



# RIS destekli iki atlamalı DF kablosuz haberleşme sistemlerinin $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$ /Rayleigh sönümlenmesi durumunda performans analizi

## Performance analysis of RIS assisted two-hop DF wireless communication systems over $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$ /Rayleigh fading

Melike Yılankırkan<sup>1</sup> , Mehmet Bilim<sup>2,\*</sup> 

<sup>1,2</sup> Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38090, Kayseri Türkiye

### Öz

Bu çalışmada, yeniden uyarlanabilir akıllı yüzey (reconfigurable intelligence surface, RIS) destekli sistemlerin  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$ /Rayleigh sönümlenmesi altında servis-dışı kalma olasılığı (outage probability, OP) ve hata olasılığı (error probability,  $P_e$ ) analizleri sunulmuştur. Ele alınan sistemde bir adet RIS'a sahip röle düğümü, bir adet verici ve bir adet alıcı bulunmaktadır. Burada verici ile RIS düğümü arasındaki kanal ortamının  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$  sönümlenmeli olduğu kabul edilirken, RIS düğümü ile hedef arasındaki kanalın ise Rayleigh sönümlenmesine sahip olduğu varsayılmıştır. İlgili sönümlü kanallara ait olasılık yoğunluk fonksiyonlarından yararlanarak sisteme ait birikimli dağılım fonksiyonu tabanlı analizler ve türetimler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen OP ve  $P_e$  ifadelerinin doğruluğu çeşitli senaryolarla gösterilmiş ve tam nümerik simülasyonlarla kıyaslanarak verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Uyarlanabilir akıllı yüzey, Servis-dışı kalma olasılığı, Hata olasılığı.

### 1 Giriş

Yeni nesil kablosuz haberleşme sistemleri için farklı teknikler ve iletişim metotları kullanılarak daha az hata yapan, daha hızlı iletişim sağlayan, kapsama alanı daha geniş sistemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu yüzden, yeni nesil kablosuz haberleşme sistemleri için literatürde sürekli yeni çalışmalar araştırmacılar tarafından ortaya atılmaktadır. Son zamanlarda literatürdeki yeni nesil kablosuz haberleşme sistemleri için yapılan çalışmalar incelendiğinde, uyarlanabilir akıllı yüzeyleri (reconfigurable intelligence surfaces, RIS) içeren çalışmalar dikkat çekmektedir. RIS sistemlerinde boyut sınırlaması avantajı ve akıllı yüzey sayesinde birden fazla röle görevi üstlenen bir yapının oluşturulabilmesi söz konusudur. Bu yüzden son zamanlarda literatürdeki çalışmalara bakıldığında RIS destekli haberleşme sistemlerinin oldukça popüler hale geldiği görülmektedir [1, 2, 6, 8-15]. [1] ve [2]'deki çalışmalarda genel RIS destekli haberleşme sistemlerinin özellikleri ve temel bilgileri verilmiştir. [6]'da enerji hattı iletişim sistemleri ile karma bir RIS haberleşme sistemi analiz edilmiştir. [8]'de ise serbest uzay optik ile RIS yapısının karma bir düzende kullanılmasıyla oluşturulan bir

### Abstract

In this study, outage probability (OP) and error probability (EP) analyzes of reconfigurable intelligence surface (RIS) assisted systems over  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$ /Rayleigh fading are presented. In the considered system, there is one relay node with RIS, one transmitter and one receiver. Here, it is assumed that the channel between the transmitter and the RIS node has  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$  fading, while the channel between the RIS node and the destination has Rayleigh fading. By using the probability density functions of the fading channels in the system, analyzes and derivations based on the cumulative distribution function of the system were carried out. The accuracy of the OP and EP expressions obtained as a result of the analyzes are shown with various scenarios and compared with the exact numerical simulations.

**Keywords:** Reconfigurable intelligence surface, Outage probability, Error probability.

haberleşme sistemi ele alınmıştır. [9]'daki çalışmada yazarlar RIS destekli haberleşme sistemlerinde kanal kestirimi problemini incelerken, [10]'daki çalışmada yazarlar RIS yapılarının haberleşme sisteminde aktif veya pasif olarak işlem görmesini tartışmışlardır. [11]'de derin öğrenme metodlarının RIS destekli yapılara uygulanması araştırılmıştır. [12]'de ise, RIS destekli bir haberleşme ağında bir arada oluma durumunun analizi sunulmuştur. Genelleştirilmiş eklenebilir beyaz Gauss gürültüsünün etkisi ise sırasıyla [13] ve [14]'deki çalışmalarda RIS yapıları kullanan haberleşme sistemleri için analiz edilmiştir. [15]'deki çalışmada ise RIS yapılarının kullanılmasıyla kapsama alanı genişletilmesi durumu detaylıca izah edilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, çöz ve aktar (decode and forward, DF) atlamalı  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$ /Rayleigh sönümlü kanallarda RIS sisteminin servis-dışı kalma olasılığı (outage probability, OP) ve hata olasılığı (error probability,  $P_e$ ) analizlerinin yapılmadığı dikkati çekmiştir.  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$  sönümlü kanal yapısının kullanılmasıyla farklı sönümlenme durumlarının ele alınması ve gerçek hayat durumlarındaki sönümlü kanal yapılarının temsil edilebilmesi hedeflenmiştir. Böylelikle RIS yapıları gibi

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: mbilim@nyy.edu.tr (M. Bilim)

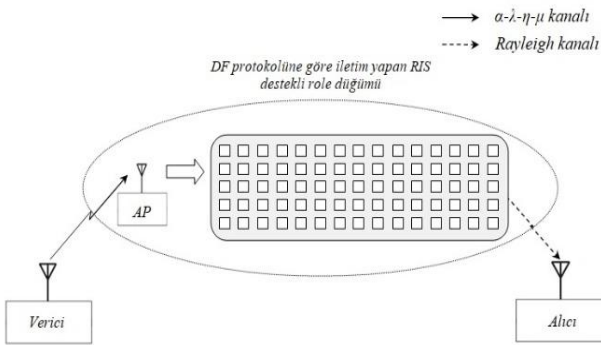
Geliş / Received: 22.03.2023 Kabul / Accepted: 25.04.2023 Yayınlanma / Published: 15.07.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1268618

popüler bir konunun  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$  sönümlü durumlarda analiz edilmesi, yazarların bildiği kadarıyla, ilk kez bu çalışmada sunulmaktadır. Bütün bu sebeplerden dolayı bu çalışma kapsamında,  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$ /Rayleigh sönümlü kanallarda RIS destekli DF atlamalı bir sistemin OP ve  $P_e$  analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Yapılan analizlerde ele alınan sistemin birikimli dağılım fonksiyonu (cumulative distribution function, CDF) türetilmiş ve CDF tabanlı  $P_e$  ifadesi elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen OP ve  $P_e$  ifadelerini kullanarak farklı parametre değerleri ile çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Elde edilen sonuç grafiklerine göre, türetilen OP ve  $P_e$  ifadelerinin analitik sonuçları ile tam nümerik simülasyon sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

## 2 Sistem modeli

Bu çalışmada RIS destekli iki atlamalı DF sistemlerinin  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$ /Rayleigh sönümlenmesi durumunda hata analizleri sunulmuştur. Ele alınan sistemde verici ile RIS düğümü arasındaki kanal  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$  sönümlenmeli iken, RIS düğümü ile alıcı arasındaki kanal Rayleigh sönümlenmesine sahiptir. RIS düğümünde DF iletim protokolü kullanılmaktadır. Çalışmadaki sistem modeli Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Ele alınan sistem modeli.

Sistemde verici ile alıcı arasında herhangi bir iletim olmadığı kabul edilmekte, sistemde düğümler arasında herhangi bir yol kaybı bulunmadığı varsayılmaktadır. Ayrıca sistemdeki kanal katsayılarının ve kanallarının faz bilgilerinin RIS tarafından mükemmel bir şekilde bilindiği varsayılmaktadır [1, 2]. Anlık SNR'ye bağlı olarak  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$  sönümlenmeli kanalın olasılık yoğunluk fonksiyonu (probability density function, PDF) şu şekildedir [3, 4]:

$$f_{\gamma_1}(\gamma) = \mathcal{G} \gamma^{\phi-1} e^{-\rho \gamma^{\frac{\alpha}{2}}} I_{\mu-\frac{1}{2}} \left( \varpi \gamma^{\frac{\alpha}{2}} \right) \quad (1)$$

$$\mathcal{G} = \frac{\sqrt{\pi} \alpha (\mu(1+\eta^{-1}))^{\mu+\frac{1}{2}}}{\Gamma(\mu) a^{\mu-\frac{1}{2}} \bar{\gamma}_1^{\frac{\alpha}{2}(\mu+\frac{1}{2})}} \left( \frac{\eta}{1-\lambda^2} \right)^{\mu} \quad (2)$$

$$a = \frac{\sqrt{(\eta-1)^2 + 4\eta\lambda^2}}{1-\lambda^2} \quad (3)$$

$$\phi = \frac{\alpha}{2} \left( \mu + \frac{1}{2} \right) \quad (4)$$

$$\rho = \frac{\mu(1+\eta)^2}{2\eta(1-\lambda^2) \bar{\gamma}_1^{\frac{\alpha}{2}}} \quad (5)$$

$$\varpi = \frac{\alpha \mu (1+\eta)}{2\eta \bar{\gamma}_1^{\frac{\alpha}{2}}} \quad (6)$$

Burada  $I(\cdot)$  ve  $\Gamma(\cdot)$  ifadeleri sırasıyla Bessel ve Gama fonksiyonlarını temsil etmektedir [5]. Ayrıca (1)-(6)'daki denklemlerde bulunan  $\alpha$  doğrusal olmayan parametreyi temsil ederken,  $\lambda$ , kareleme bileşenleri ile faz içi saçılmış dalgalar arasındaki korelasyonu belirtmektedir. Buna ilaveten,  $\eta$  ise karelemenin gücü ile faz içi saçılmış bileşenler arasındaki oranı gösterirken,  $\mu$  çok yollu kümelerin gerçek uzantısını ifade etmektedir.  $\bar{\gamma}_1$  ise bu kanala ait ortalama SNR ifadesini belirtmektedir. Öte yandan Rayleigh sönümlü bir kanal üzerinden iletişim gerçekleştiren RIS destekli röle düğümü ile alıcı arasındaki hat için anlık SNR'ye ait PDF ise [2]

$$f_{\gamma_2}(\gamma) = \frac{\gamma^{N-1} e^{-\frac{\gamma}{B\bar{\gamma}_2}}}{(B\bar{\gamma}_2)^N (N-1)!} \quad (7)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada  $N$ , RIS üzerindeki yansıtıcı eleman sayısını,  $B = 1 + (N-1)(\Gamma(3/2))^2$ ,  $\bar{\gamma}_2$  ise bu hatta ait ortalama SNR ifadesini belirtmektedir.

## 3 Analizler

Ele alınan sistemde CDF tabanlı analiz yöntemi kullanılmış olup, iki atlamalı DF tekniği için bütün sisteme ait CDF ifadesi [6]

$$F_{\gamma_{toplama}}(\gamma) = F_{\gamma_1}(\gamma) + F_{\gamma_2}(\gamma) - F_{\gamma_1}(\gamma) F_{\gamma_2}(\gamma) \quad (8)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $F_{\gamma_1}(\gamma)$  ifadesi, Denklem

(1)'deki PDF  $\int_0^{\gamma} f_{\gamma}(\gamma) d\gamma$  dönüşümünde yerine konulup [5, Denklem (8.455)] ve [5, Denklem (3.381.8)]'deki ifadelerin yardımıyla aşağıdaki gibi elde edilir:

$$F_{\gamma_1}(\gamma) = \mathcal{G} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left( \frac{\varpi}{2} \right)^{\mu+2k+0.5}}{k! \Gamma(\mu+k+0.5)} \times \frac{\gamma \left( \mu+2k + \frac{2\phi}{\alpha} - 0.5, \rho \gamma^{\alpha/2} \right)}{\frac{\alpha}{2} \rho^{(\mu+2k+\frac{2\phi}{\alpha}-0.5)}} \quad (9)$$

Burada  $\gamma(\cdot, \cdot)$  alt tamamlanmamış Gama fonksiyonudur. Benzer şekilde, [Denklem \(7\)](#) ve [\[5, Denklem \(3.381.1\)\]](#) kullanılarak  $F_{\gamma_2}(\gamma)$  ifadesi şu şekildedir:

$$F_{\gamma_2}(\gamma) = \frac{\gamma\left(N, \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} \gamma\right)}{(N-1)!} \quad (10)$$

[Denklem \(9\)](#) ve [\(10\)](#)'da türetilmiş olan ifadeler [Denklem \(8\)](#)'de yerine yazıldığında ele alınan sisteme ait toplam CDF ifadesi şu şekilde türetilmiştir:

$$F_{\gamma_{toplam}}(\gamma) = \left[ \frac{\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\varpi}{2}\right)^{\mu+2k+0.5} \gamma\left(\mu+2k+\frac{2\phi}{\alpha}-0.5, \rho \gamma^{\alpha/2}\right)}{k! \Gamma(\mu+k+0.5) \frac{\alpha}{2} \rho^{(\mu+2k+\frac{2\phi}{\alpha}-0.5)}} \right] + \left[ \frac{\gamma\left(N, \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} \gamma\right)}{(N-1)!} \right] - \left[ \frac{\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\varpi}{2}\right)^{\mu+2k+0.5}}{k! \Gamma(\mu+k+0.5)} \right] \times \left[ \frac{\gamma\left(\mu+2k+\frac{2\phi}{\alpha}-0.5, \rho \gamma^{\alpha/2}\right) \gamma\left(N, \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} \gamma\right)}{\frac{\alpha}{2} \rho^{(\mu+2k+\frac{2\phi}{\alpha}-0.5)} (N-1)!} \right] \quad (11)$$

[Denklem \(11\)](#) ile elde edilen toplam CDF ifadesinde,  $\gamma$  yerine  $\gamma_{th}$ , SNR eşik değeri konulursa sisteme ait OP ifadesi elde edilmiş olunur. Sisteme ait  $P_e$  ifadesi için [\[7\]](#) eşitliği kullanılmıştır.

$$P_e = \frac{r^p}{2\Gamma(p)} \int_0^{\infty} \gamma^{p-1} e^{-r\gamma} F_{\gamma_{toplam}}(\gamma) d\gamma \quad (12)$$

Buradaki ifadede  $r$  ve  $p$  modülasyon parametreleridir ve ikili faz kaydırmalı anahtarlama (binary phase shift keying, BPSK) modülasyonu için sırasıyla  $r=1$ ,  $p=0.5$  olarak alınmaktadır. [Denklem \(11\)](#)'de türetilen toplam CDF ifadesi [\(12\)](#)'de yerine yazılır ve matematiksel olarak düzenlemeler yapılırsa

$$P_e = \frac{r^p}{2\Gamma(p)} \left\{ \underbrace{W_1 \int_0^{\infty} \gamma^{p-1} e^{-r\gamma} \gamma\left(\mu+2k+\frac{2\phi}{\alpha}-0.5, \rho \gamma^{\alpha/2}\right) d\gamma}_{I_1} + \underbrace{\frac{1}{(N-1)!} \int_0^{\infty} \gamma^{p-1} e^{-r\gamma} \gamma\left(N, \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} \gamma\right) d\gamma}_{I_2} - \underbrace{W_2 \int_0^{\infty} \gamma^{p-1} e^{-r\gamma} \gamma\left(\mu+2k+\frac{2\phi}{\alpha}-0.5, \rho \gamma^{\alpha/2}\right) \gamma\left(N, \frac{1}{B\bar{\gamma}_2} \gamma\right) d\gamma}_{I_3} \right\} \quad (13)$$

elde edilir. Burada

$$W_1 = \mathcal{G} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{\varpi}{2}\right)^{\mu+2k+0.5}}{k! \Gamma(\mu+k+0.5) \frac{\alpha}{2} \rho^{(\mu+2k+\frac{2\phi}{\alpha}-0.5)}} \quad (14)$$

$$W_2 = \mathcal{G} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{\varpi}{2}\right)^{\mu+2k+0.5}}{k! \Gamma(\mu+k+0.5) \frac{\alpha}{2} \rho^{(\mu+2k+\frac{2\phi}{\alpha}-0.5)} (N-1)!} \quad (15)$$

şekindedir. [Denklem \(13\)](#)'teki  $I_1$  integrali için sırasıyla [\[5, Denklem \(8.354.1\)\]](#) ve [\[5, Denklem \(3.381.4\)\]](#) kullanıldığında

$$I_1 = W_1 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \rho^{u+n}}{n!(u+n)} r^{-\left(\frac{\alpha}{2}(u+n)+p\right)} \Gamma\left(\frac{\alpha}{2}(u+n)+p\right) \quad (16)$$

olarak türetilir. Burada  $u = \mu + 2k + \frac{2\phi}{\alpha} - 0.5$  olarak tanımlanmaktadır. [Denklem \(13\)](#)'teki  $I_2$  integrali için [\[5, Denklem \(6.455.2\)\]](#) yardımıyla

$$I_2 = \frac{1}{(N-1)!} \frac{\left(\frac{1}{B\bar{\gamma}_2}\right)^N \Gamma(p+N)}{p \left(\frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + r\right)^{N+p}} \times {}_2F_1\left(1, p+N; N+1; \frac{\left(\frac{1}{B\bar{\gamma}_2}\right)}{\left(\frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + r\right)}\right) \quad (17)$$

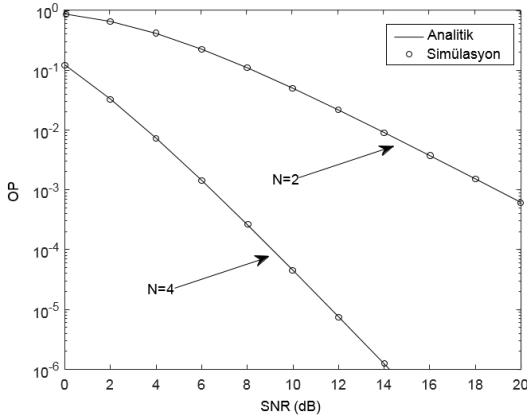
elde edilir. Burada  ${}_2F_1(\cdot, \cdot; \cdot)$  hipergeometrik fonksiyondur [\[5\]](#). Son olarak, [Denklem \(13\)](#)'teki  $I_3$  integrali için  $I_1$  integrali için izlenen çözüm yolu takip edilerek

$$I_3 = W_2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \rho^{u+n}}{n!(u+n)} \frac{\left(\frac{1}{B\bar{\gamma}_2}\right)^N \Gamma\left(p + \frac{\alpha}{2}(u+n) + N\right)}{N \left(\frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + r\right)^{\left(p + \frac{\alpha}{2}(u+n) + N\right)}} \times {}_2F_1\left(1, p + \frac{\alpha}{2}(u+n) + N; N+1; \frac{\left(\frac{1}{B\bar{\gamma}_2}\right)}{\left(\frac{1}{B\bar{\gamma}_2} + r\right)}\right) \quad (18)$$

ifadesi türetilir. Denklem (16)-(18)'de türetilen  $I_1 - I_3$  çözümleri Denklem (13)'te yerine yazılarak ele alınan sisteme ait  $P_e$  ifadesi türetilmiş olunur.

#### 4 Nümerik sonuçlar

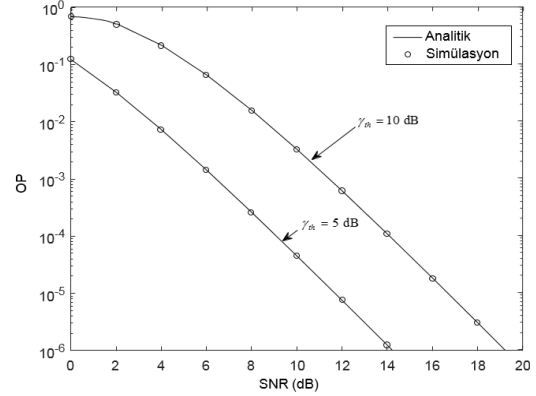
Bu alt başlıkta ikinci bölümde detayları verilen sistem modeli için farklı sistem parametreleri ile çeşitli nümerik sonuçlar sunulmuştur. Bunlardan ilki, sistem yapısındaki  $N$  yansıtıcı eleman sayısının değişimine karşılık sistemin OP performansının değişimini göstermektedir. Şekil 2'de  $\gamma_{th} = 5$  dB iken  $\alpha = 2$ ,  $\mu = 1$ ,  $\lambda = 1$  ve  $\eta = 1$  olarak belirlenmiştir. Beklenildiği gibi,  $N$  sayısı arttıkça OP performansı belirgin bir şekilde artmaktadır. RIS üzerindeki yansıtıcı eleman sayısının artması daha fazla sinyal gönderimi ve daha iyi bir haberleşmenin sağlanması demektir. Şekil 3'te ise  $\gamma_{th}$  değişiminin sistemin OP performansına olan etkisi incelenmiştir. Burada  $N = 4$ ,  $\alpha = 2$ ,  $\mu = 1$ ,  $\lambda = 2$  ve  $\eta = 1$ 'dir.  $\gamma_{th}$  değeri ise sırasıyla 5 dB ve 10 dB olarak değerlendirilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere,  $\gamma_{th}$  değeri arttıkça OP performansı beklenildiği gibi azalmaktadır. Çünkü, eşik değer artması ile haberleşme sisteminin performansı düşmektedir. Şekil 4'te ise sistemdeki  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$  sönümlenmeli kanal yapısına ait  $\mu$  değişimi ile ilgili nümerik sonuçlar verilmiştir. Burada incelenen sistem parametreleri sırasıyla şu şekildedir:  $N = 4$ ,  $\alpha = 2$ ,  $\lambda = 2$ ,  $\eta = 1$ ,  $\gamma_{th} = 5$  dB'dir.  $\mu$  parametresi ise 1 ve 2 olarak değiştirilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi,  $\mu$  parametresindeki değer artışının sistemin OP performansına etkisi minör bir şekildedir. Değiştirilen parametrenin sönümlü kanalın yıkıcılığını çok fazla değiştirmedeği söylenebilir.



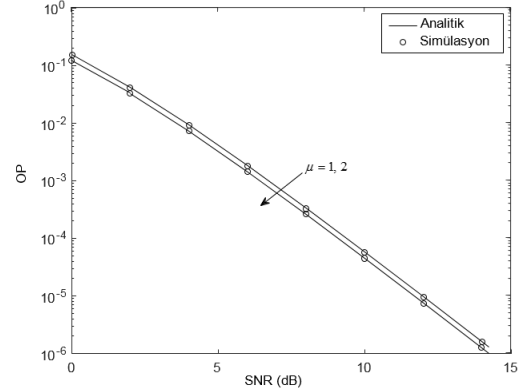
Şekil 2. Ele alınan sistem modeli için farklı  $N$  sayılarına ait OP kıyaslaması

Oysaki, Şekil 2 ve 3'deki OP sonuçlarında sırasıyla  $N$  ve  $\gamma_{th}$  değişimlerinin OP performansına etkisi çok daha fazla olmaktadır. Şekil 2-4'te verilen bütün sonuçlarda, analitik sonuçlarla tam nümerik simülasyon sonuçları birbiri ile çok iyi bir uyum içerisindedir. Bu çalışmada ele alınan son grafik ise Şekil 5'teki  $P_e$  eğrileridir. Burada  $N = 2$ ,  $\alpha = 2$ ,  $\mu = 1$ ,  $\lambda = 2$  ve  $\eta = 1$ 'dir. Ele alınan modülasyonlar ise farksal faz

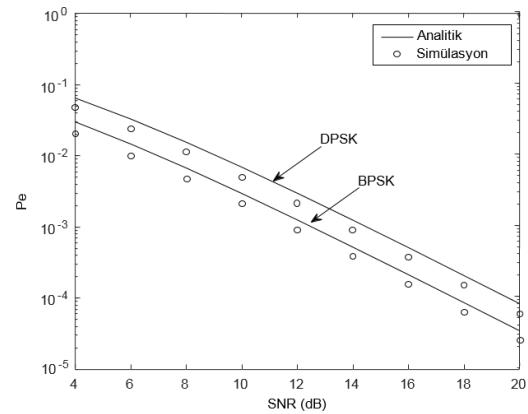
kaydırmalı anahtarlama (differential phase shift keying, DPSK) ( $r=1$ ,  $p=1$  durumu) ve BPSK ( $r=1$ ,  $p=0.5$  durumu) şeklindedir. Şekil 5'ten de görüldüğü üzere, sistemin BPSK ile olan  $P_e$  performansı, DPSK ile olan  $P_e$  performansından daha üstündür. Bilindiği gibi, BPSK modülasyonu en az hata yapan modülasyon çeşitlerinden birisidir. Burada da analitik sonuçlar ile simülasyon sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir. Bu durum, yapılan analizlerin doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 3. Ele alınan sistem modeli için farklı  $\gamma_{th}$  değerlerine ait OP kıyaslaması



Şekil 4. Ele alınan sistem modeli için farklı  $\mu$  değerlerine ait OP kıyaslaması.



Şekil 5. Ele alınan sistem modeli için farklı modülasyon teknikleri için  $P_e$  kıyaslaması.

## 5 Sonuç

Bu çalışmada, RIS destekli DF iki atlamalı bir kablosuz haberleşme sisteminin  $\alpha$ - $\lambda$ - $\eta$ - $\mu$ /Rayleigh sönümlenmeli kanallarda hata analizleri sunulmuştur. Gerçekleştirilen hata analizi CDF tabanlı olup, tam nümerik sonuçlarla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ele alınan sisteme ait farklı parametre değerleri ile çeşitli senaryolar sunularak sistemin hata analizlerinin detaylı incelemesi yapılmaya çalışılmıştır. Buna göre, sistemdeki parametre değişimlerinin sistemin OP ve  $P_e$  performansları üzerindeki etkileri detaylıca açıklanmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma 1919B012104835-2209-A kodlu TÜBİTAK projesi ile desteklenmektedir.

## Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate):** % 18

## Kaynaklar

- [1] E. Basar, M. Di Renzo, J. De Rosny, M. Debbah, M.-S. Alouini, and R. Zhang, "Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces," *IEEE Access*, 7, 116753–116773, 2019. doi: [10.1109/ACCESS.2019.2935192](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2935192).
- [2] L. Yang, F. Meng, Q. Wu, D. B. da Costa and M. -S. Alouini, "Accurate closed-form approximations to channel distributions of RIS-aided wireless systems," *IEEE Wireless Communications Letters*, 9(11), 1985-1989, 2020. doi: [10.1109/LWC.2020.3010512](https://doi.org/10.1109/LWC.2020.3010512).
- [3] H. Al-Hmood, H. Al-Raweshid "Ratio of products of mixture gamma variates with applications to wireless communications systems." *IET Communications*, 15, 1963–1981, 2021. doi: [10.1049/cmu2.12228](https://doi.org/10.1049/cmu2.12228).
- [4] N. C. Beaulieu and X. Jiandong, A novel fading model for channels with multiple dominant specular components," *IEEE Wireless Communications Letters*, 4(1), 54-57, 2015. doi: [10.1109/LWC.2014.2367501](https://doi.org/10.1109/LWC.2014.2367501).
- [5] I. S. Gradshteyn, and I. M. Ryzhik, *Table of Integrals, Series and Products*, 7th edition. Academic Press Inc., 2007.
- [6] A. K. Padhan, H. K. Sahu, P. R. Sahu and S. R. Samantaray, "RIS Assisted Dual-Hop Mixed PLC/RF for Smart Grid Applications," *IEEE Communications Letters*, 25(11), 3523-3527, 2021. doi: [10.1109/LCOM.M.2021.3104630](https://doi.org/10.1109/LCOM.M.2021.3104630).
- [7] I. S. Ansari et al., "A new formula for the BER of binary modulations with dual-branch selection over generalized-K composite fading channels," *IEEE Transactions on Communications*, 59(10), 2654-2658, 2011, doi: [10.1109/TCOMM.2011.063011.100303A](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2011.063011.100303A).
- [8] A. M. Salhab and L. Yang, "Mixed RF/FSO Relay Networks: RIS-Equipped RF Source vs RIS-Aided RF Source," *IEEE Wireless Communications Letters*, 10(8), 1712-1716, 2021, doi: [10.1109/LWC.2021.3077960](https://doi.org/10.1109/LWC.2021.3077960).
- [9] S. Sun and H. Yan, "Channel Estimation for Reconfigurable Intelligent Surface-Assisted Wireless Communications Considering Doppler Effect," *IEEE Wireless Communications Letters*, 10(4), 790-794, 2021. doi: [10.1109/LWC.2020.3044004](https://doi.org/10.1109/LWC.2020.3044004).
- [10] W. Lv, J. Bai, Q. Yan and H. M. Wang, "RIS-Assisted Green Secure Communications: Active RIS or Passive RIS?," *IEEE Wireless Communications Letters*, 12(2), 237-241, 2023. doi: [10.1109/LWC.2022.3221609](https://doi.org/10.1109/LWC.2022.3221609).
- [11] A. Faisal, I. Al-Nahhal, O. A. Dobre and T. M. N. Ngatched, "Deep Reinforcement Learning for RIS-Assisted FD Systems: Single or Distributed RIS?," *IEEE Communications Letters*, 26(7), 1563-1567, 2022. doi: [10.1109/LCOMM.2022.3170061](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2022.3170061).
- [12] Y. Zhao and X. Lv, "Network Coexistence Analysis of RIS-Assisted Wireless Communications," *IEEE Access*, 10, 63442-63454, 2022. doi: [10.1109/ACCESS.2022.3183139](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3183139).
- [13] D. Gümüş and M. Bilim, "Analysis of a RIS-Assisted Wireless Communication System with AWGGN," 2022 30th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Safranbolu, Turkey, 2022, 1-4, doi: [10.1109/SIU55565.2022.9864807](https://doi.org/10.1109/SIU55565.2022.9864807).
- [14] D. Gümüş and M. Bilim, "İki Kollu Seçme Birleştirme Tekniğini Kullanan RIS Verici Sistemlerin AWGGN Analizi," *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. (Yayınlanmak Üzere Kabul edildi.)
- [15] S. Zeng, H. Zhang, B. Di, Z. Han and L. Song, "Reconfigurable Intelligent Surface (RIS) Assisted Wireless Coverage Extension: RIS Orientation and Location Optimization," *IEEE Communications Letters*, 25(1), 269-273, 2021. doi: [10.1109/LCOMM.2020.3025345](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2020.3025345).

