



Araştırma Makalesi-Research Article

## İki Kollu Seçme Birleştirme Tekniğini Kullanan RIS Verici Sistemlerin AWGGN Analizi

### Analysis of RIS Transmitter Systems Using Dual-Branch Selection Combining Technique with AWGGN

Damla Gümüş<sup>1</sup>, Mehmet Bilim<sup>2\*</sup>

Geliş / Received: 04/07/2022

Revize / Revised: 28/11/2022

Kabul / Accepted: 03/12/2022

#### ÖZ

Bu çalışmada, iki kollu seçme birleştirme tekniğini kullanan uyarlanabilir akıllı yüzey destekli bir haberleşme sisteminin eklenebilir beyaz genelleştirilmiş Gauss gürültüsü koşullarında hata analizi incelenmiştir. Ele alınan sistem modelinin Rayleigh sönümlü kanallarda olduğu varsayılmış ve hata analizi olasılık yoğunluk fonksiyonu temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda yaklaşık bir hata ifadesi türetilmiş ve farklı sistem parametre değerleri ile çeşitli senaryolar sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler-** Uyarlanabilir Akıllı Yüzey, Genelleştirilmiş Gauss Gürültüsü, Hata Analizi

#### ABSTRACT

In this study, error analysis of a reconfigurable intelligence surface assisted dual-branch selection combining communication system with additive white generalized Gaussian noise conditions is investigated. The considered system model is assumed to be in Rayleigh fading channels, and the error analysis is performed based on the probability density function. As a result of the analysis, an approximate error expression was derived and various scenarios were presented with different system parameter values.

**Keywords-** Reconfigurable Intelligence Surface, Generalized Gaussian Noise, Error Analysis

<sup>1</sup>İletişim: [damlakeser38@gmail.com](mailto:damlakeser38@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-0734-5066>)

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, Türkiye

<sup>2\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [mbilim@nny.edu.tr](mailto:mbilim@nny.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0003-2518-3125>)

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

## I. GİRİŞ

Uyarlanabilir akıllı yüzey (reconfigurable intelligence surface, RIS) teknolojisi son dönemlerde oldukça popüler bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple araştırmacılar, RIS destekli sistemler ile ilgili birçok çalışmalar yapmaktadır [1]-[6]. RIS yapıları, üzerlerinde bulunan akıllı yansıtıcı yüzey elemanları sayesinde gelen sinyali alıcı noktasına iletmektedirler. Bu sayede, gelen sinyalin farklı kopyaları alıcı noktasına aktarılmakta, daha doğru ve başarılı bir iletim gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, RIS'ların avantajları kullanılan sistemlere dahil edilmiş olup, daha verimli sistem modelleri elde edilmeye çalışılmıştır. Geri saçılım vericilerine yardımcı olmak için kullanılan RIS'lar ile işbirlikçi ortam geri saçılım iletişiminin performansının artırıldığı [1]'deki çalışmada açıklanmıştır. TeraHertz iletişim ile birlikte RIS'ların kullanılmasının daha verimli olabileceği ve bu şekilde birleştirilmiş bir sistemin gelecek nesil iletişim sistemlerine aday olabileceği [2]'de verilmiştir. Yazarlar [3]'te, genel RIS yapılarının kullanım bilgilerini ve bu sistem modellerinin özelliklerini detaylı bir şekilde izah etmişlerdir. Öte yandan [4]'te, yazarlar RIS destekli sistem yapılarına ait bazı performans incelemeleri gerçekleştirmişlerdir. [5]'teki çalışmada ise, mobil uç bilgi işlem güvenliğinin RIS destekli bir yapı ile nasıl gerçekleştirilebileceği izah edilmiştir. Makine öğrenme tekniklerinin RIS sistemlerine uygulanması ile ilgili detaylı literatür taraması da [6]'da sunulmuştur.

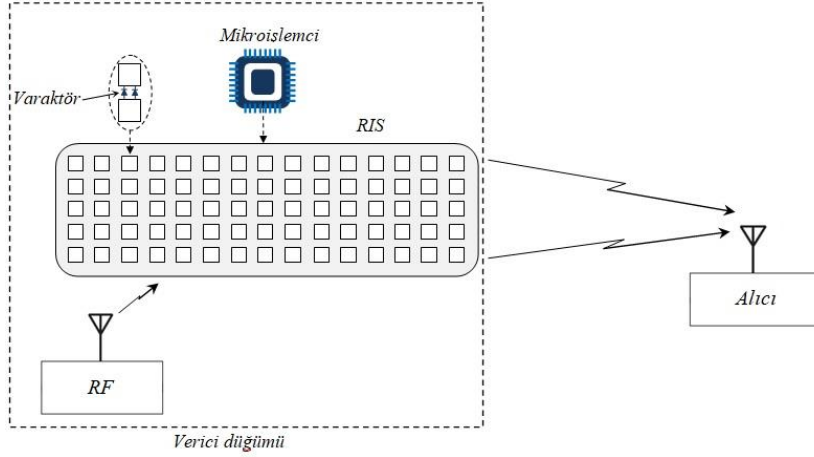
RIS'lar ile ilgili birçok çalışma yapılmasına ilave olarak, iki kollu (dual-branch, DB) iletim tekniği de alıcı noktasına farklı iki koldan iletim yapılmasını gözönüne alan bir sistem modeli olarak literatürdeki yerini almıştır. Bu sebeple, DB sistem yapılarının farklı sistem modellerine adapte edilmesini konu alan bazı çalışma örnekleri de [7-13]'te sunulmuştur. DB iletim sistem modelinde alıcı uçta birleştirme tekniklerinden faydalanılmaktadır. Alıcıdaki karmaşıklığı düşürmek için seçme birleştirme (selection combining, SC) tekniği birçok çalışmada tercih edilmektedir. Literatür incelemesi yapıldığı zaman, DB SC tekniğini kullanan RIS destekli bir sistem modelinin olmadığı dikkati çekmektedir. Ayrıca RIS yapılarını ele alan çalışma örneklerinin çoğunlukla eklenebilir beyaz Gauss gürültüsü (additive White Gaussiannoise, AWGN) koşullarında gerçekleştirildiği görülmektedir. Oysaki gerçek uygulamalar gözönüne alındığında, AWGN koşullarının bazı ortam şartlarını doğru bir şekilde sağlamadığı bilinmektedir [14,15]. Bu sebeple, genelleştirilmiş AWGN (AWGGN) modeli önerilmiş ve araştırmalarda uygulanmaya çalışılmıştır [14-16]. [16]'daki çalışmada iki atlamalı bir RIS destekli sistem modeli ele alınmıştır. DB SC tekniği [16]'daki çalışmada sunulmamıştır. Bütün bu açıklamalar doğrultusunda, DB SC sistemini kullanan RIS yapılarının AWGGN analizi bu çalışmada sunulmaktadır. Öncelikli olarak, DB SC sistemine ait olasılık yoğunluk fonksiyonu (probability density function, PDF) türetilmiştir. Türetilen bu PDF ifadesinden faydalanarak, AWGGN koşulları altında hata ifadesinin türetilmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda türetilen ifade kullanılarak hata eğrileri elde edilmiş, bununla beraber ele alınan sistemin hata performansı detaylı bir şekilde sunulmuştur. Yapılan analizlerin doğruluğu, tam nümerik simülasyon sonuçları ile gösterilmeye çalışılmıştır.

## II. SİSTEM VE KANAL MODELİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Bu çalışmada ele alınan sistem modeli Şekil 1'deki gibidir. Burada sistem modeli için DB iletim tekniği kullanılmış olup, alıcı düğümünde SC tekniği ile bu iletim hatlarından gelen sinyaller birleştirilmektedir. Verici düğümünde radyo frekans (radio frequency, RF) noktası ile RIS yapısı birbirine çok yakın olduğu için aralarında herhangi bir iletim kaybının olmadığı varsayılmıştır. Böylece, RF ve RIS tek bir verici düğümü olarak değerlendirilmektedir [3]. Verici düğümü ile alıcı arasındaki DB iletim hatlarının Rayleigh sönümlü olduğu ve AWGGN gürültüsü altında iletim gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Bu çalışmanın özgünlüğü, DB iletim kanallarının AWGGN gürültüsünde olmasıdır. AWGGN gürültüsü genel bir gürültü modeli olup, klasik haberleşme sistemlerinde karşılaşılan AWGN gürültüsü de dahil olmak üzere dürtüsel (impulsive), Laplas (Laplacian) ve Gama (Gamma) vb. gibi daha çok yıkıcı gürültü modellerini de kapsamaktadır. Böylelikle sistemin AWGGN analizi gerçekleştirilerek farklı gürültü tiplerinin de analizinin yapılması söz konusu olmaktadır. Daha öncede belirtildiği gibi, Rayleigh sönümlenme olduğu düşünüldüğünden, iletim hatlarından her birine ait anlık işaret gürültü oranının (signal to noise ratio, SNR) PDF ifadeleri şu şekilde tanımlanmıştır [4]:

$$f_{\gamma_1}(\gamma) = W_1 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\gamma_1}} \quad (1)$$

$$f_{\gamma_2}(\gamma) = W_2 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\gamma_2}} \quad (2)$$



Şekil 1. Ele alınan sistem modeli

Burada  $W_1 = \frac{1}{(B\bar{\gamma}_1)^N (N-1)!}$ ,  $W_2 = \frac{1}{(B\bar{\gamma}_2)^N (N-1)!}$   $B = 1 + (N-1)\Gamma^2(3/2)$ ,  $N$ , RIS'teki yansıtıcı eleman sayısı ve  $\bar{\gamma} = \bar{\gamma}_1 + \bar{\gamma}_2$  olup toplam ortalama SNR olarak tanımlanmaktadır.  $\bar{\gamma} = \bar{\gamma}_1 + \bar{\gamma}_2$  ifadesindeki  $\bar{\gamma}_1$  DB iletimdeki birinci iletim hattına ait,  $\bar{\gamma}_2$  ise ikinci iletim hattına ait ortalama SNR ifadelerini temsil etmektedir. Alıcı düğümünde SC tekniği ile birleştirme yapıldığından alıcıdaki toplam PDF ifadesi [7,8]

$$f_{\gamma_{sc}}(\gamma) = f_{\gamma_1}(\gamma)F_{\gamma_2}(\gamma) + f_{\gamma_2}(\gamma)F_{\gamma_1}(\gamma) \quad (3)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada  $f_{\gamma_1}(\gamma)$  ve  $f_{\gamma_2}(\gamma)$  sırasıyla (1) ve (2)'de tanımlandığı gibidir.  $F_{\gamma_1}(\gamma)$  ve  $F_{\gamma_2}(\gamma)$  ifadeleri ise DB'deki birinci ve ikinci iletim hatlarına ait anlık SNR'nin kümülatif dağılım fonksiyonlarıdır (cumulative distribution function, CDF). Buna göre, eşitlik (1) ve (2)'den faydalanarak  $F_{\gamma_1}(\gamma)$  ve  $F_{\gamma_2}(\gamma)$  ifadeleri aşağıdaki gibidir [4]:

$$F_{\gamma_1}(\gamma) = 1 - e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_1}} \sum_{s=0}^{N-1} \frac{\gamma^s}{(B\bar{\gamma}_1)^s s!} \quad (4)$$

$$F_{\gamma_2}(\gamma) = 1 - e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_2}} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\gamma^k}{(B\bar{\gamma}_2)^k k!} \quad (5)$$

Eşitlik (1), (2), (4) ve (5)'teki ifadeler eşitlik (3)'te yerine konulursa

$$f_{\gamma_{sc}}(\gamma) = W_1 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_1}} - W_1 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_1}} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_2}} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\gamma^k}{(B\bar{\gamma}_2)^k k!} + W_2 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_2}} - W_2 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_2}} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_1}} \sum_{s=0}^{N-1} \frac{\gamma^s}{(B\bar{\gamma}_1)^s s!} \quad (6)$$

olarak toplam PDF ifadesi türetilmiş olunur. Eşitlik (6)'da aynı türden matematik ifadeleri ortak bir paranteze alınıp, toplam serisi başa alınır

$$f_{\gamma_{sc}}(\gamma) = W_1 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_1}} - W_1 \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{(B\bar{\gamma}_2)^k k!} \gamma^{N+k-1} e^{-\gamma \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} \right)} + W_2 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_2}} - W_2 \sum_{s=0}^{N-1} \frac{1}{(B\bar{\gamma}_1)^s s!} \gamma^{N+s-1} e^{-\gamma \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} \right)} \quad (7)$$

şeklinde kullanımı kolay olan nihai PDF ifadesi elde edilmiştir.

### III. ANALİZLER

Bu alt başlıkta Şekil 1'deki sistemin AWGGN analizi sunulmaktadır. Bunun için PDF tabanlı genel hata formülü ele alınmaktadır. Buna göre

$$P_e = \int_0^{\infty} p(e|\gamma) f_{\gamma_{sc}}(\gamma) d\gamma \quad (8)$$

olarak bilinmektedir. Burada  $p(e|\gamma)$  koşullu hata olasılığı ifadesi,  $f_{\gamma_{sc}}(\gamma)$  ifadesi ise ele alınan sistemin toplam PDF ifadesidir. Bu PDF ifadesi eşitlik (7)'de türetilmiştir.  $p(e|\gamma)$  koşullu hata olasılığı ifadesi ise

$$p(e|\gamma) = f Q_{\lambda}(\sqrt{u\gamma}) \quad (9)$$

olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik (9)'da  $Q_{\lambda}(\cdot)$  ifadesi,  $\lambda$  parametrelili genelleştirilmiş Gaussian fonksiyonudur.  $\lambda$  parametresinin aldığı değere göre gürültü türü değişim göstermektedir. Misal olarak,  $\lambda = 0$  alındığında Dürtüsel gürültü,  $\lambda = 0.5$  alındığında Gama gürültüsü,  $\lambda = 1$  olarak alındığında Laplas gürültüsüne dönüşmektedir.  $f$  ve  $u$  ise modülasyon katsayılarıdır.  $f=1$ ,  $u=1$  ikili frekans kaydırmalı anahtarlama (binary frequency shift keying, BFSK),  $f=1$ ,  $u=2$  ikili faz kaydırmalı anahtarlama (binary phase shift keying, BPSK) ve  $f=2$ ,  $u=1$  dördün faz kaydırmalı anahtarlama (quadrature phase shift keying, QPSK) modülasyonları ele alınmaktadır.  $Q_{\lambda}(\cdot)$  ifadesi

$$Q_{\lambda}(x) = \frac{\lambda \Lambda^{2/\lambda}}{2\Gamma(1/\lambda)} \int_x^{\infty} e^{-\Lambda t^{\lambda}} dt \quad (10)$$

olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik (10) ile verilen ifade eşitlik (9)'da kullanıldığı zaman matematiksel açıdan işleme çok müsait olmayan ifadeleri ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple, literatürde bu tip matematiksel işlemlerin yapılabilmesi için bazı yaklaşımlar önerilmiştir. Genelleştirilmiş Gaussian fonksiyonu için önerilmiş olan yaklaşımlardan [14]'teki ifade oldukça kullanışlıdır [15-17]. Bu ifade, üstel fonksiyon terimlerinin toplamı şeklindedir. Matematiksel olarak işlem yapmaya müsait olmasının nedeni de içerisinde sadece üstel fonksiyonlar bulunmasıdır. Bu sebeple, [14]'teki yaklaşım

$$Q_{\lambda}(x) \approx f \sum_{j=1}^4 \theta_j e^{-\omega_j x^2} \quad (11)$$

şeklindedir. Burada  $\theta_j$  ve  $\omega_j$  yaklaşıklığın katsayılarıdır.  $\lambda$  parametresinin aldığı değere göre bu katsayılar değişiklik göstermektedir.  $\theta_j$  ve  $\omega_j$  katsayılarının değerleri Tablo 1'de verildiği gibidir [14].

**Tablo 1.**  $\lambda$  parametresinin aldığı değere katsayılar

	$\lambda$			
	0.5	1	1.5	2
$\theta_1$	44.920	0.068	0.065	0.099
$\theta_2$	126.460	0.202	0.149	0.157
$\theta_3$	389.400	0.182	0.136	0.124
$\theta_4$	96.540	0.255	0.125	0.119
$\omega_1$	0.130	0.217	0.341	1.981
$\omega_2$	2.311	2.185	0.712	0.534
$\omega_3$	12.520	0.657	10.570	0.852
$\omega_4$	0.629	12.640	1.945	10.268

Eşitlik (11)'deki yaklaşım  $p(e|\gamma)$  koşullu hata olasılığı ifadesi için kullanırsa

$$p(e|\gamma) \approx f \sum_{j=1}^4 \theta_j e^{-\omega_j u \gamma} \quad (12)$$

olarak elde edilir. Eşitlik (7)'deki PDF ifadesi, eşitlik (12)'deki  $p(e|\gamma)$  koşullu hata olasılığı ifadesi eşitlik (8)'de yerine yazılırsa

$$P_e \approx \int_0^{\infty} f \sum_{j=1}^4 \theta_j e^{-\omega_j u \gamma} \left[ \begin{aligned} &W_1 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_1}} - W_1 \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{(B\bar{\gamma}_1)^k k!} \gamma^{N+k-1} e^{-\gamma \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} \right)} \\ &+ W_2 \gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_2}} - W_2 \sum_{s=0}^{N-1} \frac{1}{(B\bar{\gamma}_1)^s s!} \gamma^{N+s-1} e^{-\gamma \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} \right)} \end{aligned} \right] d\gamma \quad (13)$$

ifadesi elde edilir. Eşitlik (13) için matematiksel olarak ortak parantez ve integralin toplama ve çıkarma üzerine dağılım özelliği kullanılırsa

$$P_e \approx f \sum_{j=1}^4 \theta_j \left\{ W_1 I_1 - W_1 \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{(B\bar{\gamma}_1)^k k!} I_2 + W_2 I_3 - W_2 \sum_{s=0}^{N-1} \frac{1}{(B\bar{\gamma}_1)^s s!} I_4 \right\} \quad (14)$$

olarak yeniden elde edilir. Burada  $I_1, I_2, I_3$  ve  $I_4$  sırasıyla şu şekildedir:

$$I_1 = \int_0^{\infty} \gamma^{N-1} e^{-\gamma \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \omega_j u \right)} d\gamma \quad (15)$$

$$I_2 = \int_0^{\infty} \gamma^{N+k-1} e^{-\gamma \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \omega_j u \right)} d\gamma \quad (16)$$

$$I_3 = \int_0^{\infty} \gamma^{N-1} e^{-\gamma \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \omega_j u \right)} d\gamma \quad (17)$$

$$I_4 = \int_0^{\infty} \gamma^{N+s-1} e^{-\gamma \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \omega_j u \right)} d\gamma \quad (18)$$

Eşitlik (15)-(18)'de verilen aynı integraller formattadır. [18, Eşitlik (3.381.4)] yardımıyla çözülebilmektedir. Buna göre

$$I_1 = \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \omega_j u \right)^{-N} \Gamma(N) \quad (19)$$

$$I_2 = \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \omega_j u \right)^{-(N+k)} \Gamma(N+k) \quad (20)$$

$$I_3 = \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \omega_j u \right)^{-N} \Gamma(N) \quad (21)$$

$$I_4 = \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \omega_j u \right)^{-(N+s)} \Gamma(N+s) \quad (22)$$

olarak elde edilir. Burada  $\Gamma(\cdot)$  Gama fonksiyonudur [18]. Eşitlik (19)-(22)'de verilen çözümler, eşitlik (14)'te yerine yazılırsa

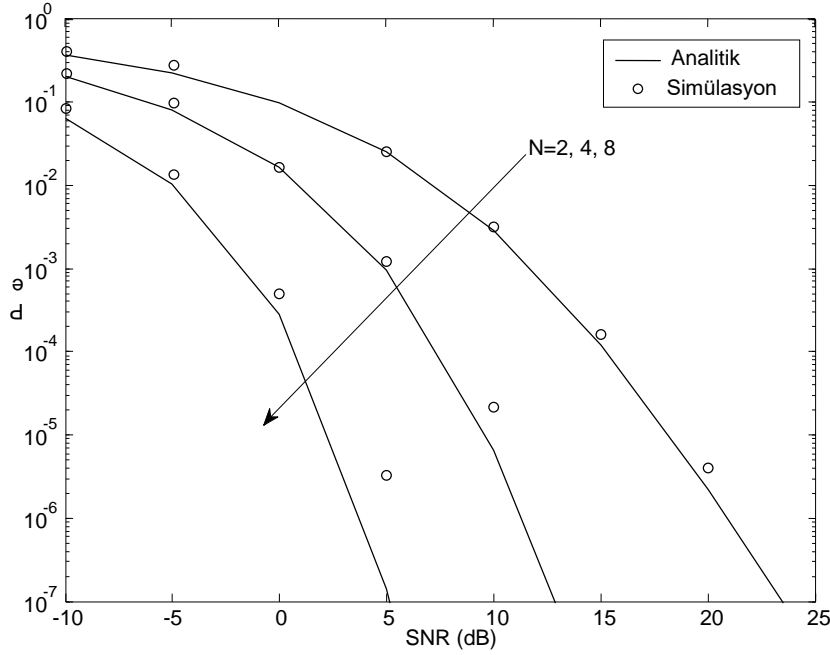
$$P_e \approx f \sum_{j=1}^4 \theta_j \left\{ \begin{aligned} &W_1 \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \omega_j u \right)^{-N} \Gamma(N) - W_1 \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{(B\bar{\gamma}_1)^k k!} \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \omega_j u \right)^{-(N+k)} \Gamma(N+k) \\ &+ W_2 \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \omega_j u \right)^{-N} \Gamma(N) - W_2 \sum_{s=0}^{N-1} \frac{1}{(B\bar{\gamma}_1)^s s!} \left( \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + \frac{1}{B\bar{\gamma}_1} + \omega_j u \right)^{-(N+s)} \Gamma(N+s) \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

olarak yaklaşık ifade elde edilir. Eşitlik (23) ile türetilmiş olan ifade yaklaşık bir ifade olup, DBSC tekniğini kullanan RIS verici sistemlerin AWGGN koşullarında hata ifadesidir. Yazarların bildiği kadarıyla, eşitlik (23) ile verilen ifade literatürde ilk kez bu çalışmada türetilmiştir.

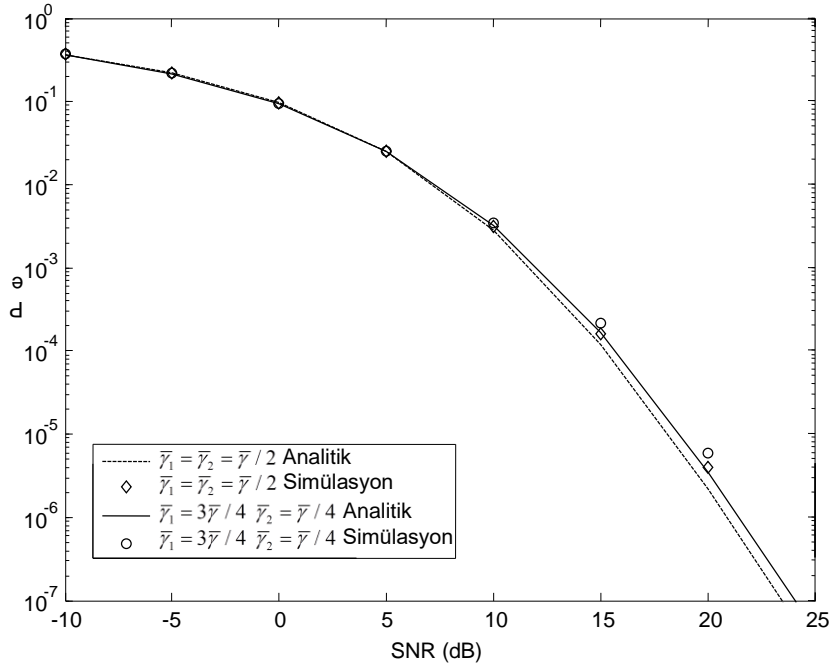
#### IV. BULGULAR

Bu alt başlıkta bir önceki bölümde yapılan analizler sonucunda türetilmiş olan yaklaşık hata ifadesinin doğruluğu gösterilmeye çalışılmaktadır. Ele sistem modeli için farklı parametre ayarlamaları ile değişik senaryolar oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu senaryolar ve elde edilen hata eğrileri Şekil 2-4'te sunulmaktadır. Şekil 2'de BFSK modülasyonu ile Laplas gürültüsünün etkisi gözetilerek, DB SC RIS verici sisteminin hata eğrileri sunulmaktadır. Şekil 2'de  $N$  yansıtıcı eleman sayısının değişiminin etkisi araştırılmaktadır. Buradaki senaryo için  $\bar{\gamma} = \bar{\gamma}_1 + \bar{\gamma}_2$  olup  $\bar{\gamma}_1 = \bar{\gamma}_2 = \bar{\gamma} / 2$  şeklinde ayarlanmıştır. Bunun anlamı DB iletim hatlarındaki ortalama SNR miktarı her bir iletim hattına eşit olarak dağıtılmış demektir. RIS sistemlerindeki  $N$  yansıtıcı eleman sayısının artması sistemi olumlu etkilemektedir. Bunun da sebebi, RIS'teki yansıtıcı eleman sayısının artması aynı sinyalin daha fazla miktarda farklı kopyasının iletim hatlarından gönderilmesi demektir. Bu durum, Şekil 2'deki sonuçlarda da açıkça görülmektedir. Sırasıyla hata eğrilerinin performans kıyaslaması az olandan çok olana 2, 4 ve 8 şeklindedir.

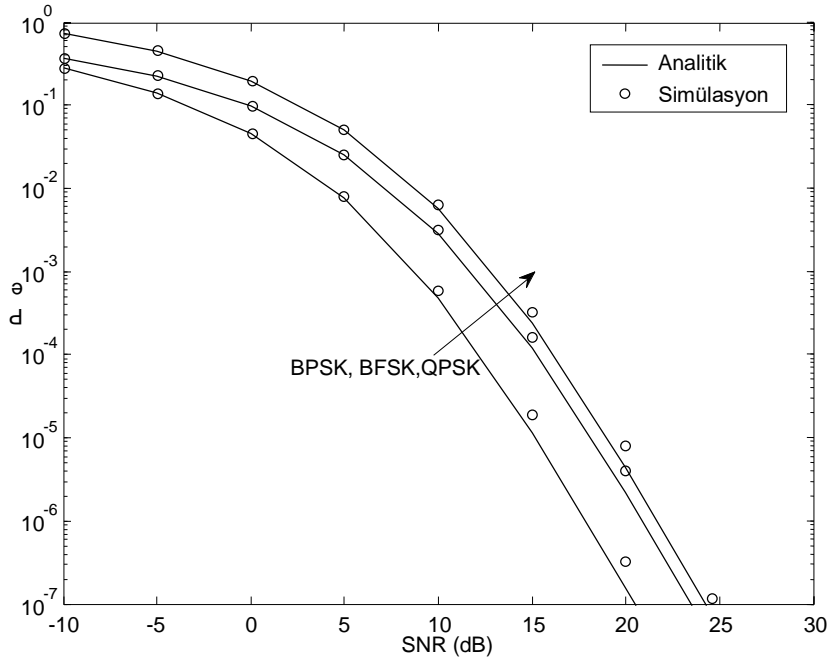
Şekil 3'teki senaryoda ise  $\bar{\gamma}_1$  ve  $\bar{\gamma}_2$  miktarlarındaki farklı durumların ele alınan sistem modeline etkisi gösterilmektedir. Burada yine BFSK modülasyonun kullanıldığı varsayılmış, Laplas gürültüsünün etkisi altında sistem hata eğrileri elde edilmiştir. RIS'teki  $N$  yansıtıcı eleman sayısının ise 2 olduğu durum incelenmiştir. DB'deki iletim hatları için iki farklı ortalama SNR dağılımı araştırılmaktadır. Bunlardan ilki,  $\bar{\gamma}_1 = \bar{\gamma}_2 = \bar{\gamma} / 2$  durumu, ikincisi ise  $\bar{\gamma}_1 = 3\bar{\gamma} / 4$ ,  $\bar{\gamma}_2 = \bar{\gamma} / 4$  olarak değerlendirilmektedir. Şekil 3'ten de görüldüğü gibi, iki durumda birbirine benzer hata performansı göstermektedir. Ancak ilk durumun hata performansının ikinci duruma göre özellikle 10 dB'den sonra biraz daha iyi olduğu dikkati çekmektedir.



Şekil 2. Laplas gürültüsü altında ele alınan sistemin farklı  $N$  yansıtıcı eleman sayısı ile hata eğrileri



Şekil 3. Ele alınan sistem modeli için Laplas gürültüsü etkisinde farklı iletim hatları ortalama SNR değerlerine ait hata eğrileri



Şekil 4. Ele alınan sistem modelinin Laplas gürültüsü etkisinde farklı modülasyonlarla hata eğrileri

Bu bölümde sunulan son inceleme ise Şekil 4'te verilmektedir. Ele alınan sistem modelinin Laplas gürültüsü etkisi altında,  $N=2$  ve  $\bar{\gamma}_1 = \bar{\gamma}_2 = \bar{\gamma} / 2$  olduğu durumda farklı modülasyon türlerinin ele alınan sisteme etkisi incelenmektedir. Sunulan grafikte, üç farklı modülasyon türü analiz edilmiştir. Bunlar: BPSK, BFSK ve QPSK şeklindedir. Beklenildiği gibi, BFSK modülasyonlu sistemin hata performansı QPSK modülasyonluya göre daha iyi, ancak BPSK modülasyonlu duruma göre daha kötüdür. Şekil 2-4'te sunulan bütün nümerik sonuçlarda yapılan analizler sonucunda türetilen ifadenin analitik sonuçları ile nümerik tam simülasyon sonuçlarının birbiri ile iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bu durum, yapılan analizlerin doğruluğunu göstermektedir. Sonuçların kıyaslamalı olarak verilmesinin nedenini bu şekilde açıklamak mümkündür.

## V. SONUÇLAR

Bu çalışma RIS sisteminin verici olarak kullanıldığı bir DB SC iletim sisteminin AWGGN koşullarında hata analizini incelemektedir. Yapılan hata analizi için ele alınan sistemin toplam anlık SNR'sine ait PDF ifadesi türetilmiş, türetilen bu PDF yardımıyla yaklaşık hata analizi ifadesi elde edilmiştir. Eşitlik (23) ile verilen yaklaşık hata ifadesinin doğruluğu çeşitli senaryolar ile gösterilmiş ve tam nümerik simülasyon sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sunulan bu çalışmanın amacı, gelecek nesil iletişim sistemleri için önemli bir yere sahip olacağı öngörülen RIS destekli sistemlerin AWGGN gibi gerçek hayat senaryolarında karşılaşılabilecek koşullarda hata analizini sunmaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Ma, H., Zhang, H., Zhang, N., Wang, J., Wang N., & Leung, V. C. M. (2022). Reconfigurable intelligent surface with energy harvesting assisted cooperative ambient back scatter communications, *IEEE Wireless Communications Letters*, 11(6), 1283-1287.
- [2] H. Du et al., (2022). Performance and optimization of reconfigurable intelligent surface aided THz communications, *IEEE Transactions on Communications*, 70(5), 3575-3593.
- [3] Basar, E., DiRenzo, M., De Rosny, J., Debbah, M., Alouini, M.-S., & Zhang, R. (2019). Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces, *IEEE Access*, 7, 116753-116773.
- [4] Yang, L. et al., (2020). Accurate closed-form approximations to channel distributions of RIS-aided wireless systems, *IEEE Wireless Communications Letters*, 9(11), 1985-1989.
- [5] Mao S. et al., (2022). Reconfigurable intelligent surface-assisted secure mobile edge computing networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71(6), 6647-6660.
- [6] Faisal K. M. & Choi, W. (2022). Machine learning approaches for reconfigurable intelligent surfaces: a survey, *IEEE Access*, 10, 27343-27367.
- [7] Khatalin S. (2009). Performance of dual-branch selection combining diversity systems in non-identical Nakagami-q (Hoyt) fading channels, *IET Communications*, 4(5), 585-595.
- [8] Bilim, M. (2021). Dual-branch SC wireless systems with HQAM for beyond 5G over  $\eta$ - $\mu$  fading channels, *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 14(1), 305-318.
- [9] Bilim M. & Kapucu, N. (2020). Error analysis of dual-branch simo systems over  $\lambda$ - $\mu$  fading channels, 2020 *28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4.
- [10] DiRenzo M. & Lu, W. (2015). On the diversity order of selection combining dual-branch dual-hop AF relaying in a Poisson field of interferers at the destination, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(4), 1620-1628.
- [11] Haghani S. & Beaulieu, N. C. (2009). On decorrelation in dual-branch diversity systems, *IEEE Transactions on Communications*, 57(7), 2138-2147.
- [12] Du, Z., Cheng J. & Beaulieu, N. C. (2008). Asymptotic error rate analysis of dual-branch diversity over correlated Rician channels, *IEEE Transactions on Communications*, 56,4, 527-530.
- [13] Zhu B. & Cheng, J. (2019). Asymptotic outage analysis on dual-branch diversity receptions over non-identically distributed correlated lognormal channels, *IEEE Transactions on Communications*, 67(10), 7126-7138.
- [14] Salahat, E. & Hakam, A. (2014). Novel unified expressions for error rates and ergodic channel capacity analysis over generalized fading subject to AWGGN, *IEEE Global Communications Conference*, 3976-3982.
- [15] Bilim, M. (2020). Up link communications with AWGGN over non-homogeneous fading channels, *Physical Communication*, 39, 101047.
- [16] Gümüş D., & Bilim M. (2022). RIS destekli kablosuz bir haberleşme sisteminin AWGGN analizi, *30. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu (SIU)*, 1-4.
- [17] Özen, C. & Bilim M. (2022). Kaskat bir sistemin FTR sönümlenmeli kanallarda HQAM performans analizi, *NÖHÜ Müh. Bilim. Dergisi*, 11(2), 258-263.
- [18] Gradshteyn, I. S., & Ryzhik, I. M. (2007). *Tables of Integrals, Series and Products, 7th ed.*, San Diego, CA: Academic.