

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK ATLAMALI İŞBİRLİKLİ İLETİŞİM SİSTEMLERİNİN HATA YAYILIMI
ALTINDA PERFORMANS ANALİZİ



ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE ÇAKAR

TEMMUZ 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK ATLAMALI İŞBİRLİKLİ İLETİŞİM SİSTEMLERİNİN HATA YAYILIMI
ALTINDA PERFORMANS ANALİZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre ÇAKAR

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAYA

ZONGULDAK

Temmuz 2019

KABUL:

Emre ÇAKAR tarafından hazırlanan “Çok Atlamalı İşbirlikli İletişim Sistemlerinin Hata Yayılımı Altında Performans Analizi ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
25/07/2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAYA

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Okan ERKAYMAZ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Selman KULAÇ

Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum./..../2019


Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu çalışmadaki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Emre ÇAKAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇOK ATLAMALI İŞBİRLİKLİ İLETİŞİM SİSTEMLERİNİN HATA YAYILIMI ALTINDA PERFORMANS ANALİZİ

Emre ÇAKAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAYA

Ağustos 2019, 49 sayfa

Bu çalışmada, üç atlamalı işbirlikli iletişim sisteminin eşik değer tabanlı çöz-aktar protokolü kullanılması durumunda uçtan uca ortalama bit hata olasılığı (BHO) ifadesi hata yayılımı altında elde edilmiştir. Elde edilen uçtan uca BHO ifadesi MATLAB benzetim çalışmaları ile doğrulanmıştır. Rölelerde tam kod çözme olasılığını arttırmak için Seçme İşbirliği (Selection Cooperation, SC) yöntemi kullanılmıştır. Her iki röledeki eşik değer seçiminin sistemin hata başarımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmada, işbirlikli iletişim sistemlerinin de hata rölelerdeki optimum eşik değerlerin derin öğrenme (Deep Learning – DL) tekniği kullanılarak rölelere ulaşan gürültülü ham veriden adaptif bir şekilde belirlenmesi önerilmiştir. DL modeli kullanılarak elde edilen optimum eşik değer ifadeleri, sistemin uçtan uca bit hata olasılığı ifadesinin nümerik olarak minimize edilmesiyle elde edilen optimum değerlerle karşılaştırılmıştır. DL tekniği kullanılarak elde edilen eşik değerler, nümerik olarak hesaplanan değerler ile uyumludur.

ÖZET (devam ediyor)

Sabit eşik değeri kullanımı ile optimum eşik değeri kullanımı karşılaştırıldığında sistemin aynı hata olasılığında iletişim yapabilmesi için optimum eşik değeri kullanımı yaklaşık 3dB daha düşük işaret gürültü oranına ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İşbirlikli haberleşme, optimum eşik değeri, bit hata oranı (BHO), hata yayılımı, İşaret Gürültü Oranı (İGO), derin öğrenme.

Bilim Kodu: 608.04.00



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTI-HOP COOPERATIVE COMMUNICATION SYSTEMS UNDER ERROR PROPAGATION

Emre ÇAKAR

Zonguldak Bülent Ecevit University

Institute of Science

Department of Electrical and Electronics Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Hakan KAYA

August 2019, 49 pages

In this thesis, end-to-end (e2e) average bit error probability (BER) for three-hop cooperative communication systems with, decode-and-forward (DF) relay based on threshold selection is derived in the closed-form in the presence of error propagation. The derived end-to-end BER expression is verified via computer simulations. In order to increase the probability of full decoding in relays, Selection Cooperation (SC) method was used. It is shown that the threshold selection for the relays has dominant effect on the error performance of the system.

In this study, it is proposed to determine the threshold value of the relay adaptively from the noisy signals reaching to the relays by using DL technique. The optimal threshold value expressions by obtained using the DL model have been compared with the optimum values obtained by numerically minimizing the end-to-end (e2e) bit error probability expression of the system.

ABSTRACT (continued)

The threshold values obtained by using the DL technique have matched well with the numerically calculated values. Compared to usage of fixed threshold, it has been observed that optimum threshold usage needs approximately 3dB lower Signal to Noise Ratio (SNR) for the same error probability target.

Key Words: Cooperative communication, optimum threshold, bit error rate (BER), error propagation, signal noise rate (SNR), deep learning (DL).

Science Code: 608.04.00



TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması aŐamasında çalıŐmalarımı yönlendiren, araŐtırmalarımın her aŐamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve aynı zamanda Tez DanıŐmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAYA'ya, Tez çalıŐmamda her zaman yanımda olan Sayın ArŐ. Gör. Ferdi KARA'ya, hayatlarıyla bana örnek olan tüm hocalarıma ve hayatım boyunca her daim yanımda olan ve bana her konuda destek veren aileme sonsuz Őukranlarımı sunarım.





İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 GENEL KAVRAMLAR.....	5
2.1 SÖNÜMLEMELİ KANAL	5
2.1.1 Frekans Seçici ve Düz Sönümlenmeli Kablosuz Kanallar	5
2.1.2 Hızlı ve Yavaş Sönümlenmeli Kablosuz Kanallar	6
2.1.3 Rayleigh Sönümleme.....	6
2.2 ÇEŞİTLEME.....	8
2.3 İŞBİRLİKLİ HABERLEŞME PROTOKOLLERİ	9
2.3.1 Çöz ve Aktar (Decode and Forward, DF) Protokolü.....	10
2.3.2 Kuvvetlendir ve Aktar Protokolü (Amplify and Forward, AF).....	11
BÖLÜM 3 SİSTEM MODELİ.....	13
3.1 HATA OLASILIĞI HESABI	16
3.2 NÜMERİK SONUÇLAR	23

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4 DERİN ÖĞRENME	33
4.1 GİRİŞ	33
4.2 DERİN ÖĞRENMENİN TEMELLERİ	35
4.3 AKTİVASYON FONKSİYONU	36
4.4 OPTİMİZASYON.....	36
4.5 DERİN ÖĞRENMEDE EPOCH, MİNİ BATCH SİZE, İTERASYON VE MAX EPOCH TERİMLERİ	37
4.6 LSTM (LONG SHORT TERM MEMORY) AĞLARI.....	37
4.7 DERİN ÖĞRENME MODELİ	39
4.8 SİMÜLASYON SONUÇLARI	40
BÖLÜM 5 SONUÇLAR.....	43
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

No	Sayfa
Şekil 2.1 İki Atlamalı İşbirlikli İletişim Sistemi	10
Şekil 3.1 Sistem Modeli.	13
Şekil 3.2 γ_{th1} 'in Sabit Olduğunda γ_{th2} 'nin Farklı Değerlerinin BHO Başarımına Etkisi	24
Şekil 3.3 γ_{th2} 'in Sabit Olduğunda γ_{th1} 'nin Farklı Değerlerinin BHO Başarımına Etkisi	24
Şekil 3.4 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 1, \sigma_{SR2}^2 = 0.5, \sigma_{R1R2}^2 = 1, \sigma_{R1D}^2 = 0.5, \sigma_{R2D}^2 = 1$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	25
Şekil 3.5 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 1, \sigma_{SR2}^2 = 0.5, \sigma_{R1R2}^2 = 1, \sigma_{R1D}^2 = 0.5, \sigma_{R2D}^2 = 1$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	25
Şekil 3.6 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 10, \sigma_{SR2}^2 = 1, \sigma_{R1R2}^2 = 10, \sigma_{R1D}^2 = 1, \sigma_{R2D}^2 = 10$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	26
Şekil 3.7 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 10, \sigma_{SR2}^2 = 1, \sigma_{R1R2}^2 = 10, \sigma_{R1D}^2 = 1, \sigma_{R2D}^2 = 10$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	26
Şekil 3.8 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 10, \sigma_{SR2}^2 = 1, \sigma_{R1R2}^2 = 1, \sigma_{R1D}^2 = 1, \sigma_{R2D}^2 = 10$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	27
Şekil 3.9 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 10, \sigma_{SR2}^2 = 1, \sigma_{R1R2}^2 = 1, \sigma_{R1D}^2 = 1, \sigma_{R2D}^2 = 10$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	27
Şekil 3.10 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2, \sigma_{SR2}^2 = 1, \sigma_{R1R2}^2 = 10, \sigma_{R1D}^2 = 1, \sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	28
Şekil 3.11 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2, \sigma_{SR2}^2 = 1, \sigma_{R1R2}^2 = 10, \sigma_{R1D}^2 = 1, \sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	28
Şekil 3.12 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2, \sigma_{SR2}^2 = 0.1, \sigma_{R1R2}^2 = 2, \sigma_{R1D}^2 = 1, \sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	29
Şekil 3.13 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2, \sigma_{SR2}^2 = 0.1, \sigma_{R1R2}^2 = 2, \sigma_{R1D}^2 = 1, \sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	29
Şekil 3.14 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2, \sigma_{SR2}^2 = 1, \sigma_{R1R2}^2 = 2, \sigma_{R1D}^2 = 0.1, \sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	30
Şekil 3.15 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2, \sigma_{SR2}^2 = 1, \sigma_{R1R2}^2 = 2, \sigma_{R1D}^2 = 0.1, \sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	30
Şekil 3.16 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2, \sigma_{SR2}^2 = 0.1, \sigma_{R1R2}^2 = 2, \sigma_{R1D}^2 = 0.1, \sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	31
Şekil 3.17 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2, \sigma_{SR2}^2 = 0.1, \sigma_{R1R2}^2 = 2, \sigma_{R1D}^2 = 0.1, \sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar.....	31
Şekil 4.1 İki Girdili Yapay Sinir Ağında Çıktı Değeri Hesaplama	35
Şekil 4.2 Aktivasyon Fonksiyonu Uygulanmış Sinir Hücresi.....	36
Şekil 4.3 RNN Ağı	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.4 Örnek LSTM Bloğu	38
Şekil 4.5 Önerilen DL Modeli.....	41
Şekil 4.6 Optimum Eşik Değerleri	41
Şekil 4.7 Uçtan Uça Hata Olasılığı.	41



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Röle durumları	16
Çizelge 4.1 DL ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması.....	40





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

T_m	: Çoklu yoldan yayılım zamanı
T_S	: İşaretin periyodu
B_S	: İşaretin bant genişliği
B_C	: Uyum bant genişliği
f_d	: Doppler frekans kayma miktarı
T_0	: Kanalın uyumluluk süresi
$h(t)$: Rasgele süreç
$z_1(t)$: Rasgele sürecin gerçek bileşeni
$z_2(t)$: Rasgele sürecin sanal bileşeni
$a(t)$: Sönümlenme zarfı
Z_1, Z_2	: Rastgele değişken
σ^2	: Varyans
E_b	: Sinyal gücü
N_0	: Ortalama gürültü gücü
γ	: İGO
$\bar{\gamma}$: Ortalama İGO
$E[.]$: İstatiksel ortalama operatörü
S	: Kaynak
D	: Hedef
R1	: Röle1
R2	: Röle2
γ_{th1}	: Röle1'e ait Eşik değer İGO
γ_{th2}	: Röle2'ye ait Eşik değer İGO
y_{SR1}	: Kaynak tarafından Röle1'e gönderilen işaret

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

- y_{SR2} : Kaynak tarafından Röle2'ye gönderilen işaret
- y_{R1R2} : Röle1 tarafından Röle2'ye gönderilen işaret
- y_{R2D} : Röle2 tarafından Hedef'e gönderilen işaret
- y_{R2} : Röle2'ye ulaşan toplam işaret
- y_D : Hedefte alınan işaret
- P_S : Verici gücü
- \tilde{P}_{R1} : Röle1'in gücü
- \tilde{P}_{R2} : Röle2'in gücü
- x_S : Vericiden gönderilen sembol
- x_{R1} : Röle1'in, Kaynak'tan gelen işareti çözüp tekrar modüle etmesi sonucu oluşan sembol
- x_{R2} : Röle2'in, kendisine gelen sinyali çözüp tekrar modüle etmesi sonucu oluşan sembol
- h_{SR1} : Kaynak – Röle1 arasındaki sönmleme katsayısı
- h_{SR2} : Kaynak – Röle2 arasındaki sönmleme katsayısı
- h_{R1R2} : Röle1 – Röle2 arasındaki sönmleme katsayısı
- h_{R1D} : Röle1 – Hedef arasındaki sönmleme katsayısı
- h_{R2D} : Röle2 - Hedef arasındaki sönmleme katsayısını
- n_{SR1} : Kaynak – Röle1 arasındaki toplanır Gauss gürültüsü
- n_{SR2} : Kaynak – Röle2 arasındaki toplanır Gauss gürültüsü
- n_{R1R2} : Röle1 – Röle2 arasındaki toplanır Gauss gürültüsü
- n_{R1D} : Röle1 – Hedef arasındaki toplanır Gauss gürültüsü
- n_{R2D} : Röle2 - Hedef arasındaki toplanır Gauss gürültüsü
- $a_1 - a_2$: Röle2 MRC katsayıları
- $b_1 - b_2$: Hedef MRC katsayıları
- h^* : Kanal katsayısının karmaşık eşleniği
- \bar{y}_{SR1} : Kaynak – Röle1 arasındaki ortalama İGO
- \bar{y}_{SR2} : Kaynak – Röle2 arasındaki ortalama İGO
- \bar{y}_{R1D} : Röle1– Hedef arasındaki ortalama İGO
- \bar{y}_{R2D} : Röle2– Hedef arasındaki ortalama İGO
- \bar{y}_{R1R2} : Röle1– Röle2 arasındaki ortalama İGO
- $P_{e2e}(e)$: Sistemin uçtan uca hata olasılığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

- $P_i(e)$: Rölelerin aktif ya da suskun olma durumlarına göre, her bir durum için tüm öncül olasılıkları içeren uçtan uca hata olasılıkları
- P_{dec1} : Röle1'e gelen sembollerin İGO değerinin eşik değeri γ_{th1} 'den büyük olma olasılığı
- $P_{dec2^{(1)}}$: Röle1'in aktif olması durumunda Röle2'nin aktif olma olasılığı
- $P_{dec2^{(2)}}$: Röle1'in pasif olması durumunda Röle2'nin aktif olma olasılığı
- P_{SR1} : Eşik değerinin (γ_{th1}) hatalı seçimine bağlı Röle1'den kaynaklı meydana gelen hata yayılımının oluşma olasılığı
- P_{SR2} : Eşik değerinin (γ_{th2}) hatalı seçimine bağlı Röle2'den kaynaklı meydana gelen hata yayılımının oluşma olasılığı
- P_{prop1} : Hata yayılım ifadesi
- P_{prop2} : Hata yayılım ifadesi
- P_{tot} : Röle2'ye aynı işaretlerin ulaşması durumunda, Röle2'de hatayapma olasılığı
- P_{diff} : Röle2'ye farklı işaretlerin ulaşması durumunda, Röle2'de hata yapma olasılığı
- P_{coop} : İşbirlikli iletişim durumunda meydana gelen hata olasılığı
- $M_\gamma(.)$: Moment üreten fonksiyon
- $Q(.)$: Q foksiyonu
- $erfc(.)$: erfc fonksiyonu
- $P_e(\gamma)$: İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama modülasyonu varsayımı altında hata olasılığı
- $p_\gamma(\gamma)$: Sönümlenmeli bir kanalın Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

KISALTMALAR

- AF** : Amplify and Forward
- BPSK** : Binary Phase Shift Keying
- CSI** : Channel State Information
- DF** : Decode and Forward
- DL** : Deep Learning
- IoT** : Internet of Things
- ISI** : Inter Symbol Interference
- İGO** : İşaret Gürültü Oranı
- LSTM** : Long Short Term Memory

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

- MIMO** : Multi Input Multi Output
MGF : Moment Generating Function
ML : Machine Learning
MRC : Maximal Ratio Combining
OYF : Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing
RNN : Recurrent Neural Network
SC : Selection Cooperation
YSA : Yapay Sinir Ağları



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde nesnelerin interneti, sensör ağları ve makineler arası iletişim gibi uygulamalara bağlı olarak kablosuz iletişime ihtiyaç duyan cihaz ve kullanıcı sayısı çok hızlı bir şekilde artış göstermektedir [1]. 5G ve ötesi ağların, çok geniş (ultra-wide) kapsama alanı (coverage) ve yüksek gezginlik (high mobility) sağlaması ile birlikte artan bu talepleri karşılayabilmesi amaçlanmaktadır [2]. İşbirlikli iletişim (cooperative communication) kullanımını bu amaca ulaşılabilmesi için önem arz etmektedir. İşbirlikli iletişimin 5G ve ötesi ağlar için diğer fiziksel seviye aday teknikler (dikgen olmayan çoklu erişim (NOMA) ve çoklu-giriş çoklu-çıkış (MIMO)) ile birlikte kullanılması önemli bir avantajdır. Bununla birlikte, kablosuz iletişim sistemlerinde karşılaşılan sorunlardan birisi olan çok yönlü sönümlemenin dezavantajı işbirlikli iletişim ile azaltılabilmektedir ve sistemde çeşitleme kazancı da sağlanabilmektedir [3], [4].

Çeşitleme, bilgi işaretinin kopyalarının istatistiksel bağımsız kanallar vasıtasıyla kaynaktan hedefe gönderilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde, sistem performansının artırılması ve sönümlemenin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Çeşitleme zaman, frekans boyutunda ve birden fazla alıcı ve/veya verici anten (MIMO) kullanılarak uzay boyutunda da yapılabilir [5]. Çoklu anten kullanılan uzay çeşitlemesinde beklenen performansın elde edilebilmesi için, antenler ve hedef arasındaki yolların birbirinden bağımsız olması gerekmektedir. Bu performansın sağlanabilmesi için verici ve/veya alıcıya yerleştirilen antenlerin kendi aralarındaki mesafenin en az iletilen işaret dalga boyunun yarısı kadar olması gerekmektedir [6]. Bu durum baz istasyonları için herhangi bir sorun teşkil etmezken mobil cihazlar için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Mobil cihazlarda bu sorunun ortadan kaldırılması amacıyla sanal MIMO olarak da adlandırılan, mobil cihazların işbirliği içerisinde olduğu “İşbirlikli İletişim” çeşitleme yöntemi ortaya atılmıştır [3].

İşbirlikli çeşitleme de iletişim, kaynak ve hedef arasındaki direkt iletme ek olarak iletim ortamında bulunan röle vasıtası ile de sağlanır. İşbirlikli iletişim sistemlerinde “Kuvvetlendir ve Aktar” (Amplify and Forward, AF) ve “Çöz ve Aktar” (Decode and Forward, DF) rölede en çok kullanılan iletişim protokollerindendir. AF protokolü, kaynaktan gönderilen sinyalin kuvvetlendirilerek hedefe iletilmesi prensibine dayanırken; DF protokolü, kaynak tarafından gönderilen sembolün rölede çözüldükten sonra tekrar kodlanarak hedefe iletilmesi esasına dayanır [3], [7].

İşbirlikli çeşitleme yöntemi, iletişim kalitesini artırmak için tek röle ile kullanıcılar arasında kullanılabileceği gibi, kaynak-hedef arasında bulunan diğer kullanıcılar röle kabul edilerek çoklu röle kullanan yapılar da tasarlanabilir. Çoklu röle yapısını kullanan işbirlikli iletişimde kaynak-hedef arasında bulunan mobil cihazlar (röleler), kaynak-hedef arasında iletişim için çeşitleme sağlayarak iletişim kalitesini röle sayısı ile orantılı olarak iyileştirirler. Fakat bu yapının dezavantajı ortamda bulunan tüm röleler frekans ve/veya zaman boyutunda kaynakları işgal etmekte ve verimli kullanılmasını engellemektedirler. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, kaynak-hedef arasında bulunan tüm rölelerin kullanılması yerine en iyi link kalitesine sahip tek rölenin seçilmesi ve iletişimin bu röle üzerinden yapılması önerilmiştir [8], [9], [10].

İşbirlikli çeşitlemede, AF protokolünün kullanılması durumunda, röleye gelen sinyal ile birlikte kaynak-röle arasındaki gürültünün AF röle tarafından kuvvetlendirilip hedefe iletilmesi sistem performansını kötü yönde etkilemektedir. Seçilen rölenin tam kod çözme varsayımı altında DF protokolünün kullanılması durumunda ise kaynak-röle arasındaki gürültü hedefe iletilmemektedir. DF rölede tam kod çözme, kaynaktan gönderilen sinyalin doğru bir biçimde rölede çözülmesi (elde edilmesi) anlamına gelmektedir. DF rölede tam kod çözme olasılığını arttırmak için literatürde bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi sıklıkla kullanılan Seçme İşbirliği (Selection Cooperation, SC) olarak adlandırılan yöntemdir. Bu yöntemde kaynaktan ortamda bulunan röleye gelen sembolün işaret gürültü oranına (İGO) bakılmaktadır. Röleye gelen sembolün İGO değeri, belirlenen eşik değerinden küçük ise, rölenin sembolü doğru çözemeyeceğine karar verilir ve röle suskun kalır. İGO değeri, eşik değerinden büyük olan rölenin ise kendisine gelen sembolü doğru çözdüğü kabul edilir ve röle aldığı işareti hedefe iletir. Fakat bu yöntemde rölelerde kullanılan eşik değerinin kötü seçimine bağlı olarak, kaynaktan tarafından röleye gelen sembolün İGO değeri belirli bir eşik değerinin üzerinde olsa dahi, röle gelen sembolü yanlış çözüp hedefe yanlış sembol

gönderebilmekte ve alıcıda hatalı karara neden olmaktadır. Bu olaya hata yayılımı (error propagation) denmektedir ve sistem performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle rölelerde kullanılan eşik değerinin doğru biçimde belirlenmesi önem teşkil etmektedir.

Literatürde, iki atlamalı işbirlikli iletişim sistemlerini inceleyen birçok çalışma mevcuttur. [11]'de yapılan çalışmada, ortamda iki röle bulunması durumunda DF röle için Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) kullanılarak yapılan işbirlikli iletişim sistemi ele alınmıştır. [12]'de yapılan çalışmada, DF protokolünü kullanan röle seçimli bir işbirlikli sistemin hata performans analizi incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, DF tabanlı kablosuz işbirlikli ağlardaki hata yayılımından kaynaklanan performans düşüşünü azaltmak için kullanılan işbirlikli en büyük oran birleştirmesi (CMRC) ve klasik en büyük oran birleştirmesi (MRC) yöntemlerinin sistemin hata performansı üzerindeki etkileri bilgisayar benzetimleri yardımıyla incelenmiştir. [13]'de yapılan çalışmada, en iyi röle seçimli işbirlikli iletişim sistemlerinin hata başarımları, röleden hedefe doğru hata yayılımı varlığında incelenmiştir. Hata yayılımı ifadesi, ortamda bulunan M adet röle arasından en iyi rölenin seçilmesi durumu için türetilmiştir. [14]'de yapılan çalışmada, iki atlamalı işbirlikli iletişim sisteminde ortamda tek röle bulunması durumunda DF röle için optimum eşik değer analitik olarak bulunmuştur. [15]'te yine tek röle için optimum eşik değer ifadesi Nakagami-m sönümlenmeli kanallar için elde edilmiştir. [16]'da yapılan çalışmada, iki atlamalı işbirlikli iletişim sisteminde Rayleigh sönümlenmeli kanallar için ortamda çok röle bulunması durumunda optimum eşik değer ifadesinin ne olması gerektiği araştırılmıştır. Sistemin uçtan uca hata olasılığı ifadesinin minimum yapan değer numerik olarak elde edilmiş ve bu değer optimum eşik değer olarak adlandırılmıştır. Elde edilen optimum eşik değer için bir ifade türetilmemiştir. Optimum değer elde edilebilmesi için tüm eşik değerler için hata olasılığının değerlendirilmesi gerekmektedir. [17]'de yapılan çalışmada, ortamda çok röle bulunması durumunda, sistemin uçtan uca hata olasılığı ifadesini minimum yapan optimum eşik değer ifadesinin ortamdaki röle sayısı (M), kaynak-hedef, kaynak-röle ve röle-hedef arası bağlantı kalitelerine bağlı olarak değişeceği açıkça gözükmesine rağmen analitik yollarla elde edilmesi son derece zor olduğundan optimum eşik değer makine öğrenmesi tekniklerinden yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak elde edilmiştir. [18]'de yapılan çalışmada, iki atlamalı işbirlikli iletişim sistemi altında, kanal durum bilgisi ihtiyacını ortadan kaldıran ve sistem karmaşıklığını azaltan YSA teknikleri için işbirlikli iletişim sistem modelinin performansı incelenmiştir. Sayısal modülasyon tekniklerinden ikili faz kaydırmalı anahtarlama

modülasyonu kullanılan bu sistemde, hızlı sönmlemeli Rayleigh kanallar üzerinde elde edilen nümerik sonuçlar ile tam çeşitleme kazancı sağlandığı gösterilmiştir.

Literatürde, iki atlamalı işbirlikli sistemlerini inceleyen bir çok çalışma olmasına rağmen, kullanıcının servis sağlayıcısı (baz istasyonuna) çok uzak olduğu durumlarda özellikle çok geniş kapsama alanının sağlanabilmesi için çok atlamalı işbirlikli iletişime ihtiyaç duyulmaktadır. [19] ve [20]'de çok atlamalı işbirlikli-iletişim sistemlerinde kesinti olasılığı başarımlı incelenmiştir. Uçtan uca hata olasılığının incelendiği çalışmalarda ise çoğunlukla rölelerdeki çözme işlemi sırasında oluşabilecek hatalar göz ardı edilmiştir. [19]'da yapılan çalışmada, Nakagami-m sönmlemeli kanallar üzerinde çok atlamalı kablosuz iletişim sistemlerinin kesinti olasılığı incelenmiştir. [20]'de yapılan çalışmada ise, en yaygın kullanılan işbirlikli iletişim protokolleri olan DF ve AF protokolleri ile çok atlamalı ağların performans analizi yapılmıştır. [21]'de yapılan çalışmada, MIMO sistemlere tanımlanan uzay kaydırmalı anahtarlama modülasyonu çok atlamalı sistemlere uygulanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, daha önce çok atlamalı olmayan kod çöz ve aktar tekniğine dayalı işbirlikli iletişim sistemlerinde uzay kaydırmalı anahtarlama modülasyonu için önerilmiş yüksek başarımlı iletim modeli çok atlamalı kablosuz ağlar için geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, 5G ve ötesi ağlarda kullanımı öngörülen üç atlamalı DF protokolü kullanan işbirlikli iletişim sisteminin hata yayılımı varlığında hata başarımları incelenmiştir. Her bir rölenin SC kullandığı varsayılarak rölelerin belirlenen eşik değerlerin üzerinde olduğu durumlarda aktif olduğu düşünülmüştür. Rölelerdeki yanlış çözme olasılıkları da dikkate alınarak önerilen sistem için uçtan-uca olasılığı ifadesi hata yayılımı altında elde edilmiştir. Önerilen üç atlamalı işbirlikli iletişim sisteminde optimum eşik değeri için DL tabanlı kestirim yöntemi önerilmiştir [26]. [17]'de kullanılan YSA modelinden farklı olarak, optimum eşik değerini elde etmek için ortamdaki röle sayısı, yol katsayıları ve bit başına işaret gürültü oranı vb. değerler bu çalışmada giriş katmanında öznitelik olarak kullanılmamıştır. Rölelere gelen ham bilgi (sönmleme ve gürültüye maruz kalmış kablosuz olarak alınan modüleli semboller) giriş olarak alınarak önerilen derin öğrenme algoritması öznitelik çıkarımı ara katmanlarda yapmış ve çıkış olarak istenilen eşik değeri ifadesini kestirmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL KAVRAMLAR

Bu bölümde, bu çalışma içerisinde yararlanılacak temel kavram ve yöntemlerden bahsedilecektir.

2.1 SÖNÜMLEMELİ KANAL

Kablosuz iletişim kanallarında, iletişim esnasında meydana gelen kırılma, saçılma, gölgeleme gibi bozucu etkiler sonucu alıcıya işaretin farklı birçok kopyasının ulaşmasına çok yollu yayılım denir. Hedefte elde edilen bu işaretler gecikmelerden, zayıflamalardan ve faz değişimlerinden etkilenebilir. Hedefte elde edilen işaret, bu kopyaların toplamı şeklinde olur. Çok yollu yayılımın neticesinde, hedefte alınan işaret genelde çarpımsal bir bozucu etkiyle karşı karşıya kalarak genlik ve faz bakımından değişim gösterir. Bu bozucu etki sönmüleme olarak tanımlanmaktadır [22].

Sönümlmeli kablosuz kanallar frekansta (yavaş veya hızlı sönmümlmeli kanallar) ve zamanda (frekans seçici veya düz sönmümlmeli kanallar) meydana gelen saçılmaya göre sınıflandırılmaktadır.

2.1.1 Frekans Seçici ve Düz Sönümlmeli Kablosuz Kanallar

Kaynak tarafından hedefe gönderilen işaret gölgeleme, kırınım, kırılma ve saçılma gibi sebeplerden dolayı farklı zaman gecikmeleri ile birden fazla kopyası hedefe ulaşır. T_m ile ifade edilen maksimum artık gecikme, gönderilen işaretin hedefe ulaşan ilk ve son bileşenleri arasındaki zaman farkı olarak tanımlanır. T_m sürede, işaretin bileşenlerinin yansiyarak hedefe ulaşmasıyla oluşan profil kanalın dürtü cevabı olarak ifade edilir. Kanalın bant genişliğini bulabilmek için dürtü cevabının frekans bölgesinde incelemesi yapıldığında, yaklaşık olarak bant genişliği $1/T_m$ olarak hesap edilir. Buradaki frekans bandı B_C ile ifade edilen uyumluluk bant genişliği (coherence bandwidth) olarak tanımlanır [23].

Gönderilen işaretin bant genişliği B_S ile ifade edilmiş olup, işaretin periyodunun $T_S > T_M$ olması şartı altında ($B_S < B_C$), işaretin tüm frekans bileşenleri kanalda aynı etki ile karşılaşır. Bu durumda kanalda frekans seçici olmayan (frequency nonselective) sönümleme ya da düz sönümleme (flat fading) meydana gelir [5].

Gönderilen işaretin periyodunun $T_S < T_M$ olması şartı altında ($B_S > B_C$), işaretin tüm frekans bileşenleri kanalda farklı tepki ile karşılaşır. Bu durumda meydana gelen sönümlemeye de frekans seçici (frequency selective) sönümleme olarak tanımlanır [5].

Kanalın sönümleme etkisine ek olarak Frekans seçici kanallarda performansı olumsuz etkileyen semboller arası karışım (intersymbol interference, ISI) meydana gelir [5].

2.1.2 Hızlı ve Yavaş Sönümlemeli Kablosuz Kanallar

Kablosuz iletişim cihazlarının sürekli hareket etmesiyle birlikte, gönderilen işaretin hareket yönüne kablosuz iletişim cihazının da hareket yönünün eklenmesi işaretin frekansında belli bir oranda kayma oluşturur. Bu durum Doppler frekans kayması şeklinde tanımlanır. Gönderilen işaretin frekansındaki değişim miktarı f_d ifadesi ile verilir. Yaklaşık olarak kanalın uyumluluk süresi (coherence time) Doppler frekansının tersi ($T_0 \approx 1/f_d$) şeklinde verilir.

$T_S < T_0$ şartı altında kanal, gönderilen işarete yaklaşık olarak aynı tepkiyi verir. Bu durumda kanalın işarete verdiği tepki zamanla değişmez. Bu şekildeki kanal modeli yavaş sönümlemeli (slow fading) kanal olarak tanımlanır [23].

$T_S > T_0$ şartı altında ise kanalın, gönderilen işarete vereceği tepki zamanın bir fonksiyonu şeklinde değişir. Bu şekildeki kanal modeli hızlı sönümlemeli (fast fading) kanal olarak tanımlanır [5].

2.1.3 Rayleigh Sönümleme

Düz sönümlemeli bir kablosuz iletişim kanalının sönümleme analizi aşağıdaki gibi karmaşık rasgele bir süreç ile ifade edilir.

$$h(t) = z_1(t) + jz_2(t) \quad (2.1)$$

Burada $z_1(t)$, rasgele sürecin gerçekte bileşenini $z_2(t)$ ise rasgele sürecin sanal bileşenini belirtmektedir. Karmaşık formda verilen Eşitlik (2.1)'deki sönümlenme ifadesinin kutupsal gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$h(t) = a(t)e^{-j\theta(t)} \quad (2.2)$$

Burada $a(t)$, sönümlenmenin zarfıdır ($|h(t)|$) ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$a(t) = \sqrt{z_1^2(t) + jz_2^2(t)} \quad (2.3)$$

Hedefe gönderilen işaret sayısının, kablosuz iletişim sırasında oluşan kırınım, kırılma gölgeleme ve saçılma nedenlerinden dolayı oldukça fazla olmaktadır. Merkezi limit teoremine göre (2.1) eşitliğinde verilen $z_1(t)$ ve $z_2(t)$ bileşenleri Gauss rasgele süreci olarak ifade edilir.

Kanalın yavaş sönümlenmeli olması şartı altında (2.1) ve (2.2) eşitliklerinde tanımlanan kompleks sönümlenme ve eşitlik (2.3)'te ifade edilen sönümlenmenin zarfı, zamandan bağımsız olur. Başka bir ifadeyle rasgele değişken olurlar $a = \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}$.

Kablosuz iletişimde, hiçbir direkt görüş yolunun olmadığı kaynak ve hedef antenler arasında, yalnızca yansiyarak çok yönlü bileşenlerin hedefe ulaştığı kanalda, Z_1 ve Z_2 ifadeleri sıfır ortalamalı Gauss rasgele değişkenleri olarak verilir. Eşitlik (2.3)'te verilen sönümlenmenin zarfı aşağıda verilen Rayleigh dağılımına sahiptir [5].

$$f(a) = \frac{a}{\sigma^2} e^{-a^2/2\sigma^2}, \quad a \geq 0 \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4)'deki a 'nın sönümlenme zarfı Rayleigh dağılımına sahip olması şartı altında, γ (anlık İşaret Gürültü Oranı)'nın olasılık yoğunluk fonksiyonu üstel (exponansiyel) dağılıma sahip olup aşağıda verildiği gibidir [23].

$$f_{\gamma}(\gamma) = \begin{cases} \frac{1}{\bar{\gamma}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right), & \gamma \geq 0 \\ 0 & , \quad \gamma < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

(2.5) eşitliğindeki $\bar{\gamma}$ ifadesi anlık işaret gürültü oranının (γ) istatistiksel ortalamasıdır. $\bar{\gamma} = E[a^2] \frac{E_b}{N_0}$ ya da $\bar{\gamma} = E[|h|^2] \frac{E_b}{N_0}$ olarak ifade edilmektedir. $E[.]$ istatistiksel ortalama operatörüdür.

2.2 ÇEŞİTLEME

Gezgin kullanıcılar arasındaki sönmleme etkisi sistem performansını olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz etkinin azaltılması için kodlama, kaynak ve anten gücünün artırılması hem ekonomik hem de yeterli olmayabilir. Bu durumlar göz önüne alındığında çeşitleme (diversity) tekniklerinin kullanımı önemli bir alternatif sağlamaktadır. Bilgi mesajının birden fazla kopyasının birbirinden bağımsız sönmleme kanallarından gönderilmesi işbirlikli çeşitleme olarak adlandırılmaktadır. İşbirlikli çeşitlemede en azından gönderilen bir sinyal, kanalın sönmleme etkisine uğramamış veya az bozulmuş bir şekilde hedefe ulaşmış olur. Birden fazla iletim yolunun olması, sönmleme istatistiklerinin bağımsız olması, yolların ortalama sinyal gücünün birbirine yakın olması genel olarak çeşitleme gereksinimleri arasında yer almaktadır. Hem çeşitleme gereksinimlerini karşılayabilmek hem de çeşitleme kazancı sağlayabilmek için farklı çeşitleme yöntemleri mevcuttur. Frekans, zaman, uzay ve işbirlikli çeşitlemeleri bunlardan bazılarıdır.

Frekans çeşitlemesi, gönderilen işaretin birden fazla kopyasının farklı frekans bileşenleri ile gönderilmesi şeklinde tanımlanır.

Zaman çeşitlemesi, gönderilen işaretin birden fazla kopyasının farklı zaman aralıklarında oluşturulmuş kopyalarının gönderilmesi şeklinde tanımlanır.

Uzay çeşitlemesi, gönderilen işaretin birbirinden bağımsız kopyalarının birden fazla anten ile gönderilmesi prensibine dayanır. Aynı zamanda bu çeşitleme anten çeşitlemesi olarak da tanımlanmaktadır. Bu çeşitleme ile gönderilen işaretler istatistiksel bağımsız yollar vasıtasıyla hedefe ulaşmaktadır. Birden fazla antenin kaynak tarafında kullanılmasıyla verici çeşitlemesi,

birden fazla antenin hedefte kullanılmasıyla da alıcı çeşitlemesi yapılmış olur. Birden fazla antenin hem kaynakta hem de hedef de kullanılmasıyla çeşitlemenin yapıldığı sistemlere çoklu-giriş çoklu-çıkış (MIMO) sistemler denilmektedir [24].

Kablosuz iletişim cihazları donanımsal olarak küçük boyutta ve karmaşık bir yapıya sahip olduğundan çoklu anten için sınırlıdır. Bu durum hedeflenen iletişim performansına engel teşkil etmektedir. Daha yüksek performans elde edilmesi için işbirlikli çeşitleme fikri sunulmuştur. İşbirlikli çeşitleme, ortamda birden fazla kullanıcının olması durumunda, gezgin cihazların antenlerini paylaşmaları ve bu sayede çok antenli yapı oluşturulması prensibine dayanmaktadır.

2.3 İŞBİRLİKLİ HABERLEŞME PROTOKOLLERİ

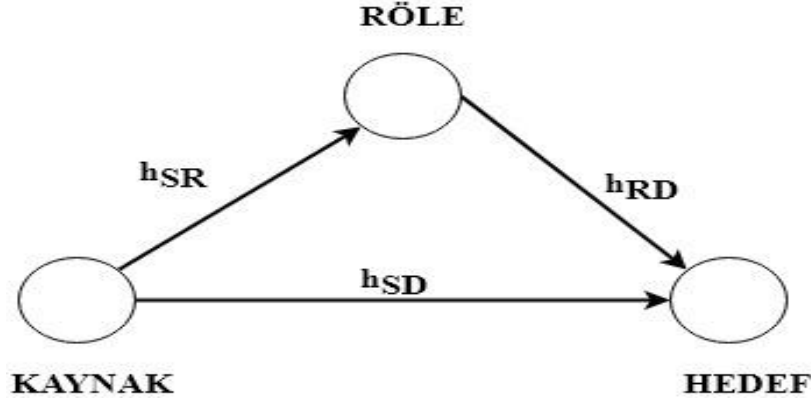
Şekil 2.1’de klasik iki atlamalı işbirlikli iletişim sistemi gösterilmektedir. İşbirlikli iletişim iki zaman diliminde gerçekleştirilmektedir. Birinci zaman diliminde eş zamanlı olarak, kaynaktan hedefe ve ortamda bulunan röleye de aynı bilgi iletilmektedir. İkinci zaman diliminde, röle birinci zaman diliminde aldığı bilgiyi tekrar hedefe iletmektedir.

Birinci zaman diliminde, hedef ve röle tarafından alınan işaretler sırasıyla aşağıda gösterilmektedir.

$$y_{SR} = \sqrt{P_S} h_{SR} x_S + n_{SR}, \quad (2.6)$$

$$y_{SD} = \sqrt{P_S} h_{SD} x_S + n_{SD}. \quad (2.7)$$

Burada x_S kaynak tarafından gönderilen sembol, P_S kaynağın gücü, n_{SR} ve n_{SD} sırasıyla kaynak – röle ve kaynak – hedef arasındaki sıfır ortalamalı $N_0/2$ varyanslı toplanır Gauss gürültülerini ifade etmektedir. h_{SR} ve h_{SD} sırasıyla kaynak – röle arasındaki σ_{SR}^2 varyanslı sönümlenme katsayısını ve kaynak – hedef arasındaki σ_{SD}^2 varyanslı sönümlenme katsayısını göstermektedir. İşbirlikli iletişimin gerçekleşmesi için rölede yapılan işleme göre farklı aktarma protokolleri mevcuttur. AF ve DF çoğunlukla kullanılan iki aktarma protokolleridir.



Şekil 2.1 İki Atlamalı İşbirlikli İletişim Sistemi

2.3.1 Çöz ve Aktar (Decode and Forward, DF) Protokolü

İkinci zaman diliminde, DF protokolü kullanan röle kaynaktan kendisine gelen sembolü doğru çözdüğü varsayımı altında gelen sembolü hedefe gönderir (İşbirlikli iletişim). Aksi takdirde röle suskun kalır ve iletim kaynak-hedef arasında direkt yol ile sağlanır. İkinci zaman diliminde hedef tarafından alınan işaret aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$y_{RD} = \sqrt{\tilde{P}_r} h_{RD} x_R + n_{RD} \quad (2.8)$$

Burada, rölenin iletilen sembolü doğru çözmesi durumunda $\tilde{P}_r = P_r$, aksi takdirde $\tilde{P}_r = 0$ olur. h_{RD} röle – hedef arasındaki σ_{RD}^2 varyanslı sönümlenme katsayısını, x_R DF kullanan rölenin kaynaktan gelen sinyali çözüp tekrar modüle etmesi sonucu oluşan işareti, n_{RD} röle - hedef arasındaki sıfır ortalamalı $N_0/2$ varyanslı kompleks Gauss gürültüsünü ifade etmektedir.

Bu yöntemde kaynaktan ortamda bulunan rölelere gelen sembolün işaret gürültü oranına (İGO) bakılmaktadır. Kaynaktan röleye gelen sembolün İGO değeri belirlenen eşik değerinden küçük olursa, rölenin kendinse gelen işareti doğru çözemeyeceğine karar verilir ve suskun kalır. İGO değeri belirlenen eşik değerinden büyük olan rölenin ise kendisine gelen sembolü doğru çözdüğü kabul edilir. Fakat bu yöntemde rölelerde kullanılan eşik değerinin kötü seçimine bağlı olarak, kaynaktan röleye gelen sembolün İGO değeri belirli bir eşik değerinin üzerinde olsa dahi, röle gelen sembolü yanlış çözüp hedefe yanlış sembol gönderebilmekte ve alıcıda hatalı karara hatalara neden olmaktadır.

2.3.2 Kuvvetlendir ve Aktar Protokolü (Amplify and Forward, AF)

AF işbirlikli protokolü kullanan röle, birinci zaman diliminde kaynaktan gelen işareti, kanalın etkisini dengelemek için kanal durum bilgisine göre hedefe göndermektedir [3]. İşbirlikli çeşitlemede, AF protokolünün kullanılması durumunda, röleye gelen sinyal ile birlikte kaynak-röle arasındaki gürültünün AF röle tarafından kuvvetlendirilip hedefe iletilmesi sistem performansını kötü yönde etkilemektedir. İkinci zaman diliminde hedefte alınan sinyal aşağıda belirtildiği gibidir.

$$y_{RD} = \frac{\sqrt{P_r}}{\sqrt{P_S|h_{SR}|^2+N_0}} h_{RD}y_{SR} + n_{RD} \quad (2.9)$$

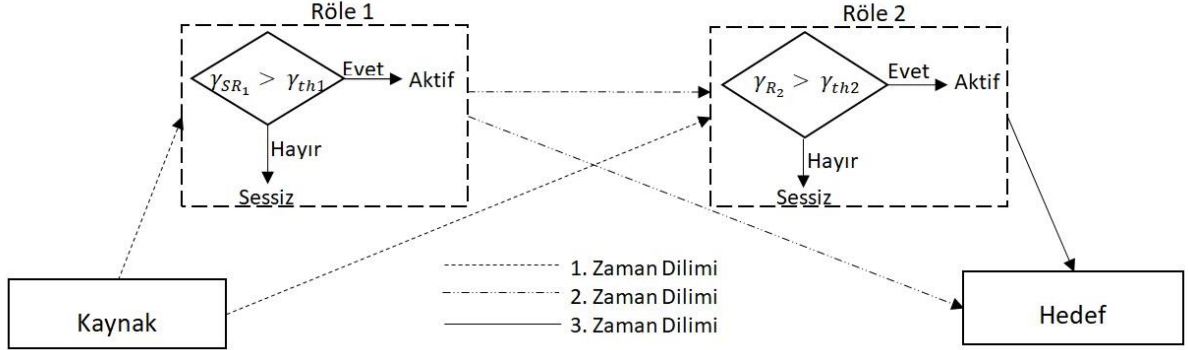
Burada h_{RD} röle hedef arasındaki kanal katsayısını, n_{RD} toplanır Gauss gürültüsünü ifade etmektedir. AF ve DF protokollerinde kanal bilgisinin alıcıda bilindiği varsayılmaktadır.



BÖLÜM 3

SİSTEM MODELİ

Şekil 3.1’de, üç atlamalı işbirlikli iletişim modeli gösterilmektedir. Bu sistem modelinde, kaynak (S), hedef (D) ve ortamda iki adet rölenin (Röle1, Röle2) bulunduğu, kaynak ve hedef arasında direkt hattın bulunmadığı bir işbirlikli iletişim sistemi ele alınmıştır. Herhangi iki düğüm arasındaki sönmüleme katsayısının zarfı Rayleigh rasgele değişkenidir. Kanal bilgisinin hedef ve rölelerde bilindiği varsayılmaktadır. Sistem modelinde bulunan her iki rölede tek antenli iletişim sağlamaktadırlar. Verilerin iletilmesi için İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Binary Phase Shift Keying -BPSK) kullanılmış olup iletişim üç zaman diliminde gerçekleşmektedir [26].



Şekil 3.1 Sistem Modeli.

Birinci zaman diliminde, aynı sembol eş zamanlı olarak hem Röle1'e hem de Röle2'ye gönderilmektedir. Kaynak tarafından bu zaman diliminde gönderilen işaretler sırasıyla aşağıda verilmektedir [14].

$$y_{SR1} = \sqrt{P_S} h_{SR1} x_S + n_{SR1}, \quad (3.1)$$

$$y_{SR2} = \sqrt{P_S} h_{SR2} x_S + n_{SR2}. \quad (3.2)$$

Burada, x_S vericiden gönderilen sembol, P_S verici gücü, n_{SR1} ve n_{SR2} sırasıyla kaynak – Röle1 ve kaynak – Röle2 arasındaki sıfır ortalamalı $N_0/2$ varyanslı toplanır Gauss gürültüleridir. h_{SR1} ve h_{SR2} sırasıyla kaynak – Röle1 arasındaki σ_{SR1}^2 varyanslı sönümlenme katsayısını ve kaynak – Röle2 arasındaki σ_{SR2}^2 varyanslı sönümlenme katsayısını göstermektedir.

İkinci zaman diliminde, ilk olarak Röle1'e gelen sembolün İGO değeri γ_{SR1} 'e bakılmaktadır. Kaynak'tan Röle1'e gelen işaretin İGO değeri seçilen eşik değerinden (γ_{th1}) küçük olursa Röle1'in, kendisine gelen işareti doğru çözemeyeceğine karar verilir ve suskun kalır. İGO değeri eşik değerinden büyük olduğunda ($\gamma_{SR1} > \gamma_{th1}$) ise Röle1'in kendisine gelen işareti doğru çözdüğü varsayılır ve Röle1 birinci zaman diliminde aldığı bilgiyi işledikten sonra Röle2'ye ve hedefe gönderir (İşbirlikli İletişim). İkinci zaman diliminde Röle2 ve hedefte alınan işaretler aşağıda gösterildiği gibidir.

$$y_{R1R2} = \sqrt{\tilde{P}_{R1}} h_{R1R2} x_{R1} + n_{R1R2} \quad (3.3)$$

$$y_{R1D} = \sqrt{\tilde{P}_{R1}} h_{R1D} x_{R1} + n_{R1D} \quad (3.4)$$

Burada, \tilde{P}_{R1} Röle1'in gücünü (röle aktif ise $\tilde{P}_{R1} = P_{R1}$; röle suskun ise $\tilde{P}_{R1} = 0$), h_{R1R2} ve h_{R1D} sırasıyla Röle1 – Röle2 arasındaki σ_{R1R2}^2 varyanslı sönümlenme katsayısını ve Röle1 – hedef arasındaki σ_{R1D}^2 varyanslı sönümlenme katsayısını göstermektedir. n_{R1R2} ve n_{R1D} güç spektral yoğunlukları $N_0/2$ olan toplanır beyaz Gauss gürültüsünü göstermektedir. x_{R1} ise, DF protokolü kullanan Röle1'in, kaynaktan gelen sinyali çözüp tekrar modüle etmesi sonucu oluşan işareti belirtmektedir.

Röle1'de kullanılan eşik değer doğru belirlenmiş olması önem arz etmektedir. Röle1'de kullanılan eşik değer yanlış seçilmesi durumunda, kaynaktan Röle1'e gelen sembolün İGO değeri, belirlenen eşik değer üzerinde olsa bile gelen sembol yanlış çözülüp Röle2'ye ve hedefe hatalı veri aktarılmasına sebep olabilir. Röle1'de yanlış eşik değer seçilmesine bağlı olarak hedefe hatalı verilerin aktarılması söz konusu olacaktır. Hedefte meydana gelen bu hata “Hata Yayılımı” olarak tanımlanmaktadır [13].

Kanalın Röle2’de bilindiği yani hatasız kestirildiği düşünülerek üçüncü ve son zaman dilimde, Röle2 çıkışındaki İGO değeri MRC kullanılarak birleştirilir. Bu zaman diliminde Röle2’de alınan toplam işaret aşağıda verildiği gibidir [25].

$$y_{R2} = b_1 y_{SR2} + b_2 y_{R1R2}, \quad (3.5)$$

burada b_1 ve b_2 en büyük oran birleştirme (Maximal Ratio Combining, MRC) katsayılarıdır ve aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$b_1 = \frac{\sqrt{P_S} h_{SR2}^*}{N_0} \text{ ve } b_2 = \frac{\sqrt{P_{R1}} h_{R1R2}^*}{N_0}. \quad (3.6)$$

Bu zaman diliminde, Röle2’ye gelen işaretlerin toplamının İGO değerine ($\gamma_{R2} = \gamma_{SR2} + \gamma_{R1R2}$) bakılmaktadır. Röle2’ye gelen işaretlerin İGO değeri belirlenen eşik değerinden ($\gamma_{R2} < \gamma_{th2}$) küçük olursa, rölenin kendisine gelen işareti doğru çözemeyeceğine karar verilir ve suskun kalır. İGO değeri eşik değerinden büyük olduğunda ($\gamma_{R2} > \gamma_{th2}$) ise Röle2’ye gelen sembolü doğru çözdüğü varsayılır ve üçüncü zaman diliminde aldığı bilgiyi hedefe gönderir,

$$y_{R2D} = \sqrt{\tilde{P}_{R2}} h_{R2D} x_{R2} + n_{R2D}, \quad (3.7)$$

burada \tilde{P}_{R2} ikinci röle gücünü (röle aktif ise $\tilde{P}_{R2} = P_{R2}$; röle suskun ise $\tilde{P}_{R2} = 0$), h_{R2D} Röle2 - hedef arasındaki σ_{R2D}^2 varyanslı sönümlenme katsayısını, x_{R2} ise DF protokolü kullanan Röle2’in, kendisine gelen sinyali çözüp tekrar modüle etmesi sonucu oluşan sembolü göstermektedir.

Son zaman diliminde, Röle1 ve Röle2’den olmak üzere hedefe iki işaret ulaşmaktadır. İkinci zaman dilimde olduğu gibi bu zaman diliminde de kanalın bilindiği (hatasız kestirildiği) düşünülerek hedef çıkışındaki İGO değeri MRC kullanılarak maksimize edilir ve çıkışa aktarılır ise hedefte alınan işaret aşağıdaki gibi olur,

$$y_D = a_1 y_{R1D} + a_2 y_{R2D}, \quad (3.8)$$

burada a_1 ve a_2 aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$a_1 = \frac{\sqrt{P_{R1}} h_{R1D}^*}{N_0} \text{ ve } a_2 = \frac{\sqrt{P_{R2}} h_{R2D}^*}{N_0}. \quad (3.9)$$

3.1 HATA OLASILIĞI HESABI

Bu bölümde, verilen sistemin Bit Hata Olasılığı (BHO) türetilcektir. Sistemin uçtan uca hata olasılığı $P_{e2e}(e)$ ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$P_{e2e}(e) = \sum_{i=1}^4 P_i(e) \quad (3.10)$$

Eşitlik (3.10)'daki $P_i(e)$ ifadesi, rölelerin aktif yada pasif olması şartı altında, tüm öncül olasılıkları içeren Çizelge 3.1'de verilen her bir durum için sistemin uçtan-uca hata olasılıklarını vermektedir. Bu öncül olasılıklar aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_1(e) = P_{dec1}(1 - P_{SR1})P_{dec2(1)} \left((1 - P_{tot})P_{coop} + P_{tot}P_{prop2} \right) + P_{dec1}P_{SR1}P_{dec2(1)} \left[(1 - P_{diff})P_{prop1} + P_{diff}(1 - P_{coop}) \right] \quad (3.11.a)$$

$$P_2(e) = P_{dec1} \left[(1 - P_{SR1})(1 - P_{dec2(1)})P_{RD1} + P_{SR1}(1 - P_{dec2(1)})(1 - P_{RD1}) \right] \quad (3.11.b)$$

$$P_3(e) = (1 - P_{dec1})P_{dec2(2)} \left[(1 - P_{SR2})P_{RD2} + P_{SR2}(1 - P_{RD2}) \right] \quad (3.11.c)$$

$$P_4(e) = \frac{1}{2}(1 - P_{dec1})(1 - P_{dec2(2)}) \quad (3.11.d)$$

Çizelge 3.1 Röle durumları

DURUM	RÖLE-1	RÖLE-2
1	Aktif	Aktif
2	Aktif	Suskun
3	Suskun	Aktif
4	Suskun	Suskun

Eşitlik (3.11.a), (3.11.b), (3.11.c) ve (3.11.d)'de verilen P_{dec1} , Röle1'in aktif olaması şartı altında, Röle1'e gelen işaretin İGO değerinin belirlenen eşik değerden büyük olma olasılığını vermektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_{dec1} = P_r(\bar{\gamma}_{SR1} > \gamma_{th1}) = e^{-\left(\frac{\gamma_{th1}}{\bar{\gamma}_{SR1}}\right)} \quad (3.12)$$

Burada $\bar{\gamma}_{SR1}$, kaynak – Röle1 arasındaki ortalama İGO'dur ve $\bar{\gamma}_{SR1} = E[\gamma_{SR1}]$ şeklinde belirtilmektedir. $E[.]$ ortalama operatörünü ifade etmektedir.

Eşitlik (3.11.a), (3.11.b), (3.11.c) ve (3.11.d)'de verilen $P_{dec2(1)}$ ve $P_{dec2(2)}$, Röle1'in aktif olması şartı altında Röle2'ye gelen sembollerin toplamlarının İGO değeri, Röle1'in pasif olması şartı altında ise Röle2'ye sadece kaynaktan gelen sembolün İGO değeri ulaşmaktadır aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\gamma_{R2} = \begin{cases} \gamma_{SR2} + \gamma_{R1R2} & \gamma_{SR1} > \gamma_{th1} \\ \gamma_{SR2} & \gamma_{SR1} < \gamma_{th1} \end{cases} \quad (3.13)$$

Bu durumda elde edilen $P_{dec2(1)}$ ve $P_{dec2(2)}$ ifadeleri aşağıda gösterilmektedir.

$$P_{dec2(1)} = P(\bar{\gamma}_{R2} > \gamma_{th2}) = e^{-\left(\frac{\gamma_{th2}}{\bar{\gamma}_{SR2} + \bar{\gamma}_{R1R2}}\right)}, \gamma_{SR1} > \gamma_{th1} \quad (3.14)$$

$$P_{dec2(2)} = P(\bar{\gamma}_{R2} > \gamma_{th2}) = e^{-\left(\frac{\gamma_{th2}}{\bar{\gamma}_{SR2}}\right)}, \gamma_{SR1} < \gamma_{th1} \quad (3.15)$$

Eşitlik (3.11.a) ve (3.11.b)'de verilen P_{SR1} , Röle1'in aktif olması şartı altında kaynaktan gelen sembolü Röle1'in yanlış çözmesinin olasılığıdır. Rölenin kaynaktan gönderilen sembolden farklı sembole karar vermesi hatalı çözüme durumu olarak tanımlanmaktadır. Bu ifade aynı zamanda eşik değerinin yanlış (γ_{th1}) seçimine bağlı (Röle1'den kaynaklı) meydana gelen hata yayılımı şeklinde de açıklanabilir. Bu şartlar altında P_{SR1} ifadesi aşağıdaki gibi verilmektedir [27].

$$P_{SR1} = \int_{\gamma_{th1}}^{\infty} P_e(\gamma) p_\gamma(\gamma) d\gamma \quad (3.16)$$

Eşitlik (3.16)'da verilen $p_\gamma(\gamma)$ ifadesi, sönümlenmeli kanalın Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) olarak tanımlanmaktadır. $P_e(\gamma)$, Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü (TBGG) kanalda ikili faz kaydırmalı anahtarlama (Binary Phase Shift Keying, BPSK) için sembol hata olasılığını ifade etmektedir. İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Binary Phase Shift Keying, BPSK) modülasyonu varsayımı altında P_{SR1} ifadesi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$P_{SR1} = \int_{\gamma_{th1}}^{\infty} Q(\sqrt{2\gamma}) p_\gamma(\gamma) d\gamma \quad (3.17)$$

Röle1, kendisine gelen anlık işaret İGO değerinin belirlenen eşik değerinin (γ_{th1}) üzerinde olması durumunda aktif olacağından Rayleigh sönümlenmeli kanalın OYF'si bu eşik değere (şarta) göre şekillenecektir ve istatistiği aşağıdaki gibi gösterilmektedir [27].

$$p_\gamma^{\gamma_{th1}}(\gamma) = \begin{cases} 0 & \gamma < \gamma_{th1} \\ \frac{1}{c} \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR1}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_{SR1}}\right) & \gamma \geq \gamma_{th1} \end{cases} \quad (3.18)$$

$c = \exp(-\gamma_{th1}/\bar{\gamma}_{SR1})$ şarta bağlı ifadesi normalizasyon sabitini ifade etmektedir. P_{SR1} genel ifadesine kısmi integrasyon yöntemi uygulanırsa aşağıdaki gibi verilir [27].

$$\begin{aligned} P_{SR1} &= u(\gamma)Q(\sqrt{2\gamma}) \Big|_{\gamma_{th1}}^{\infty} - \int_{\gamma_{th1}}^{\infty} \frac{d}{d\gamma} \{Q(\sqrt{2\gamma})\} u(\gamma) d\gamma \\ &= u(\gamma)Q(\sqrt{2\gamma}) \Big|_{\gamma_{th1}}^{\infty} + \frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{2\pi}} \int_{\gamma_{th1}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\gamma}} u(\gamma) e^{-\gamma} d\gamma \end{aligned} \quad (3.19)$$

Eşitlik (3.19)'da verilen $u(\gamma)$ aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [27].

$$\begin{aligned} u(\gamma) &= \int p_\gamma(\gamma) d\gamma \\ u(\gamma) &= \int_{\gamma_{th1}}^{\infty} \frac{1}{e^{\frac{\gamma_{th1}}{\bar{\gamma}_{SR1}}}} \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR1}} e^{-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_{SR1}}} \\ u(\gamma) &= \left(-\frac{1}{e^{\frac{\gamma_{th1}}{\bar{\gamma}_{SR1}}}} \right) e^{-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_{SR1}}} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Eşitlik (3.20)'de elde edilen $u(\gamma)$, (3.19)'da yerine yazıldığında P_{SR1} ifadesi aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$P_{SR1} = Q(\sqrt{2\gamma_{th1}}) + \frac{\sqrt{2}}{2c\sqrt{2\pi}} \int_{\gamma_{th1}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\gamma}} e^{-(1+\frac{1}{\bar{\gamma}_{SR1}})\gamma} d\gamma \quad (3.21)$$

Eşitlik (3.21)'deki $\frac{z^2}{2} = \left(1 + \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR1}}\right)\gamma$ ifadesi, integral değişkeni olarak tanımlanmış olup,

$Q(z) = P(x \geq z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ tanımı ile birlikte P_{SR1} aşağıdaki gibi elde edilmektedir [27].

$$P_{SR1} = Q(\sqrt{2\gamma_{th1}}) - e^{\left(\frac{\gamma_{th1}}{\bar{\gamma}_{SR1}}\right)} \sqrt{\frac{1}{1+\frac{1}{\bar{\gamma}_{SR1}}}} Q\left(2\gamma_{th1} \left(1 + \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR1}}\right)\right) \quad (3.22)$$

Eşitlik (3.11.c)'de verilen P_{SR2} , Röle1'in suskun ve Röle2'nin aktif olmaları şartı altında Röle2'nin kaynaktan gelen sembolü hatalı çözmesinin olasılığıdır. Bu ifade, Röle2'deki eşik değeri (γ_{th2}) seçimine bağlı (Röle2'den kaynaklı) meydana gelen hata yayılımı şeklinde açıklanabilir ve P_{SR1} ifadesinin türetilmesine benzer olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$P_{SR2} = Q(\sqrt{2\gamma_{th2}}) - e^{\left(\frac{\gamma_{th2}}{\bar{\gamma}_{SR2}}\right)} \sqrt{\frac{1}{1+\frac{1}{\bar{\gamma}_{SR2}}}} Q\left(2\gamma_{th2} \left(1 + \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR2}}\right)\right) \quad (3.23)$$

Eşitlik (3.11.a)'da verilen P_{tot} , Röle1'in aktif olması ($\gamma_{SR1} > \gamma_{th1}$) ve Röle1'in kaynaktan gelen sembolü hatasız çözüp Röle2'ye göndermesi durumunda, Röle2'ye ulaşan $\gamma_{R2} = \gamma_{SR2} + \gamma_{R1R2}$ toplam sembolünün İGO değerinin γ_{th2} eşik değerinden büyük olması durumunda ($\gamma_{R2} > \gamma_{th2}$) Röle2'de hatalı çözme olasılığını belirtmektedir [27].

$$P_{tot} = \int_{\gamma_{th2}}^{\infty} Q(\sqrt{2\gamma_{R2}}) p_{\gamma_{R2}}(\gamma_{R2}) d\gamma_{R2} \quad \gamma_{R2} > \gamma_{th2} \quad (3.24)$$

Burada $p_{\gamma_{R2}}(\gamma_{R2})$, iki farklı sönmülemeli kanaldan Röle2'ye ulaşan işaretlerin toplamının OYF'sinin toplamı olarak aşağıdaki gibi verilir [27].

$$p_{\gamma_{R2}}(\gamma_{R2}) = \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR2} - \bar{\gamma}_{R1R2}} \left(e^{-\frac{\gamma_{R2}}{\bar{\gamma}_{SR2}}} - e^{-\frac{\gamma_{R2}}{\bar{\gamma}_{R1R2}}} \right) \quad (3.25)$$

P_{SR1} formülünün türetilmesinde olduğu gibi eşitlik (3.24)'e kısmi integral uygulanması durumunda P_{tot} aşağıdaki gibi düzenlenmektedir.

$$P_{tot} = \frac{1}{e^{-\frac{\gamma_{th2}}{(\bar{\gamma}_{SR2} + \bar{\gamma}_{R1R2})}} (\bar{\gamma}_{SR2} - \bar{\gamma}_{R1R2})} \left[\left(\bar{\gamma}_{SR2} e^{-\frac{\gamma_{th2}}{(\bar{\gamma}_{SR2})}} - \bar{\gamma}_{R1R2} e^{-\frac{\gamma_{th2}}{(\bar{\gamma}_{R1R2})}} \right) Q(\sqrt{2\gamma_{th2}}) \right] - \left[\frac{\bar{\gamma}_{SR2}}{\sqrt{1 + \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR2}}}} Q\left(\sqrt{2\gamma_{th2} \left(1 + \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR2}}\right)}\right) - \frac{\bar{\gamma}_{R1R2}}{\sqrt{1 + \frac{1}{\bar{\gamma}_{R1R2}}}} Q\left(\sqrt{2\gamma_{th2} \left(1 + \frac{1}{\bar{\gamma}_{R1R2}}\right)}\right) \right] \quad (3.26)$$

Eşitlik (3.11.a)'da verilen P_{prop1} hata yayılımı, kaynaktan gönderilen sembollerin Röle1'de hatalı ve Röle2'de hatasız çözülerek sembollerin hedefe gönderilmesi durumunda hedefte meydana gelen hata olasılığıdır. Bu durumda hedefte MRC çıkışındaki işaret aşağıda gösterilmektedir [28].

$$y_D = \frac{h_{R1D}^* \sqrt{P_{R1}}}{N_0} y_{R1D} + \frac{h_{R2D}^* \sqrt{P_{R2}}}{N_0} y_{R2D} \quad (3.27)$$

BPSK için Röle1'in gelen sembolü hatalı çözmesi durumunda, Röle1'den hedefe gönderilen sembol $x_{R1} = -1$ ve Röle2'den gönderilen sembol $x_{R2} = +1$ olacaktır. (3.27) eşitliğinde, (3.4) ve (3.7) yerine konulursa aşağıdaki gibi elde edilir.

$$y_D = \left(\frac{|h_{R2D}|^2 P_{R2}}{N_0} - \frac{|h_{R1D}|^2 P_{R1}}{N_0} \right) + \frac{h_{R1D}^* \sqrt{P_{R1}}}{N_0} n_{R1D} + \frac{h_{R2D}^* \sqrt{P_{R2}}}{N_0} n_{R2D} \\ = (\gamma_{R2D} - \gamma_{R1D}) + n \quad (3.28)$$

(3.28) eşitliğinde; \tilde{n} sıfır ortalamalı ve $\frac{1}{2}(\gamma_{R1D} + \gamma_{R2D})$ varyanslı Gauss rasgele değişkenidir.

Röle1'den ve Röle2'den hedefe ulaşan toplam sembolün hedefte hata oluşturabilmesi BPSK için $y < 0$ karar kuralına bağlıdır. Bu durumda TBGG kanaldaki hata olasılığı aşağıda verilmektedir.

$$P_{prop1} = Q\left(\frac{\gamma_{R2D} - \gamma_{R1D}}{\sqrt{(\gamma_{R2D} + \gamma_{R1D})/2}}\right) \quad (3.29)$$

(3.29) eşitliğindeki γ_{R1D} ve γ_{R2D} ifadeleri anlık değerler olduğu için ortalama İGO'lara göre $(\bar{\gamma}_{R1D}, \bar{\gamma}_{R2D})$, P_{prop1} hata olasılığının ortalamasının genel ifadesi aşağıda verilmektedir [13], [14].

$$P_{prop1} = \frac{1}{(\bar{\gamma}_{R1D}\bar{\gamma}_{R2D})} \int_0^\infty \int_0^\infty Q\left(\frac{\gamma_{R2D}-\gamma_{R1D}}{\sqrt{(\gamma_{R2D}+\gamma_{R1D})/2}}\right) e^{-\frac{\gamma_{R2D}}{\bar{\gamma}_{R2D}}} e^{-\frac{\gamma_{R1D}}{\bar{\gamma}_{R1D}}} d\gamma_{R2D}d\gamma_{R1D} \quad (3.30)$$

Eşitlik (3.30)'un çözümü karmaşıktır. Bu nedenle, eşitlik (3.30) yaklaşık olarak (3.28) eşitliğinde hedefte hata oluşması $\gamma_{R2D} - \gamma_{R1D} < 0$ karar kuralına bağlı olarak verilir ise $P_{prop1} \cong P(\gamma_{R2D} - \gamma_{R1D} < 0 | \gamma_{R2D}, \gamma_{R1D})$ olarak yazılabilir. Bu durumda P_{prop1} yaklaşık olarak aşağıdaki gibi elde edilir [14].

$$P_{prop1} \cong \int_0^\infty \int_0^{\gamma_{R1D}} \frac{1}{\bar{\gamma}_{R1D}\bar{\gamma}_{R2D}} e^{-\frac{\gamma_{R2D}}{\bar{\gamma}_{R2D}}} e^{-\frac{\gamma_{R1D}}{\bar{\gamma}_{R1D}}} d\gamma_{R2D}d\gamma_{R1D} \cong \frac{\bar{\gamma}_{R1D}}{\bar{\gamma}_{R2D}+\bar{\gamma}_{R1D}} \quad (3.31)$$

Eşitlik (3.11.a)'da verilen P_{prop2} hata yayılımı, kaynaktan gönderilen sembollerin Röle1'de hatasız ve Röle2'de hatalı çözümlere hedefe gönderilmesi durumunda hedefte meydana gelen hata olasılığını belirtmektedir (Bu durumda Röle1'den gönderilen sembol $x_{R1} = +1$ ise Röle2'den hedefe gönderilen sembol $x_{R2} = -1$ olacaktır). P_{prop2} hata olasılığının ortalamasının genel ifadesi aşağıda verilmektedir.

$$P_{prop2} = \frac{1}{(\bar{\gamma}_{R1D}\bar{\gamma}_{R2D})} \int_0^\infty \int_0^\infty Q\left(\frac{\gamma_{R1D}-\gamma_{R2D}}{\sqrt{(\gamma_{R1D}+\gamma_{R2D})/2}}\right) e^{-\frac{\gamma_{R1D}}{\bar{\gamma}_{R1D}}} e^{-\frac{\gamma_{R2D}}{\bar{\gamma}_{R2D}}} d\gamma_{R1D}d\gamma_{R2D} \quad (3.32)$$

Eşitlik (3.32)'nin çözümü eşitlik (3.30)'un çözümü gibi zordur. Bu nedenle, eşitlik (3.32) yaklaşık olarak hedefte hata oluşması $\gamma_{R1D} - \gamma_{R2D} < 0$ karar kuralına bağlı olarak verilir ise $P_{prop2} \cong P(\gamma_{R1D} - \gamma_{R2D} < 0 | \gamma_{R1D}, \gamma_{R2D})$ olarak yazılabilir. Bu durumda P_{prop2} yaklaşık olarak aşağıdaki gibi elde edilir [14].

$$P_{prop2} \cong \int_0^\infty \int_0^{\gamma_{R2D}} \frac{1}{\bar{\gamma}_{R1D}\bar{\gamma}_{R2D}} e^{-\frac{\gamma_{R1D}}{\bar{\gamma}_{R1D}}} e^{-\frac{\gamma_{R2D}}{\bar{\gamma}_{R2D}}} d\gamma_{R1D}d\gamma_{R2D} \cong \frac{\bar{\gamma}_{R2D}}{\bar{\gamma}_{R1D}+\bar{\gamma}_{R2D}} \quad (3.33)$$

Eşitlik (3.11.a)'da verilen P_{diff} , Röle1'in ve Röle2'nin aktif olması şartı altında, fakat Röle1'in kaynaktan gelen sembolü hatalı çözüm Röle2'ye göndermesi durumunda Röle2'ye

ulaşan $\gamma_{R2} = \gamma_{SR2} + \gamma_{R1R2}$ toplam sembolünün $\gamma_{R2} > \gamma_{th2}$ şartı altında Röle2’de hatalı çözülme olasılığını belirtmektedir. Bu durumda kaynaktan gönderilen sembol $x_S = 1$ ise Röle1’den Röle2’ye gönderilen sembol $x_{R1} = -1$ olacaktır.

$$P_{diff} = \int_{\gamma_{th2}}^{\infty} Q\left(\frac{\gamma_{SR2} - \gamma_{R1R2}}{\sqrt{(\gamma_{SR2} + \gamma_{R1R2})/2}}\right) p_{\gamma_{R2}}(\gamma_{R2}) d\gamma_{R2} \quad \gamma_{R2} > \gamma_{th2} \quad (3.34)$$

P_{diff} ifadesinde $p_{\gamma_{R2}}(\gamma_{R2})$, P_{tot} ifadesinden farklı olarak iki rasgele değişkenin farkının OYF’si olmaktadır. Bu durumda (3.34)’ün çözümü teorik olarak oldukça karmaşıklaşmaktadır. P_{diff} ifadesi, (3.34) ile ifade edilebileceği gibi, daha önce verilen hata yayılımına benzer olarak yaklaşık bir ifade ile de yazılabilmektedir.

$$P_{diff} \cong \frac{1}{(\bar{\gamma}_{SR2}\bar{\gamma}_{R1R2})} \int_{\gamma_{th2} - \gamma_{SR2}}^{\infty} \int_0^{\infty} Q\left(\frac{\gamma_{SR2} - \gamma_{R1R2}}{\sqrt{(\gamma_{SR2} + \gamma_{R1R2})/2}}\right) e^{-\frac{\gamma_{SR2}}{\bar{\gamma}_{SR2}}} e^{-\frac{\gamma_{R1R2}}{\bar{\gamma}_{R1R2}}} d\gamma_{SR2} d\gamma_{R1R2} \quad (3.35)$$

Eşitlik (3.11.a)’da verilen P_{coop} ifadesi, kaynaktan Röle1 ve Röle2’ye gönderilen sembollerin rölelerde hatasız çözümlenerek hedefe gönderilmesi durumunda Hedef’te meydana gelen hata olasılığıdır. Hedefe, birbirinden farklı sönmülemeli yollardan iki işaret ulaşacağı için P_{coop} ifadesi aşağıdaki gibi türetilmektedir [22].

$$P_{coop} = \int_0^{\infty} P(e|\gamma_{R1D}) f_{\gamma_{R1D}}(\gamma) P(e|\gamma_{R2D}) f_{\gamma_{R2D}}(\gamma) d\gamma \quad (3.36)$$

İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama modülasyonu yardımıyla $P(e|\gamma_{R1D})$ hata olasılığı $Q(.)$ fonksiyonu cinsinden aşağıdaki gibi verilmektedir,

$$P(e|\gamma_{R1D}) = Q(\sqrt{2\gamma_{R1D}}), \quad (3.37)$$

$$P(e|\gamma_{R2D}) = Q(\sqrt{2\gamma_{R2D}}). \quad (3.38)$$

$Q(.)$ fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Q(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} e^{-x^2/2\sin^2(\theta)} d\theta, \quad x \geq 0 \quad (3.39)$$

Yukarıdaki denklemler verilen $Q(\cdot)$ fonksiyonu gösterimi ile P_{coop} denkleminde yerine yazılırsa ortalama hata olasılığı eşitlik aşağıdaki gibi elde edilir,

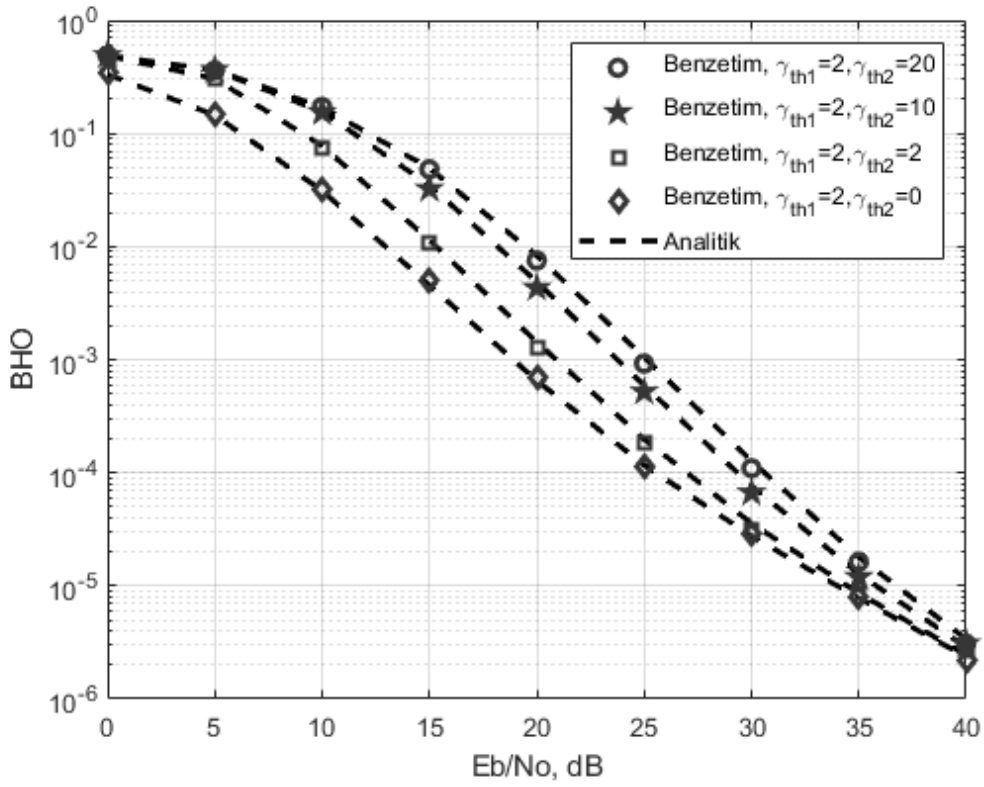
$$\begin{aligned}
P_{coop} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \left[\int_0^{\pi/2} e^{-(\gamma_{R1D}/\sin^2(\theta))} d\theta \right] f_{\gamma_{R1D}}(\gamma) \left[\int_0^{\pi/2} e^{-(\gamma_{R2D}/\sin^2(\theta))} d\theta \right] f_{\gamma_{R2D}}(\gamma) d\gamma \\
&= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left[\int_0^{\infty} e^{-(\gamma_{R1D}/\sin^2(\theta))} d\theta f_{\gamma_{R1D}}(\gamma) d\gamma \right] \left[\int_0^{\infty} e^{-(\gamma_{R2D}/\sin^2(\theta))} d\theta f_{\gamma_{R2D}}(\gamma) d\gamma \right] \\
P_{coop} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} M_{\gamma_{R1D}} \left(\frac{1}{\sin^2 \theta} \right) M_{\gamma_{R2D}} \left(\frac{1}{\sin^2 \theta} \right) d\theta \tag{3.40}
\end{aligned}$$

burada $M_{\gamma_{R1D}}(\cdot)$ ve $M_{\gamma_{R2D}}(\cdot)$ sönümlemenin PDF'sine bağlı moment üreten fonsiyon (Moment Generating Function, MGF)'dur. $M_{\gamma_{R1D}} = \int_0^{\infty} f_{\gamma_{R1D}}(\gamma) e^{-\gamma s} d\gamma$ ve $M_{\gamma_{R2D}} = \int_0^{\infty} f_{\gamma_{R2D}}(\gamma) e^{-\gamma s} d\gamma$ eşitlikleri ile tanımlanmaktadır. Rayleigh kanal için $M_{\gamma_{R1D}}(s) = (1 + s\bar{\gamma})^{-1}$ ve $M_{\gamma_{R2D}}(s) = (1 + s\bar{\gamma})^{-1}$ şeklinde verilir.

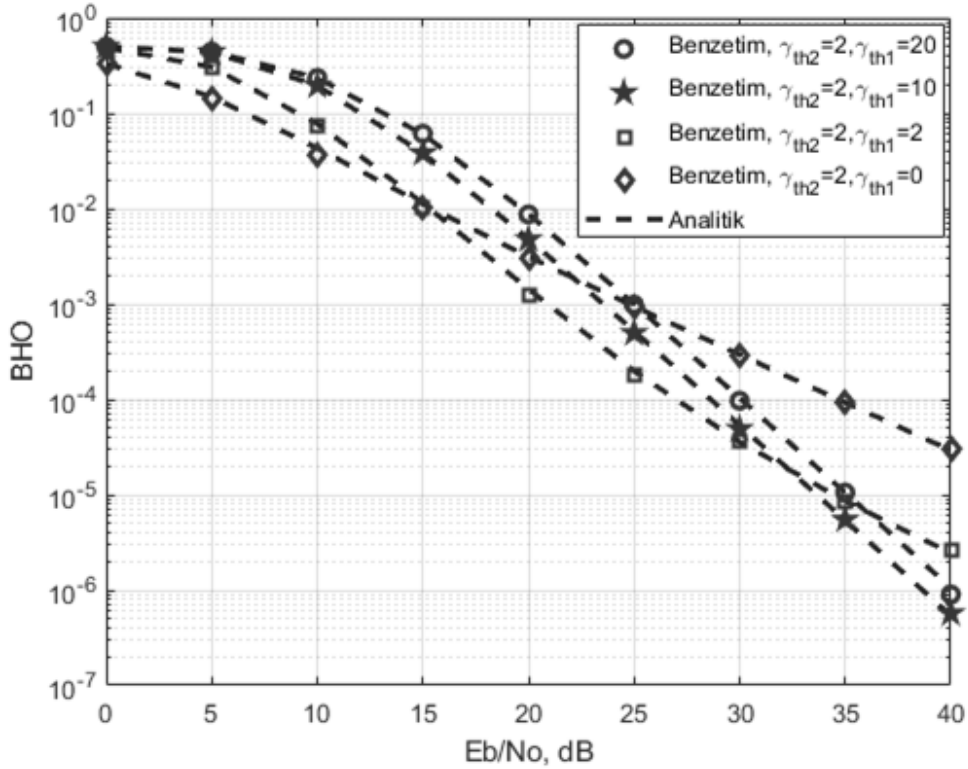
3.2 NÜMERİK SONUÇLAR

Üç atlamalı işbirlikli habeleşme sistemindeki röleler DF protokolünü kullanmaktadır. İşbirlikli iletişimin gerçekleştiği herhangi iki nokta arasındaki kanal sönümleme katsayısının zarfı Rayleigh rasgele değişkeni olarak tasarlanmıştır. Sistem modelinde, hedefin ve iki rölenin de kanal bilgisini bildiği varsayılmaktadır. Sistemin toplam gücü, kaynak ve rölelere eşit olarak paylaştırılmıştır ($P_{R1} = P_{R2} = P_s = P/3$).

Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te sistemdeki her iki röle için kanal sönümleme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2=3\text{dB}$, $\sigma_{SR2}^2=0\text{dB}$, $\sigma_{R1R2}^2=3\text{dB}$, $\sigma_{R1D}^2=0\text{dB}$, $\sigma_{R2D}^2=3\text{dB}$ olarak alınmıştır. Rölelerde kullanılan eşik değerlerin farklı değerlerinin sistemin hata başarımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sistemin uçtan uça Bit Hata Oranı (Bit Error Rate - BER) başarımı Şekil 3.2' de, $\gamma_{th1} = 2 \text{ dB}$ sabit ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20 \text{ dB}$ farklı eşik değerler; Şekil 3.3' te, $\gamma_{th2} = 2 \text{ dB}$ sabit ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20 \text{ dB}$ farklı eşik değerler için toplam İGO' nun değişimine göre incelenmiştir.

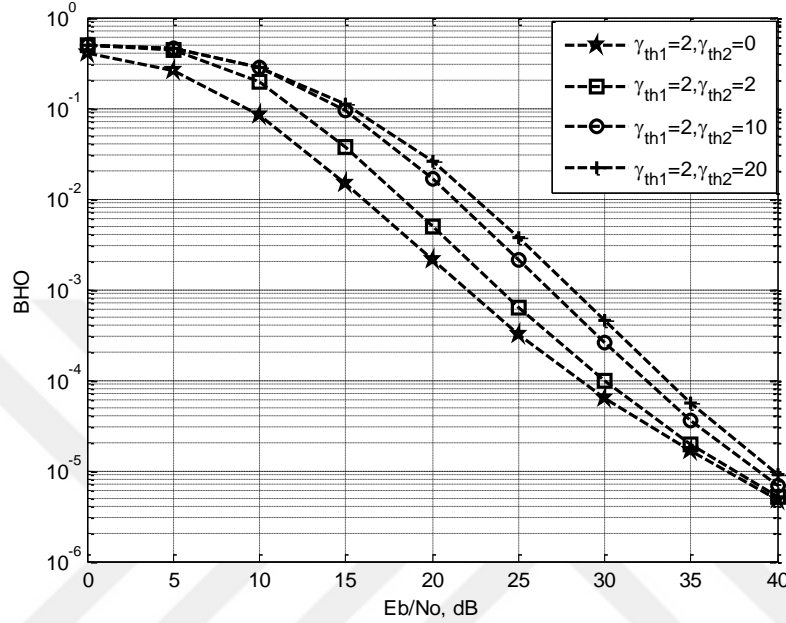


Şekil 3.2 γ_{th1} 'in Sabit Olduğunda γ_{th2} 'nin Farklı Değerlerinin BHO Başarımına Etkisi.

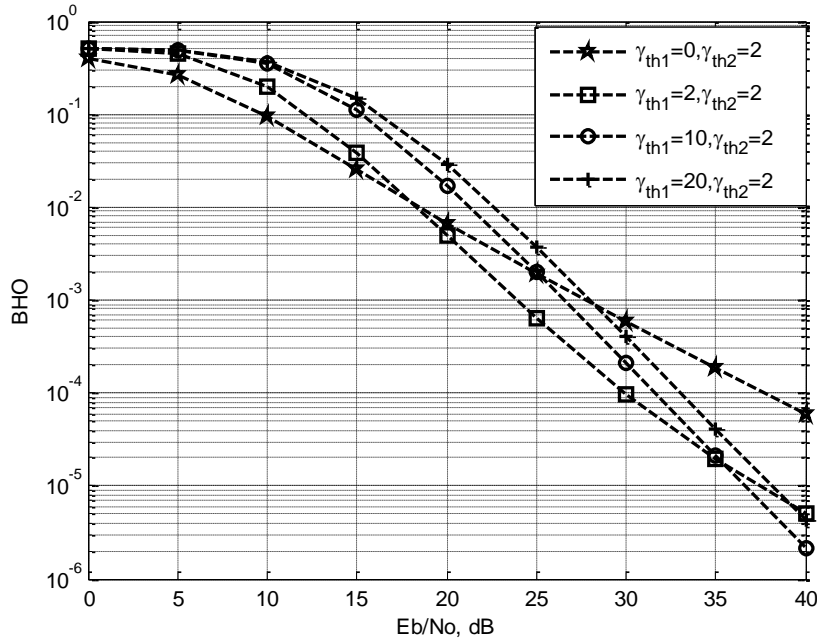


Şekil 3.3 γ_{th2} 'in Sabit Olduğunda γ_{th1} 'nin Farklı Değerlerinin BHO Başarımına Etkisi.

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te sistemdeki her iki röle için kanal sönümlenme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{SR2}^2 = 0.5\text{dB}$, $\sigma_{R1R2}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R1D}^2 = 0.5\text{dB}$, $\sigma_{R2D}^2 = 1\text{dB}$ olarak alınmıştır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 için kullanılan kanal sönümlenme katsayılarının biraz daha kötüleştirilmiş link kalitesine sahip yol katsayılarının hata başarımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

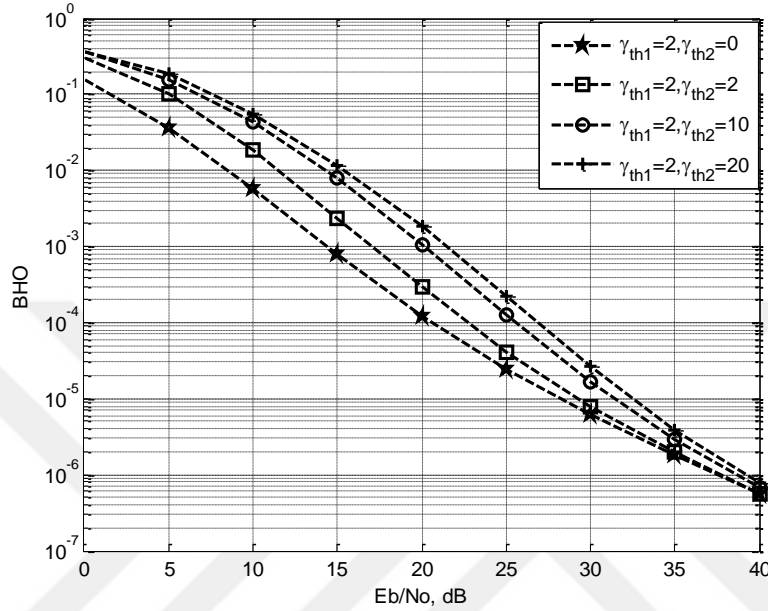


Şekil 3.4 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 1$, $\sigma_{SR2}^2 = 0.5$, $\sigma_{R1R2}^2 = 1$, $\sigma_{R1D}^2 = 0.5$, $\sigma_{R2D}^2 = 1$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

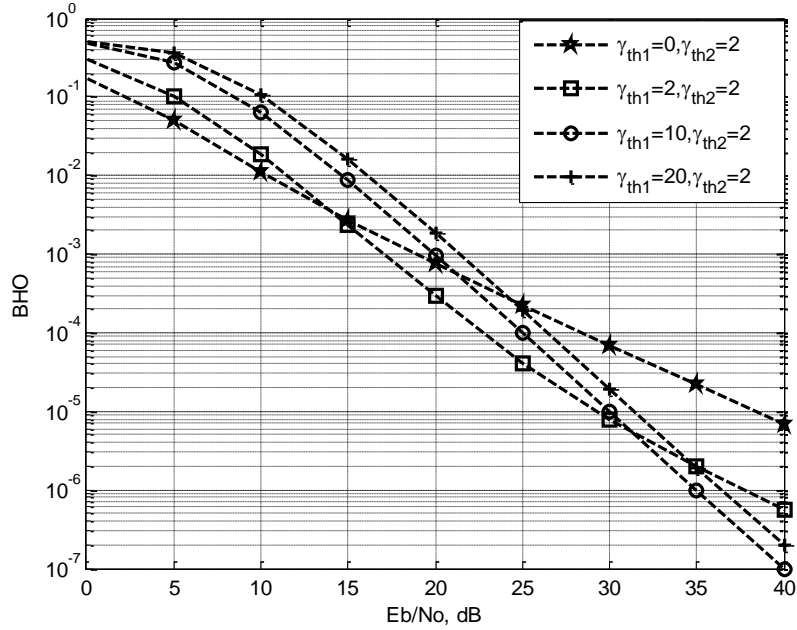


Şekil 3.5 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 1$, $\sigma_{SR2}^2 = 0.5$, $\sigma_{R1R2}^2 = 1$, $\sigma_{R1D}^2 = 0.5$, $\sigma_{R2D}^2 = 1$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de sistemdeki her iki röle için kanal sönümleme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2 = 10\text{dB}$, $\sigma_{SR2}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R1R2}^2 = 10\text{dB}$, $\sigma_{R1D}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R2D}^2 = 10\text{dB}$ olarak alınmıştır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 için kullanılan kanal sönümleme katsayılarına göre düğümlerarası link kalitesinin artırılmış yol katsayılarının hata başarımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

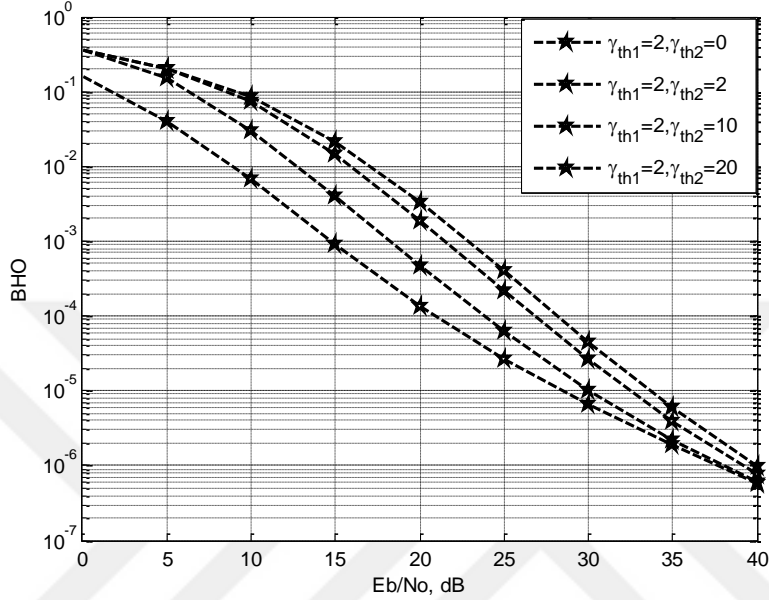


Şekil 3.6 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 10$, $\sigma_{SR2}^2 = 1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 10$, $\sigma_{R1D}^2 = 1$, $\sigma_{R2D}^2 = 10$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

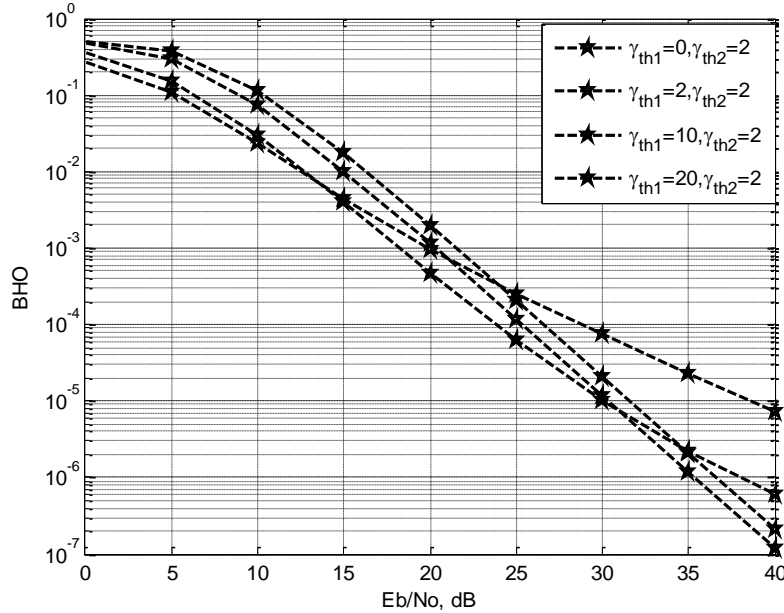


Şekil 3.7 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 10$, $\sigma_{SR2}^2 = 1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 10$, $\sigma_{R1D}^2 = 1$, $\sigma_{R2D}^2 = 10$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da sistemdeki her iki röle için kanal sönümleme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2 = 10\text{dB}$, $\sigma_{SR2}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R1R2}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R1D}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R2D}^2 = 10\text{dB}$ olarak alınmıştır. Ortamda bulunan Röle1’in Kaynak’a, Röle2’nin ise Hedef’e yakın fakat birbirlerine (Röle1, Röle2) uzak olmaları durumundaki yol katsayılarının hata başarımına etkisi incelenmiştir.

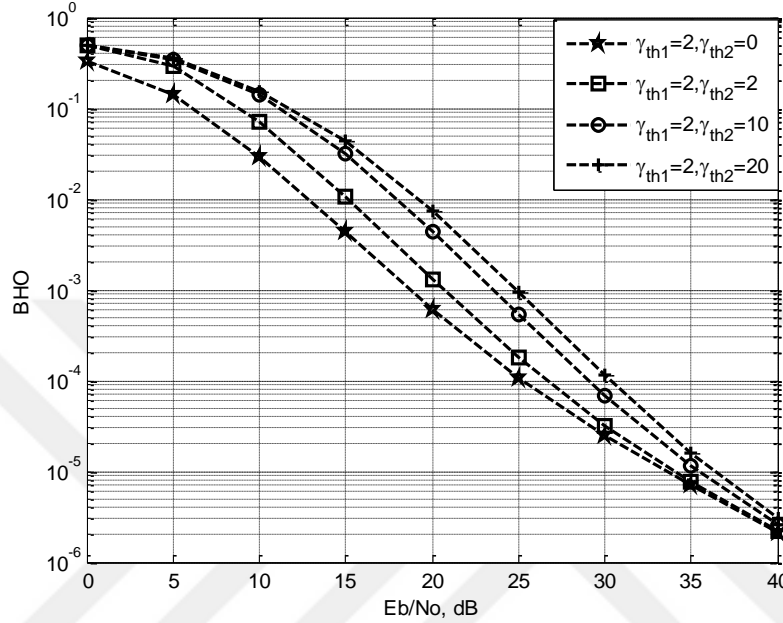


Şekil 3.8 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 10$, $\sigma_{SR2}^2 = 1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 1$, $\sigma_{R1D}^2 = 1$, $\sigma_{R2D}^2 = 10$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

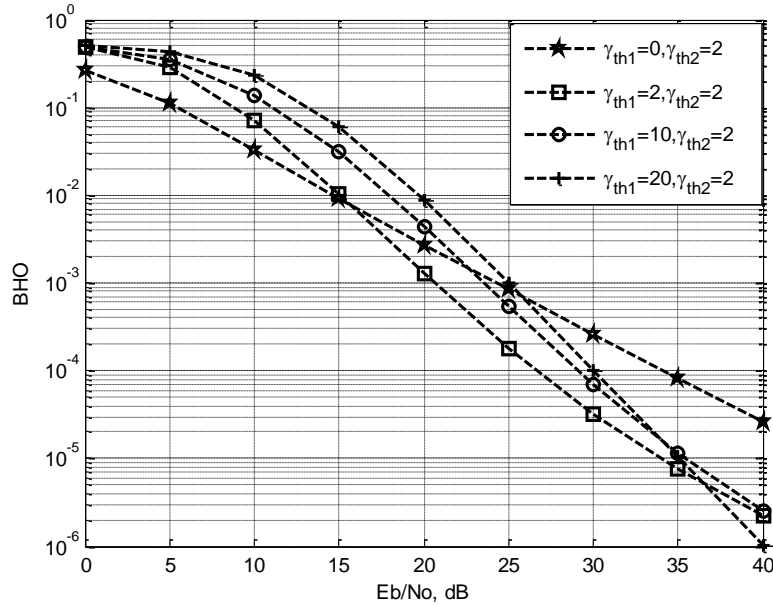


Şekil 3.9 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 10$, $\sigma_{SR2}^2 = 1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 1$, $\sigma_{R1D}^2 = 1$, $\sigma_{R2D}^2 = 10$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de sistemdeki her iki röle için kanal sönümlenme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2 = 2\text{dB}$, $\sigma_{SR2}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R1R2}^2 = 10\text{dB}$, $\sigma_{R1D}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R2D}^2 = 2\text{dB}$ olarak alınmıştır. Ortamda bulunan Röle1’in Kaynak’a, Röle2’nin ise Hedef’e uzak fakat birbirlerine (Röle1, Röle2) yakın olmaları durumundaki yol katsayılarının hata başarımına etkisi incelenmiştir.

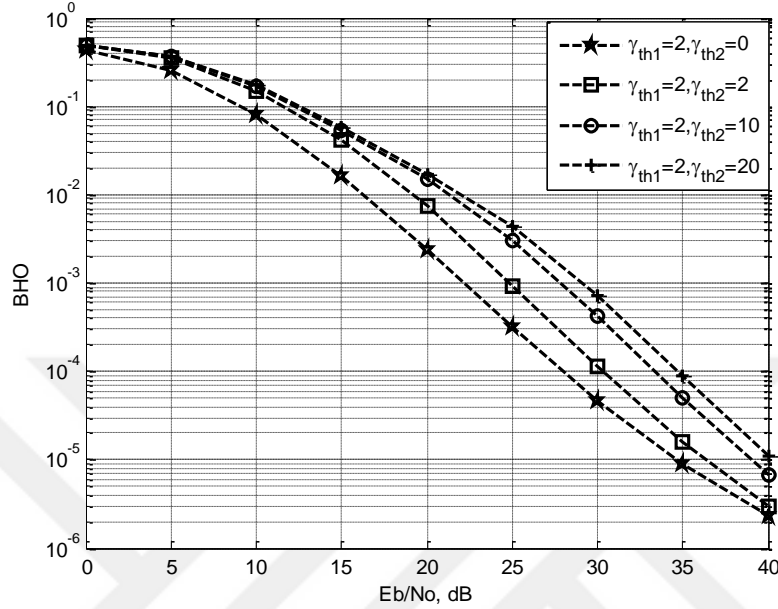


Şekil 3.10 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2$, $\sigma_{SR2}^2 = 1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 10$, $\sigma_{R1D}^2 = 1$, $\sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

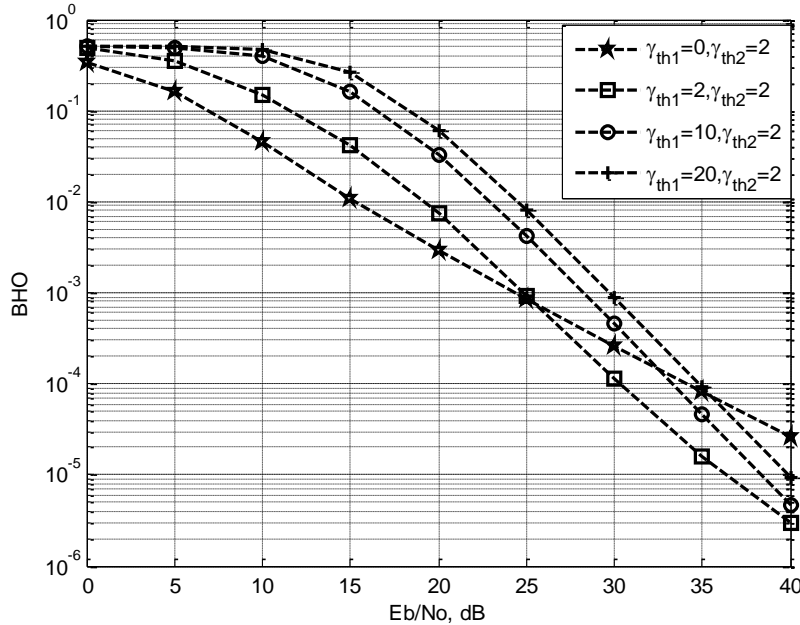


Şekil 3.11 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2$, $\sigma_{SR2}^2 = 1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 10$, $\sigma_{R1D}^2 = 1$, $\sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te sistemdeki her iki röle için kanal sönümlenme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2 = 2\text{dB}$, $\sigma_{SR2}^2 = 0.1\text{dB}$, $\sigma_{R1R2}^2 = 2\text{dB}$, $\sigma_{R1D}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R2D}^2 = 2\text{dB}$ olarak alınmıştır. Kaynak'ın ortamda bulunan rölelere uzak ve kaynak-Röle2 arası link kalitesinin düşük olduğu durumdaki yol katsayılarının hata başarımına etkisi incelenmiştir.

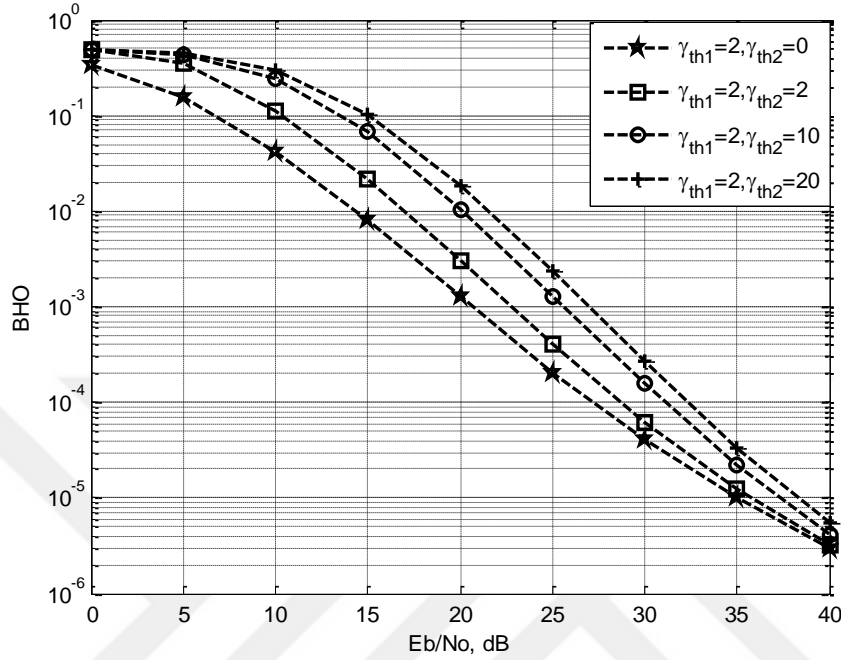


Şekil 3.12 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2$, $\sigma_{SR2}^2 = 0.1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 2$, $\sigma_{R1D}^2 = 1$, $\sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

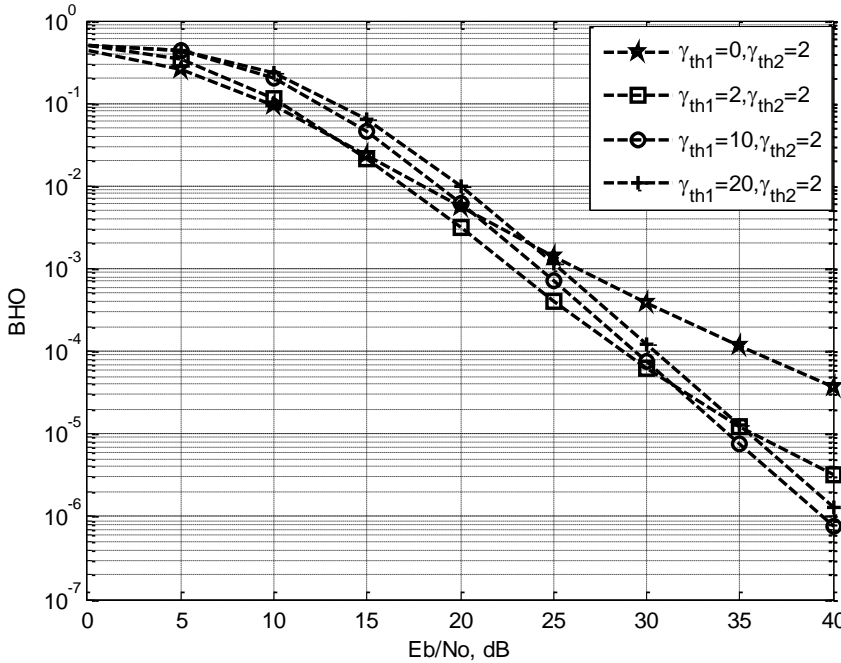


Şekil 3.13 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2$, $\sigma_{SR2}^2 = 0.1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 2$, $\sigma_{R1D}^2 = 1$, $\sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te sistemdeki her iki röle için kanal sönümlenme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2 = 2\text{dB}$, $\sigma_{SR2}^2 = 1\text{dB}$, $\sigma_{R1R2}^2 = 2\text{dB}$, $\sigma_{R1D}^2 = 0.1\text{dB}$, $\sigma_{R2D}^2 = 2\text{dB}$ olarak alınmıştır. Röle1-hedef link kalitesinin kötü olması durumundaki yol katsayılarının hata başarımına etkisi gösterilmektedir.

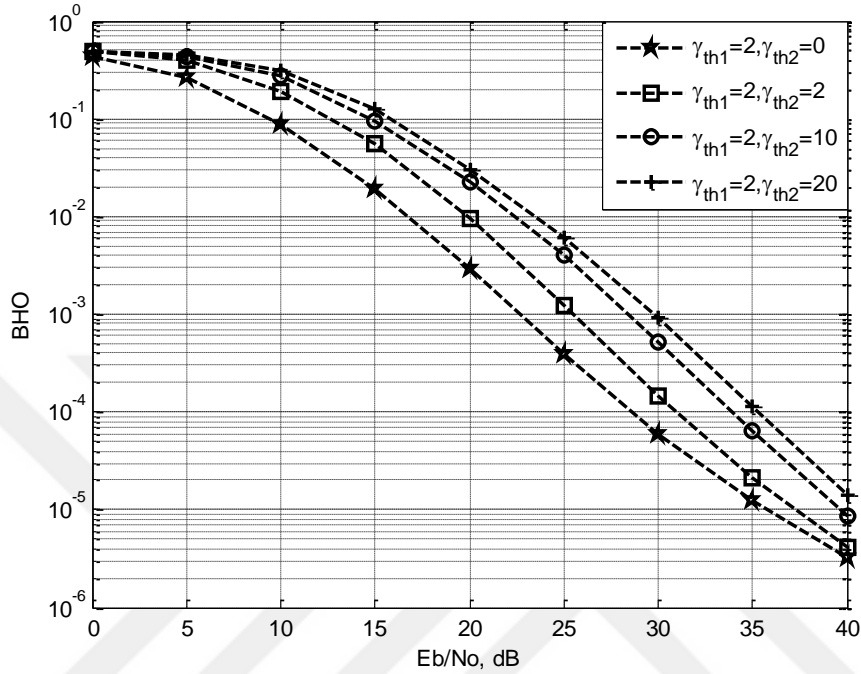


Şekil 3.14 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2$, $\sigma_{SR2}^2 = 1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 2$, $\sigma_{R1D}^2 = 0.1$, $\sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

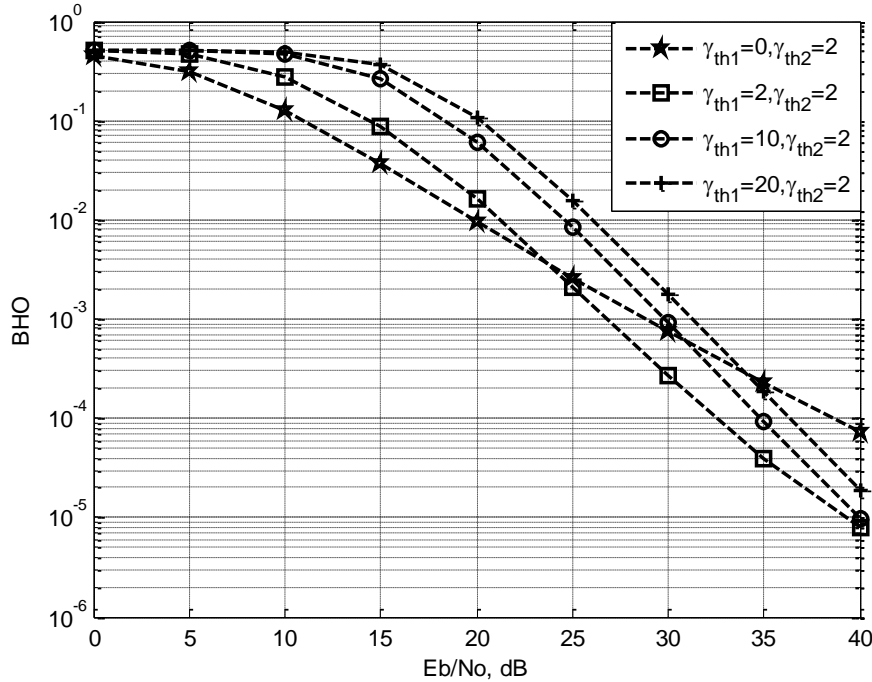


Şekil 3.15 Yol katsayı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2$, $\sigma_{SR2}^2 = 1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 2$, $\sigma_{R1D}^2 = 0.1$, $\sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de sistemdeki her iki röle için kanal sönümlenme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2 = 2\text{dB}$, $\sigma_{SR2}^2 = 0.1\text{dB}$, $\sigma_{R1R2}^2 = 2\text{dB}$, $\sigma_{R1D}^2 = 0.1\text{dB}$, $\sigma_{R2D}^2 = 2\text{dB}$ olarak alınmıştır. Kaynak-Röle2 ve Röle1 – hedef arasındaki link kalitesinin çok kötü olması durumlarındaki yol katsayılarının hata başarımına etkisi gösterilmektedir.



Şekil 3.16 Yol katsayısı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2$, $\sigma_{SR2}^2 = 0.1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 2$, $\sigma_{R1D}^2 = 0.1$, $\sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th1} = 2$ ve $\gamma_{th2} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar



Şekil 3.17 Yol katsayısı varyansının $\sigma_{SR1}^2 = 2$, $\sigma_{SR2}^2 = 0.1$, $\sigma_{R1R2}^2 = 2$, $\sigma_{R1D}^2 = 0.1$, $\sigma_{R2D}^2 = 2$ olması durumlarında $\gamma_{th2} = 2$ ve $\gamma_{th1} = 0, 2, 10, 20$ değerleri için sonuçlar

Şekillerden görüldüğü gibi düşük İGO değerlerinde, yüksek eşik değerlerinin (γ_{th1} , γ_{th2}) kullanılması, rölenin suskun kalmasına sebep olacağından sistemin uçtan uca hata performansının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Yüksek İGO değerlerinde düşük eşik değerinin kullanılması durumunda ise, röle kendisine gelen işareti doğru çözdüğünü varsayıp çıkışına aktaracaktır. Ancak düşük eşik değerinin kullanılmasına bağlı olarak röle yanlış kod çözme yapacağından çıkışına da yanlış işareti aktaracaktır. Bu durumda, hata yayılımı sistem üzerinde etkili olacaktır ve çeşitleme kazancının kaybolmasına sebep olacaktır. Yüksek eşik değerlerin kullanılması durumunda, sistemin uçtan uca hata olasılık eğrileninin yüksek İGO bölgelerinde azalmadığı yani çeşitleme kazancı sağlanamayacağı görülmüştür.

Sonuç olarak; düşük İGO bölgelerinde düşük eşik değerlerinin, yüksek İGO bölgelerinde ise yüksek eşik değerlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle sistemin uçtan-uca hata performansının iyileştirilmesi amacıyla Röle1 ve Röle2'de kullanılacak olan, sistemin uçtan-uca hata olasılık ifadesini minimize eden, optimum eşik değerlerin İGO değerlerine göre ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir.

BÖLÜM 4

DERİN ÖĞRENME

Derin öğrenme, günümüz teknolojilerinden makine öğrenmesinin (Machine Learning) varyasyonlarından biridir. Derin öğrenme bir öğrenme metodu olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellik çıkartma ve dönüştürme için kullanılan derin sinir ağları birçok doğrusal olmayan işlem birimi katmanını içlerinde barındırırlar. Birbirinden sonra gelen her ardışık katman, kendinden bir önceki katmandaki çıktıyı giriş olarak alır [29]. Algoritmalar sınıflandırma (denetimli) veya desen analizi gibi (denetimsiz) olabilir.

Derin sinir ağları dediğimiz yapılar birçok katmandan oluşmaktadır. Yapay Sinir Ağları (YSA) iki-üç katmandan meydana gelmesine karşın derin öğrenme’de bu sayı 150’ye kadar çıkabilmektedir. Verinin temsilinden öğrenme esasına dayanan derin öğrenme, soyutlamanın farklı seviyelerine karşılık gelen birden fazla temsil seviyesini de öğrenebilmektedir [30].

4.1 GİRİŞ

Makine öğrenmesi teknikleri, on yıllardır tahmin (prediction), tanıma (recognition) ve sınıflandırma (classification) uygulamaları için kullanılmaktadır. İnsan beyninin özelliklerinden yararlanılarak geliştirilen adaptif bilgi işleme ve öğrenme algoritması olan yapay sinir ağları ile yürütülen çalışmalar 1970’li yıllara dayanmaktadır. Yapay sinir ağları insan beyninin çalışma özelliklerine paralel olarak, öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma ve özellik belirleme gibi konularda başarılı performanslar göstermektedir. Bir yapay sinir ağı modeli en genel formda, giriş(ler), aktivasyon fonksiyon(ları)u, ağırlık katsayı(ları)sı, eşik girdi(leri)si ve çıkış(lardan)tan oluşmaktadır. Modelin eşik girdi değerleri ve ağırlıkları, izin verilen tolerans içerisinde bir çıkış üretilene kadar değiştirilir. Hesaplama hızları, karmaşık fonksiyonlar üzerindeki başarımları ve problem için tam bilgiye sahip olunmayan durumlarda bile sunduğu çözümler sayesinde yapay sinir ağları doğrusal olmayan mühendislik problemleri için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Yapay sinir ağları çoğunlukla

sınıflandırma, eğri uydurma, kümeleme ve regresyon problemleri için kullanılmaktadırlar. Ayrıca literatürde yapay sinir ağlarının kanal dengeleme, kanal kestirimi gibi iletişim problemlerinin çözümlerinde de uygulandığı çalışmalar mevcuttur [31].

Derin öğrenme (Deep Learning - DL), giriş, gizli ve çıkış katmanlarından oluşur. Giriş katmanı, bir ağa girdi olarak gelen öğrenilmesi istenen örneğin özneliklerinin giriş olarak verildiği katmandır. Giriş katmanı, dış ortamdan alınan sinyalleri temsil etmektedir. Çıkış katmanı ise girişlere yapay sinir ağının verdiği tepkidir. Giriş değerleri ve giriş değerlerine karşılık gelen çıkış değerleri ikisi birlikte eğitim verisi olarak adlandırılır. Bu eğitim seti yapay sinir ağına verilerek öğrenme işlemi gerçekleştirilir. Bu tarz öğrenme sistemi denetimli öğrenim (supervised learning) sistemidir. Denetimli öğrenim sisteminde, ağı hesapladığı çıkış değeri ile beklenen çıkış değeri arasındaki hata değerleri en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Gizli Katmanlar (Hidden Layers), giriş katmanı ile çıkış katmanları arasındaki katmanlardır. Katman sayısı ve üzerindeki nöron sayısı problemden probleme değişebilmektedir. Bu katmalarda ileri yönlü hesaplamalar ve geri yönlü hata yayılımı yapılır. Katman sayısının çok olması hesaplama karmaşıklığına ve hesaplama süresinin artmasına sebep olur. Karmaşık problemlerde problem çözümü için genelde katman sayıları ve katmanlardaki nöron sayıları fazladır [32].

Son yıllarda, derin öğrenme algoritmaları araştırmacılar tarafından kablosuz iletişim sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin [33]'de bir OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing- Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama) sisteminde kanal kestirimi ve bit dizisi tespiti için derin öğrenme kullanılmıştır. [34]'de CSI (Channel State Information-Kanal Durumu Bilgisi) bilinmeden oluşturulan sinir ağlarına dayanan ortak dengeleyici (joint equalizer) ve kod çözücüsü (decoder) önerilmiştir. [35]'de LSTM (Long Short Term Memory-Uzun Kısa Süreli Bellek) ağı kullanılarak DL temelli NOMA şemasının performansı araştırılmıştır. [36]'da IoT (İnternet Türü Nesnelere- Internet of Things)'deki masif cihazların güvenilir bağlantılarının kurulması için DL destekli bir esnek/sabit-kaynak atamasız (grant free) NOMA şeması önerilmiştir. [37]'de aşağı yönlü (downlink) NOMA sistemlerinde girişim sinyallerinin modülasyon sırasını kör bir şekilde saptamak için bir makine öğrenme (Machine Learning-ML) algoritması önerilmiştir. [38]'de çok kullanıcılı downlink NOMA sistemlerinde her bir kullanıcının modülasyon sırasının tespiti için DL bazlı kör sınıflandırma kullanılmıştır. [39]'da bir OFDM-IM sistemindeki veri bitlerini kestirmek

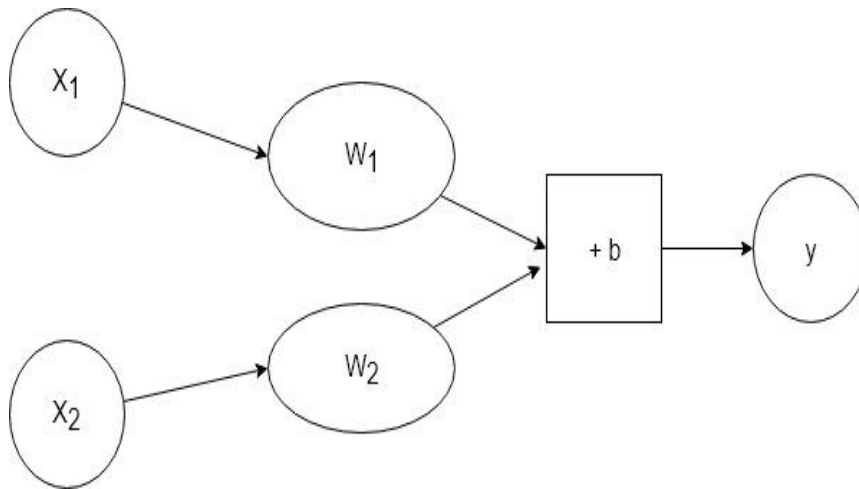
için tamamen bağılı katmanlara sahip derin bir sinir ağı kullanan DeepIM olarak adlandırılan yeni bir DL tabanlı sezici önerilmiştir.

4.2 DERİN ÖĞRENMENİN TEMELLERİ

Derin öğrenme yapay sinir ağlarının gelişmiş şeklidir. Yapay Sinir Ağlarının En Küçük Birimi $y = w * x + b$ şeklinde lineer fonksiyon üreten perceptronlardır. X perceptronun girdisi W ağırlık değeri, b bias değeri y ise perceptron çıkışını vermektedir. Burada x girdi değerimiz, örneğin köpek resimlerini tanıyorsak köpek resmine ait matrisi, y ise bu resmin köpeğe ne kadar benzediğine dair skoru verir. Parametrelerimiz olan w ağırlık ve b bias değerlerini bu çıktı skorunu iyileştirmek için kullanılır.

Bu perceptron yapısı tek bir nöron olarak adlandırılabilir. Derin öğrenme modelinde birden fazla perceptron bulunabilir bu perceptronların her biri aldığı girdi değerleri için lineer hesaplama yaparak bir çıktı değeri üretir ve bu çıktı değeri skor değeri olarak adlandırılır. Örneğin iki girdili yapay sinir ağında çıktı değeri $y = w_1 * x_1 + b_1 + w_2 * x_2 + b_2$ şeklindedir [40]. Şekil 4.1'de iki katmanlı yapay sinir ağında çıktı değeri hesaplanması görülmektedir.

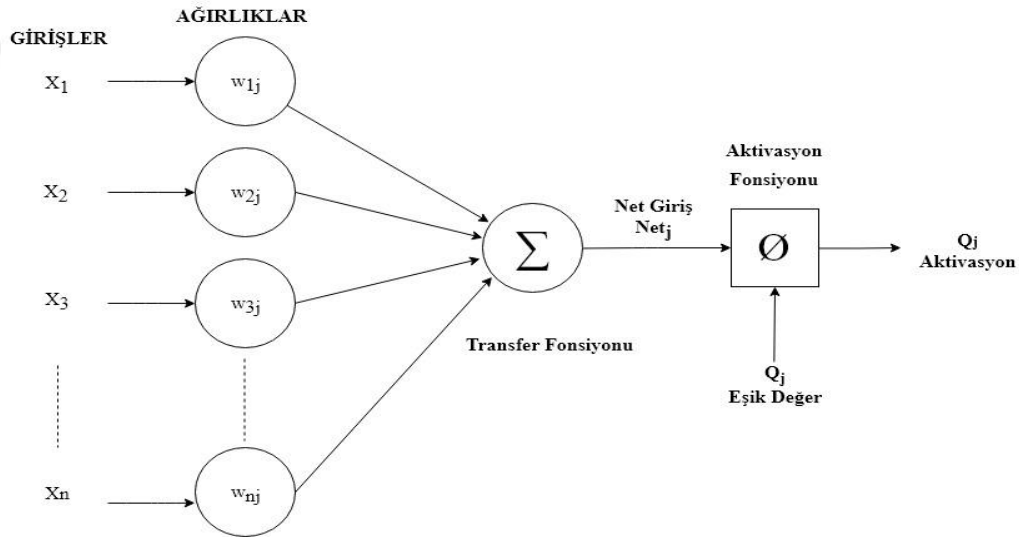
Bu nöronlardan her biri girdilerine bağılı olarak çıktı çıktı üretmektedir. Çıktı değeri $y = f(x, W) + b$ şeklindedir. f skor fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır [41].



Şekil 4.1 İki Girdili Yapay Sinir Ağında Çıktı Değeri Hesaplama [40].

4.3 AKTİVASYON FONKSİYONU

Hücreye gelen net değeri (çıktı değeri, $y=f(x,W) + b$) işleyerek nöronun bu girdiye karşılık aktivasyon çıktısını üretir. Aktivasyon fonksiyonunun probleme göre uygun seçilmesi ağırlık performansını ve başarı oranını önemli derecede etkiler. Hatayı geri yayarken her katmanda türev işlemi yapılır. Dolayısıyla seçilecek aktivasyon fonksiyonlarının türevlenebilir ve türevlerinin kolay alınabilen fonksiyonlardan olması gerekmektedir. Aksi takdirde eğitim süresi uzayacaktır [41]. Şekil 4.2’de aktivasyon fonksiyonu uygulanmış sinir hücresi görülmektedir. Çıkış değerine aktivasyon fonksiyonu uygulanmaktadır.



Şekil 4.2 Aktivasyon Fonksiyonu Uygulanmış Sinir Hücresi [41].

4.4 OPTİMİZASYON

Hata fonksiyonu her bir öğrenme sürecinden sonra minimum olacak şekilde ağırlık (w) ve bias (b) parametrelerinin güncellenmesi gerekmektedir. Bu bir optimizasyon problemidir. En çok kullanılan optimizasyon algoritması gradient descent (eğim inişi) algoritmasıdır. Bu algoritma denklemin yerel minimuma yakınsamak için birinci türev kullanır. Gradient descent algoritmasında yakınsama yönü gradient doğrultusuna ters yöndeki bir doğrultu üzerinde hareket edilir. O yönde minimum nokta ile belli bir adım miktarı veya öğrenme katsayısı (learning rate) ile çarpılarak bir sonraki yeni ağırlık bulunur. Bu öğrenme kuralına Delta Rule denir. Bir sonraki ağırlığın değeri zincir kuralı (chain rule) ile tüm değişkenlere göre türev alınarak bulunur [41].

4.5 DERİN ÖĞRENMEDE EPOCH, MİNİ BATCH SİZE, İTERASYON VE MAX EPOCH TERİMLERİ

Epoch: Tüm Eğitim örneklerinin bir defada eğitilmesini ifade eden terim

İterasyon: Ağda girişten çıkışa verilerin bir kerede eğitilmesini ifade eder.

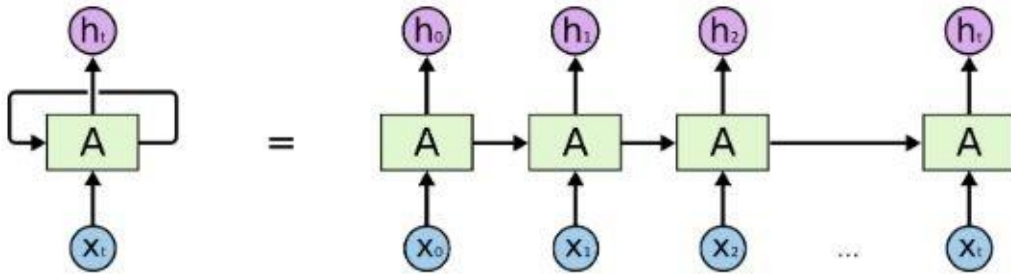
Mini Batch Size: Bir iterasyonda kaç örnek eğitilebileceğini gösterir.

Max Epoch: Eğitim simülasyonunun kaç epoch süreceğini belirler.

Simülasyon Örneği: Örneğin elimizde 1000 eğitim örneği varsa, mini-batch size 50 ise 1 epoch 20 iterasyonda tamamlanır. Maxepoch 60 ise eğitimin tamamlanması 1200 iterasyon sürer.

4.6 LSTM (LONG SHORT TERM MEMORY) AĞLARI

Şekil 4.3'te tekrarlayan sinir ağları (Recurrent Neural Network- RNN) yapısı verilmiştir. Sinir ağının (A) bir parçası, bazı giriş (x_t)'lerine göre ve bir değer (h_t) çıkarır. Bir döngü, bilginin ağın bir adımından diğerine geçmesine izin verir. Tekrarlayan bir sinir ağı, her biri bir halef için bir mesaj gönderen, aynı ağın çoklu kopyaları olarak düşünülebilir [42].

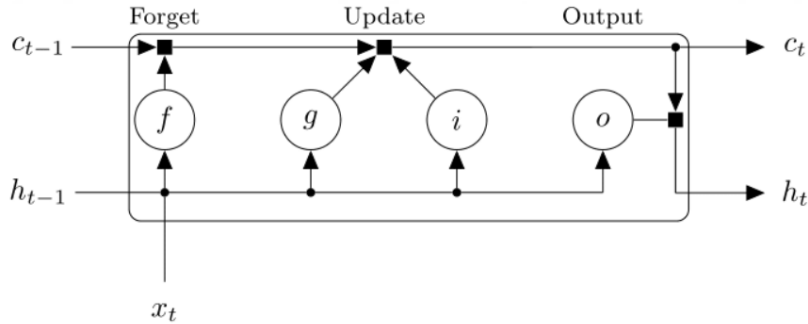


Şekil 4.3 RNN Ağı [42].

Eğer RNN tarafından eğilecek giriş verisi çok örnekten oluşuyorsa, bu örneklerin zamanla değişimleri birbirlerine bağımlıysa RNN yetersiz kalmaktadır. Bu durumda RNN'nin özel bir türü olan LSTM kullanılmaktadır. LSTM zaman dizisi verileri arasındaki uzun vadede bağımlılıkları öğrenebilmektedir. Klasik bir LSTM Ağı veya derin sinir ağlarında kullanılan adıyla LSTM katmanı (LSTM Layer) bir dizi LSTM bloğundan oluşmaktadır. LSTM ağı her bir zaman aralığında x dizisini öğrenebilmektedir. Bu x dizisinin boyutu (feature) D ile simgelenmektedir. İlk LSTM bloğu, ağın başlangıç hücre durumunu (c_0) ve x dizisinin ilk zaman adımını alır (x_1) ve daha sonra birinci çıkışı h_1 ve güncellenmiş hücre durumunu c_1

hesaplar. Her bir zaman adımında (t) ise LSTM bloğu ağı bir önceki zamandaki çıkışı (h_{t-1}), hücrenin bir önceki durumunu (c_{t-1}) alır ve t . çıkışı (gizli durum çıkışı olarak da ifade edilir) ve hücre durumunu hesaplar (h_t, c_t). Bu durum tüm zaman örnekleri eğitilene kadar devam eder [43].

Şekil 4.4’de LSTM bloğu gösterilmektedir. LSTM bloğu 4 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar input (i) kapısı, forget (f) kapısı, hücre yedekleme (g) kapısı ve output (o) kapısıdır. i kapısı hücrenin güncellenecek durumlarının kontrol yeridir. f kapısı hücrenin unutulacak durumlarının kontrol yeridir. g kapısı, hücre durumuna bilgi ekleme yeridir. o kapısı çıkış durumuna eklenecek hücre durumunun kontrol yeridir.



Şekil 4.4 Örnek LSTM Bloğu [43].

Her bir bileşende öğrenilebilir parametreler W (Giriş Ağırlık Verileri), R (Yineleme Ağırlıkları) ve b (bias) parametreleridir. Bu parametreler her bir bileşene göre matris gösterimi şeklinde ifade edilir. $W=[W_i ; W_f ; W_g ; W_o]$, $R=[R_i , R_f , R_g , R_o]$ ve $b=[b_i , b_f , b_g , b_o]$ şeklindedir. Burada i, f, g ve o sırasıyla i kapısı, f kapısı, g kapısı ve o kapısı için olan parametreleri göstermektedir. Eşitlik (4.1)’de t zaman adımındaki hücre durumunu, Eşitlik (4.2)’de ise t zaman adımındaki gizli durum gösterilmiştir.

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot g_{t-1} \quad (4.1)$$

$$h_t = o_t \odot \sigma_c(c_t) \quad (4.2)$$

Eşitlik (4.2)’deki σ_c durum aktivasyon fonksiyonudur. Genelde tanh fonksiyonu kullanılır. Kapı güncellemelerinde ise σ_g aktivasyon fonksiyonu kullanılır. σ_g Eşitlik (4.3)’te ifade edilmiştir.

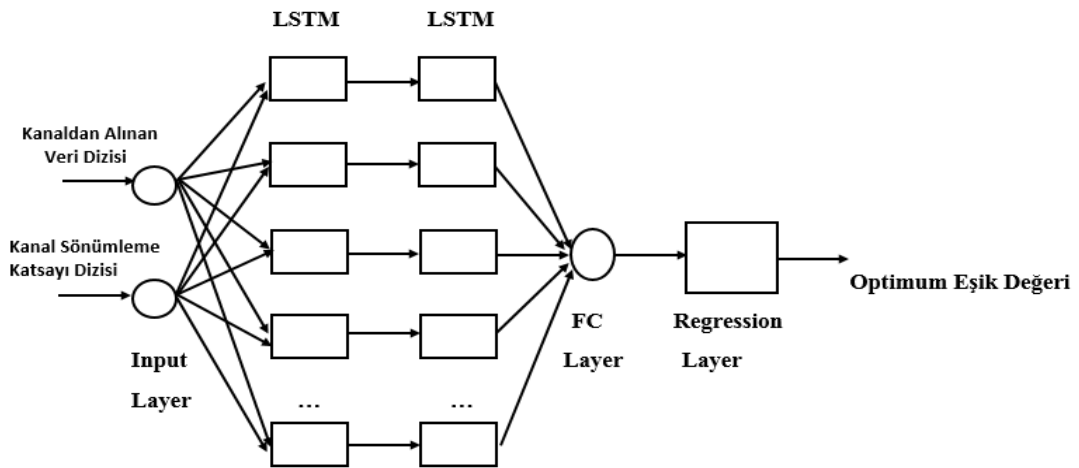
$$\sigma_g(x) = (1 + e^{-x})^{-1} \quad (4.3)$$

t. zaman diliminde her bir bileşen denklem (4.4)'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} i_t &= \sigma_g(W_i x_t + R_i h_{t-1} + b_i) \\ f_t &= \sigma_g(W_f x_t + R_f h_{t-1} + b_f) \\ g_t &= \sigma_c(W_g x_t + R_g h_{t-1} + b_g) \\ o_t &= \sigma_g(W_o x_t + R_o h_{t-1} + b_o) \end{aligned} \quad (4.4)$$

4.7 DERİN ÖĞRENME MODELİ

Her bir zaman adımındaki zaman dizisinin ve diğer dizi verilerinin elemanları arasındaki uzun vadeli bağımlılıkları öğrenme kabiliyetinden dolayı bu çalışmada Şekil 4.5'te gösterilen LSTM katman tabanlı derin öğrenme ağ modeli kullanılmıştır. DL modeli, ikisi seri bağlı LSTM katmanından oluşan 5 katmandan oluşur. İlk LSTM katmanı 30 gizli nöron, ikinci LSTM katmanı 10 gizli nöron oluşmaktadır. Oluşturulan model, simülasyon verilerine göre çevrimdışı olarak eğitilmiştir. Eğitim prosedüründe, Kanal Durumu Bilgisinin kullanıcılar tarafından bilindiği varsayılmıştır. Çıktıda kestirilen optimum eşik değeridir [26].



Şekil 4.5 Önerilen DL Modeli

4.8 SİMÜLASYON SONUÇLARI

Simülasyonlar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Sistemdeki her iki röle için kanal sönümlenme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2=3$ dB, $\sigma_{SR2}^2=0$ dB, $\sigma_{R1R2}^2=3$ dB, $\sigma_{R1D}^2=0$ dB, $\sigma_{R2D}^2=3$ dB olan rayleigh rasgele değişkeni olduğu varsayılmıştır. Modülasyon için İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Binary Phase Shift Keying -BPSK) kullanılmıştır. Her birim tek antene sahiptir. LSTM ağında yapılan eğitimde her bir örnekte 10 bit eğitilmektedir. Toplamda 10 milyon örnek için eğitim yapılmıştır.

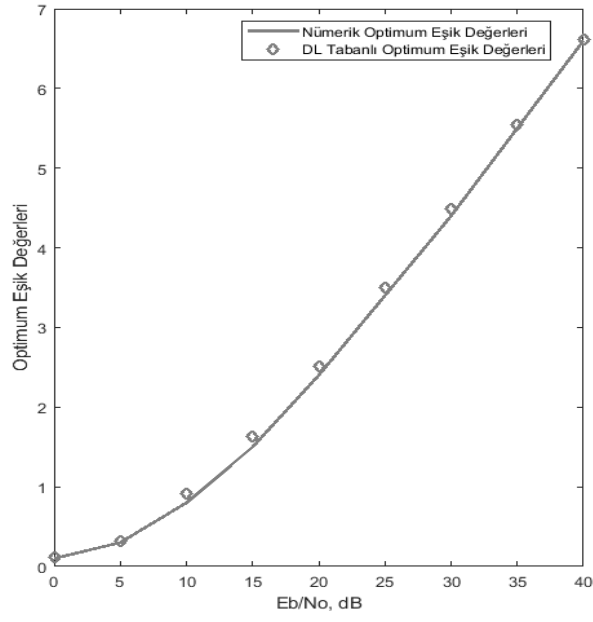
Sistemin toplam gücü (P), kaynak P_S ve rölelere P_{R1} ve P_{R2} eşit olarak paylaştırılmıştır ($P_{R1} = P_{R2} = P_S/3$). Bu durumda Röle1 ve Röle2'deki optimum eşik değerler nümerik olarak hesaplanıp LSTM ağında eğitilmiştir.

0-40dB arasında 5dB adımlar ile nümerik olarak hesaplanan Röle2 için, uçtan uca hata olasılığını minimum yapan optimum eşik değerler 0 (sıfır) olarak bulunmuştur. Röle1 için, 0-40dB arasında 5dB adımlar ile nümerik olarak hesaplanan ve DL eğitimi sonucunda kestirilen optimum eşik değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de verilen DL Modeli Çıkış değerleri her bir İGO değerinde 10 örneğin ortalaması olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.1 DL ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması

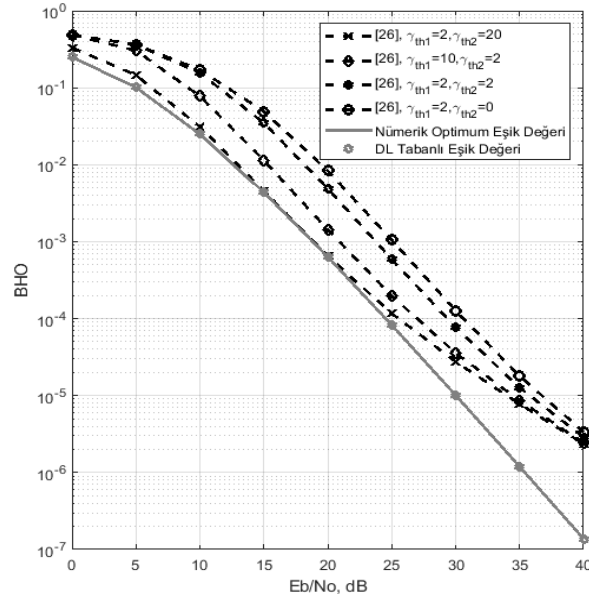
İşaret Gürültü Oranı (ϵ_b/N_0 , dB)	Nümerik γ_{th}^{opt}	DL Modeli Çıkışı
0	0.10	0.11
5	0.30	0.32
10	0.80	0.92
15	1.50	1.63
20	2.40	2.51
25	3.40	3.50
30	4.40	4.49
35	5.50	5.54
40	6.60	6.62

Şekil 4.6'da nümerik olarak hesaplanan optimum eşik değerleri ile, DL Modeli ile kestirilen optimum eşik değerleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.6 Optimum Eşik Değerleri

Şekil 4.7’de uçtan uca hata olasılığının değişimi, optimum eşik değerleri ve [26]’da verilen sabit optimum olmayan rasgele seçilmiş eşik değerleri için karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.7 Uçtan Uca Hata Olasılığı.



BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Çok atlamalı işbirlikli sistem modellerinden biri olan üç-atlamalı, DF protokolü kullanan eşik değer tabanlı seçmeli işbirlikli iletişim sisteminin hata performansının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Hatanın minimize edilmesi için rölelerde bulunan eşik değerleri DL kullanarak optimize edilmiştir. Önerilen DL tabanlı optimum eşik değeri belirleme yöntemi ile rölelerde harici bir bilgiye ihtiyaç duyulmadan kablosuz iletişim ortamından alınan gürültülü ve kanal etkisine maruz kalmış sinyaller kullanılarak optimum eşik değer sezimi yapılmıştır.

Rölelerde eşik değerlerin adaptif olarak belirlenmesi ile tüm İGO değerleri için sistemin uçtan-uca hata performansının en iyi değere ulaştığı gözlenmiştir. Kullanılan optimum eşik değer ile sabit eşik değer kullanımına göre aynı hata performansına ortalama 3dB daha düşük güçte ulaşıldığı gözlenmiştir. Bu durum, rölelerdeki enerji verimliliği açısından son derece önemlidir. Ayrıca yapılan simülasyon sonuçlarına göre, Röle2'nin sürekli olarak aktif olması gerektiği gözlemlenmiştir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: Röle2'nin aktif olmadığı durumda hedefe en yakın (en iyi kanal durumuna sahip) röleden veri aktarımı olmadığı için, Röle1 hata yaptığında sadece hatalı veriler hedefe ulaşmaktadır. Röle1 hata yapmadığı durumda ise Röle1 ile hedef arasındaki sönmülemenden kaynaklı hatalar oluştuğunda çeşitleme sağlanamamaktadır. Bu durum sonucunda Röle2 için optimum eşik değer (γ_{th2}^{opt}) sürekli olarak sıfır "0" çıkmaktadır.

Rölelerde kullanılan eşik değerinin sistemin başarımındaki etkisi yapılan benzetim çalışmalarından açıkça görülmektedir. Düşük İGO bölgesinde yüksek değerli eşik değerinin kullanılması, yüksek İGO bölgesinde ise düşük eşik değerinin kullanılması hata başarımını olumsuz etkilemektedir. Diğer taraftan, düşük İGO bölgesinde düşük eşik değerinin kullanılması, yüksek İGO bölgesinde ise yüksek eşik değerinin kullanılması sistemin hata

başarımında artışa sebep olmaktadır. Bu durum röleler de optimum eşik değerinin kullanılmasının sonucu olarak açıklanabilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Agiwal M, Roy A and Saxena N** (2016) Next Generation 5G Wireless Networks : A Comprehensive Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18 (3): 1617–1655.
- [2] **Andrews J G, Buzzi S, Choi W, Hanly S V., Lozano A, Soong A C K and Zhang J C** (2014) What will 5G be?. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32 (6): 1065–1082.
- [3] **Laneman J N and Wornell G W** (2001) An Efficient Protocol for Realizing Cooperative Diversity in Wireless Networks. *IEEE International Symposium on Information Theory*, 24-29 June 2001, Washington, USA, 294.
- [4] **Sendonaris A, Erkip E and Aazhang B** (2003) User Cooperation Diversity-Part II: Implementation Aspects and Performance Analysis. *IEEE Transactions on Communications*. 51 (11): 1939–1948.
- [5] **Proakis John G and Salehi Masoud** (2008) *Digital Communications*. 5th edition, ISBN: 978-0-07-295716-7, McGraw Hill. Pres, 937.
- [6] **Goldsmith A** (2005) *Wireless Communications*, First., vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press, ISBN: 978-8-12-194055-9, 571.
- [7] **Hunter T and Nosratinia A** (2003) Cooperation Diversity Through Coding. *Proceedings IEEE International Symposium on Information Theory*, 30 June - 5 July 2002, Lausanne, Switzerland, 36:220.
- [8] **Adinoyi A, Fan Y, Yanikomeroglu H, Poor H V and Al-Shaalan F** (2009) Performance of Selection Relaying and Cooperative Diversity. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8 (12): 5790-5794.
- [9] **Alexandropoulos G C, Papadogiannis A and Berberidis K** (2010) Performance Analysis of Cooperative Networks with Relay Selection over Nakagami-m Fading Channels. *IEEE Signal Processing Letters*, 17 (5): 441-444.
- [10] **Bletsas A, Khisti A, Reed D P and Lippman A** (2006) A Simple Cooperative Diversity Method Based on Network Path Selection. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24 (3): 659-672.
- [11] **Ms J, Aloob T and Chavali N K** (2016) Decode and Forward based Cooperative System for MANETs. *IEEE Annu. India Conf.*, 16-18 December 2016, Bangalore, India, 1–6.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [12] **Akın A İ and Hacı İ** (2013) Error Performance Analysis of Decode and Forward Based Cooperative Systems with Relay Selection. *2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 24-26 April 2013, Haspolat, Turkey 1-4.
- [13] **Şanlı E, Kara F ve Kaya H** (2018) Hata Yayılımının En İyi Röle Seçimli İşbirlikli Haberleşme Sistemlerinin Hata Başarımına Etkisi. *2018 26th Signal Process. Commun. Appl. Conf.*, 09 July 2018, Izmir, Turkey, 1-4.
- [14] **Onat F A, Adinoyi A, Fan Y, Yanikomeroglu H, Thompson J S and Marsland I D** (2008) Threshold Selection for SNR-Based Selective Digital Relaying in Cooperative Wireless Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 7 (11): 4226-4237.
- [15] **Ikki S and Ahmed M H** (2007) Performance of Decode and Forward Cooperative Diversity Networks over Nakagami-m Fading Channels. *IEEE Global Telecommunications Conference*. 26-30 November 2007, Washington, USA, 1-6.
- [16] **Onat F A, Fan A, Yanikomeroglu H and Poor H V** (2008) Threshold Based Relay Selection in Cooperative Wireless Networks. *GLOBECOM-IEEE Global Telecommunications Conference*, 30 November-4 December 2008, New Orleans, USA, 1-5.
- [17] **Kara F, Kaya H, ErKaymaz O and Ozturk E** (2016) Prediction of The Optimal Threshold Value in DF Relay Selection Schemes Based on Artificial Neural Networks. *2016 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, 2-5 August 2016, Sinaia, Romania, 1-6.
- [18] **Karabulut M A, Çukur H, İlhan H and Yıldırım T** (2003) Channel Estimation by Using ANN in DF Based Cooperative Communication System. *2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO)*, 1-3 December 2016, Bursa, Turkey, 1-4.
- [19] **Hasna M O and Alouini M** (2003) Outage Probability of Multihop Transmission Over Nakagami Fading Channels. *IEEE Communications Letters*, 7 (5): 216-218.
- [20] **Najafi M, Ardebilipour M, Soleimani N E. and Vahidian S** (2015) Multi-Hop Cooperative Communication Technique for Cognitive DF and AF Relay Networks. *Wireless Pers Commun vol.*, 83 (4): 3209-3221.
- [21] **Taştan M C** (2015) Uzay Kaydırmalı Anahtarlama Modülasyonu Kullanan İşbirlikli Çok Atlamalı Ağlar. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 3: 54-107.
- [22] **Ikki S and Ahmed M H** (2010) On the Performance of the Cooperative Diversity Networks with the Nth Best-Relay Selection Scheme. *IEEE Transactions on Communications*, 58 (11): 3062-3069.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [23] **Simon K Marvin and Alouini Slim Mohamed** (2005) *Digital Communication over Fading Channels*. ISBN: 0-471-20069-7, A Wiley-Interscience Publication, USA.
- [24] **Oturak A, Kaya H ve Öztürk E** (2011) Alamouti Uzay-Zaman Kodlu ve Kuvvetlendirir Aktar Röleli Çeşitlemelerin OFDM İşaretleri için Başarım Karşılaştırması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, Araştırma Makalesi, 47-54.
- [25] **Su W, Sadek A K and Liu K J R** (2008) Cooperative Communication Protocols in Wireless Networks: Performance Analysis and Optimum Power Allocation. *Wireless Personal Communications*, 44: 181-217.
- [26] **Çakar E, Emir A, Kara F ve Kaya H** (2019) Derin Öğrenme-Tabanlı Optimum Eşik Değeri ile Cihazdan Cihaza İşbirlikli İletişim Sistemlerinin Hata Başarımının İyileştirilmesi. *International Conference on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 5-7 Temmuz 2019, Urgüp, Nevşehir, Türkiye, 1-3.
- [27] **Herhold P, Zimmermann E and Fettweis G** (2004) A Simple Cooperative Extension to Wireless Relaying. *International Zurich Seminar*, 18-20 February 2004, Zurich, Switzerland, 1-4.
- [28] **Atay F** (2009) Cooperative Diversity Relaying Techniques in Wireless Communication Networks, *PhD Thesis*, Carleton University, The Ottawa-Carleton Institute for Electrical and Computer Engineering (OCIECE), Department of Systems and Computer Engineering, Ottawa, Ontario, Canada, 199.
- [29] **Deng L and Yu D** (2014) *Deep Learning: Methods and Applications*. ISBN: 978-1-60-198814-0, 212.
- [30] **Blum A L and Langley P** (1997) Selection of relevant features and examples in machine learning. *Artificial Intelligence*, 97: 245–271.
- [31] **Zhou X and Wang X** (2003) Channel Estimation for OFDM Systems Using Adaptive Radial Basis Function Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 52: 48–59.
- [32] **Burse K, Yadav R N and Shrivastava S C** (2010) Channel Equalization Using Neural Networks: A Review. *IEEE Transactions on Systems*, 40 (3): 352–457.
- [33] **Gao X, Jin S, Wen C and Li G** (2018) ComNet: Combination of Deep Learning and Expert Knowledge in OFDM Receivers. *IEEE Communications Letters*, 22 (12): 2627-2630.
- [34] **Xu W, Zhon Z, Be'ery Y, You X and Zhang C** (2018) Joint Neural Network Equalizer and Decoder. *15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, 28-31 August 2018, Lisbon, Portugal, 1-5.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [35] **Gui G, Huang H, Song Y and Sari H** (2018) Deep Learning for an Effective Nonorthogonal. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67 (9): 8440–8450.
- [36] **Ye N, Li X, Yu H, Wang A, Liu W and Hou X** (2019) Deep Learning Aided Grant-Free NOMA Toward Reliable Low-Latency Access in Tactile Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15 (5): 2995–3005.
- [37] **Zhang N, Cheng K and Kang G** (2018) A Machine-Learning-Based Blind Detection on Interference Modulation Order in NOMA Systems. *IEEE Communications Letters*, 22 (12): 2463–2466.
- [38] **Choi M, Yoon D, Kim J and S Blind** (2019) Blind Signal Classification for Non-Orthogonal Multiple Access in Vehicular Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1–12.
- [39] **Luong T V, Ko Y, Vien N A and Nguyen D H N** (2019) Deep Learning-Based Detector for OFDM-IM. *IEEE Wireless Communications Letters*, 8 (4): 1159-1162.
- [40] **Derin öğrenme uygulamalarında temel kavramlar: perceptron, skor fonksiyonu ve hata hesaplaması (loss function)**. (t.y.) Adres:<https://www.linkedin.com/pulse/derin-ogrenme-uygulamalarinda-temel-kavramlar>. [Erişildi: 16 11 2018].
- [41] **Geri Yayılımlı Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları-1**. (t.y.) Adres: <https://medium.com/@billmuhh/geri-yayilim-katmanli-yapay-sinir->.
- [42] **Understanding LSTM Networks**. (t.y.) Adres: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>. [Erişildi: 23 11 2018].
- [43] **Long Short-Term Memory Networks**. (t.y.) Adres:<https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/long-short-term-memory->

ÖZGEÇMİŞ

Emre ÇAKAR 06.07.1990 tarihinde Trabzon'un Vakfikebir ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Vakfikebir Cumhuriyet İlköğretim okulunda, ortaöğretimini ise Beşikdüzü Endüstri Meslek Lisesinde tamamladı. 2007 yılında yüksek öğrenim hayatına Beşikdüzü Meslek Yüksek Okulunda başlayarak, Teknik Programlar Bölümü'nün Elektronik Haberleşme Programından mezun oldu. 2011 yılında BEÜ Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Halen aynı üniversite ve aynı bölümde son sınıf yüksek lisans öğrencisi olarak öğrenim hayatına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Bahçelievler Mahallesi, Mehmetcik Caddesi,
No. 28/26, Kat: 9.
Merkez, ZONGULDAK

Cep : 0(542) 783 71 86

E-posta : emre.cakar6167@gmail.com