sqrt{1 - e_d^2 \sin^2(\varphi_{YI})}} + Y_{YI} \right) \sin(\varphi_{YI}) \quad (2.2)$$

$$r_{YI} = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (2.3)$$

$$AA = \tan^{-1} \left( \frac{B}{A} \right) \quad (2.4)$$

$$\Delta\Lambda = \Lambda_{YI} - \Lambda_U, \text{ Boyamlar farkı} \quad (2.5)$$

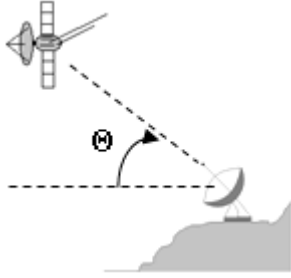
$$d = \sqrt{r_{YI}^2 + r_{GEO}^2 - 2r_{YI}r_{GEO} \cos(\Delta\Lambda) \cos(\Delta\lambda)} \quad (2.6)$$



Şekil 2. Coğrafi Konum ve Rakım Bilgisi

$$\Delta r = r_{GEO} - r_d; \text{Yarıçaplar farkı} \quad (2.7)$$

$$\Theta = \cos^{-1} \left( \frac{r_d + \Delta r}{d} \sqrt{1 - \cos^2(\Delta\Lambda) \cos^2(\varphi_{YI})} \right) \quad (2.8)$$

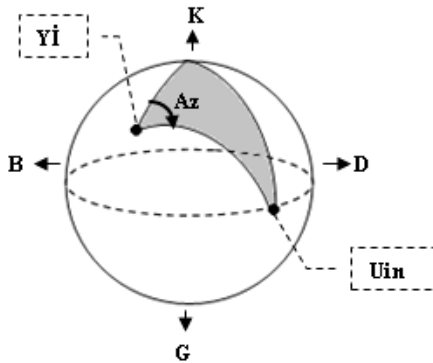


Şekil 3. Anten Yükseklik Açısı

$$BB = \cos^{-1}(\cos(\Delta\Lambda) \cos(\varphi_{YI})) \quad (2.9)$$

$$|\Delta\Lambda| = |\Lambda_{YI} - \Lambda_U| \quad (2.10)$$

$$Az' = \sin^{-1} \left( \frac{\sin(|\Delta\Lambda|)}{\sin(BB)} \right) \quad (2.11)$$



Şekil 4. Anten İstikamet Açısının Belirlenmesi

$$Az = 180^\circ - Az' \quad (2.12)$$

Uydu izdüşümüne “U<sub>in</sub>” göre yer istasyonu “Y<sub>I</sub>” antenin istikamet açısının belirlenmesi Şekil 4, yükseklik açısının belirlenmesi Şekil 3 ile gösterilmiştir. Bu çalışmada tasarım ve programlaması

MATLAB R2008a programı ile yapılan anten görüş açıları ve link yol uzunluğu hesaplama arayüzü ile elde edilen sonuçlar Tablo 1 ile gösterilmiştir.

Tablo 1. Hesaplama Sonuçları.

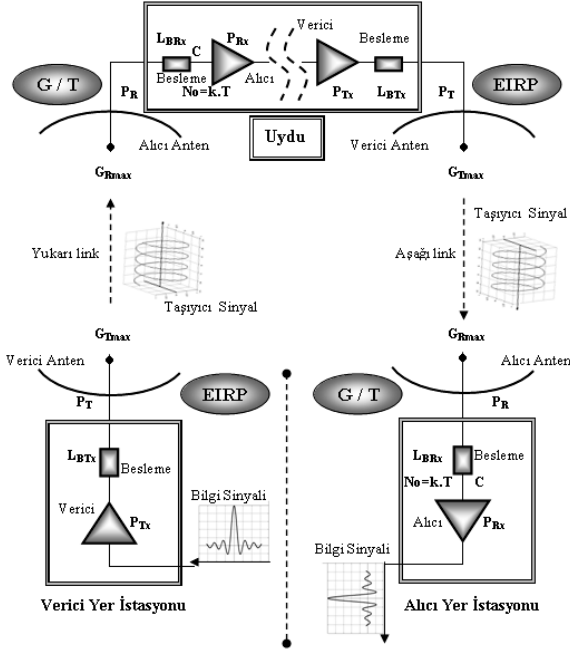
	Verici Y <sub>I</sub> – Uydu	Alıcı Y <sub>I</sub> – Uydu
<b>d</b>	37503 km	37551,7
<b>Θ</b>	43,5811 °	42,9028 °
<b>Az</b>	165,893 °	168,697 °

Bu çalışmada tasarlanan link yapısında; bir frekans dönüştürücü uydu, bir verici yer istasyonu ve bir alıcı yer istasyonu bulunduğu daha önce ifade edilmişti. Şekil 5 ile gösterilmiş olan link tasarımında birimler görev bakımından iki grupta toplanabilirler: Verici ve Alıcı.

- Verici olarak görev alan birimler için:
  - EIRP: Etkin izotropik yayılan güç ifadesi
  - T<sub>X</sub>: Verici
  - P<sub>T<sub>X</sub></sub>: Verici Gücü
  - G<sub>T<sub>X</sub></sub>: Verici Kazancı
- Alıcı olarak görev alan birimler için:
  - $\frac{G}{T}$  veya FOM: Alıcı değer katsayısı. (Alıcı kazancının, Sistem Sıcaklığına oranı)
  - R<sub>X</sub>: Alıcı
  - P<sub>R<sub>X</sub></sub>: Alıcı Gücü
  - G<sub>R<sub>X</sub></sub>: Alıcı Kazancı
  - T<sub>S</sub>: Sistem Sıcaklığı

Tasarlanan link yapısı içerisinde dört adet anten görev almaktadır. Bir anteni niteleyen en temel parametre kazanç “G” değeridir. Maksimum kazanç değeri “G<sub>max</sub>” ise antenin maksimum ışınma doğrultusundadır [9]. Tasarım sürecinde kullanılan antenlerle ilgili kullanılan eşitlikler aşağıda verildiği gibidir.

- η: anten verimi,
- A<sub>ef</sub>: Antenin efektif açıklık yüzey alanı,
- A<sub>geo</sub>: Antenin geometrik yüzey alanı,
- D: Dairesel açıklıklı bir anten yansıtıcısının çapı.



Şekil 5. Link Yapısı.

$$G_{\max} = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right) A_{ef} = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right) (\eta A_{geo}) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right) \left(\eta \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\right) \quad (2.13)$$

$$G_{\max} = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 = \eta \left(\frac{\pi Df}{c}\right)^2 \quad (2.14)$$

Tablo 2. Antenlerin Tasarım Değerleri.

Anten Verimi	Tasarım Değeri (%)	Anten Çapı	Tasarım Değeri (m)
$\eta_{TxYI}$	65	$D_{TxYI}$	1 – 10
$\eta_{RxU}$	55	$D_{RxU}$	0,5 – 4
$\eta_{TxU}$	60	$D_{TxU}$	0,5 – 3
$\eta_{RxYI}$	65	$D_{RxYI}$	1 – 20

İşıma deseni üzerinde yer alan ana huzme üzerinde gücün yarıya düştüğü noktalar antenler konusunda çok önemli ve belirleyicidirler [9]. Bu noktalar yaygın olarak “ $\theta_{3dB} / 2$ ” simgesi ile gösterilirler [2]. Anten ana ekseninden itibaren ışına deseni üzerinde  $\theta$  kadar açı yapan yöndeki kazanç değerinin de tanımlanması gereklidir. Anten yönlendirme hatalarının etkileri bu şekilde belirlenebilir.

$$\theta_{3dB} = 70 \left(\frac{\lambda}{D}\right) = 70 \left(\frac{c}{fD}\right) \quad (2.15)$$

$$G_{\theta} = G_{\max} - \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2\right] \quad (2.16)$$

Antenlerle ilgili olarak tasarım içerisinde incelenen son parametre polarizasyon kayıplarıdır. Depolarizasyon nedeniyle alıcı uçlarda oluşan kayıplar “ $L_{POL}$ ” 3 dB olarak alınmıştır.

Link tasarımında incelenen diğer parametre verici gücüdür. Verici yer istasyonu ve uydu üzerinde toplam iki adet verici bulunmaktadır. SPGA ile optimize edilmesi hedeflenen güç değerleri tablo 3 ile verilmiştir.

Tablo 3. Güç Değer Aralıkları.

Sistem	Güç Aralığı, P (w)
Verici Yer İstasyonu	100 – 500
Uydu Vericisi	10 – 100

Tasarım sürecinde kullanılan güç ile ilgili eşitlikler aşağıda verildiği gibidir [2].

$$EIRP = P_T G_T \quad (2.17)$$

$$P_R = \left(\frac{P_T G_T}{4\pi R^2}\right) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) G_R = (P_T G_T) \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 G_R \quad (2.18)$$

$L_{FS}$ : Serbest uzay kaybı olmak üzere:

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2 \quad (2.19)$$

$$P_R = (P_T G_T) \left[\frac{1}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2}\right] G_R = (P_T G_T) \left(\frac{1}{L_{FS}}\right) G_R \quad (2.20)$$

Bu çalışma içinde incelenen tüm kayıplar “L” simgesi ve kayıplara neden olan kaynak veya etkenler alt indeksler ile gösterilmiştir. Kayıp türlerinden serbest uzay kaybı ve polarizasyon kaybı bu gösterime uygun olarak sırası ile “ $L_{FS}$ ” ve “ $L_{POL}$ ” şeklinde ifade edilmiştir. Bunlardan başka sinyali link boyunca etkileyen; verici ve alıcı sistemler içerisinde oluşan, atmosfer ortamında oluşan, anten yönlendirmelerinden kaynaklanan kayıplar da tasarım sürecinde incelenmiştir.

Verici ve alıcı sistemler içerisinde oluşan donanım kaybı olarak anten besleme elemanlarının kayıpları tasarıma eklenmiştir. Bu çalışmada anten ile alıcı veya verici devreler arasındaki kuplör ve dalga kılavuzu gibi bağlantı elemanlarının bulunduğu ara katman besleme birimi olarak ifade edilmiştir. Besleme birimlerinden kaynaklanan kayıplar; verici tarafta “ $L_{BTx}$ ”, alıcı tarafta “ $L_{BRx}$ ” simgeleri ile gösterilmiştir. Kayıplar ile antene iletilen güç arasındaki ilişki aşağıda verildiği gibidir.

$$P_{Tx} = P_T L_{BTx} \quad (2.21)$$

$$P_{Rx} = \frac{P_R}{L_{BRx}} \quad (2.22)$$

Link yapısı içerisinde ikisi alıcı, ikisi de verici sistem içinde olmak üzere toplamda dört adet besleme birimi bulunmaktadır. Tasarlanan yapı içerisindeki besleme birimlerine ait kayıp değerleri tablo 4 ile sunulmuştur.

**Tablo 4.** Besleme Kayıpları.

Sistem	Besleme Kayıp Değerleri, $L_B$		Link Bölümü
Verici Yİ	1,5 dB	1,413	Yukarı link
Uydu Alıcı	1,0 dB	1,259	Yukarı link
Uydu Verici	1,0 dB	1,259	Aşağı link
Alıcı Yİ	0,5 dB	1,122	Aşağı link

Bu çalışmada verici anten yönlendirme hatasından kaynaklanan kayıp " $L_{\theta Tx}$ " ve alıcı anten yönlendirme hatasından kaynaklanan kayıp " $L_{\theta Rx}$ " simgeleri ile gösterilmiştir. Verici anten çapı " $D_{Tx}$ " ve alıcı anten çapı " $D_{Rx}$ ", vericinin frekansı " $f_{Tx}$ " simgeleri ile ifade edilmiştir. Bu açıklamaya göre yönlendirme hatalarından kaynaklanan kayıpları aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$L_{\theta Tx} = 12 \left( \frac{\theta_{Tx} D_{Tx} f_{Tx}}{70c} \right)^2 \quad (2.23)$$

$$L_{\theta Rx} = 12 \left( \frac{\theta_{Rx} D_{Rx} f_{Tx}}{70c} \right)^2 \quad (2.24)$$

Link yapısı içerisinde ikisi alıcı, ikisi de verici sistem içinde olmak üzere toplamda dört adet anten bulunmaktadır. Tasarlanan yapı içerisindeki antenlere ait hatalı yönlendirme açı değerlerinin " $0,01^\circ$ " olduğu kabul edilmiştir.

Atmosferik kayıplar ile kullanılan frekanslar arasında doğrudan ilişki vardır. Bu çalışmada kullanılan frekans bantları ve değer aralıkları tablo 5 ile ifade edilmiştir.

**Tablo 5.** Kullanılan Bant ve Frekans Değer Aralıkları.

Bant	Yukarı link Frekans Aralığı, $f_u$ (GHz)	Aşağı link Frekans Aralığı, $f_D$ (GHz)
C	6,425 – 5,925	4,5 – 4
X	9,1 – 8,6	8 – 8,5
Ku	14,5 – 14	12,5 – 12
Ka, K	30,2 – 29,7	20,2 – 19,7

Bu çalışmada kullanılan 30,2 GHz'lik frekans tavanı için; 1 atm basınç,  $20^\circ$  C sıcaklık ve  $7,5 \text{ g/m}^3$  'lük su buharının bulunduğu atmosferik şartlar altında, yer seviyesinden dikey olarak yukarı yönde oluşan atmosferik gaz kaynaklı zayıflatma etkisinin maksimum değeri **1 dB** civarındadır [10]. Atmosferik gazların oluşturduğu enerji emiliminden kaynaklanan bu kayıp " $L_{AG}$ " simgesi ile ifade edilmiştir ve maksimum değeri olan **1 dB** değeri link hesaplamalarında kullanılmıştır.

Bulutlardan ve sisten kaynaklanan kayıplar benzer şekilde 1 ile 30 GHz arasında maksimum 1 dB civarındadır [8]. Bulutların ve sisin oluşturduğu kayıp " $L_{CF}$ " simgesi ile gösterilmiş ve maksimum değeri olan **1 dB** değeri link hesaplamalarında kullanılmıştır.

Uydu haberleşmesinde sinyallerin atmosfer içerisinde ilerlerken uğradıkları en ciddi kayıplar yağmur zayıflatmasından kaynaklanan kayıplardır [8]. Bu nedenle yağmur zayıflatmasının link üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla yağmur zayıflatma modelleri tanımlanmıştır. Yağmur zayıflatmasının etkisi temelde frekansa ve anten yükseklik açısına bağlı olarak değişen kayıplara neden olur. Frekans arttıkça dalga boyu küçüleceği için, haberleşmede kullanılan dalga boyunun yağmur damlalarının boyutlarından etkilenen kadar küçüldüğü frekans değerlerinde kayıplar artar.

Bu çalışmada yağmur zayıflatması, noktasal yağış hızı verilerinin seçilmesiyle oluşturulan haberleşme senaryolarında incelenmiştir. Yağmur zayıflatmasından kaynaklanan kayıplar aşağıda verilen model ile hesaplanmıştır [11].

$$L_r = A_r = x d_r r_r^y \quad (2.25)$$

- $A_r$ : Yağmur zayıflatması/kayıbı,
- $x$  ve  $y$ : Küresel yağmur damlaları içindeki elektromanyetik yayılıma ait katsayılarıdır. Bu çalışmada kullanılan frekans tavanı 30,2 GHz olduğu için modelin ilgili katsayıları hesaplamalarda kullanılmıştır.

Frekansa bağımlı olan bu katsayı değerleri, doğrusal kutuplaşma için model içinde aşağıda verildiği gibi ifade edilmişlerdir. (Frekans,  $f$  = GHz)

$$x = 4,21 \cdot 10^{-5} f^{2,42}, f \leq 54 \quad (2.26)$$

$$y = 1,141 f^{-0,0779}, f \leq 25 \quad (2.27)$$

$$y = 2,63 f^{-0,272}, 25 < f \leq 164 \quad (2.28)$$

- $r_r$ : Zayıflatma etkisinin incelendiği yer istasyonu konumu için noktasal yağış hızı (mm/saat) bilgisidir. Yüzde ile ifade edilen alt indeks bilgisi, link hesaplamaları içinde ortalama bir yılın % 0,01'ine karşılık gelen değerler şeklinde kullanılmıştır ve " $r_{0,01}$ " simgesi ile gösterilmiştir. Tasarım içerisinde: Türkiye'nin Doğu Ege ile İç Anadolu Bölgeleri arasında kalan yerler için geçerli olan yağış kontur grafiklerinden elde edilen 20 mm/saat, 22,2 mm/saat ve maksimum değer olarak 50 mm/saat değerleri kullanılmıştır.

- $d_r$ : Yağmurlu bölge içerisinde ilerleyen sinyalin aldığı yol uzunluğudur. Bu geometrik yol uzunluğunun bulunması için oransal ve trigonometrik eşitliklerden faydalanılır [11]. Aşağıda yol uzunluğunun bulunması için kullanılan ifadeler sıralanmıştır.

$\Theta$ : yer istasyonunun yükseklik açısı,

$Y_{YI}$ : Yer istasyonunun rakımı, km,

$Y_0$ : Donma yüksekliği olarak adlandırılır. Yağış tavanı olarak da adlandırılabilir. Donma yüksekliği, yer istasyonunun bulunduğu coğrafi enleme  $\varphi_{YI}$  göre belirlenir (km).

$$Y_0 = 4,8; \quad \varphi_{YI} < 30^0 \quad (2.29)$$

$$Y_0 = 7,8 - (0,1\varphi_{YI}); \quad \varphi_{YI} \geq 30^0 \quad (2.30)$$

$$d_o = \frac{Y_o - Y_{YI}}{\sin(\Theta)} \quad (2.31)$$

$$d_r = \frac{d_o}{1 + \frac{d_o(r_r - 6,2)}{2636}} \quad (2.32)$$

Buraya kadar incelenmiş olan atmosferik kayıpların ve yağmur zayıflatmasından kaynaklanan kayıpların da eklenmesi ile tüm atmosferik kayıplar " $L_A$ " aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$L_A = L_r L_{AG} L_{CF} \quad (2.33)$$

Serbest uzay kaybının " $L_{FS}$ ", atmosferik kayıplarla " $L_A$ " birlikte alınması ile yukarı link ve aşağı link için toplam yol kaybı ifadesi belirlenmiş olur. Yukarı link yol kayıpları " $L_{d,Up}$ " ve aşağı link yol kayıpları " $L_{d,Down}$ " simgeleri ile gösterilir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$L_{d,Up} = L_{FS} L_A \quad (2.34)$$

$$L_{d,Down} = L_{FS} L_A \quad (2.35)$$

Alıcı uçtaki güç ifadesini, incelenen tüm kayıplar ve kazançlar ile yeniden düzenleyerek aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P_{Rx} = \underbrace{\left( \frac{P_{Tx} G_{Tx,max}}{L_{\theta Tx} L_{BTx}} \right)}_{VERICI} \underbrace{\left( \frac{1}{L_{FS} L_A} \right)}_{ATMOSFER} \underbrace{\left( \frac{G_{Rx,max}}{L_{\theta Rx} L_{BRx} L_{POL}} \right)}_{ALICI} \quad (2.36)$$

Haberleşme sistemleri için, alıcı uça bilgi sinyaline dönüştürülmesi istenen taşıyıcı sinyal gücüne eklenen,

tüm istenmeyen katkılar gürültü olarak sınıflandırılır [12]. Alıcı sistemler için gürültü çok önemli bir kavramdır. Bunun nedeni ise, alıcı ön ucu olarak bilinen sinyalin alıcıya ulaştığında etkileşime girdiği ilk bölümde sinyal gücü çok düşüktür. Bu nedenle gürültünün etkisinin en ciddi olduğu bölüm bu bölgedir. Bu çalışmada tasarlanan link yapısı içerisinde iki adet alıcı sistem bulunmaktadır. Bu alıcı sistemler için yapılmış gürültü ve sıcaklıkla ilgili hesaplamalar aynı mantığa dayalı olmakla birlikte, alıcının ve alıcı anteninin bulunduğu yere göre farklılıklar göstermektedir.

Link yapısı içinde bulunan bu alıcı sistemler; anten, besleme birimi ve alıcı birimlerinden oluşmaktadır. Isı nedeniyle, içerisinde bulunana serbest yapıdaki elektronların rastgele hareketleri sonucu, bu birimler tarafından ısı (termal) gürültü oluşturulur. Bir elektronik donanımın sıcaklığı mutlak sıfırın ( $0^0 K = -273,15^0 C$ ) üzerinde ise, o donanım tarafından daima ısı gürültü oluşturulur [12].

Haberleşme sistemi için zararlı olarak tanımlanan gürültü, modüleli taşıyıcıya ait **BG** (Bant genişliği) içinde oluşur. Gürültü hesaplamalarında yaygın olarak **beyaz gürültü** modeli kullanılır. Eşdeğer gürültü bant genişliği ile alıcıda görülen eşdeğer gürültü gücü **N** ile gösterilir.

$$N = N_0 BG \quad (2.37)$$

Sistem içerisindeki her bir cihazdan kaynaklanan gürültü, eşdeğer bir gürültü sıcaklık değeri ile nitelendirilir. Başka bir deyişle, donanım yerine eşdeğer gürültü değerini oluşturan direnç elemanının termodinamik sıcaklık değeri kullanılarak 2.37 eşitliği yeniden düzenlenebilir.

**k**: Boltzmann sabiti =  $1,39 \cdot 10^{-23} J / ^0K = -228,6 dBw / ^0K / Hz$

**T**: Gürültü kaynağının eşdeğer gürültü sıcaklığı,  $^0K$

$$N = kTBG ; \quad N_0 = kT \quad (2.38)$$

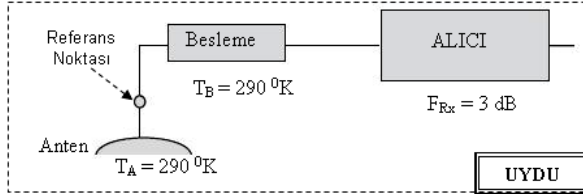
Isıl gürültüyü oluşturan cihazın, girişindeki istenen sinyal gücü / gürültü gücü oranının, çıkışındaki sinyal gücü / gürültü gücü oranına bölümü ile **gürültü figürü "F"** bulunur [8]. Gürültü figürü bilinen bir cihaz için eşdeğer gürültü sıcaklığı bulunabilir. Gürültü figürü ile eşdeğer gürültü sıcaklığı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$F = \left( 1 + \frac{T}{T_0} \right) \longrightarrow (F - 1)T_0 = T \quad (2.39)$$

Daha öncede belirtildiği gibi link yapısındaki alıcı sistemler içerisinde birbirlerine bağlı durumda üç birim bulunmaktadır. Anten, besleme ve alıcı

sıralamasıyla birbirine bağlanmış bu birimlerden her birinin kendisine ait bir gürültü değeri ve dolayısıyla eşdeğer gürültü sıcaklığı vardır. Bu şekilde birbirine bağlanmış yapılara kaskad bağlı elemanlar denilir. Bu yapının tamamı için bileşke bir sıcaklık değeri vardır. Bu değere alıcı sistem eşdeğer sıcaklığı denilir ve “ $T_s$ ” simgesi ile ifade edilir.  $N$  adet elemandan oluşan bir sistem için eşdeğer sıcaklığın bulunmasında kullanılan eşitlik aşağıda verildiği gibidir. ( $^0K$ )

$$T_s = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots + \frac{T_N}{G_1 G_2 \dots G_{N-1}} \quad (2.40)$$



Şekil 6. Uyduların Alıcı Sistem Sıcaklığı.

Link yapısının yukarı link bölümünün alıcı ucu olan uyduların alıcı sistemine ait, link tasarımında kabul edilen değerler Şekil 6 ile verilmiştir. Eşdeğer sıcaklık hesaplamalarında, tıpkı bir direnç gibi sinyal gücünde zayıflatma etkisi yapan cihazların kayıp değerleri “ $L$ ” ile gürültü figürleri “ $F$ ” arasındaki ilişki aşağıda verildiği gibidir [13].

$$F_{DONANIM} = L_{DONANIM} \quad (2.41)$$

Uyduların alıcısının besleme birimine ait kayıp “ $L_{BRx}$ ” **1 dB** olarak verilmiştir. Uyduların alıcı anten sıcaklığı “ $T_A$ ” **290 K**, besleme birimine ait termodinamik sıcaklık “ $T_B$ ” **290 K**, ve alıcı gürültü figürü “ $F_{Rx}$ ” **3 dB** olacak şekilde tasarım yapıldığı kabul edilmiştir. Referans sıcaklık değeri “ $T_0$ ” **290 K** olarak kabul edilmiştir. Buna göre uyduların alıcı sistemine ait sıcaklık “ $T_{sU}$ ” ve eşdeğer gürültü gücü “ $N_{sU}$ ” hesaplamaları aşağıda verildiği gibi yapılmıştır.

$$L_{BRx} = 1, dB = 10^{\frac{1}{10}} = 1,259 = F_B \quad (2.42)$$

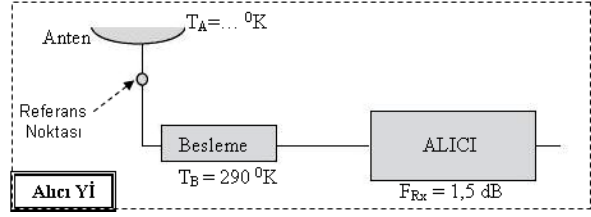
$$T_{Rx} = (F_{Rx} - 1)T_0 = \left(10^{\frac{3}{10}} - 1\right)290 \approx 288,63 \quad (2.43)$$

$$T_{sU} = \frac{T_A}{L_{BRx}} + \left(T_B \left(1 - \frac{1}{L_{BRx}}\right)\right) + T_{Rx} \quad (2.44)$$

$$T_{sU} = \frac{290}{1,259} + \left(290 \left(1 - \frac{1}{1,259}\right)\right) + 288,63 \approx 578,63 \quad (2.45)$$

$$N_{sU} = kT_{sU}BG \quad (2.46)$$

$$N_{sU} = (1,39 \cdot 10^{-23})(578,63)BG \quad (2.47)$$



Şekil 7. Yer İstasyonu Alıcı Sistem Sıcaklığı.

Link yapısının aşağı link bölümünün alıcı ucu olan alıcı Yİ sistemine ait, link tasarımında kabul edilen değerler Şekil 7 ile verilmiştir. Sistemin eşdeğer sıcaklık ve gürültü gücü hesaplamaları uyduların alıcı sistemi ile aynı şekilde yapılmıştır. Fakat dünya üzerinde konumlu olan alıcı yer istasyonunun anten sıcaklığı hesaplamalarında farklar bulunur. Uyduların alıcı anteninin sıcaklığı için dünyanın parlaklık sıcaklığı olan **290 K** kullanılmıştır [13].

Alıcı yer istasyonu anten sıcaklığı ise; açık gökyüzü parlaklık sıcaklığı “ $T_{Gök}$ ”, zemin parlaklık sıcaklığı “ $T_{Yer}$ ”, ortalama termodinamik sıcaklık “ $T_m$ ” ve yağmur zayıflatması “ $L_r$ ” ifadelerinin kullanımı ile hesaplanır. Açık gökyüzü parlaklık sıcaklığı için bu çalışmada kullanılan en yüksek frekans değeri olan **30,2 GHz** değerine karşılık olarak  $T_{Gök} = 50 K$  değeri kullanılmıştır [2]. Zemin ortalama parlaklık sıcaklığı “ $T_{Yer}$ ” ise alıcı yer istasyonu anteninin yükseklik açısına “ $\Theta$ ” bağlı olarak tanımlanır ve aşağıda verildiği gibi ifade edilir [2].

$$T_{Yer} = 10, ^0K \longrightarrow 10^0 < \Theta < 90^0 \quad (2.48)$$

Ortalama termodinamik sıcaklık  $T_m = 275 K$  olarak alınmıştır. Bu açıklamalara göre tasarlanan sistemin anten sıcaklığı “ $T_A$ ” aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$T_A = \left(\frac{T_{Gök}}{L_r}\right) + \left(T_m \left(1 - \frac{1}{L_r}\right)\right) + T_{Yer} \quad (2.49)$$

$$T_A = \left(\frac{50}{L_r}\right) + \left(275 \left(1 - \frac{1}{L_r}\right)\right) + 10 \quad (2.50)$$

Anten gürültü sıcaklığının “ $T_A$ ”, yağmur kayıplarına “ $L_r$ ” göre değişeceği eşitlik 2.49 ile gösterilmiştir. Alıcı yer istasyonunun besleme birimine ait kayıp “ $L_{BRx}$ ” **0,5 dB** olarak verilmiştir. Yer istasyonu alıcı anten sıcaklığı “ $T_A$ ”, besleme birimine ait termodinamik sıcaklık “ $T_B$ ” **290 K**, ve alıcı gürültü figürü “ $F_{Rx}$ ” **1,5 dB** olacak şekilde tasarım yapıldığı kabul edilmiştir. Referans sıcaklık değeri “ $T_0$ ” **290 K** olarak kabul edilmiştir. Buna göre yer istasyonu alıcı sistemine ait

sıcaklık “ $T_{s_{YI}}$ ” ve eşdeğer gürültü gücü “ $N_{s_{YI}}$ ” hesaplamaları aşağıda verildiği gibi yapılmıştır.

$$L_{BRx} = 0,5, dB = 10^{\frac{0,5}{10}} = 1,122 = F_B \quad (2.51)$$

$$T_{Rx} = (F_{Rx} - 1)T_0 = \left(10^{\frac{1,5}{10}} - 1\right)290 \approx 119,64 \quad (2.52)$$

$$T_{s_{YI}} = \frac{T_A}{L_{BRx}} + \left(T_B \left(1 - \frac{1}{L_{BRx}}\right)\right) + T_{Rx} \quad (2.53)$$

$$T_{s_{YI}} = \frac{T_A}{1,122} + \left(290 \left(1 - \frac{1}{1,122}\right)\right) + 119,64 \quad (2.54)$$

$$T_{s_{YI}} \approx (T_A 0,8913) + 151,18 \quad (2.55)$$

$$N_{s_{YI}} = kT_{s_{YI}}BG \quad (2.56)$$

$$N_{s_{YI}} = (1,39 \cdot 10^{-23}) \left( (T_A 0,8913) + 151,18 \right) BG \quad (2.57)$$

Şekil 5 verilen link yapısı içerisinde haberleşmenin sayısal olarak yapıldığı kabul edilmiştir. Sayısal haberleşme genel olarak, analog yapıdaki bilgi işaretinin bir dizi işlem sonrasında sayısal işarete dönüştürülmesi ve daha sonrasında alıcıya iletilmesi olarak tanımlanabilir [14].

Analog bilgi işaretinin sayısal işarete dönüştürülmesi için Shannon ve Nyquist tarafından tanımlanan örnekleme teoremi temel oluşturur. Bu teoreme göre analog bilgi işaretinden zamanda örnekleme yapılarak işaret sayısal uzaya aktarılır. Bant genişliği ile sınırlı olan bilgi işareti, eşit zaman aralıklarında örnekler alınarak sayısal işarete dönüştürülür. Daha sonra yüksek bir frekansa sahip taşıyıcı işaret ile alıcıya gönderilir. Burada sayısal işareten bir dizi işlem sonrası analog yapıdaki bilgi işareti tekrar elde edilir [15]. Bilgi işareti üzerinde verici ve alıcıda yapılan bu işlemler sırasıyla modülasyon ve demodülasyon olarak adlandırılırlar. Modülasyon işlemi yapılmış olan işarete modüleli işaret denilir. Sayısal işaretin elde edilmesinde darbe dizilerinden oluşan sinyaller kullanılır. Bu sayede güç kullanımında ciddi azalmalar sağlanır ve bu özellik haberleşme sistemleri için çok önemlidir.

Değişikliğe uğramamış haldeki analog bilgi işareti, analog haberleşmede temel band sinyali olarak tanımlanır. Analog işareti, ikili sayı tabanına göre **1** ve **0** 'lardan oluşan sayısal bit dizilerinin oluşturduğu sayısal işarete; alçak frekanslı bir elektriksel işaret elde edilecek şekilde dönüştüren sistemler temel bant sistemler olarak adlandırılır [14]. Sayısal bilgiye ait

alçak frekanslı işaretleri ileten sistemlere temel bant sayısal sistemler denilir.

Temel bant sinyalleri içerisinde bitlerin bir araya gelerek oluşturduğu semboller, bir taşıyıcı içinde alıcıya gönderilirler. Bu iletimin sağlıklı olması için temel bant sayısal sistemler içerisinde pek çok yapı bulunur. Bunlardan en önemlileri semboller arası girişimi engellemek amacıyla kullanılan filtrelerdir. Bu çalışmada **yükseltilmiş kosinüs filtresi** olarak adlandırılan filtre türü tasarım içerisinde yer almıştır. Yükseltilmiş kosinüs filtresine ait frekans uzayındaki darbe cevabı karakteristiği aşağıda verildiği gibidir [14].

$$H(f) = \begin{cases} T_p & , 0 \leq |f| \leq \frac{1-\rho}{2T_p} \\ \frac{T_p}{2} \left\{ 1 - \sin \left[ \frac{\pi T_p}{\rho} \left( |f| - \frac{1}{2T_p} \right) \right] \right\} & , \frac{1-\rho}{2T_p} \leq |f| \leq \frac{1+\rho}{2T_p} \\ 0 & , \text{diğer} \end{cases} \quad (2.58)$$

Eşitlik 2.58'de, “ $T_p$ ” işaretin periyodunu, “ $\rho$ ” filtrenin yuvarlama (Roll-Off) değerini göstermektedir. Yuvarlama faktörü “ $\rho$ ”, **0** ile **1** arasında değerler alır ve **0** değerine yaklaştıkça iletim verimini artırır. Bu çalışmada “ $\rho$ ” değeri **0,2** olan yükseltilmiş kosinüs filtresi kullanıldığı varsayılarak tasarım gerçekleştirilmiştir.

Temel bant sayısal sistemlerde işaretler alçak frekans değerlerinde oldukları için doğrudan bant geçiren özellikli bir kanal içerisinden iletilemezler. Bunun için sayısal temel bant işareti, yüksek frekanslı bir taşıyıcı ile modüle edilerek alıcıya iletilir [14]. Sayısal haberleşmede kullanılan taşıyıcı işarete örnek olarak bir sinyal modeli aşağıda verilmiştir.

$$x(t) = \underbrace{A}_{Genlik} \cos \left( \underbrace{2\pi f_t}_{Frekans} t + \underbrace{\theta_{Faz}}_{Faz} \right) \quad (2.59)$$

Eşitlik 2.59 ile verilen dalga yapısında, “ $A$ ” ifadesi işaretin genliğini, “ $f_t$ ” frekansını ve “ $\theta_{Faz}$ ” faz açısını göstermektedir. Bu değerler üzerinde yapılan modülasyon teknikleri, işlem yaptıkları değere ve tekniğe göre isimlendirilirler. Uydu haberleşmesinde kullanılan modülasyon teknikleri yaygın olarak “ $\theta_{Faz}$ ” değeri üzerinde işlemler yapan tekniklerdir.

Bir taşıyıcının faz açısı değerinin  $\theta_{Faz}$ , bilgi işaretini oluşturan **1** ve **0** bit değerlerine göre değiştirilmesine **faz kaydırmalı anahtarlama** denilir. Uydu haberleşme sistemlerinde yaygın olarak faz kaydırmalı anahtarlama modülasyon tekniklerinden; kuadratur (dörtlü) faz kaydırmalı anahtarlama (**QPSK**) ve ikili faz kaydırmalı anahtarlama (**BPSK**) modülasyon teknikleri kullanılır.



Bu çalışmada uydu haberleşme sisteminde **QPSK** veya **BPSK** modülasyon tekniklerinin kullanıldığı kabul edilerek tasarım yapılmıştır. QPSK modülasyon tekniğinde; birbirine dik yapıda olan sinüs ve kosinüs formunda iki taşıyıcı sinyal kullanılır. Her bir taşıyıcı için iki olası durum olduğu için, QPSK modülasyonu ile dört ayrı sinyal ifadesi elde edilir. Her bir sinyale karşılık olarak bitlerden oluşan semboller ile haberleşme sağlanır. QPSK modülasyonuna göre oluşan dört farklı faz durumu için dalga biçimleri aşağıda verildiği gibidir [14].

$$x(t)_1 = \cos(2\pi f_i) + \sin(2\pi f_i) = \sqrt{2} \cos\left(2\pi f_i + \frac{\pi}{4}\right) \quad (2.60a)$$

$$x(t)_2 = \cos(2\pi f_i) + \sin(2\pi f_i) = \sqrt{2} \cos\left(2\pi f_i + \frac{3\pi}{4}\right) \quad (2.60b)$$

$$x(t)_3 = \cos(2\pi f_i) + \sin(2\pi f_i) = \sqrt{2} \cos\left(2\pi f_i + \frac{5\pi}{4}\right) \quad (2.60c)$$

$$x(t)_4 = \cos(2\pi f_i) + \sin(2\pi f_i) = \sqrt{2} \cos\left(2\pi f_i + \frac{7\pi}{4}\right) \quad (2.60d)$$

Uydu haberleşme sistemleri için önemli olan bir diğer iletişim parametresi de bit iletim hızıdır. Bit iletim hızı, saniyede iletilen bit sayısı (**bps**) olarak tanımlanır ve bu çalışmada "**Rb**" simgesi ile gösterilmiştir. Bit hızı "**Rb**", sayısal haberleşme sistemlerinde, bant genişliği "**BG**", ve filtre yuvarlama faktörüne "**ρ**" bağlı bir değerdir. Kullanılan modülasyon tekniğine göre bit hızının, bant genişliği ve filtre yuvarlama faktörüne bağlı ifadesi değişim gösterir. Bu çalışmada yükseltilmiş kosinüs filtresi kullanıldığı daha önce ifade edilmişti. Buna göre QPSK modülasyonu için bit hızı "**Rb**" ifadesi aşağıda verilmiştir ( $Rb = \dots \text{bps}$ ) [10].

$$Rb_{QPSK} = \frac{2BG}{1 + \rho} \quad (2.61)$$

BPSK modülasyon tekniğinde; bir tane sinüs veya kosinüs formunda taşıyıcı sinyal kullanılır. İki sayı tabanına göre kodlanmış bilgi işaretinin "0" ve "1" değerlerini iletmek için; taşıyıcı sinyal aralarında  $\pi$  radyan veya  $180^\circ$  faz farkı olan iki sinyal çıkışı olacak şekilde modülasyon işlemi uygulanır. BPSK modülasyonu ile iki farklı sinyal ifadesi elde edilir. Her bir sinyale karşılık olarak bitlerden oluşan semboller ile haberleşme sağlanır. BPSK modülasyonu, QPSK modülasyonuna göre elektronik altyapı gereksinimi bakımından daha basit ve sade bir yapıdadır. Fakat iletilen bit hızı verimi bakımından

QPSK modülasyonunun yarı hızındadır. BPSK modülasyonuna göre oluşan iki farklı faz durumu için dalga biçimleri aşağıda verildiği gibidir [16].

$$x(t)_1 = \sqrt{2} \cos(2\pi f_i) \quad (2.62a)$$

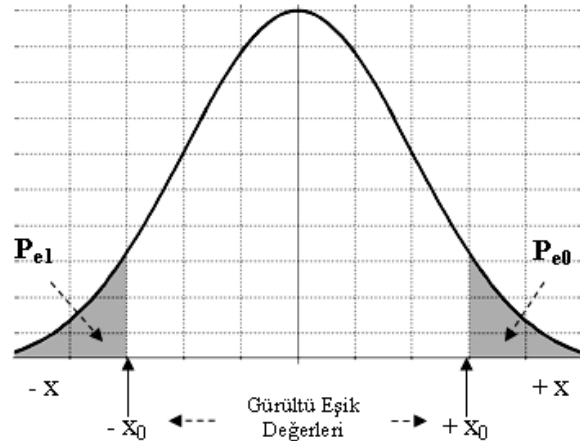
$$x(t)_2 = \sqrt{2} \cos(2\pi f_i + \pi) \quad (2.62b)$$

BPSK modülasyonu için bit hızı "**Rb**" ifadesi aşağıda verilmiştir ( $Rb = \dots \text{bps}$ ) [10].

$$Rb_{BPSK} = \frac{BG}{1 + \rho} \quad (2.63)$$

Sayısal haberleşmede karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi de temel bant sinyalini ifade eden "0" ve "1" bit değerlerinin alıcı uçta hatalı olarak algılanmasıdır. Sayısal haberleşme sistemlerinin tasarım sürecinde özellikle uyumlu filtreler kullanımı ile bu sorun büyük ölçüde azaltılır fakat olasılık teorisine göre hatalı bit algılanması mutlaka olacaktır. Taşıyıcı sinyalin tasarlanmış olan link yapısı içerisinde yol alırken uğradığı zayıflatma etkileri ve kayıplar bu çalışmada incelenmiştir. Gürültü etkisinin de bu kayıplara eklenmesi ile taşıyıcı sinyal, dolayısıyla temel bant sinyalini oluşturan bilgi bitlerinde bozulmalar görülecektir. Alıcı tarafından hatalı bit alınması, **bit hata olasılığı** olarak adlandırılır. Sayısal uydu haberleşme sistemlerinde bit hata olasılığı "**BER**" kısaltması ile ifade edilir. Bu çalışmanın amacı, **BER** değerlerini olabildiğince azaltacak link yapısındaki fiziksel parametrelere ait değerlerin belirlenmesidir.

BER ifadesinin hesaplanması için, alıcı girişinde **normal olasılık dağılımı** veya **Gauss olasılık dağılımı** olarak bilinen dağılım yapısında gürültü bulunduğu kabul edilir. İki kutuplu bir temel bant sayısal sinyali "0" ve "1" değerlerinden oluşur. Bu nedenle olası iki hata durumu mevcuttur. Bunlar 0 yerine 1 ve 1 yerine 0 algılanma olasılığıdır.



Şekil 8. Normal Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu.

Standart normal olasılık dağılımı formundaki gürültü için iki tane eşik değeri belirlenir. Bunun nedeni temel bant sinyalinin iki kutuplu (bipolar) yani “+” ve “-” genlik değerlerine sahip olmasıdır [14]. Eğer gürültünün değeri bu eşik değerlerinden büyük olursa hata oluşur. Şekil 8 ile standart normal olasılık yoğunluk fonksiyonu “ $P_{normal}$ ” ve eşik değerleri gösterilmiştir. Bu durumda rastgele bir değişken olan “ $x$ ” değerinin, “ $x_0$ ” değerine eşit veya büyük olma olasılığı aşağıda verildiği gibidir [8].

$$P_{normal}(x \geq x_0) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{x_0}^{\infty} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.64)$$

Eşitlik 2.64 ile gösterilen “ $m$ ” değeri dağılımın ortalamasını, “ $\sigma$ ” değeri ise dağılımın standart sapmasını ifade etmektedir. Buna göre “0” yerine “1” algılanma hata olasılığı “ $P_{e0}$ ” ile “1” yerine “0” algılanma olasılığı “ $P_{e1}$ ” aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P_{e0}(+x \geq +x_0) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{+x_0}^{\infty} e^{-\frac{(+x-m)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.65a)$$

$$P_{e1}(-x \geq -x_0) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-x_0}^{\infty} e^{-\frac{(-x-m)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.65b)$$

Eşitlik 2.65a ve 2.65b ile verilen ifadeler analitik olarak hesaplanamazlar. Bu ifadelerin sayısal olarak hesaplanmış değerleri tablolar halinde bulunmaktadır. Bu tablo değerlerini karşılayan bir fonksiyon tanımlanmıştır. Bu fonksiyona **hata fonksiyonu** denilir ve “**erf(z)**” simgesi ile gösterilir. BER değerinin hesaplanmasında ise **tamamlayıcı hata fonksiyonu** kullanılır ve “**erfc(z)**” simgesi ile ifade edilir [8]. Bu fonksiyonlara ait eşitlikler aşağıda verildiği gibidir.

$$erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-x^2} dx \quad (2.66)$$

$$erfc(z) = 1 - erf(z) \quad (2.67)$$

$$erfc(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^{\infty} e^{-x^2} dx \quad (2.68)$$

Sayısal haberleşme sistemlerinde iletişim bilgi bitleri ile yapıldığı için BER ifadesinin bulunmasında da bitler ile ilişkili hesaplamalar yapılır. Bu

hesaplamalarda bit başına düşen enerjinin “ $E_b$ ”, gürültü gücü spektral yoğunluğuna “ $N_0$ ” oranı kullanılır. Bilgi bitlerinin alıcıya taşınmasını sağlayan taşıyıcının gücü “ $C$ ” ile gürültü gücü “ $N$ ” arasındaki oransal ifadeden yararlanarak “ $E_b / N_0$ ” oranı hesaplanabilir [2]. Bu ifadelerle ilgili eşitlikler aşağıda verildiği gibidir.

$$C = P_{Rx} \quad (2.69)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \frac{P_{Rx}}{N} = \frac{P_{Rx}}{kTsBG} = \frac{P_{Rx}}{N_0BG} \quad (2.70)$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right) = \left(\frac{C}{N}\right)(BG) \quad (2.71)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \left(\frac{C}{N}\right)\left(\frac{BG}{Rb}\right) \quad (2.72)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \left(\frac{C}{N_0}\right)\left(\frac{1}{Rb}\right) \quad (2.73)$$

Bu çalışmada eşitlik 2.73 ile verilen “ $E_b / N_0$ ” ifadesi kullanılmıştır. Bu eşitlik ile elde edilen “ $E_b / N_0$ ” ifadesi, optimizasyon süreci içerisinde amaç fonksiyonu olarak kullanılan BER fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılmıştır. QPSK ve BPSK modülasyonları için tanımlanmış olan ve bit hata fonksiyonu olarak tanımlanan **BER<sub>QPSK, BPSK</sub>** fonksiyonu aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Bu eşitlikte “ $E_b / N_0$ ”, **dB** birimine dönüştürülerek ( $10 \cdot \log_{10}(\dots)$ ) kullanılmıştır.

$$BER_{QPSK, BPSK} = \frac{1}{2} erfc\left(\sqrt{10 \log_{10}\left(\frac{E_b}{N_0}\right)}\right) \quad (2.74)$$

Haberleşme sistemleri için girişim etkisi çok ciddi bir problemdir. Girişim; bir haberleşme sisteminde istenen taşıyıcı veya taşıyıcıların frekans bandında yer alan, diğer taşıyıcıların istenmeyen güç katkısı veya katkıları olarak tanımlanabilir [2].

Uydu haberleşmesinde kullanılan sistemler arasında temel olarak ayırt edilebilen dört tip girişim etkisi vardır [2]. Bunlar:

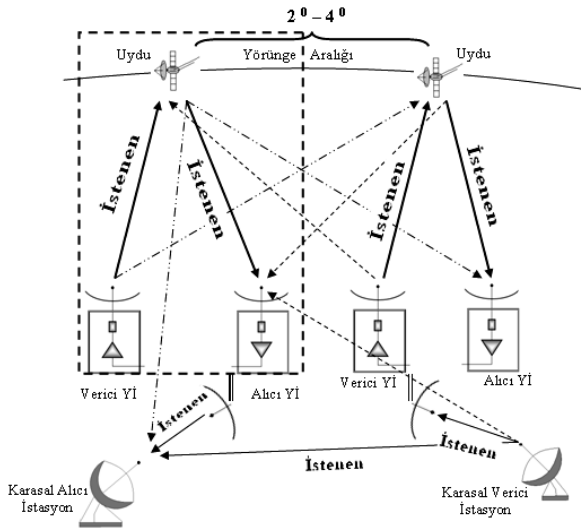
- Karasal bir istasyonun, bir uydu üzerinde oluşturduğu girişim etkisi,
- Bir uydunun, karasal bir istasyon üzerindeki girişim etkisi,
- Karasal bir istasyonun, bir yer istasyonu üzerindeki girişim etkisi,

- Bir yer istasyonunun, karasal bir istasyon üzerindeki girişim etkisi

Diğer sistemler tarafından gönderilen taşıyıcılar; verici yer istasyonundan, alıcı yer istasyonuna uydu aracılığıyla kurulmuş linke ait taşıyıcı üzerine iki link bölgesinde yerleşirler [2]. Bu bölgeler:

- Yukarı link aşamasında, uydu alıcı sisteminin giriş bölgesi,
- Aşağı link aşamasında, alıcı yer istasyonun giriş bölgesidir.

Bu tanımlamalara göre şekil 9 ile sistemler arasında oluşan girişime ait geometrik yapı gösterilmiştir.



Şekil 9. Girişim Etkisi.

Yer istasyonlarının konuşlandığı bölgeye göre yüksek binalar ve doğal engellerde çeşitli kaynaklardan gelen elektromanyetik sinyalleri yansıtarak girişim etkisi yaratabilirler [17]. Şekil 9 ile verilen geometrik yapı içerisinde dört tane uydu haberleşme yer istasyonu, iki tane uydu ve iki tane karasal istasyon yer almaktadır. Bu yapı içerisinde bile girişim etkisi karmaşık bir yapıdadır. Gerçekte ise sistem sayıları çok fazladır. Bu nedenle link yapısı üzerindeki toplam girişim etkisinin modellenmesi çok zordur [10].

Bu çalışmada girişim, etkilediği link üzerinde ısı gürültü artışına neden olan harici bir katkı olarak modellenmiştir ve "I" simgesi ile ifade edilmiştir. Tasarlanmış olan link yapısı içerisine, etkilemiş olduğu link bölgesinde taşıyıcı gücünün, gürültü gücü spektral yoğunluğuna oranı olarak eklenmiştir. Haberleşme senaryosu içerisinde aşağıdaki verilmiş olduğu gibi yer alır.

$$\frac{\text{Taşıyıcı Gücü}}{\text{Girişim Gücü}} = \left( \frac{C}{I} \right) \quad (2.75)$$

$$\frac{1}{\left( \frac{C}{I} \right)_{\text{Toplam}}} = \frac{1}{\left( \frac{C}{I} \right)_{\text{YUKARI\_Link}}} + \frac{1}{\left( \frac{C}{I} \right)_{\text{ASAGI\_Link}}} \quad (2.76)$$

Yukarı link ve aşağı link üzerinde etkili olan girişim etkisi için, haberleşme senaryolarında üç adet değer kullanılmıştır. Bunlar 20 dB, 25 dB ve 30 dB değerleridir.

Uçtan uca tüm link için tüm etkiler göz önünde bulundurularak taşıyıcı gücü / gürültü gücü spektral yoğunluğu oranı, bit başına enerji / gürültü gücü yoğunluğu ve bit hata olasılığı yeniden düzenlenerek aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{1}{\left( \frac{C}{N_0} \right)_{\text{Tum\_Link\_dB}}} = \frac{1}{\left( \frac{C}{N_0} \right)_{\text{YUKARI\_Link\_dB}}} + \frac{1}{\left( \frac{C}{N_0} \right)_{\text{ASAGI\_Link\_dB}}} + \frac{1}{\left( \frac{C}{I} \right)_{\text{TumL\_dB}}} \quad (2.77)$$

$$\left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{Tum\_Link}} = \left( \frac{C}{N_0} \right)_{\text{TumL}} \left( \frac{1}{R_b} \right) \quad (2.78)$$

$$BER_{QPSK, BPSK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{\left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{TumL}}}{\left( \frac{C}{I} \right)_{\text{TumL\_dB}}}} \right) \quad (2.79)$$

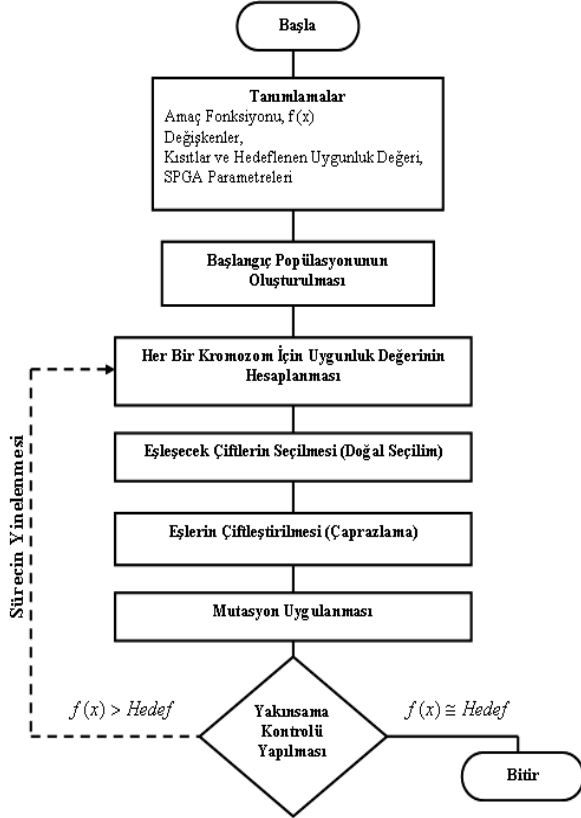
### 3. SPGA

Bu çalışmada; optimizasyon yöntemlerinden biri olan GA (genetik algoritma) türlerinden, SPGA (sürekli parametrel genetik algoritma) yöntemi kullanılmıştır. GA, evrim teorisi ile genetik biliminin ilkelerinden yararlanılarak ortaya çıkarılmış bir modeldir.

GA ile eniyileme yönteminde; çalışma yapılacak probleme ait değişkenler **genlere**, probleme uygulanan değişken değerlerinin oluşturduğu diziler ise tekil yapıdaki **kromozomlara** karşılık gelir. Eniyileme olarak ifade edilen kavram aslında probleme ait olası en iyi sonucun bulunması olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle en iyiye karar vermek denilebilir. Eniyileme sürecinin uygulanacağı problemin, matematiksel fonksiyon yapısında olması gerekir.

Kullanılan bu fonksiyona amaç fonksiyonu (uygunluk ve maliyet olarak ta adlandırılır) denilir [18].

Bu çalışmada genetik algoritma türlerinden birisi olan ve sürekli parametrel genetik algoritma yöntemi kullanılmış olduğu daha önce ifade edilmişti. SPGA yöntemi, değişkenlere ait değerlerin sürekli olduğu bir problemin çözümünde kullanılır. İkili GA yapısında "0" ve "1" değerlerinden oluşan ve kromozom olarak adlandırılan parametre dizileri, SPGA da gerçek sayı değerlerine ait ifadelerden oluşur [19].



Şekil 10. SPGA Akış Şeması.

Şekil 10 ile gösterilen SPGA akış şemasının tanımlamalar adımında eşitlik 2.79 ile verilen bit hata olasılığı fonksiyonu amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. İki adet güç, iki adet frekans ve dört adet anten çap değeri olmak üzere toplam **sekiz** adet değişken tanımlaması yapılmıştır. Tanımlanan değişkenlere ait alt ve üst sınırlar kısıtlar olarak tanımlanmıştır. SPGA parametrelerinden doğal seçim oranı olarak %50 ve mutasyon oranı olarak %20 değerleri sabit yapıda tanımlanmıştır. Popülasyon boyutu ve iterasyon sayısı kullanıcı etkileşimli arayüz ile girdi sağlanacak şekilde tasarımı yapılmıştır.

Bu çalışmada ağırlıklı rastgele eşleştirme yöntemlerinden, sıra ağırlıklandırma ile eşleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem uygunluk değerlerinden bağımsız bir yöntemdir [19]. Hayatta

kalacak üyelerin sıralamasını temel alarak, eşleştirme işlemi olasılık dağılımına göre yapılır.

Çaprazlama adımında çiftler halinde seçilen kromozomların rastgele belirlenen değişkenleri arasında karşılıklı parametre transferi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile oluşturulan yeni kromozomlar; başlangıç popülasyonunun oluşturulması sırasında rastgele olarak üretilen değerlerin çeşitli kombinasyonları formunda bulunurlar. Bunun anlamı ise başlangıçta üretilen değerlerden farklı olarak yeni bilgilerin üretilmemesidir [19].

SPGA yaklaşımı bu duruma bir sorun olarak bakar ve bunu aşmak için karıştırma yöntemleri adıyla anılan yaklaşımları kullanır. Çaprazlama noktalarının belirlendikten sonra klasik değer takası yerine, burada ebeveynlere ait değerlerin kullanımı ile değişime uğratılmış değerler çaprazlama noktalarına yerleştirilir. Böylelikle bilgi değişimi belirli ölçülerde sağlanmış olur.

SPGA'da mutasyon basit bir ifadeyle popülasyon matrisi içerisindeki bazı değerlerde rastgele değişiklikler yapılmasıdır. Mutasyon uygulamalarındaki amaç, SPGA'nın yerel maksimum ve minimum noktaları çok olan bir fonksiyon üzerinde, genel minimum veya maksimum noktaya ulaşmak yerine bu yerel değerlere takılmasını önlemektir [19].

SPGA son bölümde oluşan yeni popülasyon matrisindeki kromozomları, amaç fonksiyonuna uygular. Oluşan uygunluk veya maliyet değerlerini, tanımlama bölümündeki hedeflenen değer ile mantıksal bir işlem uygulayarak kıyaslar. Kıyaslama sonucunda hedeflenen değere, istenen hassasiyette **yaklaşılmamışsa**; süreç SPGA'nın ilgili adımından başlamak şartıyla yeniden işletilir. Kıyaslama sonucunda hedeflenen değere, istenen hassasiyette **yaklaşılmışsa**, algoritma durdurulur.

#### 4. UYGULAMA

Kuramsal temeller kısmında hesaplama adımları ayrıntılı olarak incelenmiş olan bit hata olasılığı fonksiyonu, SPGA bölümündeki işlem adımlarına uygun olarak MATLAB - Versiyon 7.6.0.324 (R2008a) programı ile bilgisayarla benzetim mantığına uygun olarak tasarlanan grafik kullanıcı arayüz programı ile optimize edilmiştir.

Uydu haberleşme senaryoları olarak daha önce ifade edilen yapı, yine kullanıcı grafik arayüzü ile çeşitli senaryolara imkân verecek şekilde tasarlanmıştır.

Modülasyon türü, bant genişliği, vericilerin frekans bantları, istasyonların bulunduğu konumlardaki yağış hızları ve alıcılardaki girişim verilerinin arayüz ile değiştirilebilmesine olanak sağlanmıştır. Bu sayede pek çok uydu haberleşme senaryosu modellenmiştir. Tablo 6 ile haberleşme senaryolarını oluşturan parametreler sunulmuştur.

**Tablo 6.** Haberleşme Senaryolarının Parametreleri.

Parametreler	Seçenekler			
Modülasyon Türü	QPSK		BPSK	
Bant Genişliği	36 MHz		72 MHz	
Frekans Bandı	C	X	Ku	Ka
Yağış Hızı (mm/saat)	20	22,2	50	
Girişim Değeri (dB)	20	25	30	

Belirlenen haberleşme senaryolarına göre SPGA tarafından kullanılan bit hata olasılık fonksiyonuna ait değişkenler ve bu değişkenlere ait değer aralıkları aşağıda verildiği gibidir.

- SPGA parametreleri:
  - Değişken sayısı: 8
  - Doğal seçim oranı: %50
  - Mutasyon oranı: %20
- BER fonksiyonuna ait parametreler ve değer aralıkları:

Yukarı link için:

- Verici yer istasyonu anten çapı,  $D_{Tx}$ :
  - $1 \leq D_{Tx} \leq 10$ ; metre
- Uydu alıcı anten çapı,  $D_{Rx}$ :
  - $0,5 \leq D_{Rx} \leq 4$ ; metre
- Verici yer istasyonu verici gücü,  $P_{Tx}$ :
  - $100 \leq P_{Tx} \leq 500$ ; watt
- Verici yer istasyonu verici frekansı,  $f_{Tx}$ :
  - $5,925 \leq f_{Tx} \leq 6,425$ ; GHz (C bant için)
  - $8,6 \leq f_{Tx} \leq 9,1$ ; GHz (X bant için)
  - $14 \leq f_{Tx} \leq 14,5$ ; GHz (Ku bant için)
  - $30,2 \leq f_{Tx} \leq 29,7$ ; GHz (Ka bant için)

Aşağı link için:

- Uydu verici anten çapı,  $D_{Tx}$ :
  - $0,5 \leq D_{Tx} \leq 3$ ; metre
- Alıcı yer istasyonu anten çapı,  $D_{Rx}$ :
  - $1 \leq D_{Rx} \leq 20$ ; metre
- Uydu verici gücü,  $P_{Tx}$ :
  - $10 \leq P_{Tx} \leq 100$ ; watt

- Uydu verici frekansı,  $f_{Tx}$ :
  - $4 \leq f_{Tx} \leq 4,5$ ; GHz (C bant için)
  - $8 \leq f_{Tx} \leq 8,5$ ; GHz (X bant için)
  - $12 \leq f_{Tx} \leq 12,5$ ; GHz (Ku bant için)
  - $19,7 \leq f_{Tx} \leq 20,2$ ; GHz (K bant için)

Bu çalışmada dokuz farklı senaryo tasarlanan optimizasyon programına uygulanmıştır. Senaryo uygulamalarından birincisine ait örnek parametreler tablo 7 ve optimizasyon sonuçları ise tablo 8 ile aşağıda verilmiştir.

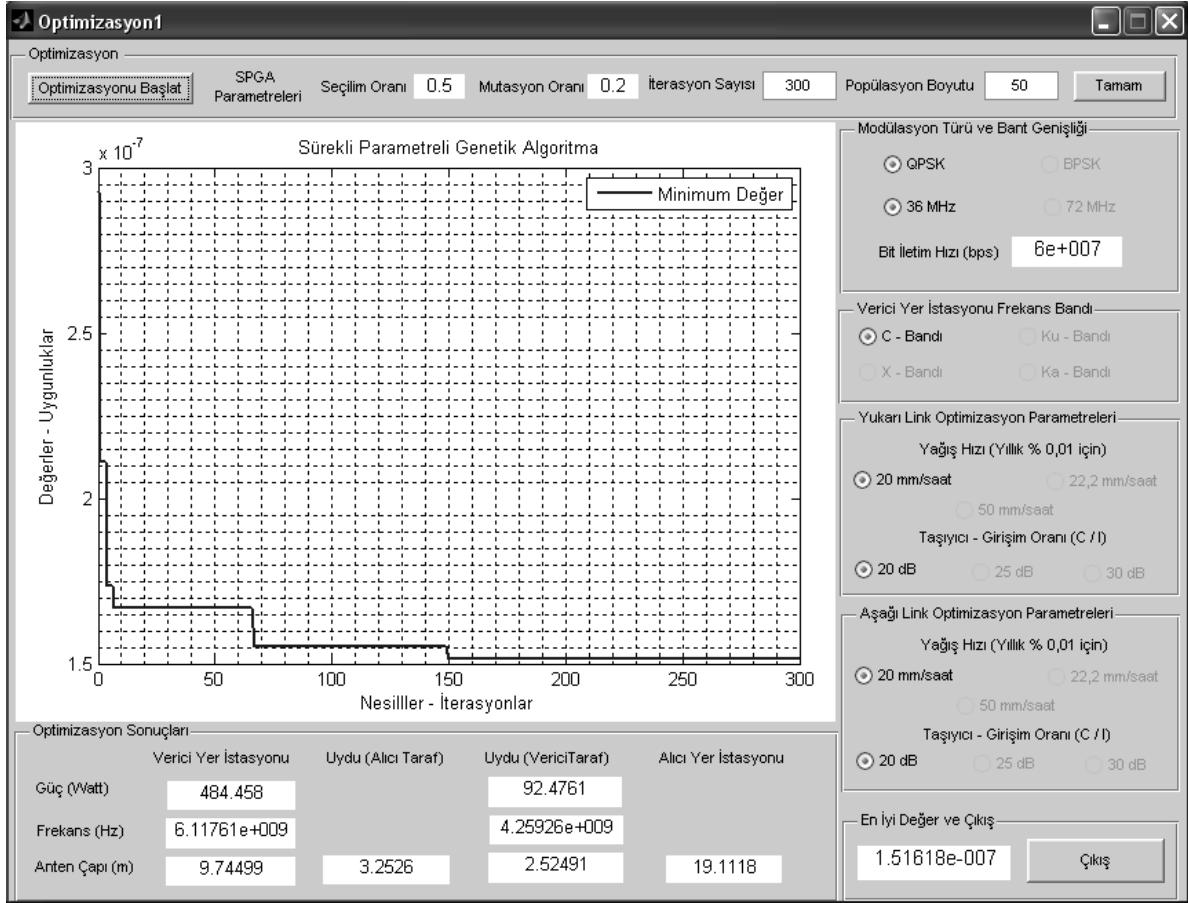
**Tablo 7.** Haberleşme Senaryosu 1.

Haberleşme Senaryosu Parametreleri	Seçenekler
Modülasyon Türü	QPSK
Bant Genişliği, MHz	36
Frekans Bandı	C
Verici Yer İstasyonu için Yağış Hızı, (mm/saat)	20
Alıcı Yer İstasyonu için Yağış Hızı, (mm/saat)	20
Verici Yer İstasyonu için (C/I)	20
Alıcı Yer İstasyonu için (C/I)	20

Haberleşme senaryosu 1'e ait grafik kullanıcı arayüz programının uygulama sürecindeki görüntüsü şekil 11 ile verilmiştir.

**Tablo 8.** Haberleşme Senaryosu 1'e ait Bulgular.

Link Parametresi		SPGA Tarafından Bulunan Değer
Yukarı link	Verici Yer İstasyonu Gücü, $P_{Tx}$ ( W )	484,458
	Verici Yer İstasyonu Frekansı, $f_{Tx}$ (Hz)	6117611600,525
	Verici Yer İstasyonu Anten Çapı, $D_{Tx}$ ( m )	9,745
	Uydu Alıcı Anten Çapı, $D_{Rx}$ ( m )	3,253
Aşağı link	Uydu Verici Gücü, $P_{Tx}$ ( W )	92,476
	Uydu Verici Frekansı, $f_{Tx}$ (Hz)	4259259684,741
	Uydu Verici Anten Çapı, $D_{Tx}$ ( m )	2,525
	Alıcı Yer İstasyonu Anten Çapı, $D_{Rx}$ ( m )	19,112
Bit İletim Hızı, $R_b$ (Mbps)		60
Bit Hata Olasılığı ( BER )		<b>1,516e-07</b>

**Şekil 11.** Senaryo 1 için SPGA ile Optimizasyon Uygulaması.

**Tablo 9.** Uygulanan Haberleşme Senaryolarının Sonuçları.

Senaryo	BER Değeri	Frekans Bandı	Bant Genişliği (MHZ)	Modülasyon Türü	Bit İletim Hızı (Mbps)
1. Senaryo	1,516e-07	C	36	QPSK	60
2. Senaryo	1,987e-07	C	72	QPSK	120
3. Senaryo	1,833e-08	X	36	QPSK	60
4. Senaryo	4,626e-09	Ku	72	QPSK	120
5. Senaryo	0,187e-03	Ka	36	QPSK	60
6. Senaryo	0,232e-03	Ka	36	QPSK	60
7. Senaryo	7,528e-05	Ka	36	BPSK	30
8. Senaryo	2,291e-10	Ku	72	BPSK	60
9. Senaryo	1,123e-09	C	36	BPSK	30

## 5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Çağımızda iletişim olmazsa olmaz ihtiyaçlarımız arasına girmiştir. Günlük hayatın her noktasında kişisel veya kitlesel haberleşme sistemlerini ve bu sistemlerin elemanlarını görmek mümkündür. Küçülen dünya kavramının ortaya çıkmasında çok büyük rolü olan haberleşme sistemleri, artık pek çok farklı alt sistemin bir araya gelerek oluşturdukları büyük ağ sistemlerine dönüşmüştür.

Bu çalışmada tasarlanmış olan optimizasyon programına uygulanan dokuz uydu haberleşme senaryosuna ait sonuçlardan bazıları tablo 9 ile gösterilmiştir. Buna göre:

- Intel(R) Pentium(R) M 1500 MHz işlemci ve 512 MB, 239 MHz RAM özellikleri bulunan bilgisayar üzerinde çalıştırılan optimizasyon programı seçilen iterasyon sayısı ve popülasyon boyutuna bağlı olarak 3 ile 7 dakika arasında sonuçları vermiştir.
- Uydu haberleşmesinde kullanılan frekans spektrumunun C ve Ku bantları yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle C bandında frekans tahsisi yoğunluk nedeniyle sıkıntı yaratmaktadır. X bandı genel olarak askeri sistemlere tahsis edildiği için Ku bandı sivil haberleşme uyduları tarafından tercih edilen bir haberleşme bandı konumundadır. Özellikle Ku ve Ka bantlarında yer alan frekans değerleri için en çok dikkat edilmesi gereken etmen, yağmur nedeniyle oluşan kayıplardır (Senaryo 4, 5 ve 6). Bu nedenle yer istasyonlarının kurulacağı bölgede kısa ve uzun dönem yağış ortalamalarının düşük olması uydu haberleşmesi için hata olasılığını azaltır.
- Haberleşme senaryolarında C, X, Ku ve Ka bantları için örnekler verilmiştir. Hatanın en az olduğu haberleşme bantları X ve Ku olarak gözlemlenmiştir (Senaryo 3 ve 4). Buna karşın yüksek frekans değerlerinin kullanıldığı Ka bandının yağmurdan çok etkilendiği ve hatanın en yüksek olduğu haberleşme bandı olduğu

gözlemlenmiştir (Senaryo 5 ve 6). Sistem tasarımında; C bandı çıkan hata olasılık sonuçlarına göre halen cazibesini korumaktadır (Senaryo 1 ve 2).

- Haberleşme senaryolarında incelenen bir diğer etki ise temel bant sinyalinin bant genişliğidir. Çıkan sonuçlara göre, temel bant sinyalinin bant genişliği arttıkça hata olasılığı artmaktadır (Senaryo 1 ve 2).
- Yağmur kadar etkili olan bir diğer faktör ise girişim etkisidir. Bu çalışma içerisinde tasarlanmış olan tüm haberleşme senaryolarında girişim etkisi link tasarımına dâhil edilmiştir. Yukarı link ve/veya aşağı link üzerinde girişim etkisinin artması sonucu hata olasılığının arttığı tüm senaryolarda gözlemlenmiştir.
- Haberleşme sistemlerinin tamamı için, veri iletim hızı başka bir deyişle bit iletim hızı tasarım sürecinde büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada bit iletim hızı; modülasyon türünün ve bant genişliğinin seçimine göre değişim göstermektedir. 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı haberleşme senaryolarında QPSK modülasyonu seçilerek en az hataya ulaşılmaya çalışılmıştır. 7, 8 ve 9 numaralı senaryolarda ise BPSK modülasyonu seçilerek en az hata hedeflenmiştir. Tüm senaryolar incelendiğinde; BPSK modülasyonunun hata performansı yönünden QPSK modülasyonuna göre uydu haberleşmesi açısından daha üstün olduğu görülmüştür (Senaryo 7, 8 ve 9). Buna karşın bit iletim hızı yönünden ise QPSK modülasyonunun daha verimli olduğu görülmüştür. Bu nedenle büyük miktarda verinin hızlı bir şekilde iletiminin hedeflendiği durumlarda QPSK modülasyonunun, düşük boyutlu veri iletimine karşın düşük hata performansının ve sistem tasarımında basitliğin arandığı durumlarda BPSK modülasyonunun kullanılabilceği oluşturulan haberleşme senaryolarından gözlemlenmiştir.

- Gelecekte daha başka kısıtların eniyileme probleminde eklenmesi ve amaç fonksiyonunun daha farklı hedefleri de kapsayacak şekilde genişletilmesi ile farklı ihtiyaçlara yönelik link tasarımı bu çalışmada anlatılan mantığa uygun olarak gerçekleştirilebilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda; hata düzeltme kodlama teknikleri, farklı uydu erişim teknikleri ve farklı modülasyon teknikleri için tasarım geliştirilebilir.
- Bu çalışmada maliyet parametresi eniyileme sürecinde yer almamıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda maliyet ve yer istasyonu konum bilgilerine ait parametrelerin değişkenler şeklinde eklenmesi ile tasarım geliştirilebilir.
- Çalışma içerisinde kullanılan iki arayüz yazılımı da MATLAB programı ile hazırlanmıştır. SPGA dışında; “Parçacık Sürü Optimizasyonu”, “Taguchi Metodu” ve “Isıl İşlem Benzetimi” gibi eniyileme yöntemleri ayrı ayrı veya bir arada kullanılarak da bu çalışmada anlatılan mantığa uygun link tasarımları yapılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Bizony, P. 2006. Space 50, United States, Smithsonian Books.
- [2] Maral, G., Bousquet, M. 2006. Satellite Communications Systems, Fourth Edition, England, John Wiley & Sons.
- [3] Bağcı, M. 2010. Sürekli Parametrel Genetik Algoritma ile Uydu Link Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü.
- [4] Curtis, H.D. 2005. Orbital Mechanics for Engineering Students, England, Elsevier Butterworth Heinemann.
- [5] <http://www.turksat.com.tr/content/view/190/199/>.
- [6] <http://www.n2yo.com/satellite/?s=33056>.
- [7] <http://science.nasa.gov/realtime/jtrack/3d/JTTrack3D.html>.
- [8] Ippolito L.J.Jr. 2008. Satellite Communications Systems Engineering, England, John Wiley & Sons.
- [9] Saunders, S.R., Zavala A.A. 2007. Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, Second Edition, England, John Wiley & Sons.
- [10] Roddy, D. 2006. Satellite Communications, Fourth Edition, New York, McGraw Hill.
- [11] Kolawole, M.O. 2002. Satellite Communication Engineering, United States, Marcel Dekker.

- [12] Kayran, A.H. 2002. Sayısal Haberleşme, İstanbul, Birsen Yayınevi.
- [13] Milligan, T.A. 2005. Modern Antenna Design, Second Edition, New Jersey, United States, John Wiley & Sons.
- [14] Kayran, A.H., Panayırıcı, E., Aygözü, Ü. 2004. Analog Haberleşme, İstanbul, Birsen Yayınevi.
- [15] Sklar, B. 2001. Digital Communications: Fundamentals and Applications, Second Edition, New Jersey, United States, Prentice Hall.
- [16] Ertürk S. 2005. Sayısal Haberleşme, İstanbul, Birsen Yayınevi.
- [17] Hatsuda, T., Motozumi, Y. 1998. Interference Experiments Between Fixed-Satellite and Terrestrial Radio-Relay Services, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 34, No. 1, 23-32.
- [18] Chong, E.K.P., Zak, A.H. 2001. An Introduction to Optimization, Second Edition, United States, John Wiley & Sons.
- [19] Haupt, R.L., Haupt, S.E. 2004. Practical Genetic Algorithms, Second Edition, New Jersey, United States, John Wiley & Sons.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Hv.Mu.Ütğm. Murat BAĞCI

1982 yılında Antalya ilinin, Finike ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Afyonkarahisar ilinin, Emirdağ ilçesinde tamamladı. 1997-2001 yılları arasında Maltepe Askeri Lisesi'nde eğitimine devam etti. 2001 yılında Hava Harp Okulu, Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Hava Harp Okulu'ndan, teğmen rütbesi ile mezun oldu. 2008 yılında yüksek lisans eğitimine hak kazanarak, Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsünde Uzay Bilimleri Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

### Prof.Dr. Tayfun GÜNEL

İstanbul Teknik Üniversitesi (İ.T.Ü.) Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden mezun olduktan sonra, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği programından yüksek lisans ve doktora derecelerini almıştır. Prof. Dr. Günel' in ilgi alanları; mikrodalga haberleşme sistemleri, radar sistemleri, antenler, global optimizasyon yöntemleri ve genetik algoritmalarıdır. Halen, İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesinde öğretim üyeliğine devam etmektedir.