

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

STBC NOMA SİSTEMLERİNİN SÖNÜMLEMELİ KANALLARDA BAŞARIM
ANALİZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT AKTÜRK

OCAK 2025

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

STBC NOMA SİSTEMLERİNİN SÖNÜMLEMELİ KANALLARDA BAŞARIM
ANALİZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat AKTÜRK

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet OTURAK

ZONGULDAK

Ocak 2025

KABUL:

Murat AKTÜRK tarafından hazırlanan “STBC NOMA Sistemlerinin Sönümlmeli Kanallarda Başarım 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. 24/01/2025

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Ahmet OTURAK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü

Üye: Doç. Dr. Ali NARİN

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

Üye: Doç. Dr. Mustafa NAMDAR

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

....../....../20....

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki 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.”

Murat AKTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

STBC NOMA SİSTEMLERİNİN SÖNÜMLEMELİ KANALLRDA BAŞARIM ANALİZİ

Murat AKTÜRK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet OTURAK

Ocak 2025, 131 sayfa

Günümüzde kullanıcı sayısının artması ve nesnelerin birbiriyle iletişim halinde olması, veri trafiğinde artışa neden olduğu gibi kaynakları da daha verimli kullanmayı önemli bir durum haline getirmiştir. Bu nedenlerden dolayı dikgen çoklu erişim (Orthogonal Multiple Access,OMA) haberleşme tekniği yetersiz kalmaya başlamıştır. Özellikle 5G teknolojisine geçilmesi ile OMA tekniğinin yetersizliği dahada belirginleşmiştir. Bu duruma çözüm arayışı kaynakları da daha verimli kullanmayı sağlayan dikgen olmayan çok erişim (Non-Orthogonal Multiple Access,NOMA) tekniğine yöneltmiştir.

Bu çalışmada NOMA tekniği kullanılarak farklı uzaklıklarda bulunan 2 kullanıcı ve 3 kullanıcı yapıların Rayleigh kanalda iletimleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra NOMA tekniğini daha verimli hale getirebilmek için Alamouti Uzay-Zaman Blok Kodlaması (Space-Time Block Coding,STBC) yapısı kullanılmıştır. Geleneksel NOMA yapısı ve 2x1 (2 Verici-1 Alıcı) Alamouti-STBC NOMA yapısı ile için 2x2 (2 Verici-2 Alıcı) Alamouti-STBC NOMA yapısının 2 kullanıcı ve 3 kullanıcı için MATLAB programında kaynaktan dört faz kaydırmalı

ÖZET (devam ediyor)

(Quadrature Phase Shift Keying, QPSK) modülasyon metodu uygulanarak güç (P) değişkenine bağlı olarak benzetimleri gerçekleştirilmiştir.

Benzetimlerde P değişkenine bağlı olarak bit hata oranındaki (Bit Error Rate, BER) ve servis kesinti olasılıkları grafikleri oluşturularak değişimleri incelenmiştir.

Grafiklerin incelenmesi sonucunda 2 kullanıcı için 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının geleneksel NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapılarına göre Rayleigh kanalda her kullanıcı için (Yakın kullanıcı, Uzak kullanıcı) için daha iyi BER başarımına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yine 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının geleneksel NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapılarına göre ve Rayleigh kanalda her kullanıcı için (Yakın kullanıcı, Uzak kullanıcı) için daha iyi servis kesinti olasılığı başarımının daha iyi olduğu görülmüştür.

Yine 3 kullanıcı içinde yapılan benzetimlerde grafiklerin incelenmesi sonucunda 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının geleneksel NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapılarına göre Rayleigh kanalda her kullanıcı için (Yakın kullanıcı, Orta kullanıcı, Uzak kullanıcı) için daha iyi BER başarımına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yine 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının geleneksel NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapılarına göre ve Rayleigh kanalda her kullanıcı için (Yakın kullanıcı, Orta kullanıcı, Uzak kullanıcı) için daha iyi servis kesinti olasılığı başarımının daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: NOMA, Alamouti STBC, Bit Hata Oranı, Servis Kesinti Olasılığı

Bilim Kodu: 608.04.04, 608.04.05

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS OF STBC NOMA SYSTEMS IN DAMPERED CHANNELS

Murat AKTÜRK

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical-Electronics Engineering**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet OTURAK
January 2025, 111 pages**

Nowadays, the increase in the number of users and the communication of objects with each other has caused an increase in data traffic and has made it important to use resources more efficiently. For these reasons, the orthogonal multiple access (OMA) communication technique has become inadequate. Especially with the transition to 5G technology, the inadequacy of the OMA technique has become even more evident. The search for a solution to this situation has directed the non-orthogonal multiple access (NOMA) technique, which provides more efficient use of resources.

In this study, transmissions of 2-user and 3-user structures located at different distances were realized in the Rayleigh channel by using NOMA technique. Then, in order to make the NOMA technique more efficient, Alamouti Space-Time Block Coding (STBC) structure was used. Simulations were performed for the traditional NOMA structure and 2x1 (2 Transmitter-1 Receiver) Alamouti-STBC NOMA structure and 2x2 (2 Transmitter-2 Receiver) Alamouti-STBC NOMA structure for 2 users and 3 users by applying the Quadrature Phase Shift Keying

ABSTRACT (continued)

(QPSK) modulation method from the source in MATLAB program depending on the power (P) variable.

In the simulations, the changes in the bit error rate (BER) and service interruption probabilities depending on the P variable were created and their changes were examined.

As a result of examining the graphs, it was concluded that the 2x2 Alamouti-STBC NOMA structure for 2 users has better BER performance for each user (Near user, Far user) in the Rayleigh channel compared to the traditional NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA structures. Again, it was observed that the 2x2 Alamouti-STBC NOMA structure has better service interruption probability performance for each user (Near user, Far user) in the Rayleigh channel compared to the traditional NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA structures.

Again, as a result of examining the graphs in the simulations made for 3 users, it was concluded that the 2x2 Alamouti-STBC NOMA structure has better BER performance for each user (Near user, Middle user, Far user) in the Rayleigh channel compared to the traditional NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA structures. Again, it was observed that the 2x2 Alamouti-STBC NOMA structure has better service outage probability performance for each user (Near user, Middle user, Far user) in the Rayleigh channel compared to the traditional NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA structures.

Keywords: NOMA, Alamouti STBC, Bit Error Rate, Outage Probability

Science Code: 608.04.04, 608.04.05

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında beni ne yapmam gerektiği ile yönlendiren, bilgi ve birikimi ile beni destekleyen hocam ve danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet OTURAK ve tezim ile ilgili değerli yorumları için Doç. Dr. Mustafa NAMDAR ile Doç. Dr. Ali NARİN' e teşekkürü borç bilirim.

Yaşadığım zorluklarda beni cesaretlendiren ve beni her zaman destekleyen biricik eşim Gülşen'e, gülücükleri ve gösterdikleri sevgileri ile bana moral veren oğlum Ömer Aras' a ve kızım Hayal Afraya' a teşekkür ederim



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
1.1 ÇALIŞMANIN LİTERATÜRDEKİ YERİ VE AMACI	2
1.2 TEZ PLANI	3
 BÖLÜM 2 KABLOSUZ HABERLEŞME KANALLARI	 5
2.1 ÇOK YOLLU KANAL PARAMETRELERİ	5
2.1.1 Uyumluluk Bant Genişliği	5
2.1.2 Uyumluluk Zamanı	5
2.2 SÖNÜMLEME.....	7
2.2.1 Düz Kanallar	7
2.2.2 Frekans Seçici Kanallar.....	8
2.3 ZAMANLA DEĞİŞEN KANALLAR	8
2.3.1 Yavaş Sönümleme.....	8

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.3.2 Hızlı Sönümlenme.....	9
2.4 RAYLEİGH VE NAKAGAMİ-M SÖNÜMLEME	9
2.4.1 Rayleigh Sönümlenme	9
2.4.2 Nakagami- <i>m</i> Sönümlenme	11
BÖLÜM 3 ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ	13
3.1 DİKGEN ÇOKLU ERİŞİM TEKNİĞİ (OMA)	13
3.1.1 Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA).....	13
3.1.2 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA).....	14
3.1.3 Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA).....	15
3.1.4 Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA).....	15
3.2 DİKGEN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM (NOMA)	16
3.2.1 Güç Eksenli NOMA (PD NOMA).....	17
3.2.2 Kod Eksenli NOMA (CD NOMA)	18
BÖLÜM 4 ÇOK GİRİŞLİ ÇOK ÇIKIŞLI HABERLEŞME SİSTEMLERİ	21
4.1 ÇEŞİTLEME TEKNİKLERİ	22
4.1.1 Uzay Zaman Blok Kodları ile İletişim Çeşitlemesi	22
4.1.2 Frekans Çeşitlemesi	22
4.1.3 Zaman Çeşitlemesi	22
4.1.4 Uzay Çeşitlemesi.....	23
4.2 BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	23
4.2.1 Seçmeli Birleştirme	23
4.2.2 Eşit Kazançlı Birleştirme	24
4.2.3 Karesel Kurallı Birleştirme	24
4.2.4 En Büyük Oranlı Birleştirme	24

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5 ALAMOUTİ STBC YAPILARI	29
5.1 2x1 ALAMOUTİ STBC YAPISI.....	29
5.2 2x2 ALAMOUTİ STBC YAPISI.....	32
BÖLÜM 6 SİSTEM MODELİ.....	35
6.1 2-KULLANICILI NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ	38
6.1.1 2-Kullanıcıli NOMA Yapısının Servis Kesinti Olasılığı	40
6.2 2-KULLANICILI 2X1 ALAMOUTİ STBC-NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ	43
6.2.1 2-Kullanıcıli 2x1 Alamouti STBC-NOMA Yapısının Servis Kesinti Olasılığı.....	47
6.3 2-KULLANICILI 2X2 ALAMOUTİ STBC-NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ	50
6.3.1 2-Kullanıcıli 2x2 Alamouti STBC-NOMA Yapısının Servis Kesinti Olasılığı.....	59
6.4 3-KULLANICILI NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ	62
6.4.1 3-Kullanıcıli NOMA Yapısının Servis Kesinti Olasılığı	65
6.5 3-KULLANICILI 2X1 ALAMOUTİ STBC-NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ	69
6.5.1 3-Kullanıcıli 2x1 Alamouti STBC-NOMA Yapısının Servis Kesinti Olasılığı.....	77
6.6 3-KULLANICILI 2X2 ALAMOUTİ STBC-NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ	82
6.6.1 3-Kullanıcıli 2x2 Alamouti STBC-NOMA Yapısının Servis Kesinti Olasılığı.....	95
BÖLÜM 7 BENZETİM SONUÇLARI	101
7.1 BİT HATA ORANI BENZETİM SONUÇLARI.....	102
7.2 SERVİS KESİNTİ OLASILIĞI BENZETİM SONUÇLARI.....	110

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

BÖLÜM 8 SONUÇLAR.....	119
KAYNAKLAR.....	123
EK AÇIKLAMALAR.....	127
ÖZGEÇMİŞ	131



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA) Frekans zaman grafiği	14
Şekil 3.2 Zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA) Frekans zaman grafiği	14
Şekil 3.3 Kod bölmeli çoklu erişim (CDMA) Frekans zaman grafiği	15
Şekil 3.4 Dikgen frekans erişim (OFDMA) Frekans zaman grafiği	16
Şekil 3.5 NOMA temel kategorileri	17
Şekil 3.6 Güç Eksenli NOMA (PD-NOMA)	18
Şekil 4.1 Çok girişli Çok Çıkışlı Haberleşme Sistemleri Blok Diyagram	21
Şekil 4.2 En büyük oranlı birleştirme yapısı	25
Şekil 5.1 2x1 (2 verici, 1 alıcı) Alamouti-STBC Yapısı	29
Şekil 5.2 2x2 (2 verici, 1 alıcı) Alamouti-STBC Yapısı	32
Şekil 6.1 İki Kullanıcılı NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı	38
Şekil 6.2 İki Kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı.....	43
Şekil 6.3 İki Kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA'da Sinyal Yapısı.....	43
Şekil 6.4 İki Kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı.....	50
Şekil 6.5 İki Kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA'da Sinyal Yapısı.....	51
Şekil 6.6 Üç Kullanıcılı NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı	62
Şekil 6.7 Üç Kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı	69
Şekil 6.8 Üç Kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA'da Sinyal Yapısı	70
Şekil 6.9 Üç Kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı	82
Şekil 6.10 Üç Kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA Sinyal Yapısı.....	83
Şekil 7.1 2 Kullanıcı NOMA benzetimi BER başarımı	103
Şekil 7.2 2 Kullanıcı 2x1 Alamouti- STBC NOMA benzetimi BER başarımı.....	104
Şekil 7.3 2 Kullanıcı 2x2 Alamouti- STBC NOMA benzetimi BER başarımı.....	105
Şekil 7.4 2 Kullanıcı NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA benzetimi BER sonuçları Karşılaştırılması	106
Şekil 7.5 3 Kullanıcı NOMA benzetimi BER başarımı	107

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.6 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti- STBC NOMA benzetimi BER başarımı.....	108
Şekil 7.7 3 Kullanıcı 2x2 Alamouti- STBC NOMA benzetimi BER başarımı.....	109
Şekil 7.8 3 Kullanıcı NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA benzetimi BER sonuçları Karşılaştırılması	110
Şekil 7.9 2 kullanıcı NOMA için OP başarımı	111
Şekil 7.10 2 kullanıcı 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısı için OP başarımı	112
Şekil 7.11 2 kullanıcı 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısı için OP başarımı	113
Şekil 7.12 2 Kullanıcı NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA benzetimi OP sonuçları Karşılaştırılması	114
Şekil 7.13 3-Kullanıcı NOMA yapısı için OP başarımı	115
Şekil 7.14 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısı için OP başarımı.....	116
Şekil 7.15 1 3 Kullanıcı 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısı için OP başarımı.....	117
Şekil 7. 3 kullanıcı yapılar için klasik NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapıları için OP başarımlarının karşılaştırılması	118

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 Vericilerden Gönderilen işaretler çizelgesi.....	30
Çizelge 5.2 Alıcıda alınan İşaretler çizelgesi	33
Çizelge 6.1 2 Kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC NOMA Kanallar çizelgesi	44
Çizelge 6.2 2 Kullanıcı 2x2 Alamouti-STBC NOMA Kanallar çizelgesi	52
Çizelge 6.3 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC NOMA Kanallar çizelgesi	71
Çizelge 6.4 3 Kullanıcı 2x2 Alamouti-STBC NOMA Kanallar çizelgesi	84



EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

Sayfa

EK A 2 Kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC... NOMA yapısının 1.Kullanıcı verici çıkışındaki sembollerin türetilmesi	44
EK B 2 Kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC... NOMA yapısının 2.Kullanıcı verici çıkışındaki sembollerin türetilmesi.....	46
EK C 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC... NOMA yapısının 1.Kullanıcı verici çıkışındaki sembollerin türetilmesi.....	71
EK D 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC... NOMA yapısının 2.Kullanıcı verici çıkışındaki sembollerin türetilmesi.....	73
EK E 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC... NOMA yapısının 3.Kullanıcı verici çıkışındaki sembollerin türetilmesi.....	75



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

B_{co}	: Bant uyumluluk genişliği
B_s	: Bant genişliği
f_d	: En büyük doppler frekansı
v	: Gezgin alıcı hızı
f_c	: Taşıyıcı frekansı
c	: Elektromanyetik dalganın hızı
θ	: Alıcı ve verici arasındaki açı ve doğrultu
Δf_d	: Doppler yayılması
T_{CO}	: Kanal uyumluluk zamanı
T_s	: Sembol süresi
σ_T	: Bant uyumluluk genişliği
$h(t)$	: Kanalın zaman bağlı dürtü cevabı
$c_1(t)$	: Kanalın dürtü cevabının reel kısmı
$c_2(t)$	: Kanalın dürtü cevabının sanal kısmı
$p(a)$	: Kanalın karmaşık sönümleme zarfının olasılık yoğunluk fonksiyonu
Σ	: Kanalın karmaşık sönümleme zarfının OYF'sinin standart sapması
σ^2	: Kanalın karmaşık sönümleme zarfının OYF'sinin varyansı
γ	: Alıcıdaki işaret gürültü oranı (İGO)
E_b	: Bit enerjisi
N_0	: İki yanı güç spektral yoğunluğu olan $N_0/2$ toplanır beyaz gaus gürültüsüdür
$p_\gamma(\gamma)$	: İGO 'nun olasılık yoğunluk fonksiyonu
$\bar{\gamma}$	: Ortalama İGO
$\Gamma(.)$	: Gama fonksiyonu
$E[.]$	: İşaretin rastgele beklenen değeri
N	: Kullanıcı sayısı
$1/N$	: Zaman dilimi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

T_x	: Verici anten Alıcı anten
R_x	: Alıcı anten
h_0	: Verici anten ile alıcıdaki 0. Anten arasındaki kanal
h_1	: Verici anten ile alıcıdaki 1. Anten arasındaki kanal
r_0	: Verici anten ile 0. Antenden alınan sinyalle alıcıda oluşan 0. temel bant işareti
r_1	: Verici anten ile 1. Antenden alınan sinyalle alıcıda oluşan 1. temel bant işareti
s_0	: Vericiden alıcıdaki 0.antene gönderilen işaret
s_1	: Vericiden alıcıdaki 1.antene gönderilen işaret
n_0	: Karmaşık gürültü ve girişim
n_1	: Karmaşık gürültü ve girişim
d_1	: Kaynak ile 1. Kullanıcı arasındaki uzaklık
d_2	: Kaynak ile 2. Kullanıcı arasındaki uzaklık
d_3	: Kaynak ile 3. Kullanıcı arasındaki uzaklık
U_1	: 1. Kullanıcı
U_2	: 3. Kullanıcı
U_3	: 3. Kullanıcı
h_{su_l}	: Kaynak ile kullanıcılar arasındaki kanal katsayısı
s	: Süperpozisyon kodlaması
S_1	: Vericideki 1. Antenden gönderilen kod sözcüğü
S_2	: Vericideki 2. Antenden gönderilen kod sözcüğü
S_m	: Antenlerden gönderilen kod sözcüğü
l	: Kullanıcı sayıları
x_{lm}	: Modüle edilmiş sembol çifti
$[\cdot]^*$	: Kompleks eşleniği
P	: Vericideki iletim gücü
x_1	: 1.kullanıcı kod sözcüğü
x_2	: 2.kullanıcı kod sözcüğü
x_3	: 3.kullanıcı kod sözcüğü
a_l	: Kullanıcıya tahsis edilen güç katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

a_1	: 1.kullanıcı için güç tahsisi
a_2	: 2.kullanıcı için güç tahsisi
a_3	: 3.kullanıcı için güç tahsisi
N_U	: Kullanıcı katsayısı
r_l	: Kullanıcı tarafından alınan sinyal
w_l	: Toplamsal beyaz gaus gürültüsü
$\tilde{S}_{1,2}$	: Birleştirilmiş çıkış
y_1	: 1.kullanıcı tarafından alınan sinyal
γ_1	: 1.kullanıcı işaret gürültü oranı
y_2	: 2.kullanıcı tarafından alınan sinyal
γ_{12}	: 2.kullanıcı işaret gürültü oranı
γ_2	: 2.kullanıcı işaret gürültü oranı
R_1	: 1.kullanıcı hız denklemi
R_1^*	: 1.kullanıcı için hedeflenen hız denklemi
P^1	: 1.kullanıcı servis kesinti olasılığı
R_{12}	: 2.kullanıcı hız denklemi
R_2	: 2.kullanıcı hız denklemi
R_2^*	: 2.kullanıcı için hedeflenen hız denklemi
P^2	: Servis kesinti olasılığı
h_{111}	: Verici 1. anten ile 1.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{211}	: Verici 2. anten ile 1.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{112}	: Verici 1. anten ile 2.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{212}	: Verici 1. anten ile 2.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
x_{111}	: Verici 1. antenden 1.kullanıcının 1.Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{211}	: Verici 2. antenden 1.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{112}	: Verici 1. antenden 2.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{212}	: Verici 2. antenden 2.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
y_1^1	: 1. Zaman diliminde alınan işaret
y_1^2	: 2. Zaman diliminde alınan işaret
$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \end{bmatrix}$	: 1. Kullanıcı Alıcı tarafından alınan işaret matrisi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^1 \\ \tilde{s}_2^1 \end{bmatrix}$	: 1. Kullanıcı birleştirici çıkışında alınan işaret matrisi
γ_{s_1}	: 1. Sembol için alınan SINR
γ_{s_2}	: 2. Sembol için alınan SINR
$\begin{bmatrix} y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix}$	: 2. Kullanıcı Alıcı tarafından alınan işaret matrisi
$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^2 \\ \tilde{s}_2^2 \end{bmatrix}$	: 1. Kullanıcı birleştirici çıkışında alınan işaret matrisi
h_{111}	: Verici 1. anten ile 1.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{121}	: Verici 1. anten ile 1.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
h_{112}	: Verici 1. anten ile 2.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{122}	: Verici 1. anten ile 2.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
h_{211}	: Verici 2. anten ile 1.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{221}	: Verici 2. anten ile 1.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{212}	: Verici 2. anten ile 2.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{222}	: Verici 2. anten ile 2.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
x_{111}	: Verici 1. antenden 1.kullanıcının 1.Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{121}	: Verici 1. antenden 1.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{112}	: Verici 1. antenden 2.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{122}	: Verici 1. antenden 2.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{211}	: Verici 2. antenden 1.kullanıcının 1.Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{221}	: Verici 2. antenden 1.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{212}	: Verici 2. antenden 2.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{222}	: Verici 2. antenden 2.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
y_2^1	: 1. Zaman diliminde alınan sinyal
y_2^2	: 2. Zaman diliminde alınan sinyal
$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \\ y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix}$	: 1. Kullanıcı tarafından alınan işaret matrisi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

h_2	: Verici ile 3.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
y_3	: 3.kullanıcı tarafından alınan sinyal
γ_{13}	: 3.kullanıcı işaret gürültü oranı
γ_{23}	: 3.kullanıcı işaret gürültü oranı
y_3	: 3.kullanıcı tarafından alınan sinyal
γ_{13}	: 3.kullanıcı işaret gürültü oranı
γ_{23}	: 3.kullanıcı işaret gürültü oranı
γ_3	: 3.kullanıcı işaret gürültü oranı
γ_{13}	: 3.kullanıcı işaret gürültü oranı
γ_{23}	: 3.kullanıcı işaret gürültü oranı
γ_3	: 3.kullanıcı işaret gürültü oranı
R_{13}	: 3.kullanıcı hız denklemi
R_{23}	: 3.kullanıcı hız denklemi
R_3	: 3.kullanıcı hız denklemi
R_3^*	: 3.kullanıcı için hedeflenen hız denklemi
P^{13}	: 3.kullanıcı servis kesinti olasılığı
P^{23}	: 3.kullanıcı servis kesinti olasılığı
P^{33}	: 3.kullanıcı servis kesinti olasılığı
P^3	: 1.kullanıcı servis kesinti olasılığı
h_{111}	: Verici 1. anten ile 1.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{211}	: Verici 2. anten ile 1.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
h_{121}	: Verici 1. anten ile 2.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{221}	: Verici 2. anten ile 2.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
h_{131}	: Verici 1. anten ile 3.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{231}	: Verici 2. anten ile 3.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
x_{111}	: Verici 1. antenden 1.kullanıcının 1.Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{112}	: Verici 1. antenden 2.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{113}	: Verici 1. antenden 3.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{211}	: Verici 2. antenden 1.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{212}	: Verici 2. antenden 2.kullanıcının 1.Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{213}	: Verici 2. antenden 3.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

y_3^1	: 1.zaman diliminde alınan işaret
y_3^2	: 2.zaman diliminde alınan işaret
$\begin{bmatrix} y_3^1 \\ y_3^{*2} \end{bmatrix}$	: 3.kullanıcı alınan işaret matrisi
$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^3 \\ \tilde{s}_2^3 \end{bmatrix}$	: 3. Kullanıcı birleştirici çıkışında alınan işaret matrisi
h_{111}	: Verici 1. anten ile 1.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{211}	: Verici 2. anten ile 1.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{121}	: Verici 1. anten ile 1.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
h_{221}	: Verici 2. anten ile 1.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
h_{112}	: Verici 1. anten ile 2.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{212}	: Verici 2. anten ile 2.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{122}	: Verici 1. anten ile 2.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
h_{222}	: Verici 2. anten ile 2.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
h_{113}	: Verici 1. anten ile 3.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{213}	: Verici 2. anten ile 3.kullanıcının alıcı 1. Anten arasındaki kanal
h_{123}	: Verici 1. anten ile 3.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
h_{223}	: Verici 2. anten ile 3.kullanıcının alıcı 2. Anten arasındaki kanal
x_{111}	: Verici 1. antenden 1.kullanıcının 1.Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{211}	: Verici 2. anten ile 1.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{121}	: Verici 1. anten ile 1.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{221}	: Verici 2. anten ile 1.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{112}	: Verici 1. anten ile 2.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{212}	: Verici 2. anten ile 2.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{122}	: Verici 1. anten ile 2.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{222}	: Verici 2. anten ile 2.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{113}	: Verici 1. anten ile 3.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{213}	: Verici 2. anten ile 3.kullanıcının 1. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{123}	: Verici 1. anten ile 3.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü
x_{223}	: Verici 2. anten ile 3.kullanıcının 2. Antenine gönderilen kod sözcüğü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

AWGN	: Additive White Gaussian Noise
BER	: Bit Error Rate
CDMA	: Code Division Multiple Access
CD-NOMA	: Code Domain-Non Ortogonal Multiple Access
EGC	: Equal Gain Combining
FD	: Frequency Diversity
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
ICI	: Inter Carrier Interference
LDS-CMA	: Low Density Spreading- Code Division Multiple Access
MLD	: Maximum Likelihood Detector
MLT	: Merkezi Limit Teoremi
MLSE	: Maximum Likelihood Sequence Estimator
MRRC	: Multi-Rate Resource Control
MPA	: Message Passing Algorithm
MUSA	: Multiuser Shared Access
NOMA	: Non Ortogonal Multiple Access
OFDMA	: Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMA	: Orthogonal Multiple Access
OP	: Outage Probabaility
PD-NOMA	: Power Domain-Non Ortogonal Multiple Access
PSK	: Phase Shift Keying
SC	: Superposition Coding
SE	: Spectral Efficiency
SLC	: Square Law Combiner
SIC	: Successive Interference Cancellation
TDMA	: Time Division Multiple Access
TM	: Time Diversity
1G	: 1 Generation

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

2G	: 2 Generation
3G	: 3 Generation
4G	: 4 Generation
5G	: 5 Generation
SINR	: Signal to Interference plus Noise Ratio



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çoklu erişim teknolojisi, kablosuz iletişimin kullanılmaya başlanılmasından 4G'ye (4 Generation, 4G) kadar geçen sürede kablosuz sistemleri ayırt etmek için kullanılmıştır. Birinci nesil için (1 Generation, 1G) frekans bölmeli çoklu erişim (Frequency Division Multiple Access, FDMA), ikinci nesil (2 Generation, 2G) için genellikle zaman bölmeli çoklu erişim (Time Division Multiple Access, TDMA), üçüncü (3 Generation, 3G) nesil için kod bölmeli çoklu erişim (Code Division Multiple Access, CDMA) ve dördüncü nesil (4 Generation, 4G) için dikgen frekans bölmeli çoklu erişim (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) kullanıldı. Bu erişim teknolojilerinin dikgen çoklu erişim sistemleri olan OMA (Orthogonal Multiple Access, OMA) oldukları bilinmektedir. OMA, kullanıcılar arasında girişimi önlemek için ya da daha hafif olması için birebirlerinden farklı olan kullanıcılara zaman, frekans ya da kod boyutunda dikgen kaynaklar tahsis edilir. Kaynakların dikgen tahsis edilmesi ile de karmaşıklığı kabul edilebilir bir seviyede tutarak çoğullama kazancı elde edilmiş olur [1].

Fakat mobil internet kullanıcı sayısındaki hızlı artış beşinci nesil (5 Generation, 5G) için veri trafiğinde çok yüksek bir artışa neden oldu. Nesnelerin internetinin hızlı gelişmesi ile 5G'nin düşük gecikmeli, maliyeti düşük cihazlar ve diğer hizmet türlerinden gelen talebi karşılayabilmesi için kullanıcıların büyük çaplı bağlantılarını karşılaması gerekiyor. Bu gereksinimleri karşılamak için önerilen gelişmiş teknolojilerden biri dikgen olmayan çoklu erişim (Non-orthogonal Multiple Access NOMA) haberleşme teknolojisidir [1].

NOMA'yı OMA'dan farklı kılan kullanıcıların aynı zaman dilimini ve aynı frekans bandını kullanmasına izin vermesidir. Spektral verimlilik (Spectral Efficiency, SE), hücre kenarı veriminin yüksek olması, kanal geri bildiriminin rahat olması (alınan sinyal gücü yeterlidir, kesin kanal durumu bilgisine ihtiyaç yoktur), iletim gücünün düşük olması gibi avantajları

mevcuttur. NOMA teknikleri güç eksenli (Power Domain, PD) ve kod boyutlu (Code Domain, CD) olmak üzere iki kategoridir [2]. Bu tez çalışmasında PD-NOMA tekniği kullanılmıştır.

PD-NOMA’da iki önemli teknik vardır. Bu teknikler verici kısmında süperpozisyon kodlaması (Superposition Coding, SC) diğer adıyla üst üste binme kodlaması da diyebiliriz, diğer teknikse ise alıcı kısmında kullanılan ardışık girişim iptali (Successive Interference Cancellation, SIC) tekniğidir. SC tekniğinde tek bir kaynak tarafından aynı zamanda birkaç kullanıcının bilgisini iletilmesi sağlanır. SC tekniğinde her kullanıcıya kanal koşulları dikkate alınarak bir güç tahsis yapılır. Vericide üst üste binmiş bu kullanıcı sinyallerini iletir. Güç tahsis yapılırken NOMA’da iki faktöre dikkat edilir. Bu faktörler kullanıcılar içinde adaletli olmak ve kullanıcıların hizmet kalitesi gereksinimleri. Adaleti sağlamak için kullanıcılar kanal koşullarına göre sıralanır. Kötü kanal koşullarına sahip kullanıcılara yüksek güç, iyi kanal koşullarına daha düşük güç tahsis edilir. İkinci durumda ise kullanıcılar hizmet kalitesi gereksinimlerine göre sıralanır, güç tahsis bu sıralamaya göre yapılır. Alıcıda ise SIC işlemi kullanılır. Kullanıcıların kaynağa olan uzaklığına göre kanal koşulları farklılık görülür. SIC tekniğinde her kullanıcının mesajı sırayla çözülür. Çözülen her mesaj bir önceki ortak mesajdan çıkarılarak diğer kullanıcıların mesajları çözülmeye devam edilir. İlk çözülen en büyük güç tahsis yapılan kullanıcının mesajıdır. Sonra atanan güç seviyesine göre diğer kullanıcı mesajları çözülmeye devam edilir [3].

1.1ÇALIŞMANIN LİTERATÜRDEKİ YERİ VE AMACI

Literatürde NOMA tekniği ile ilgili birçok çalışma vardır. Bu çalışmalarda sadece NOMA tekniğin kullanıldığı 2 kullanıcılı çalışmalarda vardır [4]. Bu çalışmaların yanında NOMA tekniğini daha verimli bir hale getirebilmek için farklı yöntemler kullanılarak da yapılan çalışmalarda bulunmaktadır. Kullanılan yöntemlerden biride tek verici ve iki alıcıdan oluşan Alamouti-STBC kullanılarak yapılan çalışmalardır [5][6][7]. Farklı anten seçim stratejilerini kullanarak başarımlar değerlendirilmesi yapılmış 2x1 Alamouti-STBC ve NOMA tekniğinin birlikte kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur.[8]. Bu çalışmalardan farklı olarak 2 alıcı ve 2 vericiden oluşan Alamouti-STBC ve NOMA tekniğinin birlikte kullanıldığı gerçek zamanlı çalışmalarda yapılmıştır [9]. Fakat literatürde bildiğimiz kadarıyla 2x2 Alamouti-STBC ve NOMA tekniğinin kullanıldığı güç değişkenine bağlı olarak Bit Hata Oranı (Bit Error Rate,

BER) değişimlerini ve servis kesinti olasılıklarındaki (Outage Probability, OP) değişimleri inceleyen bir benzetim çalışması bulunmamaktadır.

Bu çalışmada farklı uzaklıklardaki 3 kullanıcının olduğu NOMA yapısının, 2x1 Alamouti-STBC NOMA ile 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapılarının ve yine farklı uzaklıklardaki 2 kullanıcının olduğu NOMA yapısının, 2x2 Alamouti-STBC NOMA ile 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapılarının güç değişkenine bağlı olarak benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Benzetimlerde elde edilen sonuçlara göre verilen sistemlerin BER ve OP başarımları karşılaştırılmıştır.

1.2 TEZ PLANI

Bu tez giriş ve sonuç bölümleri dahil olmak üzere 8 bölümden oluşmaktadır ve aşağıdaki gibi organize edilmiştir.

İkinci bölümde kablosuz haberleşme kanalları hakkında bilgi verilmiştir. İlk olarak çok yollu kanal parametrelerinden bahsedilmiş daha sonra ise sönümlmeli kanallar hakkında ve zamanla değişen kanallar hakkında bilgiler verilmiştir. Sonra da Rayleigh ve Nakagami- m sönümlmeli kanallar incelenmiştir

Üçüncü bölümde ise OMA ile NOMA teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. OMA tekniğinin çeşitleri olan sırasıyla FDMA, TDMA, CDMA hakkında bilgi verilerek incelenmiştir. Daha sonra NOMA tekniğinin çeşitleri olan sırasıyla PD-NOMA, CD-NOMA incelenmiştir.

Dördüncü bölümde ise çok girişli çok çıkışlı haberleşme sistemleri (Multi Input Multi Output , MIMO) sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Çeşitleri sırasıyla uzay zaman blok kodları ile iletişim çeşitlemesi, frekans çeşitlemesi, zaman çeşitlemesi ve uzay çeşitlemesi hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra ise birleştirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir ve birleştirme çeşitleri olan seçmeli birleştirme, eşit kazançlı birleştirme, karesel kurallı birleştirme ve tezimizde kullanacağımız en büyük oranlı birleştirme hakkında bilgi verilerek incelenmiştir.

Beşinci bölümde ise tezde kullanacağımız Alamouti kodlama hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmamızda önce 2x1 Alamouti Kodlama hakkında bilgi verilerek incelenmiştir. Daha sonra

2x2 Alamouti kodlama hakkında bilgi verilerek incelenmiştir.

Altıncı bölümde sırasıyla 2 kullanıcı yapıları olan sırasıyla NOMA, 2x1Alamouti-STBC NOMA, 2x2Alamouti-STBC NOMA kod çözme ve hız denklemleri bulundu, sonra ise servis kesinti olasılıkları denklemleri bulundu. Daha sonra 3 kullanıcı yapıları olan sırasıyla NOMA, 2x1Alamouti-STBC NOMA, 2x2Alamouti-STBC NOMA kod çözme ve hız denklemleri bulundu daha sonra servis kesinti olasılıkları denklemleri elde edildi.

Yedinci bölümde ise 2 kullanıcı yapıları olan NOMA, 2x1Alamouti-STBC NOMA, 2x2Alamouti-STBC NOMA yapılarının önce güç değişkenine bağlı olarak simülasyonları gerçekleştirilip önce BER grafiği elde edildi. Önce BER grafikleri karşılaştırıldı. Daha sonra servis kesinti olasılıklarının grafikleri karşılaştırıldı. 2 kullanıcı yapılarından sonra 3 kullanıcı yapıları olan sırasıyla NOMA, 2x1Alamouti-STBC NOMA, 2x2Alamouti-STBC NOMA yapılarının önce güç değişkenine bağlı olarak simülasyonları gerçekleştirilip BER grafiği elde edildi. Önce BER grafikleri karşılaştırıldı. Daha sonra servis kesinti olasılıklarının grafikleri karşılaştırıldı.

BÖLÜM 2

KABLOSUZ HABERLEŞME KANALLARI

Bu bölümde iletilen sinyali etkileyen kanal parametrelerini, iletilen sinyalde genliğini bozan sönümlleme (fading) ve zamanla değişen kanallardan bahsedilmiştir. Daha sonra Rayleigh ve Nakagami-m sönümlemeli kanallar hakkında bilgi verilmiştir.

2.1 ÇOK YOLLU KANAL PARAMETRELERİ

2.1.1 Uyumluluk Bant Genişliği

Kablosuz kanallarda vericiler vasıtasıyla gönderilen sinyallerde yansıma ve saçılma olayları sonucunda gecikme oluşur. Gönderilen işaretin ilk ve son bileşenleri arasında alıcıya ulaşması sırasında zaman farkı oluşur, bu olaya kanalın çok yollu gecikme yayılımı denir. Kanalın düz olarak düşünülen frekans bandına uyumluluk bant genişliği B_{co} denir. Bu sebeple de zamanın herhangi bir noktasında iletilen işaretin spektral bileşenleri kanaldan faz kayması ve eşit bir kazanç ile geçer. Bu iletilen sinyalin spektral bileşenlerindeki en büyük bant genişliğinin B_s , bant uyumluluk bant genişliğinden B_{co} büyük olursa iletilen sinyaller kanalda farklı sönümlemelerden etkilenirler [10].

2.1.2 Uyumluluk Zamanı

Verici ya da alıcıdan herhangi biri hareket ediyorsa, alıcı tarafından alınan sinyalin frekansı vericiden gönderilen sinyalin frekansında, daha büyük veya daha küçük olur. Alıcı ve verici birbirlerine yaklaşıp hareket ediyorsa alıcıdaki sinyalin frekansı büyük, birbirlerinden uzaklaşacak şekilde hareket ediyorsa alınan sinyalin frekansı vericiden çıkan frekansından küçük olur. Bu frekans değerlerinde en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farka Doppler yayılması (Doppler Spread, DS) denilir. Doppler yayılmasının nedeni alıcı veya vericiden

birinin hareketli olması ya da her ikisinin de hareketli olması durumunda verici tarafından gönderilen sinyalin alıcıya çarpması sonucunda Doppler frekansı denilen df olması gerekenden fazla bir frekans içermesidir. Buna Doppler etkisi denilmektedir,

$$f_d = \frac{v \cdot f_c}{c} \cos \theta \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1’de doppler frekansını Hz olarak, v gezgin olan alıcının hızını km/sa olarak, c elektromanyetik dalganın hızını km/sa olarak, f_c taşıyıcı frekansı Hz olarak, θ ise radyan cinsinden alıcı verici arasındaki açıyı ve doğrultuyu verir. Aşağıdaki Denklem 2.2 ise Doppler yayılmasını verir.

$$\Delta f_d = 2 \cdot f_d \quad (2.2)$$

Kanal uyumluk zamanı (Coherence Time, CT) Doppler yayılmasının tersidir ve T_{CO} olarak isimlendirilir. T_{CO} eşitlik 2.3’de ifade edilmiştir.

$$T_{CO} = \frac{1}{\Delta f_d} \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3 ile kanalın yavaş sönmlemeli mi (Slow Fading) ya da hızlı sönmlemeli (Fast Fading) olduğuna karar verebiliriz. T_S sembol süresi, kanal uyumluk zamanı olan T_{CO} ’dan daha düşük ise sönmleme yavaş sönmlemedir, bunun tam tersi durumunda ise kanal hızlı sönmlemelidir. Kanalların modellenmesi ve bu kanallardaki başarımın değerlendirilmesi sonucunda kanalın yavaş ya da hızlı sönmlemeli olduğuna karar verebiliriz. Bu karar verme durumu ise kanalın uyumluluk zamanı olan T_{CO} ’ya bağlıdır [11].

2.2 SÖNÜMLEME

Atmosferde elektromanyetik dalgaların yayılım şekilleri gök dalgası yayılımı, yer dalgası yayılımı ve uzay dalgası biçiminde olur. Kaynak tarafından üretilip vericiden gönderilen işaretler optik olaylar sonucunda alıcıya ulaşır. Bu optik olaylar kırılma, yansıma, girişim ve kırınımıdır. Bu olayların sonucunda çok yollu kanallar vasıtası ile iletilen işaretin, farklı yollarda sönümlemeye maruz kalan çoklu yol bileşenleri alıcıya da farklı bir gecikmeyle ulaşır. Bunun bir sonucu olarak da alıcı tarafında alınan karmaşık değerli işaret vektörleri, işaretin toplam güç seviyesinde farklılıklara neden olur. Bu farklılıklar farklı kanal kazançları ve faz farklarına bağlıdır. Alıcı tarafında alınan bu işaretin toplam güç seviyesindeki bu farklılıklar işaretin toplam güç seviyesini toplanarak bazen artırır, bazen ise azaltır.

Kanalın frekans seçiciliğini Bant genişliği ve sembol süresi, kanalın sönümleme hızını ise Doppler yayılımı belirlemektedir. Kablosuz kanallar sınıflandırılırken zamandaki yayılımına ya da frekanstaki yayılımına bakılır. Zamandaki yayılımına bakılır ise kanal düz sönümlemeli ya da frekans seçici sönümlemeli kanaldır, frekanstaki yayılımına bakılarak ise yavaş ya da hızlı sönümlemeli kanal olarak sınıflandırılır [11].

2.2.1 Düz Kanallar

Sönümlemekten tüm spektral bileşeni etkileniyorsa iletilen sinyalin, bu sönümleme tipine düz sönümleme denir. Bu sönümlemede sinyalin kanalın uyumluluk bant genişliği (coherence) B_{co} , iletilen sinyalin bant genişliğinden B_s den daha büyüktür. Yaklaşık olarak etkin (rms) gecikme yayılımının tersi σ_T uyumluluk bant genişliğidir. Fakat kanalın etkin gecikme yayılımı σ_T , iletilen işaretin sembol periyotundan T_s daha küçüktür [11]. Bu durum eşitsizlik 2.4’de ifade edilmiştir.

$$T_s \gg \sigma_T \text{ veya } B_s \ll B_{co} \quad (2.4)$$

Bu sönümleme tipinin çok yollu olması sağladığı avantaj, işaretin spektral karakteristiğinin alıcıda ulaştığında herhangi bir değişikliğe uğramamasıdır. Dezavantajı ise, yine çok yollu olmasından dolayı kanal kazancının etkilenerek değişimler oluşmasıdır. Bu nedenle de düz

sönümlemeli kanallara ‘genlik değıştiren kanallar’ denilir. Bu kanallar derin sönümlemelere neden olur [10].

2.2.2 Frekans Seçici Kanallar

Sönümlemede spektral bileşenler faz kaymalarından etkilenir ve farklı genlik kazançları varsa, bu sönümleme tipini frekans seçici sönümleme denir. Bu sönümlemede sinyalin kanalın uyumluluk bant genişliği (Coherence) B_{co} , iletilen sinyalin bant genişliğinden B_s den daha küçüktür. Kanalın dürtü cevabında ise, etkin gecikme yayılımı σ_T iletilen işaretin sembol periyotundan T_s daha büyüktür. Eşitsizlik 2.5’de ifade edilmiştir. Bunun soyunucunda ise alıcı tarafından alınan işaret zamanda gecikmiş ve zayıflamış bileşenlerden oluşur. Dolayısıyla işaret bozulmaya uğramış olur. Aslında frekans seçici sönümlemenin sebebi iletilen sembollerin kanal içinde ilerlerken zamanda yayılmasıdır [11].

$$T_s < \sigma_T \text{ veya } B_s > B_{co} \quad (2.5)$$

2.3 ZAMANLA DEĞİŞEN KANALLAR

2.3.1 Yavaş sönümleme

İletilen temel bant değışimi, işaretin değışimine göre daha yavaş değışiyor ise bu kanala yavaş sönümlemeli kanal denilir. Kanal birkaç sembol periyotu boyunca sabit kaldığı farz edilebilir. İşaretin temel bant genişliği B_s , kanalın Doppler yayılımından frekans uzayında daha büyüktür. Eşitsizlik 2.6’da ifade edilmiştir.

$$T_s < \langle T_{co} \text{ veya } B_s \rangle \Delta f_d \quad (2.6)$$

Hareket halindeki kullanıcıların hızları ve temel bant karakteristikleri iletilen işaretin hızlı veya yavaş sönümlemekten etkilenip etkilenmeyeceğini belirler [11].

2.3.2 Hızlı sönümleme

Bir sembol periyodu boyunca bir kanal hızlı bir şekilde değişiyor ise bu kanala hızlı sönümlemeli kanal denir. Eşitsizlik 2.7’de ifade edildiği gibi işaretin sembol periyodu kanalın band uyumluluk zamanından daha büyük olduğunun bir göstergesidir. Doppler yayılımından dolayı frekans yayılımı olduğundan iletilen işaretle bozulmalar meydana gelir.

$$T_s > T_{co} \text{ veya } B_s < \Delta f_d \quad (2.7)$$

Bir kanal hızlı ya da yavaş sönümlemeli olması kanalın düz ya da frekans seçici sönümlemeli olması hakkında bilgi vermez. Uygulamada çok küçük veri hızlarında hızlı sönümleme oluşur.

Sonuçta sembolün periyodu arttıkça iletilen işaretin kanalı frekans seçici sönümlemeden düz sönümlemeye doğru kayar. Kanalın en büyük gecikme yayılımı ve kanalın uyumluluk zamanı (Coherence Time) sınır değerleridir. Aynı zamanda iletilen temel bant genişliği arttıkça kanal düz sönümlemeden frekans seçici sönümlemeye doğru evrilir. Diğer yandan hızlı sönümlemeden yavaş sönümlemeye doğru kanal kayar [10].

2.4 RAYLEIGH VE NAKAGAMI-M SÖNÜMLEME

2.4.1 Rayleigh Sönümleme

Alıcı ile verici arasında görüş hattının olmadığı, alıcı ile verici arasındaki haberleşmenin tümüyle kablosuz olarak yapıldığı, iletilmek istenilen işaretlerin alıcıya yansıma, kırılma ve saçılmalar neticesinde ulaştığı kanal modelidir [12]. Rayleigh kanal modeli frekans seçici olmayan ve yavaş sönümlemeli kanallarda, sinyal düz sönümlemeye maruz kalmış ya da bir çoklu yol bileşenin, alınana zarfının istatistiksel olarak zamanla değişimi ile modellenebilir. İletilen sinyalin çarpımsal bir oranından Frekans seçici olmayan (Düz sönümlemeli kanal) oluşur. Çarpımsal işlemin en az bir sembolünün iletim sırasında sabit olarak kabul edilmesi, kanalın yavaş sönümleme şartıdır. Kanal düz sönümlemeli ise, sönümleme aşağıdaki eşitlik 2.8’deki gibi karmaşık değerli rastgele süreçle ifade edilebilir.

$$h(t) = c_1(t) + jc_2(t) \quad (2.8)$$

$c_1(t)$ ve $c_2(t)$ gerçel değerli Gauss rastgele süreçleridir. Merkezi Limit Teoremine (Merkezi Limit Teoremi, MLT) dayanması Gauss olması sebebidir. MLT' nin anlamı Gauss olmayan rasgele değişkeninin toplamının Gauss dağılımına yakınsadığıdır. Aynı zamanda birbirine dik olan iki Gauss dağılımının toplam zarfının Rayleigh dağılımını verir [13].

Eşitlik 2.8 karmaşık değerli olarak ve sönümlmeli ifade ile aşağıdaki gibi kutupsal biçimde eşitlik 2.9'daki gibide gösterebilir.

$$h(t) = a(t)e^{\theta(t)} \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.9'daki $a(t)=|h(t)|$ zamana bağlı katsayıdır ve eşitlik 2.10'daki gibi ifade edilir.

$$a(t)=\sqrt{c_1^2(t) + c_2^2(t)} \quad (2.10)$$

Kanal yavaş sönümlmeli ise zamandan bağımsız sönümleme aşağıdaki gibi eşitlik 2.11'deki gibi karmaşık değerli rasgele ifade edilebilir.

$$h = c_1 + jc_2 \quad (2.11)$$

Eşitlik 2.11 kutupsal bir biçimde aşağıdaki eşitlik 2.12'deki gibi yazılabilir.

$$h = ae^{\theta(t)} \quad (2.12)$$

Eşitlik 2.10'da aşağıdaki gibi olur.

$$a=\sqrt{c_1^2 + c_2^2} \quad (2.13)$$

Kablosuz iletişimde, verici ve alıcı arasında herhangi bir görüş doğrultusunun olduğu, çevreden yansımış çoklu yol bileşenlerinin alıcıya ulaştığı durumlarda, varyansı $\sigma^2=2$ olan ve eşitlik 2.13'deki c_1 ve c_2 'nin beklenen değeri sıfır olan rastgele değişkenlerdir. Bunun sonucu olarak da karmaşık sönümleme zarfının OYF'si Rayleigh dağılımı olarak eşitlik 2.14'deki gibi verilir [9].

$$p(a) = \frac{a}{\sigma^2} e^{-\frac{a^2}{2\sigma^2}} , a \geq 0 \quad (2.14)$$

Rayleigh düz sönümlemeli kanala temel beyaz gaus gürültüsünün (TBGG) eklenmesi ile alıcıda alınan anlık işaret gürültü oranı (İGO) eşitlik 2.15'deki gibi olur.

$$\gamma = a^2 \frac{E_b}{N_0} \quad (2.15)$$

E_b bit enerjisini, N_0 iki yanlı güç spektral yoğunluğu olan $N_0/2$ olan TBGG'dir. Sönümleme zarfı a Rayleigh dağılımına sahip ise a^2 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) üstel dağılımlıdır ve aşağıdaki eşitlik 2.16'daki gibi verilebilir [13].

$$p_\gamma(\gamma) = \begin{cases} \frac{1}{\bar{\gamma}} & , \gamma \geq 0 \\ 0 & , \gamma < 0 \end{cases} \quad (2.16)$$

$\bar{\gamma}$ anlık İGO γ 'nin istatistiksel ortalamasıdır. Diğer bir ifadeyle beklenen değeridir ($E[\gamma] = \bar{\gamma}$). Bunun sonucu olarak da eşitlik 2.15 ifadesi eşitlik 2.17 deki gibi verilir [13].

$$\bar{\gamma} = E[a^2] \frac{E_b}{N_0} \quad (2.17)$$

2.4.2 Nakagami- m Sönümleme

Eşitlik 2.15 ifadesinde olan a istatistiksel olarak Nakagi- m dağılımına sahipse γ 'nin OYF'si eşitlik 2.18'deki gibidir [13].

$$p_\gamma(\gamma) = \frac{m^m}{\Gamma(m)\bar{\gamma}^m} \cdot \gamma^{m-1} \cdot e^{-\frac{m\gamma}{\bar{\gamma}}} \quad , \gamma \geq 0 \quad (2.18)$$

Burada $\bar{\gamma} = E[a^2] \frac{E_b}{N_0}$ 'dır. $\Gamma(.)$ ifadesi ise gama fonksiyonunu göstermektedir ve aşağıdaki

eşitlik 2.19'daki gösterilmektedir [13][14]. $\Gamma(n) = \int_0^\infty \rho^{n-1} \cdot e^{-\rho} d\rho \quad , n > 0$

$$\Gamma(n) = (n-1)! \quad , n > 0, n: \text{tamsayı} \quad (2.19)$$

$$\Gamma(n) = \frac{1}{n} \Gamma(n+1)$$

$\Gamma(1/2) = \sqrt{\pi}$ ve $\Gamma(3/2) = \sqrt{\pi}/2$ gama fonksiyonunun özel değerlerine örnek olarak verilebilir ve $\Gamma(0) = \infty$ 'dur.

Eşitlik 2.18 ifadesindeki $m=1$ olması durumunda Nakagami- m dağılımı Rayleigh dağılımına dönmüş olur. Anlık İGO ise üstel olur. Sönümleme zarfı a Nakagami- m dağılımına sahip ise, a^2 'nin OYF'si gama dağılımına sahip olur. Sinyal gücündeki dalgalanmalar $m>1$ durumunda Rayleigh sönümlemeye nazaran azalır.



BÖLÜM 3

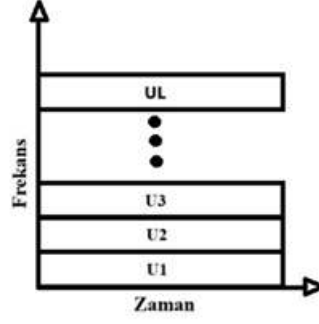
ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ

3.1 DİKGEN ÇOKLU ERİŞİM (OMA)

OMA tekniği frekans ya da kod olarak birden fazla kullanıcının, kaynakları dikgen olarak kullanılarak eş zamanlı paylaşmasına izin verir [16]. Bu sebeptir ki bitişik bloklar arasında nominal bir girişim oluşur. Bu oluşan nominal girişim de alıcıda karmaşıklığa neden olur. Kaynakların nasıl paylaşıldığına göre çeşitli OMA teknikleri geliştirilmiştir. Aşağıda da açıklaması yapılan FDMA, TDMA, CDMA ve OFDMA teknikleridir [17].

3.1.1 Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA)

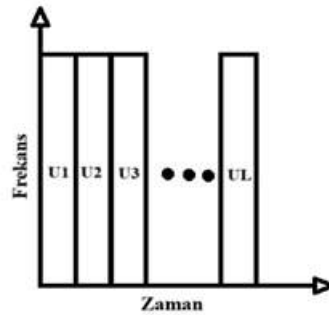
Şekil 3.1’de görüldüğü gibi bant genişliği kullanıcılar arasında bölünerek her kullanıcıya bir frekans aralığı atanır. İletişim süresi boyunca atanan bu frekans aralıkları başka bir kullanıcıya atanmaz. FDMA tekniğinin avantajları uygulanması basittir, karmaşıklığı TDMA ve CDMA tekniklerine göre daha düşüktür, dijital kodlar kullanılarak ve bit hızı düşürülerek kapasite artışı da sağlanabilir, TDMA tekniğine göre daha az bit gerektirir. Dezavantajı ise atanan frekans aralıkları kullanımda değilse başka bir kullanıcı içinde bu frekans aralığı kullanılmaz [18].



Şekil 3.1 FDMA

3.1.2 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA)

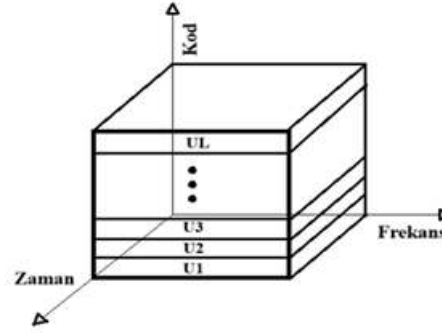
Şekil 3.2’de görüldüğü gibi zaman kaynağı kullanıcı sayısına bağlı (N) olarak bölünerek her kullanıcıya bir zaman dilimi atanır. Atanan bu zaman diliminde Şekilden de anlaşılabacağı gibi tüm bant genişliği o kullanıcıya tahsis edilir. Kullanıcı tüm bant genişliğini kullanabiliyorken sadece $1/N$ zaman dilimini kullanabilmesi TDMA’nın analog iletişim için uygun olmadığını gösterir [19]. Avantajları ise veri aktarımı içinde kullanabilir, veri iletişim hızını 64 kbps’den 120 Mbps ‘ye yükseltebilir, analog bir sistemi dijital bir sisteme yükseltebilen en uygun teknolojidir. Dezavantajı ise tüm kullanıcılar için atanmış bir zaman dilimi varken başka bir hücreye geçen kullanıcılara bir zaman dilimi atanmaz. Bu sebepten kullanıcının geçtiği hücredeki tüm zaman dilimleri dolu ise bağlantı kesilebilir [20].



Şekil 3.2 TDMA

3.1.3 Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)

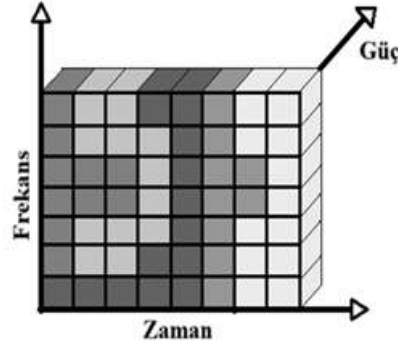
TDMA ve FDMA ‘da her kullanıcıya bir zaman aralığı veya frekans aralığı atanır. şekil 3.3 görüldüğü gibi CDMA tekniğinde ise her kullanıcı aynı zaman aralığında ve aynı frekans aralığında iletim yapabilir. Her kullanıcıya bir kod tahsis edilerek diğeri kullanıcılardan ayrılması ağılanır. TDMA ve FDMA dan farklı olarak kullanıcı sayısı sabit değildir ve yeni kullanıcılar eklenebilir. Kullanıcı sayısındaki artış hizmet kalitesinde bozulmalara neden olur [17].



şekil 3.3 CDMA

3.1.4 Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA)

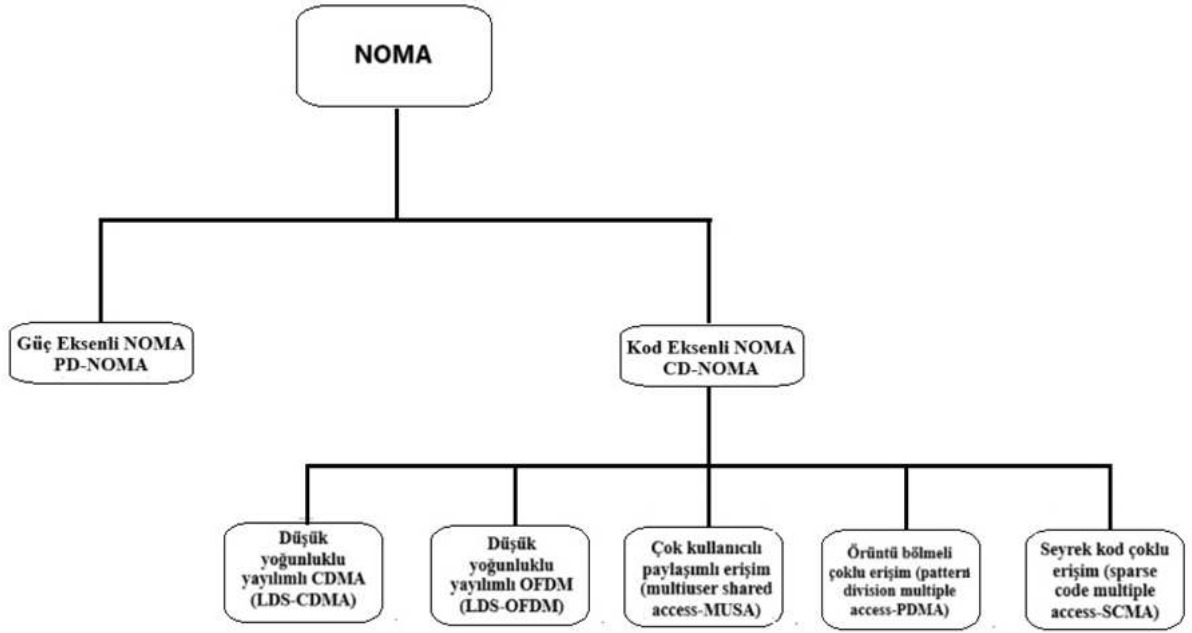
OFDMA tekniğı daha çok 4G teknolojisinde tercih edilir. şekil 3.4’de görüldüğü gibi OFDMA tekniğinde frekans bandını dikgen alt taşıyıcılara bölünür, koruma bandı da kaldırılarak bant genişliğinden tasarruf ağılanır. Üst üste binen alt taşıyıcılar ile daha fazla kullanıcıya hizmet sağlayabilir. Bu özelliklerinden dolayı FDMA tekniğinin daha gelişmiş bir halidir. Ayırt edici özellikleri ise kanal sönümlemesine göre dayanıklılık, yüksek spektral verimlilik ve yüksek esneklik gibi özelliklere sahiptir [21]. Sahip olduğı bu özellikleri sebebi ile yüksek veri hızları hizmeti verebilen çok taşıyıcılı bir teknoloji olduğı söylenebilir [22].



Şekil 3.4 OFDMA

3.2 DİKGİN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM (NOMA)

Kablosuz iletişimde günümüzde bir teknolojik devrim gerçekleşmiştir. Birinci nesil (1G) hücresel ağlarda kilobit/saniye (Kbps) veri hızıyla sesli iletişimi yapılırken, beşinci nesle (5G) geçildiğinde ise gigabit/saniye (Gbps) veri hızıyla etkileşimli multimedya uygulamaları gerçekleştirilir hale geldi. Bu yüksek veri hızı, tam zamanlı bağlantı, kullanıcı sayısındaki sürekli artış, var olan kaynakların verimli kullanılması gerekliliği ve etkileşimli multimedya uygulamaları OMA tekniğinin yetersiz kalmasına neden olmuştur. OMA tekniğinin yetersiz olmasından dolayı yeni teknikler arayışına girilmiştir. Bu arayışın sonunda NOMA tekniği düşük maliyeti, kullanıcı sayısındaki artışı karşılayabilmesi, kaynakları verimli kullanması, kapsama alanının yüksek olmasından dolayı çözüm olarak görülmüştür [23]. NOMA tekniğini var olan kaynakların verimli kullanabilmek için dikgen olmayan bir şekilde kullanıcılara tahsis edilmesine dayanmaktadır. NOMA iki temel kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu temel kategoriler Şekil 3.5’de görülen güç eksenli PD-NOMA ve CD-NOMA’ dır [24].



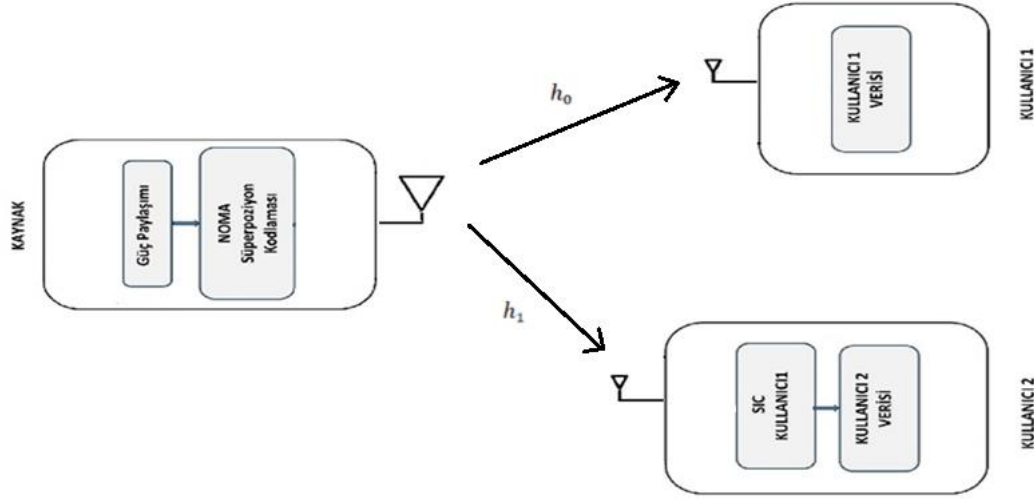
Şekil 3.5 NOMA Temel Kategorileri

3.2.1 Güç Eksenli NOMA (PD-NOMA)

PD-NOMA tekniğinde kullanıcılara farklı güç seviyeleri tahsis edilerek aynı frekans bandında ve aynı zaman diliminde iletim sağlanmış olur. Verici kısmında kullanıcı sinyalleri üst üste bindirilmektedir. Bu yapılan sinyal bindirme işlemine süper pozisyon kodlaması denilir [18]. Süper pozisyon kodlamasında her kullanıcıya vericiye olan mesafesine göre bir güç tahsis edilmektedir. Alıcı kısmında ise sinyallerin çözülmesi için ardışık girişim iptali (Successive Interference Cancellation, SIC) uygulanmaktadır. SIC kullanılarak önce daha zayıf kanal koşullarına sahip kullanıcının yani en büyük güç tahsisinin yapıldığı sinyal algılanır ve diğer sinyaller gürültü olarak kabullenilir. Sonra çözülen sinyal toplam sinyalden çıkarılarak sinyal çözülür. Diğer tüm sinyaller çözülünceye kadar SIC kullanılarak devam edilir [26]. Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Kötü kanal koşullarına sahip kullanıcıya daha yüksek güç, daha iyi kanal koşullarına sahip

kullanıcıya ise daha düşük seviyesinde güç tahsis edilmesi PD-NOMA' nın en dikkat çekici özelliklerindendir. PD-NOMA aracılığıyla kullanıcılar arasında gücün dağılımında bu nedenle adalet sağlanır [27].



Şekil 3.6 PD-NOMA

3.2.2 Kod Eksenli NOMA (CD-NOMA)

CD-NOMA’da 5G kablosuz ağlarda çoklu iletişimi destekleyebilmek için farklı kullanıcılar için farklı kod sözcükleri ataması yapılır [28]. PD-NOMA farklı güç seviyelerine sahip kullanıcıların üst üste binmesine dayanırken, CD-NOMA ise kullanıcıları ayırabilmek için farklı kanal kodlarına, kod dizilerine ve serpiştiricilere dayanır [26].

CD-NOMA’nın farklı şemaları mevcuttur. Serpiştirme, yaymayı ve modülasyonu birleştirme şekilleri bu şemalar arasındaki en önemli farktır. [29]. Mesaj aktarma algoritması (Message Passing Algorithm , MPA) ’ye dayalı olarak yayılımın seyrekliğinden ve düşük yoğunluğundan yararlanarak birden fazla kullanıcıyı algılamanın yürütüldüğü yoğunluğu düşük yayımlı CDMA bulunmuştur. LDS-CDMA sisteminde bütün kullanıcılar veri sembollerini, küçük 19 bir kesir dışında dizi girişleri sıfır olan benzeri olmayan bir düşük yoğunluklu bir yayılma (Low Density

Spreading ,LDS) ile yayar. Bütün kullanıcıların anlık giriş mesajına göre seyrek bir kod çözücü LDS-CDMA kavramını seyrek kodlu çok erişim (Sparse Code Multiple Access, SCMA) tekniğine genişletmiştir. CDMA ise 3GPP tartışmalarında çok kullanıcılı paylaşımlı erişim (Multiuser Shared Access, MUSA) tekniği önerisinin ortaya çıkması için ilham kaynağı olmuştur. LDS-OFDMA ve PDMA gibi tekniklerde bu tekniklere ek olarak ortaya çıkmıştır [30].

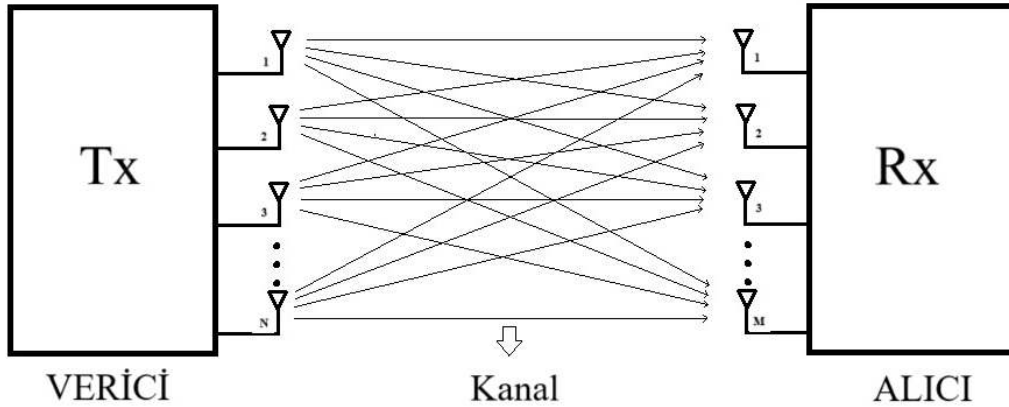




BÖLÜM 4

ÇOK GİRİŞLİ ÇOK ÇIKIŞLI HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Kablosuz haberleşme sistemlerinde verici ve alıcıdaki anten sayısı kablosuz kanalda iletilen işaretin kapasite ve kalitesini artırmaktadır. Üçüncü nesil ve daha yüksek haberleşme teknolojilerine geçildiğinde haberleşmenin daha hızlı ve kaliteli olması için verici ve alıcı tarafında birden fazla antenin olması gerektiği düşünüldü. Tek anten kullanılan sistemlere göre bu tip sistemler harcanan gücü ve bant genişliğini artırmadan, kapasite ve alıcı tarafındaki işaret gürültü oranını (Signal to Noise Ratio, SNR) artırılıp, bit hata oranını (Bit Error Rate, BER) düşürülmesinde etkilidirler [31]. Bu çalışmaların amacı üçüncü nesil kablosuz mobil sistemlerde yüksek veri kapasitesine ve hızına ulaşmaktır [32]. Bir sistem için N adet verici M adet alıcı anten varsa kazanç, kanalım uzaysal çoğullama yöntemi ile $N \times M$ parçaya bölünerek alıcıda her kanalın değerlendirilmesi ile belirlenir [31][16].



Şekil 4.1 Çok Girişli Çok Çıkışlı Haberleşme Sistemleri Blok Diyagram

Alıcının ve vericinin yapısında birden fazla anten kullanıldığı için aralarında birçok iletişim kanalı varmış gibi çoğullaşır. İletişim kanallarının fazla olması, kullarımdaki kanallarda kanallar arası girişim (Inter Carrier Interference, ICI) gibi sorunlarına yol açsa da önemli faydalara da sahiptir [33]. Kanal kapasitesinin arttırılması, veri hızının yükselmesi ve bit hata oranının düşürölmesi gibi önemli faydalara sahip olması tercih sebebidir [34] [35]. Çoğullama yapılmış işaretlerin iletildiğı kanallarda oluşan ICI vericideki antenler arası 10 dalga boyu, alıcı antenler arasında 3 dalga boyu mesafe bırakılarak telafi edilmektedir [31].

4.1 ÇEŞİTLEME TEKNİKLERİ

4.1.1 Uzak-Zaman Blok Kodları ile İletişim Çeşitlemesi

Alıcıdan iletilen işaretin bağımsız ve birden fazla kopyasını elde edilmesine çeşitleme denir [36]. Frekans çeşitlemesi, zaman çeşitlemesi, uzak çeşitlemesi kullanılan çeşitleme yöntemleridir.

4.1.2 Frekans Çeşitlemesi

Bir işaretin farklı frekanslarda ve frekanslar arası minimum bant genişliğinin uyum bant genişliğinden (B_c) fazla olduğı taşıyıcılar ile iletilebilmesi için farklı sönümlemeli kopyalarının oluşturulmasına frekans çeşitlemesi (Frequency Diversity, FD) denir [36]. Daha fazla iletim gücü gerektirmesi, frekans çeşitlemesi sayısı kadar alıcının gerekmesi ve ek bant genişliğine ihtiyaç duyulması bu tekniğin dezavantajlarıdır [36].

4.1.3 Zaman Çeşitlemesi

Farklı zaman dilimlerinde bağımsız sönümlemeye uğramış işaretler elde edilebilmesi için aynı işaretin gönderilmesine zaman çeşitlemesi (Time Diversity, TM) denir. Ardışık zaman dilimleri

arasındaki zaman ayrımı kanal uyum zamanından (T_c) büyük olmalıdır [36]. Gezin biriminin çok yavaş olması durumunda çok fazla gecikmelerin olması ve yüksek iletim gücü gerekliliği dezavantajlarıdır [37].

4.1.4 Uzay Çeşitlemesi

Bu çeşitleme tekniğinde verici ve alıcının herhangi birinde birden fazla anten kullanılarak ya da hem alıcıda hem de vericide birden fazla anten kullanılarak birbirinden bağımsız sönümlemeli kanallardan iletişim sağlanmaktadır. Birbirinden farklı sönümlemeli kanallar elde edebilmek için alıcı ve verici arasındaki uzaklık yeteri kadar olmalıdır. Baz istasyonları için bu mesafe 10 dalga boyu olmalıdır [31] [36].

4.2 BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Vericiden gönderilen işaretlerin farklı ve bağımsız sönümlemeli kanallarda alıcıya iletilir. Alıcıya iletilen işaretin birleştirmenin birden fazla yöntemi vardır [36]. Bu yöntemler seçmeli birleştirme, eşit kazançlı birleştirme, karesel kurallı birleştirme ve en büyük oranlı birleştirmedir.

4.2.1 Seçmeli Birleştirme

Vericiden alıcıya ulaşan işaretlerin arasından gücü en büyük olan işaret seçilir. Bu birleştirmenin daha basit bir uygulamasında önceden bir eşik değeri belirlenir ve alınan sinyalin gücü belirlenen eşik değerinde büyükse işaret seçilir. Fakat işaretin gücü eşik değerinden düşük ise işaretin gücünün en yakın olduğu kanal için anahtarlama yapılır. Belirtilen birleştirme yöntemine seçmeli birleştirme (Selection Combining, SC) denir [36].

4.2.2 Eşit Kazançlı Birleştirme

Birbirinden bağımsız kanallardan gelen işaretlerin demodülasyon yapıldıktan sonra oluşan faz kaymalarını tespit eden ve daha sonra düzelten alıcının eşzamanlı demodülasyon ve sezme yaklaşımıdır. Demodülatör çıkışında fazları düzeltilmiş işaretler toplanıp seziciye gönderilir. Bu birleştirme tekniğine eşit kazançlı birleştirme (Equal Gain Combining ,EGC) denir [36].

4.2.3 Karesel Kurallı Birleştirme

Vericiden alıcıya birbirlerinden bağımsız ve kanallardan dik işaretler gönderilir. Bu durumda alıcıda eş zamanlı olmayan demodülasyon uygulanabilir ve her demodülatörün çıkışında işaretin karesi alınarak bileşenlerin hepsi toplanıp seziciye gönderilir. Bu birleştirme tekniğine karesel kurallı birleştirme (Square Law Combiner, SLC) denir [36].

4.2.4 En Büyük Oranlı Birleştirme

Farklı ve bağımsız kanallarda iletilen işaretlerin etkilendiği sönümleme etkisini ortadan kaldırmak için, anten çeşitliliği çoğunlukla kullanılan bir tekniktir [31]. En büyük Oranlı Birleştirme (Multi-Rate Resource Control, MRRC), alıcı kısmında birden fazla anten kullanan ve alınan sinyalin kalitesini artırmak için birleştirme ya da seçim yapan bir tekniktir

İki kollu MRRC yapısı şekil 4.2 gösterilmektedir. Verici anten ile alıcıdaki 0. Anten arasındaki kanal h_0 , alıcıdaki 1. Anten arasındaki kanalı h_1 ifadeleri olarak kabul edelim.

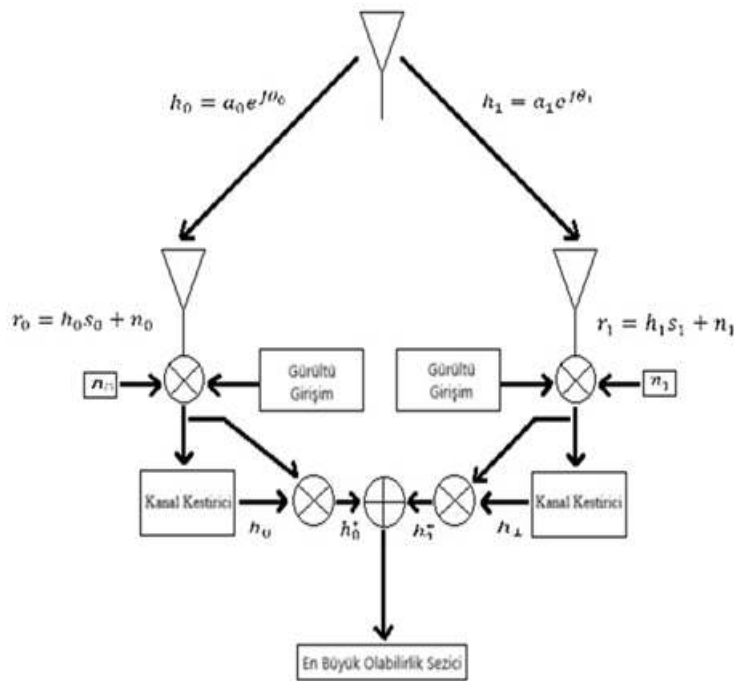
$$h_0 = a_0 e^{j\theta_0} \quad (4.1)$$

$$h_1 = a_1 e^{j\theta_1} \quad (4.2)$$

Alıcı tarafından alınan iki sinyale gürültü ve girişim eklenir. Alıcıda oluşan temel bant işaretler ise;

$$r_0 = h_0 s_0 + n_0 \quad (4.3)$$

$$r_1 = h_1 s_1 + n_1 \quad (4.4)$$



Şekil 4.2 MRRC Yapısı

Eşitlik 4.3 ve eşitlik 4.4'deki n_0 ve n_1 karmaşık gürültü ve girişimi temsil eder. Varsayalım ki n_0 ve n_1 Gauss dağılımına sahip olsun, alınan bu sinyaller için alıcıdaki maksimum olasılık karar kuralı, ancak s_i sinyalini seçmektir.

$$d^2(r_0, h_0 s_i) + d^2(r_1, h_1 s_i) \leq d^2(r_0, h_0 s_k) + d^2(r_1, h_1 s_k), \quad \forall i \neq k \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.5'deki $d^2(x, y)$ x ve y sinyalleri arasındaki öklit bağlantısıdır. Eşitlik 4.6'daki gibi hesaplanır:

$$d^2(x, y) = (x - y)(x^* - y^*) \quad (4.6)$$

İki kollu MRRC için alıcıdaki birleştirme aşağıdaki işlemlerden sonra eşitlik 4.7' deki gibi bulunur.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1^* r_1 \\ \tilde{s}_0 &= h_0^* (h_0 s_0 + n_0) + h_1^* (h_1 s_0 + n_1) \\ \tilde{s}_0 &= (a_0^2 + a_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1^* n_1 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Eşitlik 4.5'deki eşitsizliğini açarak eşitlik 4.6 ve eşitlik 4.7 eşitliklerini kullanarak s_i seçilme durumu ancak elde edebiliriz.

$$(a_0^2 + a_1^2)|s_i|^2 - \tilde{s}_0 s_i^* - \tilde{s}_0^2 s_i \leq (a_0^2 + a_1^2)|s_k|^2 - \tilde{s}_0 s_k^* - \tilde{s}_0^2 s_k \quad \forall i \neq k \quad (4.8)$$

veya eşitlik 4.9'da kullanılabilir.

$$(a_0^2 + a_1^2 - 1)|s_i|^2 - d^2(\tilde{s}_0, s_i^*) \leq (a_0^2 + a_1^2 - 2)|s_k|^2 - d^2(\tilde{s}_0, s_k^*) \quad \forall i \neq k \quad (4.9)$$

Faz kaydırmalı anahtarlama (Phase Shift Keying , PSK) için işaretleri için karar kuralı eşitlik 4.9 eşitsizlikteki gibi basitleştirilebilir.

$$d^2(\tilde{s}_0, s_i^*) \leq d^2(\tilde{s}_0, s_k^*) \quad \forall i \neq k \quad (4.9)$$

Şekil 4.2'den anlaşıldığı gibi maksimum olabilirlik sezici (Maximum Likelihood Detector, MLSE) s_0 'ın maksimum olurlu tahmini $\hat{s}_0$ 'yı üretir.

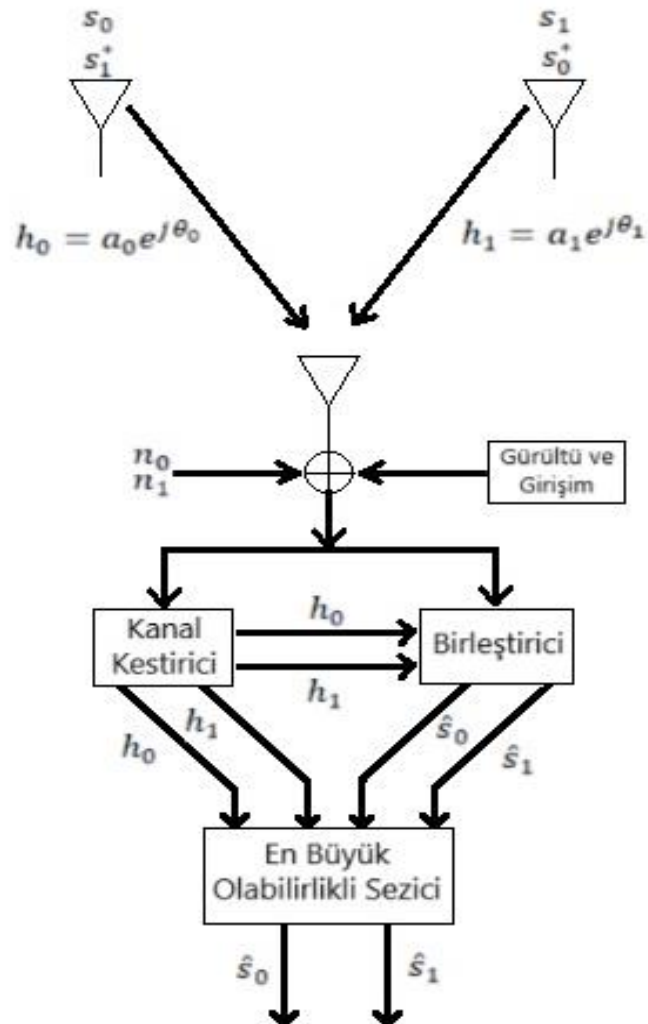




BÖLÜM 5

ALAMOUTİ STBC YAPILARI

5.1 2x1 (2 VERİCİ, 1 ALICI) ALAMOUTİ STBC YAPISI



Şekil 5.1 2x1 Alamouti STBC Yapısı

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi iki verici ve bir alıcı antenden oluşmaktadır 2x1 Alamouti yapısı. Bu kodlama tekniğinde 3 işlem bulunmaktadır [31]. Bu işlevler kodlama, alıcı birleştirme yapısı (MRRC), MLSE sezme için karar kuralıdır.

Vericilerden aynı anda iki adet işaret gönderilir. $T_x: 0$ ’dan gönderilen işarete s_0 , $T_x: 1$ ’den gönderilen işarete ise s_1 diyelim. Bu durumda ikinci simge periyotunda ise $T_x: 0$ ’dan $-s_1^*$ ve $T_x: 1$ ’den ise s_0^* işaretleri gönderilir [23]. Aşağıda Çizelge 2.14’te görülmektedir.

Çizelge 5.1 Vericilerden Gönderilen işaretler

	Verici 0	Verici 1
t Zamanında	s_0	s_1
$t + T$ Zamanında	$-s_1^*$	s_0^*

Kodlama şekilde gösterildiği gibi zamanda yapılmıştır. Şekildekinden farklı olarak kodlamayı frekansta da yapabiliriz. Kodlama frekansta yapıldığı takdirde iki tane simge periyodu yerine iki tane ayrı taşıyıcı kullanmalıyız [31][33].

t zamanında kanalı $T_x: 0$ vericisi ile alıcı arasındaki karmaşık kanal katsayısı h_0 ve $T_x: 1$ vericisi ile alıcı arasındaki kanal katsayısı ise h_1 ’dir. Sönümlenmenin iki ardışık sembol boyunca sabit olduğunu varsayarak [31], Eşitlik 5.1 ve eşitlik 5.2 gibi yazabiliriz.

$$h_0(t) = h_0(t + T) = h_0 = \alpha_0 e^{j\theta_0} \quad (5.1)$$

$$h_1(t) = h_1(t + T) = h_1 = \alpha_1 e^{j\theta_1} \quad (5.2)$$

T sembol süresini ifade eder. Alıcı tarafından alınan sinyalleri de aşağıdaki eşitlik 5.3 ve eşitlik 5.4’deki gibi ifade edebiliriz.

$$r_0 = r(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_o \quad (5.3)$$

$$r_1 = r(t + T) = -h_0 S_1^* + h_1 S_0^* + n_1 \quad (5.4)$$

r_0 ve r_1 , t ve $t + T$ alıcı tarafından alınan sinyallerdir, n_o ile n_1 ise alıcı tarafından alınan gürültülerdir. Alıcı tarafından alınan sinyaller birleştirilmesi Şekildeki 2.12'deki gibi yapılır ve aşağıdaki eşitlik 5.5 ve eşitlik 5.6'deki gibi oluşturulur.

$$\tilde{s}_0 = h_0^* r_0 + h_1^* r_1^* \quad (5.5)$$

$$\tilde{s}_1 = h_1^* r_0 + h_0^* r_1^* \quad (5.6)$$

Eşitlik 5.1, eşitlik 5.2 ve eşitlik 5.3, eşitlik 5.4 numaralı formülleri eşitlik 5.5 ve eşitlik 5.6 denklemlerinde yerine koyarsak,

$$S_0^* = (\alpha_0^1 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_o + h_1^* n_1 \quad (5.7)$$

$$S_1^* = (\alpha_0^1 + \alpha_1^2) s_1 + h_0^* n_1^* + h_1^* n_1 \quad (5.8)$$

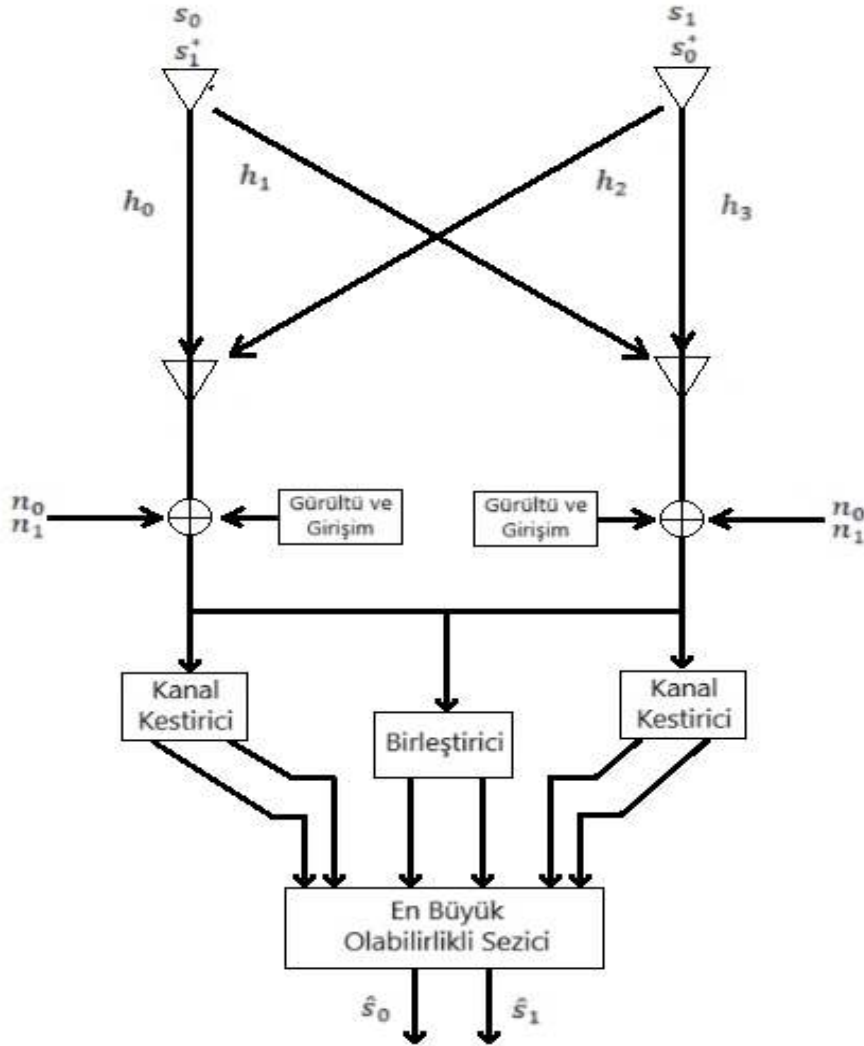
Eşitlik 5.7 ve eşitlik 5.8 yazılabilir.

5.2 2x2 (2 VERİCİ,2 ALICI) ALAMOUTİ STBC YAPISI

Şekil 6.2’te 2 verici ve 2 alıcı anten kullanılarak oluşturulan Alamouti yapısı görülmektedir. Kodlama ve iletim dizisi yapısı 2 verici ve 1 alıcı anteni olan Alamouti yapısıyla aynıdır.

$T_x:0$ ile $R_x:0$ arasındaki kanal h_0 , $T_x:0$ ile $R_x:1$ arasındaki kanal h_1 ’dir.

$T_x:1$ ile $R_x:0$ arasındaki kanal h_2 , $T_x:1$ ile $R_x:1$ arasındaki kanal h_3 ’tür.



Şekil 5.2 2x2 Alamouti STBC Yapısı

Çizelge 5.2 Alıcıda alınan işaretleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 Alıcıda alınan işaretler

	Verici 0	Verici 1
t Zamanında	r_0	r_2
$t + T$ Zamanında	r_1	r_3

Alıcıdaki işaretler aşağıdaki işaretler gibi olur.

$$r_0 = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \quad (5.9)$$

$$r_1 = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \quad (5.10)$$

$$r_2 = h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \quad (5.11)$$

$$r_3 = -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3 \quad (5.12)$$

Birleştirici ise aşağıdaki işaretleri oluşturur.

$$\tilde{s}_0 = h_0^* r_0 + h_1 r_1^* + h_2^* r_2 + h_3 r_3^* \quad (5.13)$$

$$\tilde{s}_1 = h_1^* r_0 - h_0 r_1^* + h_3^* r_2 - h_2 r_3^* \quad (5.14)$$

Alıcı ve Birleştiricideki işaret denklemleri kullanılarak eşitlik 5.15 ve eşitlik 5.16 oluşturulur.

$$\tilde{s}_0 = (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* + h_2^* n_2 + h_3 n_3^* \quad (5.15)$$

$$\tilde{s}_1 = (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_1 - h_0 n_1^* + h_1^* n_0 - h_2^* n_3 + h_3^* n_2 \quad (5.16)$$

Yukarıdaki eşitlik 5.15 ve eşitlik 5.16'de elde edilen bu işaretler MLSE'ye gönderilir, s_0 ve s_1 için (PSK işaretleri için) aşağıdaki eşitlik 5.17 ve eşitlik 5.18 karar ölçütü olarak kullanılır.

$$(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1)|s_i|^2 - d^2(\tilde{s}_0, s_i^*) \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1)|s_k|^2 - d^2(\tilde{s}_0, s_k^*) \quad (5.17)$$

yada

$$d^2(\tilde{s}_0, s_i) \leq d^2(\tilde{s}_1, s_k) , \quad \forall i \neq k \quad (5.18)$$

ise s_i işareti seçilir.

BÖLÜM 6

SİSTEM MODELİ

Bu tezde birbirinden farklı uzaklıklarda bulunan ($d_1 > d_2$) 2 kullanıcı (U_1, U_2) ve uzaklıklardaki ($d_1 > d_2 > d_3$) 3 kullanıcı (U_1, U_2, U_3) geleneksel NOMA ve 2x1 (2 Verici Anten -1 Alıcı Anten) Alamouti-STBC NOMA yapısı ile NOMA ve 2x2 (2 Verici Anten -1 Alıcı Anten) Alamouti-STBC NOMA yapısının Rayleigh sönümlemeli kanalda güç (P) değişkinine bağlı olarak benzetimleri gerçekleştirilip BER değişimleri ve Servis Kesinti olasılıkları başarımları incelenmiştir.

2x1 (2 Verici Anten -1 Alıcı Anten) Alamouti-STBC NOMA ve 2x2 (2 Verici Anten -1 Alıcı Anten) Alamouti-STBC NOMA yapılarının kaynak ile kullanıcılar arasındaki kanal katsayıları eşitlik 6.1 matrisi ile ifade edilir.

$$h_{su_l} = \begin{bmatrix} h_{s^1 u_l^1} & h_{s^1 u_l^2} \\ h_{s^2 u_l^1} & h_{s^2 u_l^2} \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

Adil güç dağılım eşitlik 6.2 gözetilerek en kötü kanal koşullarına sahip olan kullanıcıya ve yüksek güç tahsis edilmesine dikkat edilerek tüm kullanıcılara güç tahsis edilir.

$$\sum_{l=1}^{Nu} a_l = 1 \quad (6.2)$$

Vericide bulunan kaynaktan üretilen sembollerin üç kullanıcıya da iletmek amacıyla Süperpozisyon sinyal eşitlik 6.3'teki gibi kodlaması yapılır

$$s = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2 + \sqrt{a_3}x_3) \quad (6.3)$$

(S_1, S_2) ve uzay zaman eksenleri kod sözcüğü eşitlik 6.4 matrisi ve eşitlik 6.5 ile ifade edilmiştir;

$$S = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1^* \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

$$S_m = \sum_{l=1}^{Nu} \sqrt{\frac{a_l P}{2}} x_{lm}, \quad m = \{1, 2\} \quad (6.5)$$

Verici tarafındaki 1. Antenden gönderilen kod sözcüğü eşitlik 6.6 ile ifade edilmiştir.

$$S_1 = \sum_{l=1}^{Nu=3} \sqrt{\frac{a_l P}{2}} x_{l1} = \sqrt{\frac{a_1 P}{2}} x_{11} + \sqrt{\frac{a_2 P}{2}} x_{21} + \sqrt{\frac{a_3 P}{2}} x_{31}, \quad 1. \text{ Anten} \quad (6.6)$$

Verici tarafındaki 2. Antenden gönderilen kod sözcüğü eşitlik 6.7 ile ifade edilmiştir.

$$S_2 = \sum_{l=1}^{Nu=3} \sqrt{\frac{a_l P}{2}} x_{l2} = \sqrt{\frac{a_1 P}{2}} x_{12} + \sqrt{\frac{a_2 P}{2}} x_{22} + \sqrt{\frac{a_3 P}{2}} x_{32}, \quad 2. \text{ Anten} \quad (6.7)$$

Kod sözcüğünün satırları birinci ve ikinci zamanda gönderilen sembolleri bildirir. S_1 ve S_2 1. Anten ve 2. Antenden gönderilen Süperpozisyon kodlanmış Alamouti-NOMA sembollerini oluşturmaktadır. $[\cdot]^*$ kompleks eşleniğini ifade etmektedir. Nu Kullanıcı sayısını, P vericideki iletim gücünü, a_l kullanıcıya tahsis edilen güç katsayısını, x_{lm} ise modüle edilmiş sembol çiftini temsil etmektedir.

$$r_l = \{r_{li}\}_{2 \times 2}$$

Kullanıcı 1 tarafından alınan sinyal eşitlik 6.8 matrisi ile ifade edilir.

$$r_1 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{11} \\ r_{12} & r_{12} \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

Kullanıcı 2 tarafından alınan sinyal eşitlik 6.9 matrisi ile ifade edilir.

$$r_2 = \begin{bmatrix} r_{21} & r_{21} \\ r_{22} & r_{22} \end{bmatrix} \quad (6.9)$$

Kullanıcı 2 tarafından alınan sinyal eşitlik 6.10 matrisi ile ifade edilir.

$$r_3 = \begin{bmatrix} r_{31} & r_{31} \\ r_{32} & r_{32} \end{bmatrix} \quad (6.10)$$

$$r_l = S_l h_{su_l} \vdash w_l, w_l = \{w_{li}\}_{2 \times 2} \quad i, \text{ zaman indeksidir.}$$

Toplamsal beyaz Gaus gürültüsünü (Additive White Gaussian Noise, AWGN) w_l ifade edilmektedir.

$$r_l = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1^* \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} h_{s^1 u_l^1} & h_{s^1 u_l^2} \\ h_{s^2 u_l^1} & h_{s^2 u_l^2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{l1} & w_{l1} \\ w_{l2} & w_{l2} \end{bmatrix} \quad (6.11)$$

$$r_l = \begin{bmatrix} s_1 h_{s^1 u_l^1} + s_2 h_{s^2 u_l^1} + w_{l1} & s_1 h_{s^1 u_l^2} + s_2 h_{s^2 u_l^2} + w_{l1} \\ -s_2^* h_{s^1 u_l^1} + s_1^* h_{s^2 u_l^1} + w_{l2} & h_{s^1 u_l^2} + s_1^* h_{s^2 u_l^1} + w_{l2} \end{bmatrix} \quad (6.12)$$

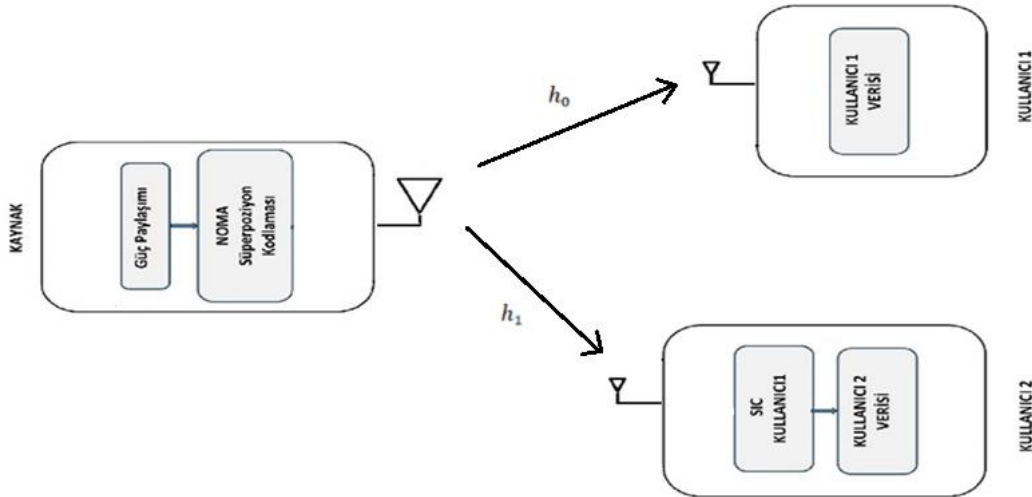
$$l = 1,2,3$$

Denklem 6.12'deki r_l , l . Kullanıcının 1. ve 2. Zaman dilimlerindeki aldıkları işareti ifade etmektedir.

$$\tilde{S}_{1,2} = \begin{bmatrix} h_0^* & h_1 \\ h_1^* & -h_0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} r_0 \\ r_1^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_2^* & h_3 \\ h_3^* & -h_2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} r_2 \\ r_3^* \end{bmatrix} \quad (6.13)$$

Bu kombine edilmiş çıkış en büyük olabilir detektör (Maximum Likelihood Detector, MLD) 'a gider ve daha sonra işaretler ardışıl girişim giderme SIC uygulanarak en kötü kanal koşullara sahip kullanıcıdan (Uzak kullanıcıya) başlayarak NOMA dekodlama yapılarak çözülür.

6.1 2 KULLANICILI NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ



Şekil 6.1 İki Kullanıcılı NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı

U_1 ve U_2 kullanıcılarına gönderilecek sinyaller için Süperpozisyon kodlaması yapılır.

$$s = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2) \quad (6.14)$$

U_1 kullanıcısı tarafından alınan sinyal:

$$y_1 = sh_0 + n_0 \quad (6.15)$$

$$y_1 = (\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2)h_0 + n_0$$

Burada $(a_1 > a_2 \text{ ve } \sum_{l=1}^{Nu} a_l = 1)$ şartını sağlamalı.

U_1 kullanıcısı verici antenden gelen x_1 'i çözecek. U_1 kullanıcısı için İşaret girişim artı gürültü Oranı (Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR) eşitlik 6.16'daki gibidir.

$$\gamma_1 = \frac{p a_1 E(|h_0|^2)}{p(a_2)E(|h_0|^2) + n_0} \quad (6.16)$$

U_2 kullanıcısı tarafından alınan sinyal:

$$y_2 = sh_1 + n_1 \quad (6.17)$$

$$y_2 = (\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2)h_1 + n_1$$

Şimdi U_2 kullanıcısı y_2 sinyalinin x_1 'i çözecek ve ardından SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldıracak. Bu işlemden sonra oluşan İGO eşitliklerinden biri eşitlik 6.18'deki gibidir.

$$\gamma_{12} = \frac{p a_1 E(|h_1|^2)}{p(a_2)E(|h_1|^2) + n_0} \quad (6.18)$$

U_2 tarafından yapılan SIC işleminden sonra kullanıcıda oluşan sinyal aşağıdaki gibidir.

$$y_2 = (\sqrt{a_2} x_2) h_1 + n_1 \quad (6.19)$$

Bu işlemden sonra U_2 oluşan diğer İGO ifadesi eşitlik 6.20'deki gibidir.

$$\gamma_2 = \frac{p a_2 E(|h_1|^2)}{n_0} \quad (6.20)$$

6.1.1 2 Kullanıcılı NOMA Yapısının Servis Kesinti Olasılığı

U_1 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı için ulaşılabir hız denklmi x_1 için denklem 6.21'de ifade edilmiştir;

$$R_1 = \log_2(1 + \gamma_1) \quad (6.21)$$

Daha önce U_1 kullanıcısı için γ_1 eşitlik 6.16'da ifade edilmiştir.

$$\gamma_1 = \frac{p a_1 E(|h_0|^2)}{p(a_2)E(|h_0|^2) + n_0} \quad (6.16)$$

Eşitlik 6.16, denklem 6.21' de yerine konulduğunda denklem 6.22'deki ulaşılabir hız denklemini elde edilir.

$$R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{p a_1 E(|h_0|^2)}{p(a_2)E(|h_0|^2) + n_0} \right) \quad (6.22)$$

U_1 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_1^* 'dir.

Servis kesinti olasılığı ise eşitlik 6.23'de belirtilmiştir.

$$P^1 = P_r(R_1 < R_1^*) \quad (6.23)$$

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığının hesaplanabilmesi için x_1 ve x_2 için ulaşılabilir hız denklemleri denklem 6.24 ve denklem 6.25'de ifade edilmiştir;

$$R_{12} = \log_2(1 + \gamma_{12}) \quad (6.24)$$

$$R_2 = \log_2(1 + \gamma_2) \quad (6.25)$$

γ_{12} ve γ_2 sırasıyla eşitlik 6.18 ve eşitlik 6.20'de ifade edilmiştir.

$$\gamma_{12} = \frac{p a_1 E(|h_1|^2)}{p(a_2)E(|h_1|^2) + n_0} \quad (6.18)$$

$$\gamma_2 = \frac{p a_2 E(|h_1|^2)}{n_0} \quad (6.20)$$

Eşitlik 6.18, denklem 6.24'de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan eşitlik 6.26 elde edilir.

$$R_{12} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_1|^2)}{p(a_2)E(|h_1|^2)+n_0} \right) \quad (6.26)$$

Eşitlik 6.20, denklem 6.25’de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan eşitlik 6.27 elde edilir.

$$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_2E(|h_1|^2)}{n_0} \right) \quad (6.27)$$

U_2 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_2^* ’dir.

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı x_2 için hesaplanabilmesi için gerekli olan eşitlikler eşitlik 6.28 ve eşitlik 6.29 ile ifade edilmiştir

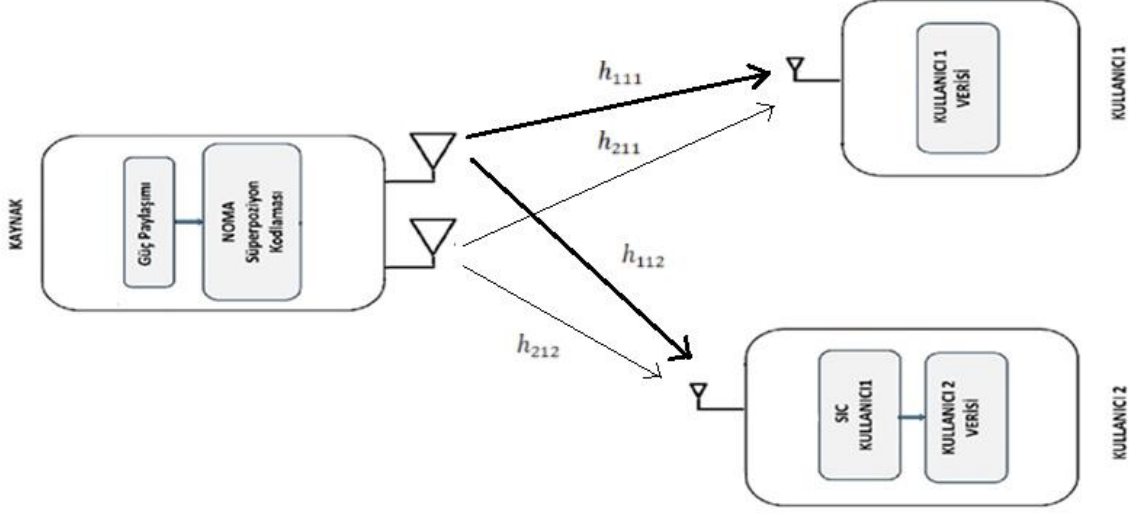
$$P^{12} = P_r(R_{12} < R_1^*) \quad (6.28)$$

$$P^{22} = P_r(R_2 < R_2^*) \quad (6.29)$$

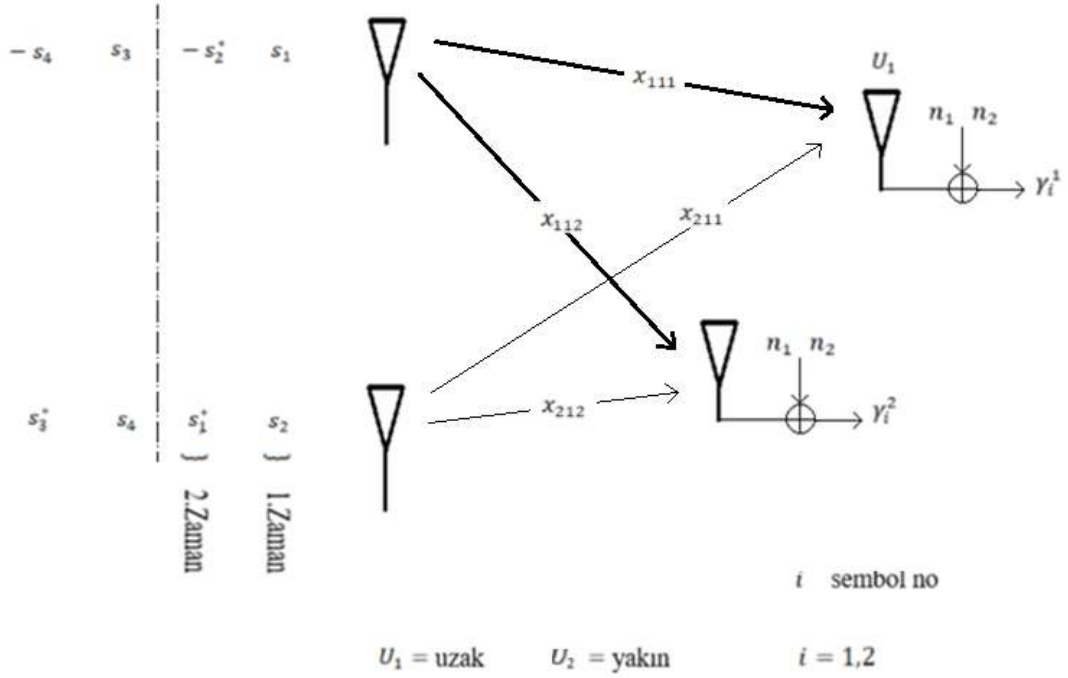
Eşitlik 6.28, eşitlik 6.29 kullanılarak U_2 için servis kesinti olasılığı eşitlik 6.30 bulunur.

$$P^2 = P_r(R_{12} < R_1^*) + (P_r(R_2 < R_2^*)P_r(R_{12} < R_1^*)) \quad (6.30)$$

6.2 2 KULLANICILI 2X1ALAMOUTİ-STBC NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ



Şekil 6.2 2 Kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı



Şekil 6.3 2 Kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA'da Sinyal Yapısı

U_1 kullanıcısı tarafından alınan sinyaller aşağıdaki gibidir:

$$y_1^1 = s_1 h_{111} + s_2 h_{211} + n_1$$

1.zaman diliminde alınan işaret

$$y_1^2 = -s_2^* h_{111} + s_1^* h_{211} + n_2$$

2.zaman diliminde alınan işaret

Çizelge 6.1 2 Kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC NOMA Kanallar

Alıcı	h_{111}	h_{121}	1X1
Anten	h_{112}	h_{212}	2X1
	U_1	U_2	

$$y_1^1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112})h_{111} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212})h_{211} + n_1 \quad (6.31)$$

$$y_1^2 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(-x_{211}^*) + \sqrt{a_2}(-x_{212}^*))h_{111} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111}^* + \sqrt{a_2}x_{112}^*)h_{211} + n_2 \quad (6.32)$$

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112}) \\ \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \quad (6.33)$$

Burada y_1^1 ilk zaman diliminde alınan işaret iken y_1^{*2} ikinci zaman diliminde alınır. Denklemlerde görüldüğü gibi y_1^1 orijinal sembollerden oluşurken y_1^2 bu sembollerin karmaşık eşleniklerinden oluşmaktadır. h_{111} ve h_{211} 'nin kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. Birleştirici çıkışından alınan $\hat{s}_1^1$ ve $\hat{s}_2^1$ sembolleri en büyük olabilirlik seziciye verilir ve orijinal gönderilen $\hat{s}_1^1$ ve $\hat{s}_2^1$ sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında sembolleri aşağıdaki gibidir (EK A) [31].

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^1 \\ \tilde{s}_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111}^* & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right)$$

$$= \begin{bmatrix} (|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112}) + h_{111}^*n_1 + h_{211}n_2^*) \\ (|h_{211}|^2 + |h_{111}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212}) + h_{211}^*n_1 - h_{111}n_2^*) \end{bmatrix} \quad (6.34)$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. U_1 kullanıcısı 1.antenden gelen x_{111} 'i çözer ve 2. Antenden gelen x_{211} 'i çözer.

Burada $(a_1 > a_2)$ ve $\sum_{l=1}^{Nu} a_l = 1$ şartını sağlamalı.

1. Sembol için SINR ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\gamma_{s_1} = \frac{pa_1E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)}{p(a_2)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2) + 2n_0} \quad (6.35)$$

2. Sembol için SINR ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\gamma_{s_2} = \frac{pa_1E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)}{p(a_2)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2) + 2n_0} \quad (6.36)$$

U_2 kullanıcısı, y_2 'den x_{112} ve x_{212} 'yi çözer. U_2, U_1 'den daha güçlü olduğundan x_{112} daha az güçle gönderilir. Burada U_1 uzak ve zayıf, U_2 orta uzaklık ve güçte ve U_3 yakın ve güçlü kullanıcıyı göstermektedir. Bu yüzden y_2 'de x_{111} 'in gücü daha baskın olur. Daha sonra y_2 'de x_{111} 'i elde etmek için doğrudan kod çözme işlemi uygulanır ve SIC uygulanarak x_{111} çıkarılır. Ardından x_{112} ve x_{212} çözülür. x_{112} ; 1. Antenden 1. zamanda iletilen sembolü ifade ederken x_{212} ; 2. Antenden 1. zamanda iletilen sembolü göstermektedir.

U_2 kullanıcısı tarafından alınan sinyaller aşağıdaki gibidir:

$$y_2^1 = s_1 h_{121} + s_2 h_{221} + n_1 \quad \text{1.zaman diliminde alınan işaret}$$

$$y_2^2 = -s_2^* h_{121} + s_1^* h_{221} + n_2 \quad \text{2.zaman diliminde alınan işaret}$$

$$y_2^1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112})h_{121} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212})h_{221} + n_1 \quad (6.37)$$

$$y_2^2 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(-x_{211}^*) + \sqrt{a_2}(-x_{212}^*))h_{121} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111}^* + \sqrt{a_2}x_{112}^*)h_{221} + n_2 \quad (6.38)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112}) \\ \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.39)$$

Burada y_1^1 ilk zaman diliminde alınan işaret iken y_1^{*2} ikinci zaman diliminde alınır. Denklemlerde görüldüğü gibi y_1^1 orijinal sembollerden oluşurken y_1^2 bu sembollerin karmaşık eşleniklerinden oluşmaktadır. h_{121} ve h_{221} 'nin kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. İkinci kullanıcının birleştirici çıkışından alınan $\tilde{s}_1^2$ ve $\tilde{s}_2^2$ sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orijinal gönderilen $\hat{s}_1^2$ ve $\hat{s}_2^2$ sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında sembolleri aşağıdaki gibidirler (EK B) [31]

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^2 \\ \tilde{s}_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{121}^* & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right)$$

$$= \left[\begin{array}{l} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112}) + h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* \\ (|h_{221}|^2 + |h_{121}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212}) + h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^*) \end{array} \right] \quad (6.40)$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. Şimdi U_2 kullanıcısı y_2 sinyalinden x_{111} ve x_{211} 'i çözer, ardından SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldırır. Eşitlik 6.40'da verilmiştir. U_2 kullanıcısının SINR eşitliklerinden biri eşitlik 6.41'de verilmiştir.

$$\gamma_{12i} = \frac{pa_1E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)}{p(a_2)E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2) + 2n_0}, \quad i = 1, 2 \quad (6.41)$$

Burada i 1. ve 2. zamanda iletilen sembolü göstermektedir. SIC işleminden sonra alıcının birleştirici çıkışından elde edilen işaret aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^{2'} \\ \tilde{s}_2^{2'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_2}x_{112}) + h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^*) \\ (|h_{221}|^2 + |h_{121}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_2}x_{212}) + h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^*) \end{bmatrix} \quad (6.42)$$

Böylece U_2 kullanıcısı için diğer SINR ifadesi aşağıdaki gibi bulunur:

$$\gamma_{2i} = \frac{pa_2E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)}{2n_0}, \quad i = 1, 2 \quad (6.43)$$

6.2.1 2 Kullanıcılı 2x1 Alamouti-STBC NOMA Yapısının Servis Kesinti Olasılığı

U_1 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı için ulaşılabir hız denklemi x_{111} için denklem 6.44'de ifade edilmiştir;

$$R_1 = \log_2(1 + \gamma_1) \quad (6.44)$$

Daha önce U_1 kullanıcısı için γ_1 eşitlik 6.35’de ifade edilmiştir.

$$\gamma_1 = \frac{p a_1 E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)}{p(a_2)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2) + 2n_0} \quad (6.35)$$

Eşitlik 6.35 denklem 6.44’de yerine konulduğunda eşitlik 6.45’de verilen ulaşılabilir hız denklemini elde edilir.

$$R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{p a_1 E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)}{p(a_2)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2) + 2n_0} \right) \quad (6.45)$$

U_1 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_1^* ’dir.

Servis kesinti olasılığı ise eşitlik 6.46’ da belirtilmiştir.

$$P^1 = P_r(R_1 < R_1^*) \quad (6.46)$$

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığının hesaplanabilmesi için x_{111} ve x_{211} için ulaşılabilir hız denklemleri denklem 6.47 ve denklem 6.48’de ifade edilmiştir:

$$R_{12} = \log_2(1 + \gamma_{12}) \quad (6.47)$$

$$R_2 = \log_2(1 + \gamma_2) \quad (6.48)$$

γ_{12} ve γ_2 sırasıyla eşitlik 6.41 ve eşitlik 6.43’de ifade edilmiştir.

$$\gamma_{12} = \frac{pa_1E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2)}{p(a_2)E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2)+2n_0} \quad (6.41)$$

$$\gamma_2 = \frac{pa_2E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2)}{2n_0} \quad (6.43)$$

Eşitlik 6.41, denklem 6.47’de yerine konulduğunda denklem 6.49 ile verilen ulaşılabilir hız denklemini elde edilir.

$$R_{12} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2)}{p(a_2)E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2)+2n_0} \right) \quad (6.49)$$

Eşitlik 6.43, denklem 6.48’de yerine konulduğunda denklem 6.50 ile verilen ulaşılabilir hız denklemini elde edilir.

$$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_2E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2)}{2n_0} \right) \quad (6.50)$$

U_2 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_2^* ’dir.

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı x_2 için hesaplanabilmesi için gerekli olan eşitlikler eşitlik 6.51 ve eşitlik 6.52 ile verilir.

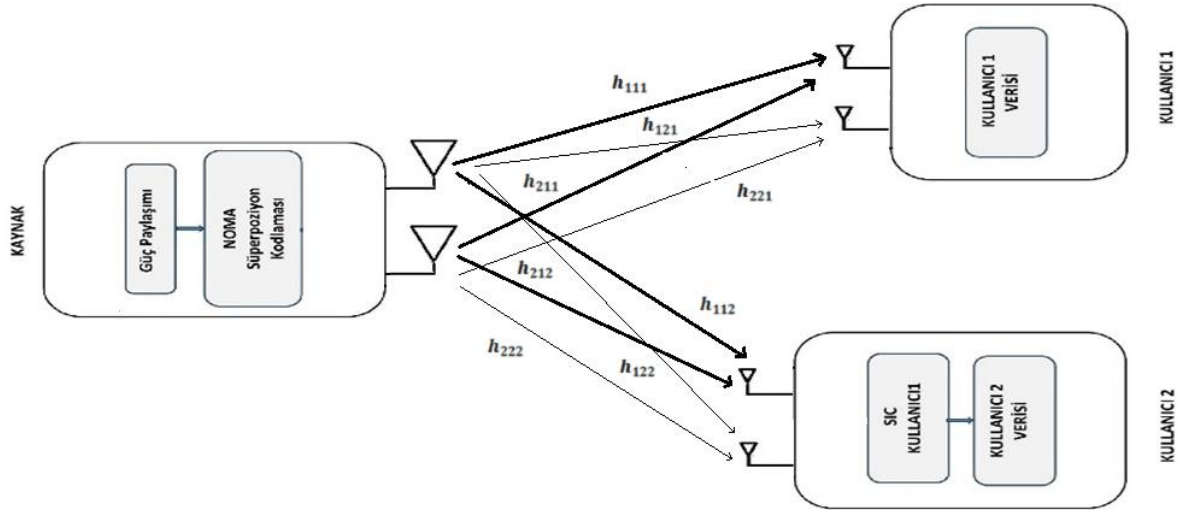
$$P^{12} = P_r(R_{12} < R_1^*) \quad (6.51)$$

$$P^{22} = P_r(R_{12} < R_2^*) \quad (6.52)$$

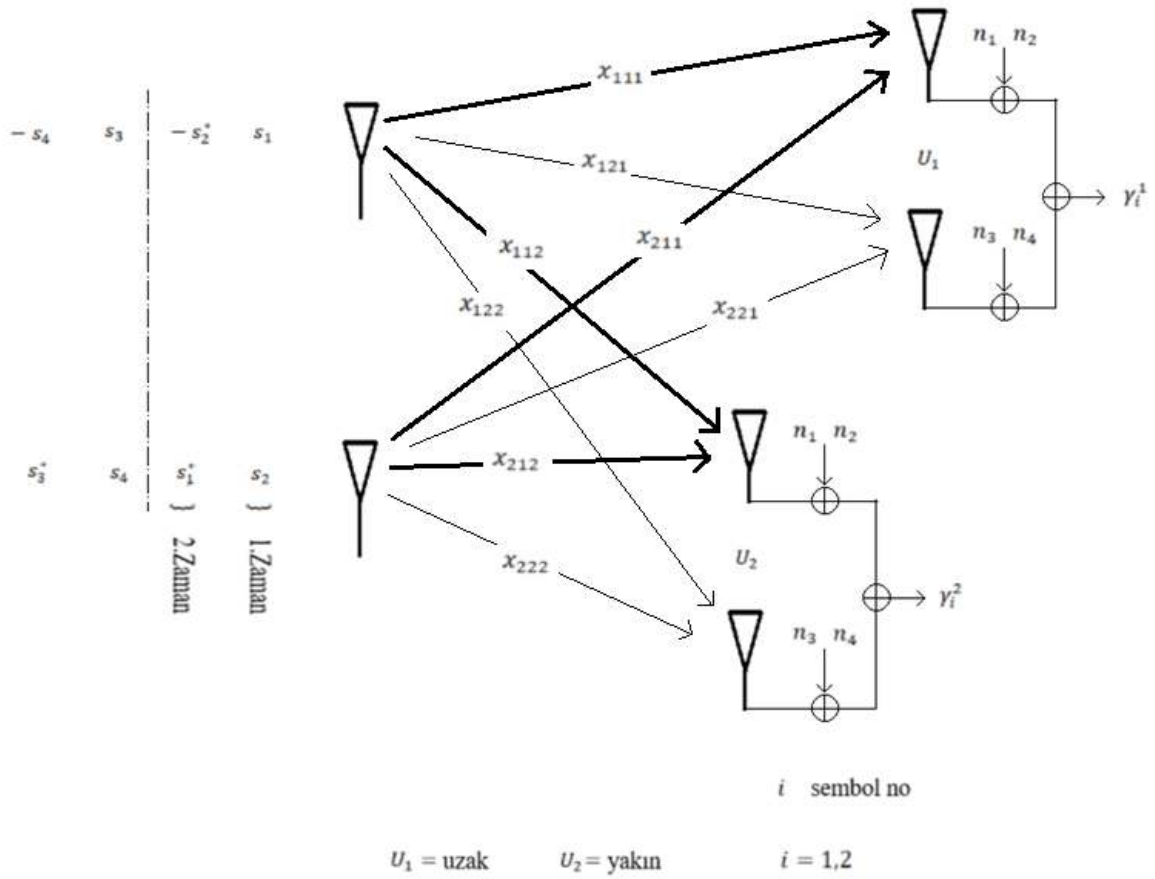
Eşitlik 6.51, eşitlik 6.52 kullanılarak U_2 için servis kesinti olasılığı eşitlik 6.53 bulunur.

$$P^2 = P_r(R_{12} < R_1^*) + (P_r(R_{12} < R_2^*)P_r(R_{12} < R_1^*)) \quad (6.53)$$

6.3 2 KULLANICILI 2X2 ALAMOUTİ-STBC NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ



Şekil 6.4 2 Kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı



Şekil 6.5 2 Kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA'da Sinyal Yapısı

1. Verici antenden gönderilen sembol eşitlik 6.54 ile verilir.

$$s_1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122})) \quad (6.54)$$

2. Verici antenden gönderilen sembol eşitlik 6.55 ile verilir.

$$s_2 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222})) \quad (6.55)$$

U_1 kullanıcısı tarafından alınan sinyaller aşağıdaki gibidir:

Birinci antende alınan işaretler:

$$y_1^1 = s_1 h_{111} + s_2 h_{211} + n_1$$

1.zaman diliminde alınan işaret

$$y_1^2 = -s_2^* h_{111} + s_1^* h_{211} + n_2$$

2.zaman diliminde alınan işaret

İkinci antende alınan işaretler:

$$y_2^1 = s_1 h_{112} + s_2 h_{212} + n_3$$

1.zaman diliminde alınan işaret

$$y_2^2 = -s_2^* h_{112} + s_1^* h_{212} + n_4$$

2.zaman diliminde alınan işaret

Çizelge 6.2 2 Kullanıcı 2x2 Alamouti-STBC NOMA Kanallar

1.Alıcı Anten	h_{111}	h_{121}	1X1
	h_{211}	h_{221}	2X1
2. Alıcı Anten	h_{112}	h_{122}	1X2
	h_{212}	h_{222}	2X2
	U_1	U_2	

U_1 kullanıcısının da birinci ve ikinci antenlerden sırasıyla birinci ve ikinci zamanlarda alınan semboller aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y_1^1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}))h_{111} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}))h_{211} + n_1 \quad (6.56)$$

$$y_1^2 = \sqrt{p}(-\sqrt{a_1}(x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2}(x_{212}^* + x_{222}^*))h_{111} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2}(x_{112}^* + x_{122}^*))h_{211} + n_2 \quad (6.57)$$

$$y_2^1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}))h_{112} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}))h_{212} + n_3 \quad (6.58)$$

$$y_2^2 = \sqrt{p}(-\sqrt{a_1}(x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2}(x_{212}^* + x_{222}^*))h_{112} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2}(x_{112}^* + x_{122}^*))h_{212} + n_4 \quad (6.59)$$

Her bir zaman diliminde alınan sinyale bağımsız TBGG eklenir. Böylece alınan işaretler aşağıdaki ifadeyle verilirler.

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \\ y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \\ h_{112} & h_{212} \\ h_{212}^* & -h_{112}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \\ h_{112} & h_{212} \\ h_{212}^* & -h_{112}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122})) \\ \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222})) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix} \quad (6.60)$$

Burada y_1^1 ve y_2^1 sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ilk zaman diliminde alınan işaretler iken y_1^{*2} ve y_2^{*2} sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ikinci zaman dilimlerinde alınan sembollerin karmaşık eşlenikleridirler. Eşitlik 6.60'da görüldüğü gibi ikinci zaman dilimlerinde sembollerin karmaşık eşlenikleri alınmaktadır. Eşitlik 6.60'da verilen kanal katsayılarının kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. Birleştirici çıkışından alınan $\tilde{s}_1$ ve

$\tilde{s}_2$ sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orjinal gönderilen $\tilde{s}_1$ ve $\tilde{s}_2$ sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında alınan semboller aşağıdaki gibidirler.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111}^* & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{112}^* & h_{212} \\ h_{212}^* & -h_{112} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} \quad (6.61)$$

$$\tilde{s}_1 = h_{111}^* y_1^1 + h_{211} y_1^{*2} + h_{112}^* y_2^1 + h_{212} y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_2 = h_{211}^* y_1^1 - h_{111} y_1^{*2} + h_{212}^* y_2^1 - y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_1 = h_{111}^* [s_1 h_{111} + s_2 h_{211} + n_1] + h_{211} [-s_2 h_{111}^* + s_1 h_{211}^* + n_2^*] + h_{112}^* [s_1 h_{112} + s_2 h_{212} + n_3] + h_{212} [-s_2 h_{112}^* + s_1 h_{212}^* + n_4^*]$$

$$= |h_{111}|^2 s_1 + h_{111}^* h_{211} s_2 + h_{111}^* n_1 - h_{211} h_{111}^* s_2 + |h_{211}|^2 s_1 + h_{211} n_2^* + |h_{112}|^2 s_1 + h_{112}^* h_{212} s_2 + h_{112}^* n_3 + |h_{212}|^2 s_1 - h_{212} h_{112}^* n_2^* + h_{212} n_4^*$$

$$= s_1 [|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2] + h_{111}^* n_1 + h_{211} n_2^* + h_{112}^* n_3 + h_{212} n_4^*$$

$$\tilde{s}_2 = h_{211}^* [s_1 h_{111} + s_2 h_{211} + n_1] - h_{111} [-s_2 h_{111}^* + s_1 h_{211}^* + n_2^*] + h_{212}^* [s_1 h_{112} + s_2 h_{212} + n_3] - h_{112} [-s_2 h_{112}^* + s_1 h_{212}^* + n_4^*]$$

$$= h_{211}^* h_{111} s_1 + |h_{211}|^2 s_2 + h_{211}^* n_1 + |h_{111}|^2 s_2 - h_{111} h_{211}^* s_1 - h_{111} n_2^* + h_{212}^* h_{112} s_1 + |h_{212}|^2 s_2 + h_{212}^* n_3 - h_{112} h_{212}^* s_1 + |h_{112}|^2 s_2 - h_{112} n_4^*$$

$$= s_2 [|h_{211}|^2 + |h_{111}|^2 + |h_{212}|^2 + |h_{112}|^2] + h_{211}^* n_1 - h_{111} n_2^* + h_{212}^* n_3 - h_{112} n_4^*$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2)s_1 + h_{111}^*n_1 + h_{211}n_2^* + h_{112}^*n_3 + h_{212}n_4^* \\ (|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2)s_2 + h_{211}^*n_1 - h_{111}n_2^* + h_{212}^*n_3 - h_{112}n_4^* \end{bmatrix}$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. U_1 kullanıcısı 1.antenden gelen $x_{111} + x_{121}$ 'i çözer ve 2. Antenden gelen $x_{211} + x_{221}$ 'i çözer.

Burada $(a_1 > a_2 > a_3)$ ve $\sum_{l=1}^{N_u} a_l = 1$ şartını sağlamalı.

1. Sembol için ortalama SINR aşağıdaki gibidir;

$$\gamma_{s_1} = \frac{pa_1E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2)}{p(a_2)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2) + 2n_0} \quad (6.62)$$

2.Sembol için ortalama SINR aşağıdaki gibidir;

$$\gamma_{s_2} = \frac{pa_1E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2)}{p(a_2)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2) + 2n_0} \quad (6.63)$$

U_2 kullanıcısı tarafından alınan sinyaller aşağıdaki gibidir:

Birinci antende alınan işaretler:

$$y_1^1 = s_1h_{121} + s_2h_{221} + n_1$$

1.zaman diliminde alınan işaret

$$y_1^2 = -s_2^*h_{121} + s_1^*h_{221} + n_2$$

2.zaman diliminde alınan işaret

İkinci antende alınan işaretler:

$$y_2^1 = s_1 h_{122} + s_2 h_{222} + n_3$$

1.zaman diliminde alınan işaret

$$y_2^2 = -s_2^* h_{122} + s_1^* h_{222} + n_4$$

2.zaman diliminde alınan işaret

U_2 kullanıcısında birinci ve ikinci antenlerden sırasıyla birinci ve ikinci zamanlarda alınan semboller aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y_1^1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}))h_{121} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}))h_{221} + n_1 \quad (6.64)$$

$$y_1^2 = \sqrt{p}(-\sqrt{a_1}(x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2}(x_{212}^* + x_{222}^*))h_{121} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2}(x_{112}^* + x_{122}^*))h_{221} + n_2 \quad (6.65)$$

$$y_2^1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}))h_{122} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}))h_{222} + n_3 \quad (6.66)$$

$$y_2^2 = \sqrt{p}(-\sqrt{a_1}(x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2}(x_{212}^* + x_{222}^*))h_{122} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2}(x_{112}^* + x_{122}^*))h_{222} + n_4 \quad (6.67)$$

Her bir zaman diliminde alınan sinyale bağımsız TBGG eklenir. Böylece alınan işaretler aşağıdaki ifadeyle verilirler.

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \\ y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \\ h_{122} & h_{222} \\ h_{222}^* & -h_{122}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \\ h_{122} & h_{222} \\ h_{222}^* & -h_{122}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122})) \\ \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222})) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix} \quad (6.68)$$

Burada y_1^1 ve y_2^1 sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ilk zaman diliminde alınan işaretler iken y_1^{*2} ve y_2^{*2} sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ikinci zaman dilimlerinde alınan sembollerin karmaşık eşlenikleridirler. Eşitlik 6.68’de görüldüğü gibi ikinci zaman dilimlerinde sembollerin karmaşık eşlenikleri alınmaktadır. Eşitlik 6.68’de verilen kanal katsayılarının kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. Birleştirici çıkışından alınan $\tilde{s}_1$ ve $\tilde{s}_2$ sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orjinal gönderilen $\tilde{s}_1$ ve $\tilde{s}_2$ sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında alınan semboller aşağıdaki gibidirler.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{121}^* & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{122}^* & h_{222} \\ h_{222}^* & -h_{122} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} \quad (6.69)$$

U_2 kullanıcısındaki semboller aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{s}_1 = h_{121}^* y_1^1 + h_{221} y_1^{*2} + h_{122}^* y_2^1 + h_{222} y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_2 = h_{221}^* y_1^1 - h_{121} y_1^{*2} + h_{222}^* y_2^1 - h_{122} y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_1 = h_{121}^* [s_1 h_{121} + s_2 h_{221} + n_1] + h_{221} [-s_2 h_{121}^* + s_1 h_{221}^* + n_2^*] + h_{122}^* [s_1 h_{122} + s_2 h_{222} + n_3] + h_{222} [-s_2 h_{122}^* + s_1 h_{222}^* + n_4^*]$$

$$= |h_{111}|^2 s_1 + h_{121}^* h_{221} s_2 + h_{121}^* n_1 - h_{221} h_{121}^* s_2 + |h_{221}|^2 s_1 + h_{221} n_2^* + |h_{122}|^2 s_1 + h_{122}^* h_{222} s_2 + h_{122}^* n_3 + |h_{222}|^2 s_1 - h_{222} h_{122}^* n_2^* + h_{222} n_4^*$$

$$= s_1[|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2] + h_{121}^* n_1 + h_{221} n_2^* + h_{122}^* n_3 + h_{222} n_4^*$$

$$\tilde{s}_2 = h_{221}^*[s_1 h_{121} + s_2 h_{221} + n_1] - h_{121}[-s_2 h_{121}^* + s_1 h_{221}^* + n_2^*] + h_{222}^*[s_1 h_{122} + s_2 h_{222} + n_3] - h_{122}[-s_2 h_{122}^* + s_1 h_{222}^* + n_4^*]$$

$$= h_{221}^* h_{121} s_1 + |h_{221}|^2 s_2 + h_{221}^* n_1 + |h_{121}|^2 s_2 - h_{121} h_{221}^* s_1 - h_{111} n_2^* + h_{222}^* h_{122} s_1 + |h_{222}|^2 s_2 + h_{222}^* n_3 - h_{122} h_{222}^* s_1 + |h_{122}|^2 s_2 - h_{122} n_4^*$$

$$= s_2[|h_{221}|^2 + |h_{121}|^2 + |h_{222}|^2 + |h_{122}|^2] + h_{221}^* n_1 - h_{121} n_2^* + h_{222}^* n_3 - h_{122} n_4^*$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) s_1 + h_{121}^* n_1 + h_{221} n_2^* + h_{122}^* n_3 + h_{222} n_4^* \\ (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) s_2 + h_{221}^* n_1 - h_{121} n_2^* + h_{222}^* n_3 - h_{122} n_4^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_1} (x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2} (x_{112} + x_{122}) \right) \right) \\ + h_{121}^* n_1 + h_{221} n_2^* + h_{122}^* n_3 + h_{222} n_4^* \\ (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_1} (x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2} (x_{212} + x_{222}) \right) \right) \\ + h_{221}^* n_1 - h_{121} n_2^* + h_{222}^* n_3 - h_{122} n_4^* \end{bmatrix}$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. U_2 kullanıcısı y_2 sinyalinden $x_{111} + x_{121}$ 'i çözer ve 2. antenden gelen $x_{211} + x_{221}$ 'i çözer, ardından SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldırır. U_2 kullanıcısı için SINR eşitliklerinden biri eşitlik 6.70'de ifade edilmiştir.

$$\gamma_{12i} = \frac{p a_1 E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)}{p(a_2) E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) + 2n_0} \quad i = 1, 2 \quad (6.70)$$

Burada i 1. ve 2. Zamanda iletilen sembolü göstermektedir. SIC işleminden sonra alıcının birleştirici çıkışından elde edilen işaret aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) \left(\sqrt{p}(\sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122})) \right) \\ + h_{121}^* n_1 + h_{221} n_2^* + h_{122}^* n_3 + h_{222} n_4^* \\ (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) \left(\sqrt{p}(\sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222})) \right) \\ + h_{221}^* n_1 - h_{121} n_2^* + h_{222}^* n_3 - h_{122} n_4^* \end{bmatrix} \quad (6.71)$$

Böylece U_2 kullanıcısı için diğer SINR ifadelerinde biride aşağıdaki gibi bulunur:

$$\gamma_{2i} = \frac{p a_2 E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)}{2n_0}, \quad i = 1, 2 \quad (6.72)$$

7.3.1 2 kullanıcı 2x2 Alamouti-NOMA Yapısının Servis kesinti olasılığı

U_1 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı için ulaşılabilir hız denklmi x_1 için denklem 6.73’de ifade edilmiştir;

$$R_1 = \log_2(1 + \gamma_1) \quad (6.73)$$

Daha önce U_1 kullanıcısı için γ_1 eşitlik 6.62’de ifade edilmiştir.

$$\gamma_1 = \frac{p a_1 E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2)}{p(a_2)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2) + 2n_0} \quad (6.62)$$

Eşitlik 6.62, eşitlik 6.73’ de yerine konulduğunda denklem 6.74 ulaşılabilir hız denklemi olarak elde edilir.

$$R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{p a_1 E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2)}{p(a_2)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2) + 2n_0} \right) \quad (6.74)$$

U_1 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_1^* 'dir.

Servis kesinti olasılığı ise eşitlik 6.75'de belirtilmiştir.

$$P^1 = P_r(R_1 < R_1^*) \quad (6.75)$$

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığının hesaplanabilmesi için x_1 ve x_2 için ulaşılabilir hız denklemleri denklem 6.76 ve denklem 6.77'de ifade edilmiştir;

$$R_{12} = \log_2(1 + \gamma_{12}) \quad (6.76)$$

$$R_2 = \log_2(1 + \gamma_2) \quad (6.77)$$

γ_{12} ve γ_2 sırasıyla eşitlik 6.70 ve eşitlik 6.72'de ifade edilmiştir.

$$\gamma_{12} = \frac{pa_1E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)}{p(a_2)E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) + 2n_0} \quad (6.70)$$

$$\gamma_2 = \frac{pa_2E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)}{2n_0} \quad (6.72)$$

Eşitlik 6.70, eşitlik 6.76'da yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.78 elde edilir.

$$R_{12} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)}{2n_0} \right) \quad (6.78)$$

Eşitlik 6.72 eşitlik 6.77’de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.79 elde edilir.

$$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_2 E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)}{2n_0} \right) \quad (6.79)$$

U_2 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_2^* ’dir.

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı x_2 için hesaplanabilmesi için gerekli olan eşitlikler eşitlik 6.80 ve eşitlik 6.81 ile ifade edilmiştir

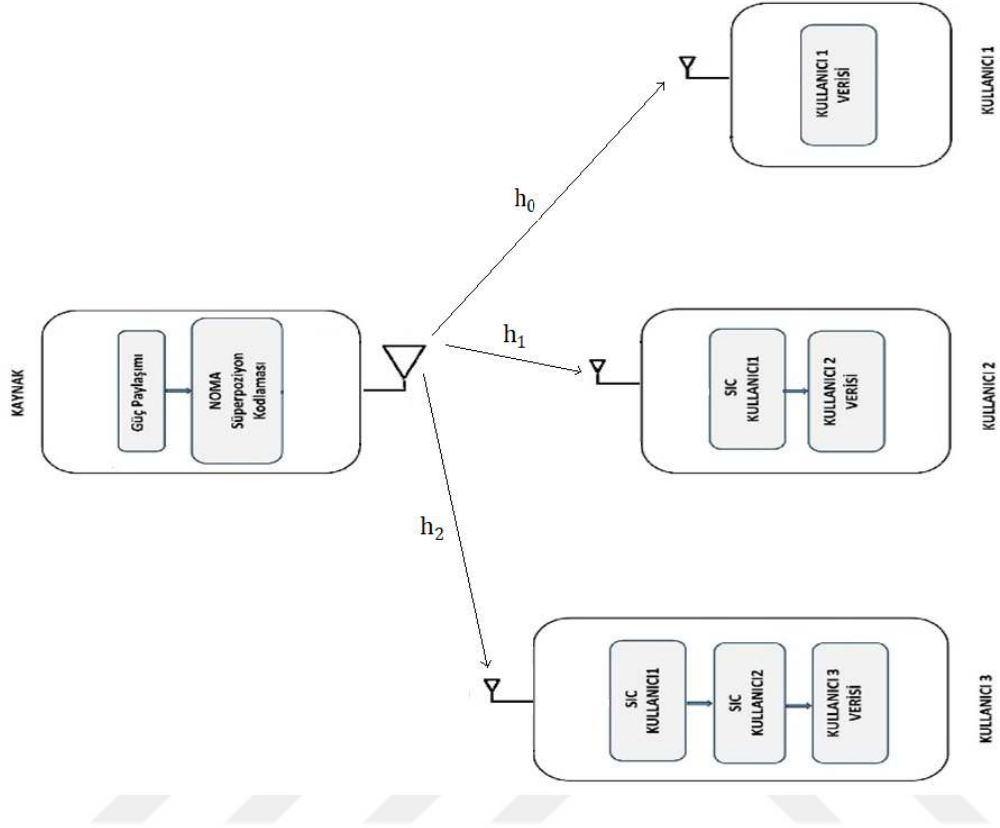
$$P^{12} = P_r(R_{12} < R_1^*) \quad (6.80)$$

$$P^{22} = P_r(R_{12} < R_2^*) \quad (6.81)$$

Eşitlik 6.80, eşitlik 6.81 kullanılarak U_2 için servis kesinti olasılığı eşitlik 6.82 bulunur.

$$P^2 = P_r(R_{12} < R_1^*) + (P_r(R_{12} < R_2^*)P_r(R_{12} < R_1^*)) \quad (6.82)$$

6.4 3 KULLANICILI NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ



Şekil 6.6 3 Kullanıcılı NOMA Yapısının Blok Diyagramı

U_1, U_2 ve U_3 kullanıcılarına gönderilecek sinyaller için Süperpozisyon kodlaması yapılır.

$$s = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2 + \sqrt{a_3}x_3)$$

U_1 kullanıcısı tarafından alınan sinyal:

$$y_1 = sh_0 + n_0 \quad (6.83)$$

$$y_1 = (\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2 + \sqrt{a_3}x_3)h_0 + n_0$$

Burada $(a_1 > a_2 > a_3)$ ve $\sum_{l=1}^{Nu} a_l = 1$ şartını sağlamalı.

U_1 kullanıcısı verici antenden gelen x_1 'i çözecek. U_1 kullanıcısı için İGO aşağıdaki gibidir.

$$\gamma_1 = \frac{p a_1 E(|h_0|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_0|^2) + n_0} \quad (6.84)$$

U_2 kullanıcısı tarafından alınan sinyal:

$$y_2 = s h_1 + n_1 \quad (6.85)$$

$$y_2 = (\sqrt{a_1} x_1 + \sqrt{a_2} x_2 + \sqrt{a_3} x_3) h_1 + n_1$$

Şimdi U_2 kullanıcısı y_2 sinyalinden x_1 'i çözecek ve ardından SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldıracak. Bu işlemden sonra oluşan U_2 kullanıcısı için İGO eşitliklerinden biri aşağıdaki gibidir.

$$\gamma_{12} = \frac{p a_1 E(|h_1|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_1|^2) + n_0} \quad (6.86)$$

U_2 tarafından yapılan SIC işleminden sonra kullanıcıda oluşan sinyal aşağıdaki gibidir.

$$y_2 = (\sqrt{a_2} x_2 + \sqrt{a_3} x_3) h_1 + n_1$$

Bu işlemden sonra U_2 oluşan diğer İGO ifadesi ise aşağıdaki gibidir.

$$\gamma_2 = \frac{p a_2 E(|h_1|^2)}{p(a_3)E(|h_1|^2) + n_0} \quad (6.87)$$

U_3 kullanıcısı tarafından alınan sinyal:

$$y_3 = sh_2 + n_2 \quad (6.88)$$

$$y_3 = (\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2 + \sqrt{a_3}x_3)h_2 + n_2$$

Şimdi U_3 kullanıcısı y_3 sinyalinden x_1 'i çözecek ve ardından SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldıracak. Bu işlemden sonra oluşan U_3 kullanıcısı için İGO eşitliklerinden biri aşağıdaki gibidir.

$$\gamma_{13} = \frac{pa_1E(|h_2|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_2|^2)+n_2} \quad (6.89)$$

U_3 kullanıcısı y_3 sinyalinden U_1 kullanıcısının x_1 'i çözdükten sonra SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldıracak. Daha sonra, U_2 kullanıcısına ait x_2 'i çözdükten sonra SIC uygulayarak U_2 'in sinyalini kaldıracak.

$$y_3 = (\sqrt{a_2}x_2 + \sqrt{a_3}x_3)h_2 + n_2$$

Bu işlemden sonra. Bu işlemden sonra oluşan U_3 kullanıcısı için İGO eşitliklerinden biri aşağıdaki gibidir.

$$\gamma_{23} = \frac{pa_2E(|h_2|^2)}{p(a_3)E(|h_2|^2)+n_0} \quad (6.90)$$

İkinci SIC işleminden sonra U_3 kullanıcısında oluşan sinyal:

$$y_3 = (\sqrt{a_3}x_3)h_2 + n_2$$

U_3 kullanıcısı için diğer bir İGO ifadesi ise aşağıdaki gibidir.

$$\gamma_3 = \frac{pa_3E(|h_2|^2)}{n_0} \quad (6.91)$$

6.4.1 3 kullanıcıli NOMA Yapısının Servis kesinti olasılığı

U_1 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı için ulaşılabilir hız denklmi x_1 için eşitlik 6.92’de ifade edilmiştir;

$$R_1 = \log_2(1 + \gamma_1) \quad (6.92)$$

Daha önce U_1 kullanıcısı için γ_1 eşitlik 6.84’de ifade edilmiştir.

$$\gamma_1 = \frac{pa_1E(|h_0|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_0|^2)+n_0} \quad (6.84)$$

Eşitlik 6.84, Eşitlik 6.92’ de yerine konulduğunda denklem 6.93 ulaşılabilir hız denklemi olarak elde edilir.

$$R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_0|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_0|^2)+n_0} \right) \quad (6.93)$$

U_1 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_1^* ’dir.

Servis kesinti olasılığı ise eşitlik 6.94’de belirtilmiştir.

$$P^1 = P_r(R_1 < R_1^*) \quad (6.94)$$

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığının hesaplanabilmesi için x_1 ve x_2 için ulaşılabilir hız denklemleri denklem 6.95 ve denklem 6.96’de ifade edilmiştir;

$$R_{12} = \log_2(1 + \gamma_{12}) \quad (6.95)$$

$$R_2 = \log_2(1 + \gamma_2) \quad (6.96)$$

γ_{12} ve γ_2 sırasıyla eşitlik 6.86 ve eşitlik 6.87’de ifade edilmiştir.

$$\gamma_{12} = \frac{pa_1E(|h_1|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_1|^2)+n_0} \quad (6.86)$$

$$\gamma_2 = \frac{pa_2E(|h_1|^2)}{p(a_3)E(|h_1|^2)+n_0} \quad (6.87)$$

Eşitlik 6.86, eşitlik 6.94’de yerine konulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.97 elde edilir.

$$R_{12} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_1|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_1|^2)+n_0} \right) \quad (6.97)$$

Eşitlik 6.87, denklem eşitlik 6.96’da yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.98 elde edilir.

$$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_2E(|h_1|^2)}{p(a_3)E(|h_1|^2)+n_0} \right) \quad (6.98)$$

U_2 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_2^* ’dir.

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı x_2 için hesaplanabilmesi için gerekli olan eşitlikler eşitlik 6.99 ve eşitlik 6.100 ile ifade edilmiştir.

$$P^{12} = P_r(R_{12} < R_1^*) \quad (6.99)$$

$$P^{22} = P_r(R_2 < R_2^*) \quad (6.100)$$

Eşitlik 6.99, eşitlik 6.100 kullanılarak U_2 için servis kesinti olasılığı eşitlik 6.100 bulunur.

$$P^2 = P_r(R_{12} < R_1^*) + (P_r(R_2 < R_2^*)P_r(R_{12} < R_1^*)) \quad (6.101)$$

U_3 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı hesaplanabilmesi için x_1, x_2 ve x_3 için gerekli ulaşılabilir hız denklemleri denklem 6.102, denklem 6.103, ve denklem 6.104 ifade edilmiştir;

$$R_{13} = \log_2(1 + \gamma_{13}) \quad (6.102)$$

$$R_{23} = \log_2(1 + \gamma_{23}) \quad (6.103)$$

$$R_3 = \log_2(1 + \gamma_3) \quad (6.104)$$

γ_{13}, γ_{23} ve γ_3 sırasıyla eşitlik 6.89, eşitlik 6.90 ve eşitlik 6.91’da ifade edilmiştir.

$$\gamma_{13} = \frac{p a_1 E(|h_2|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_2|^2) + n_0} \quad (6.89)$$

$$\gamma_{23} = \frac{p a_2 E(|h_2|^2)}{p(a_3)E(|h_2|^2) + n_0} \quad (6.90)$$

$$\gamma_3 = \frac{pa_3E(|h_2|^2)}{n_0} \quad (6.91)$$

Eşitlik 6.89, denklem 6.102’de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.105 elde edilir.

$$R_{13} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_2|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_2|^2)+n_0} \right) \quad (6.105)$$

Eşitlik 6.90, denklem 6.103’de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.106 elde edilir.

$$R_{23} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_2E(|h_2|^2)}{p(a_3)E(|h_2|^2)+n_0} \right) \quad (6.106)$$

Eşitlik 6.91, denklem 6.104’de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.107 elde edilir.

$$R_3 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_3E(|h_2|^2)}{n_0} \right) \quad (6.107)$$

U_3 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_3^* ’dir.

U_3 kullanıcısı için servis kesinti olasılığı x_3 için hesaplanabilmesi için gerekli olan denklemler eşitlik 6.108, eşitlik 6.109 ve eşitlik 6.110 ifade edilmiştir.

$$P^{13} = P_r(R_{13} < R_1^*) \quad (6.108)$$

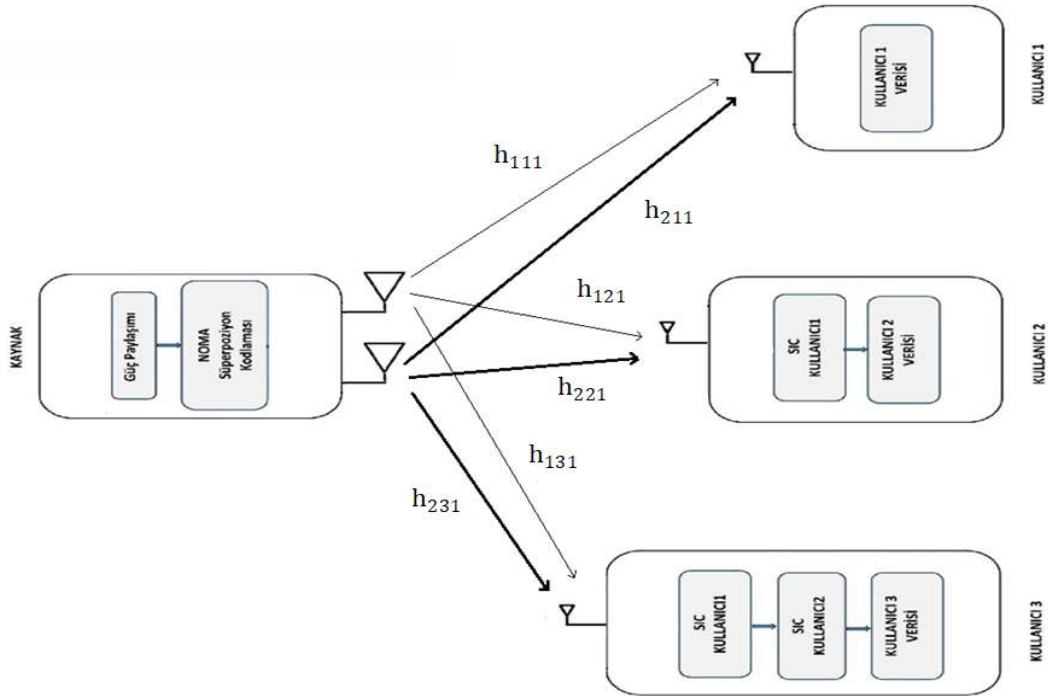
$$P^{23} = P_r(R_{23} < R_2^*) \quad (6.109)$$

$$P^{33} = P_r(R_3 < R_3^*) \quad (6.110)$$

Eşitlik 6.108, eşitlik 6.109 ve eşitlik 6.110 kullanılarak U_3 kullanıcısı için servis kesinti olasılığı eşitlik 6.111 bulunur.

$$P^3 = P_r(R_{13} < R_1^*) + (P_r(R_{32} < R_2^*)P_r(R_{13} < R_1^*)P_r(R_3 < R_3^*)) \quad (6.111)$$

6.5 3 KULLANICILI 2X1 ALAMOUTİ-STBC NOMA YAPISI

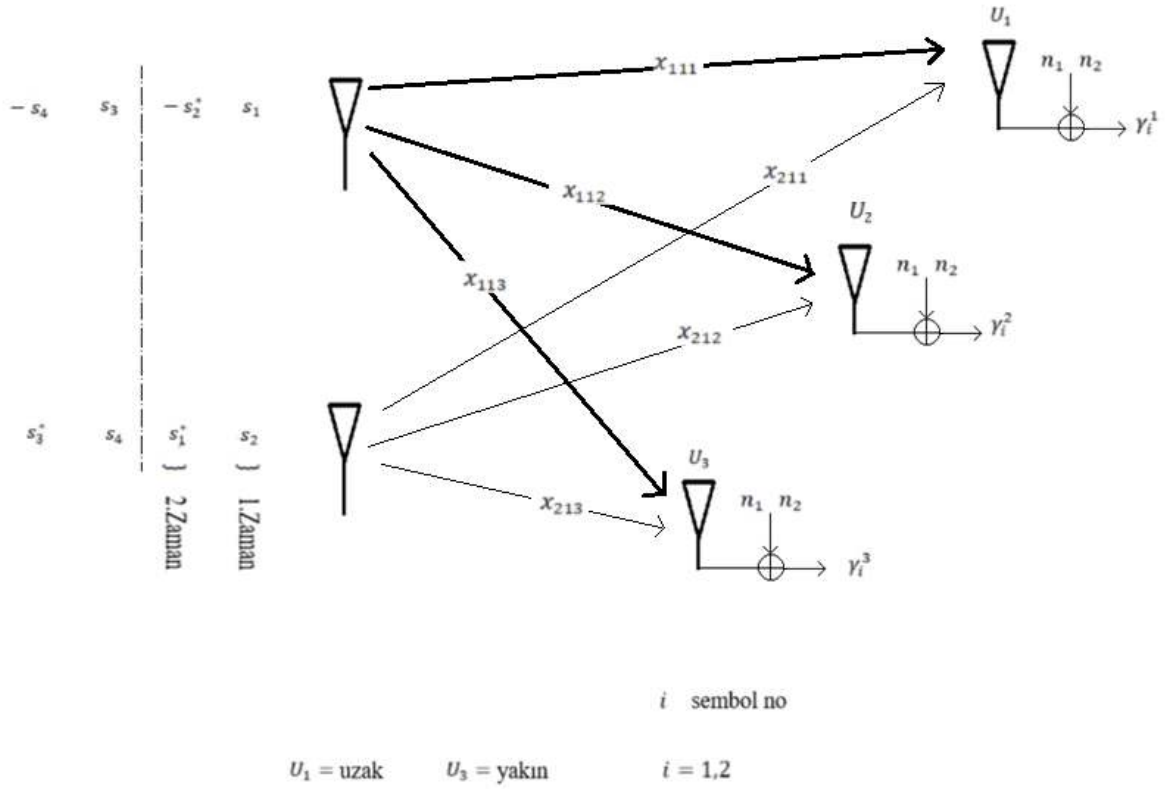


Şekil 6.7 3 Kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA Yapısının Blok Diyagramı

Süperpozisyon kodlaması yapılan işaretler Şekil 6.7'deki gibi Verici antenler vasıtasıyla gönderilir.

$$s_1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2 + \sqrt{a_3}x_3)$$

$$s_2 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}z_1 + \sqrt{a_2}z_2 + \sqrt{a_3}z_3)$$



Şekil 6.8 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti- STBC NOMA’da Sinyal Yapısı

U_1 kullanıcısı tarafından alınan sinyaller aşağıdaki gibidir:

$$y_1^1 = s_1 h_{111} + s_2 h_{211} + n_1$$

1.zaman diliminde alınan işaret

$$y_1^2 = -s_2^* h_{111} + s_1^* h_{211} + n_2$$

2.zaman diliminde alınan işaret

Çizelge 6.3 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti_STBC NOMA Kanallar

Alıcı	h_{111}	h_{121}	h_{131}	1X1
Anten	h_{211}	h_{221}	h_{231}	2X1
	U_1	U_2	U_3	

$$y_1^1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113})h_{111} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213})h_{211} + n_1 \quad (6.112)$$

$$y_1^2 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(-x_{211}^*) + \sqrt{a_2}(-x_{212}^*) + \sqrt{a_3}(-x_{213}^*))h_{111} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111}^* + \sqrt{a_2}x_{112}^* + \sqrt{a_3}x_{113}^*)h_{211} + n_2 \quad (6.113)$$

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) \\ \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \quad (6.114)$$

Burada y_1^1 ilk zaman diliminde alınan işaret iken y_1^{*2} ikinci zaman diliminde alınır. Denklemlerde görüldüğü gibi y_1^1 orijinal sembollerden oluşurken y_1^2 bu sembollerin karmaşık eşleniklerinden oluşmaktadır. h_{111} ve h_{211} 'nin kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. Birleştirici çıkışından alınan $\hat{s}_1^1$ ve $\hat{s}_2^1$ sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orijinal gönderilen $\hat{s}_1^1$ ve $\hat{s}_2^1$ sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında sembolleri aşağıdaki gibidirler (EK C) [31].

$$\begin{bmatrix} \hat{s}_1^1 \\ \hat{s}_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111}^* & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right)$$

$$= \left[(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) + h_{111}^*n_1 + h_{211}n_2^*) \right. \\ \left. + (|h_{211}|^2 + |h_{111}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) + h_{211}^*n_1 - h_{111}n_2^*) \right] \quad (6.115)$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. U_1 kullanıcısı 1.antenden gelen x_{111} 'i çözer ve 2. Antenden gelen x_{211} 'i çözer.

Burada $(a_1 > a_2 > a_3)$ ve $\sum_{l=1}^{Nu} a_l = 1$ şartını sağlamalı.

1. Sembol için SINR ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\gamma_{s_1} = \frac{p a_1 E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2) + 2n_0} \quad (6.116)$$

2. Sembol için SINR ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\gamma_{s_2} = \frac{p a_1 E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2) + 2n_0} \quad (6.117)$$

U_2 ,Kullanıcısı, y_2 'den x_{112} ve x_{212} 'yi çözer. U_2, U_1 'den daha güçlü olduğundan x_{112} daha az güçle gönderilir. Burada U_1 uzak ve zayıf, U_2 orta uzaklık ve güçte ve U_3 yakın ve güçlü kullanıcıyı göstermektedir. Bu yüzden y_2 'de x_{111} 'in gücü daha baskın olur. Daha sonra y_2 'de x_{111} 'i elde etmek için doğrudan kod çözme işlemi uygulanır ve SIC uygulanarak x_{111} çıkarılır. Ardından x_{112} ve x_{212} çözülür. x_{112} ; 1. Antenden 1. zamanda iletilen sembolü ifade ederken x_{212} ; 2. Antenden 1. zamanda iletilen sembolü göstermektedir.

U_2 kullanıcısı tarafından alınan sinyaller aşağıdaki gibidir:

$$y_2^1 = s_1 h_{121} + s_2 h_{221} + n_1 \quad \text{1.zaman diliminde alınan işaret}$$

$$y_2^2 = -s_2^* h_{121} + s_1^* h_{221} + n_2$$

2.zaman diliminde alınan işaret

$$y_2^1 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113})h_{121} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213})h_{221} + n_1 \quad (6.118)$$

$$y_2^2 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(-x_{211}^*) + \sqrt{a_2}(-x_{212}^*) + \sqrt{a_3}(-x_{213}^*))h_{121} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111}^* + \sqrt{a_2}x_{112}^* + \sqrt{a_3}x_{113}^*)h_{221} + n_2 \quad (6.119)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) \\ \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.120)$$

Burada y_1^1 ilk zaman diliminde alınan işaret iken y_1^{*2} ikinci zaman diliminde alınır. Denklemlerde görüldüğü gibi y_1^1 orjinal sembollerden oluşurken y_1^2 bu sembollerin karmaşık eşleniklerinden oluşmaktadır. h_{121} ve h_{221} 'nin kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. İkinci kullanıcının birleştirici çıkışından alınan $\tilde{s}_1^2$ ve $\tilde{s}_2^2$ sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orijinal gönderilen $\hat{s}_1^2$ ve $\hat{s}_2^2$ sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında sembolleri aşağıdaki gibidirler (EK D) [31].

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \tilde{s}_1^2 \\ \tilde{s}_2^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{121}^* & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right) \\ &= \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) + h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* \\ (|h_{221}|^2 + |h_{121}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) + h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^*) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.121)$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. Şimdi U_2 kullanıcısı y_2 sinyalinden x_{111} ve x_{211} 'i çözer, ardından SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldırır. U_2 kullanıcısı için SINR eşitliklerinden biri eşitlik 6.122 olur.

$$\gamma_{12i} = \frac{p a_1 E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2) + 2n_0} \quad (i = 1, 2) \quad (6.122)$$

Burada i 1. ve 2. zamanda iletilen sembolü göstermektedir. SIC işleminden sonra alıcının birleştirici çıkışından elde edilen işaret aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^{2'} \\ \tilde{s}_2^{2'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) + h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^*) \\ (|h_{221}|^2 + |h_{121}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) + h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^*) \end{bmatrix} \quad (6.123)$$

Böylece U_2 kullanıcısı için SINR eşitliklerinden bir diğeri de aşağıdaki gibi bulunur:

$$\gamma_{2i} = \frac{p a_2 E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)}{p a_3 E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2) + 2n_0} \quad (i = 1, 2) \quad (6.124)$$

U_3 kullanıcısında alınan semboller aşağıdaki gibidir:

$$y_3^1 = s_1 h_{131} + s_2 h_{231} + n_1 \quad \text{1.zaman diliminde alınan işaret}$$

$$y_3^2 = -s_2^* h_{131} + s_1^* h_{231} + n_2 \quad \text{2.zaman diliminde alınan işaret}$$

$$\begin{aligned} y_3^1 &= \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113})h_{131} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \\ &\sqrt{a_3}x_{213})h_{231} + n_1 \end{aligned} \quad (6.125)$$

$$y_3^2 = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}(-x_{211}^*) + \sqrt{a_2}(-x_{212}^*) + \sqrt{a_3}(-x_{213}^*))h_{111} + \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111}^* + \sqrt{a_2}x_{112}^* + \sqrt{a_3}x_{113}^*)h_{211} + n_2 \quad (6.126)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} y_3^1 \\ y_3^{*2} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{131} & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} h_{131} & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) \\ \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.127)$$

U_3 'de alıcı birleştirici çıkışında alınan semboller aşağıdaki gibi bulunur. Burada y_3^1 ilk zaman diliminde alınan işaret iken y_3^{*2} ikinci zaman diliminde alınır. Denklemlerde görüldüğü gibi y_3^1 orijinal sembollerden oluşurken y_3^{*2} bu sembollerin karmaşık eşleniklerinden oluşmaktadır. h_{131} ve h_{231} 'nin kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. Üçüncü kullanıcının birleştirici çıkışından alınan $\tilde{s}_1^3$ ve $\tilde{s}_2^3$ sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orijinal gönderilen $\hat{s}_1^3$ ve $\hat{s}_2^3$ sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında sembolleri aşağıdaki gibidirler (EK E) [31].

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \tilde{s}_1^3 \\ \tilde{s}_2^3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{131}^* & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{131} & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right) \\ &= \begin{bmatrix} |h_{131}|^2 s_1 + |h_{231}|^2 s_1 \\ |h_{231}|^2 s_2 + |h_{131}|^2 s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{131}^* n_1 + h_{231} n_2^* \\ h_{231}^* n_1 - h_{131} n_2^* \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.128)$$

Böylece U_3 'de birleştirici çıkışında elde edilen işaretler aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^3 \\ \tilde{s}_2^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) + h_{131}^* n_1 + h_{231} n_2^*) \\ (|h_{231}|^2 + |h_{131}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) + h_{231}^* n_1 - h_{131} n_2^*) \end{bmatrix} \quad (6.129)$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. Şimdi U_3 kullanıcısı y_3 sinyalinden U_1 kullanıcısına ait x_1 ve z_1 'i çözdükten sonra SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldıracak. Ardından, U_2 kullanıcısına ait x_2 ve z_2 'yi çözdükten sonra SIC uygulayarak U_2 'in sinyalini kaldıracak. U_3 kullanıcısı için SINR eşitliklerinde biri eşitlik 6.130 olur.

$$\gamma_{13i} = \frac{pa_1E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2) + 2n_0} \quad (i = 1, 2) \quad (6.130)$$

Burada i 1. ve 2. zamanda iletilen sembolü göstermektedir. İlk SIC işleminden sonra alıcının birleştirici çıkışından elde edilen işaret aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^{3'} \\ \tilde{s}_2^{3'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) + h_{131}^*n_1 + h_{231}n_2^*) \\ (|h_{231}|^2 + |h_{131}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) + h_{231}^*n_1 - h_{131}n_2^*) \end{bmatrix} \quad (6.131)$$

Sonra x_{112} ve x_{212} çözümlü SIC uygulanır. U_3 kullanıcısı için SINR eşitliklerinde biri eşitlik 6.132'deki gibi olur.

$$\gamma_{23i} = \frac{pa_2E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2)}{pa_3E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2) + 2n_0} \quad (i = 1, 2) \quad (6.132)$$

İkinci SIC işleminden sonra alıcının birleştirici çıkışından elde edilen işaret aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^{3'} \\ \tilde{s}_2^{3'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_3}x_{113}) + h_{131}^*n_1 + h_{231}n_2^*) \\ (|h_{231}|^2 + |h_{131}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_3}x_{213}) + h_{231}^*n_1 - h_{131}n_2^*) \end{bmatrix} \quad (6.133)$$

Böylece U_3 kullanıcısı için SINR eşitliklerinden bir diğeri ise aşağıdaki gibi bulunur:

$$\gamma_{3i} = \frac{pa_3E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2)}{2n_0} \quad (i = 1,2) \quad (6.134)$$

6.5.1 3 kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC NOMA Yapısının Servis kesinti olasılığı

U_1 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı için ulaşılabilir hız denklemi x_{111} için Denklem 6.135’de ifade edilmiştir;

$$R_1 = \log_2(1 + \gamma_1) \quad (6.135)$$

Daha önce U_1 kullanıcısı için γ_1 eşitlik 6.116’da ifade edilmiştir.

$$\gamma_1 = \frac{pa_1E(|h_{111}|^2+|h_{211}|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_{111}|^2+|h_{211}|^2)+2n_0} \quad (6.116)$$

Eşitlik 6.116, eşitlik 6.135’de yerine konulduğunda denklem 6.136’da verilen ulaşılabilir hız denklemi elde edilir.

$$R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_{111}|^2+|h_{211}|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_{111}|^2+|h_{211}|^2)+2n_0} \right) \quad (6.136)$$

U_1 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_1^* ’dir.

Servis kesinti olasılığı ise eşitlik 6.137’de belirtilmiştir.

$$P^1 = P_r(R_1 < R_1^*) \quad (6.137)$$

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığının hesaplanabilmesi için x_{111} ve x_{211} için ulaşılabilir hız denklemleri denklem 6.138 ve denklem 6.139’da ifade edilmiştir:

$$R_{12} = \log_2(1 + \gamma_{12}) \quad (6.138)$$

$$R_2 = \log_2(1 + \gamma_2) \quad (6.139)$$

γ_{12} ve γ_2 sırasıyla eşitlik 6.122 ve eşitlik 6.124’de ifade edilmiştir.

$$\gamma_{12} = \frac{pa_1E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2) + 2n_0} \quad (6.122)$$

$$\gamma_2 = \frac{pa_2E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)}{pa_3E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2) + 2n_0} \quad (6.124)$$

Eşitlik 6.122, denklem 6.138’de yerine konulduğunda denklem 6.140 ile verilen ulaşılabilir hız denklemi elde edilir.

$$R_{12} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2) + 2n_0} \right) \quad (6.140)$$

Eşitlik 6.124, denklem 6.139’da yerine konulduğunda denklem 6.141 ile verilen ulaşılabilir hız denklemi elde edilir.

$$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_2 E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)}{pa_3 E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2) + 2n_0} \right) \quad (6.141)$$

U_2 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_2^* 'dir.

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı x_2 için hesaplanabilmesi için gerekli olan eşitlikler eşitlik 6.142 ve eşitlik 6.143 ile verilir.

$$P^{12} = P_r(R_{12} < R_1^*) \quad (6.142)$$

$$P^{22} = P_r(R_{12} < R_2^*) \quad (6.143)$$

Eşitlik 6.142, eşitlik 6.143 kullanılarak U_2 için servis kesinti olasılığı eşitlik 6.144 bulunur.

$$P^2 = P_r(R_{12} < R_1^*) + (P_r(R_{12} < R_2^*)P_r(R_{12} < R_1^*)) \quad (6.144)$$

U_3 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı hesaplanabilmesi için x_{111}, x_{112} ve x_{113} için gerekli ulaşılabilir hız denklemleri denklem 6.145, denklem 6.146 ve denklem 6.147'de ifade edilmiştir.

$$R_{13} = \log_2(1 + \gamma_{13}) \quad (6.145)$$

$$R_{23} = \log_2(1 + \gamma_{23}) \quad (6.146)$$

$$R_3 = \log_2(1 + \gamma_3) \quad (6.147)$$

γ_{13}, γ_{23} ve γ_3 sırasıyla eşitlik 6.130, eşitlik 6.132 ve eşitlik 6.134'de ifade edilmiştir.

$$\gamma_{13} = \frac{pa_1E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2)+2n_0} \quad (6.130)$$

$$\gamma_{23} = \frac{pa_2E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2)}{pa_3E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2)+2n_0} \quad (6.132)$$

$$\gamma_3 = \frac{pa_3|h_{131}+h_{231}|^2}{\sigma^2} \quad (6.34)$$

Eşitlik 6.130, denklem 6.145’de yerine konulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.148 elde edilir.

$$R_{13} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1|h_{131}+h_{231}|^2}{p(a_2+a_3)|h_{131}+h_{231}|^2+\sigma^2} \right) \quad (6.148)$$

Eşitlik 6.132, denklem 6.146’da yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.149 elde edilir.

$$R_{23} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_2|h_{131}+h_{231}|^2}{pa_3|h_{131}+h_{231}|^2+\sigma^2} \right) \quad (6.149)$$

Eşitlik 6.134, denklem 6.147’de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.150 elde edilir.

$$R_3 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_3E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2)}{2n_0} \right) \quad (6.150)$$

U_3 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_3^* ’dir.

U_3 kullanıcısı için servis kesinti olasılığı x_3 için hesaplanabilmesi için gerekli olan eşitlikler eşitlik 6.151, eşitlik 6.152 ve eşitlik 6.153’de ifade edilmiştir.

$$P^{31} = P_r(R_{31} < R_1^*) \quad (6.151)$$

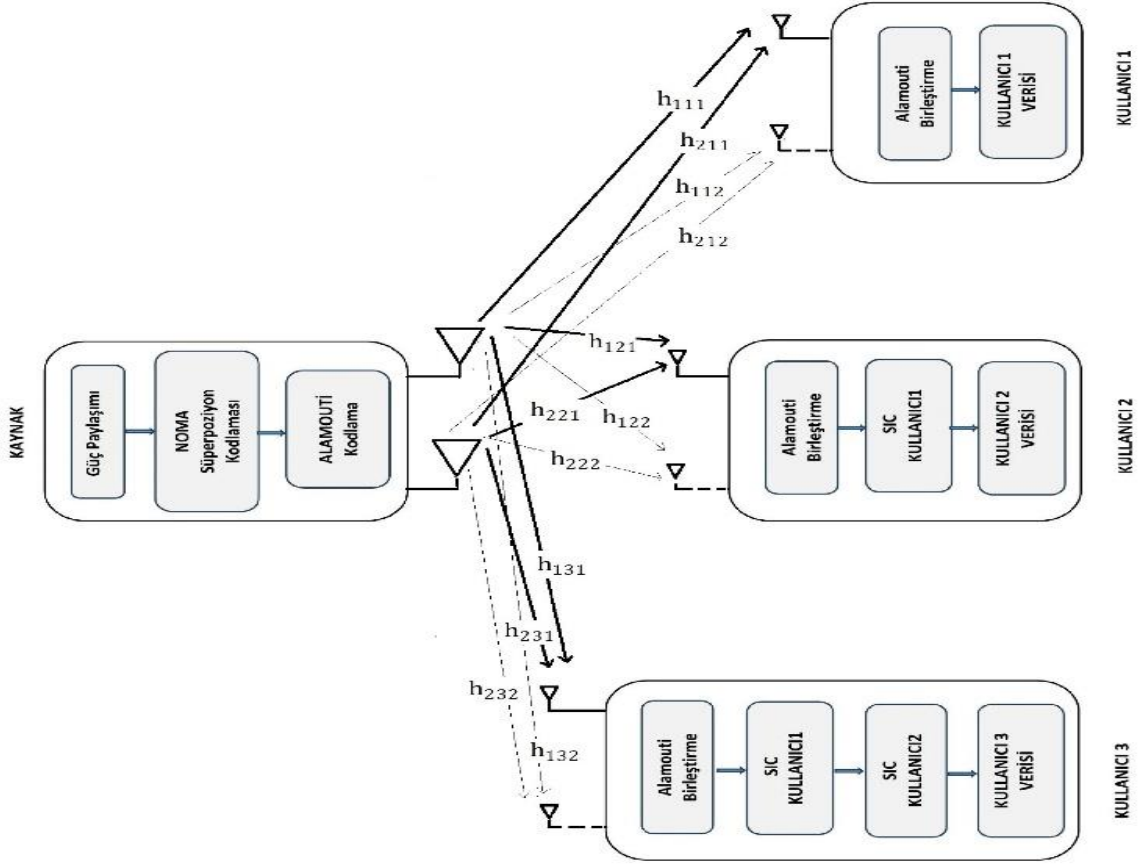
$$P^{23} = P_r(R_{23} < R_2^*) \quad (6.152)$$

$$P^{33} = P_r(R_3 < R_3^*) \quad (6.153)$$

Eşitlik 6.151, eşitlik 6.152 ve eşitlik 6.153 kullanılarak U_3 kullanıcısı için servis kesinti olasılığı eşitlik 6.154 bulunur.

$$P^3 = P_r(R_{13} < R_1^*) + (P_r(R_{23} < R_2^*)P_r(R_{13} < R_1^*)P_r(R_3 < R_3^*)) \quad (6.154)$$

6.6 3 KULLANICILI 2X2 ALAMOUTİ-STBC NOMA YAPISININ KOD ÇÖZÜLMESİ



Şekil 6.9 3 Kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA Yapısı'nın Blok Diyagramı

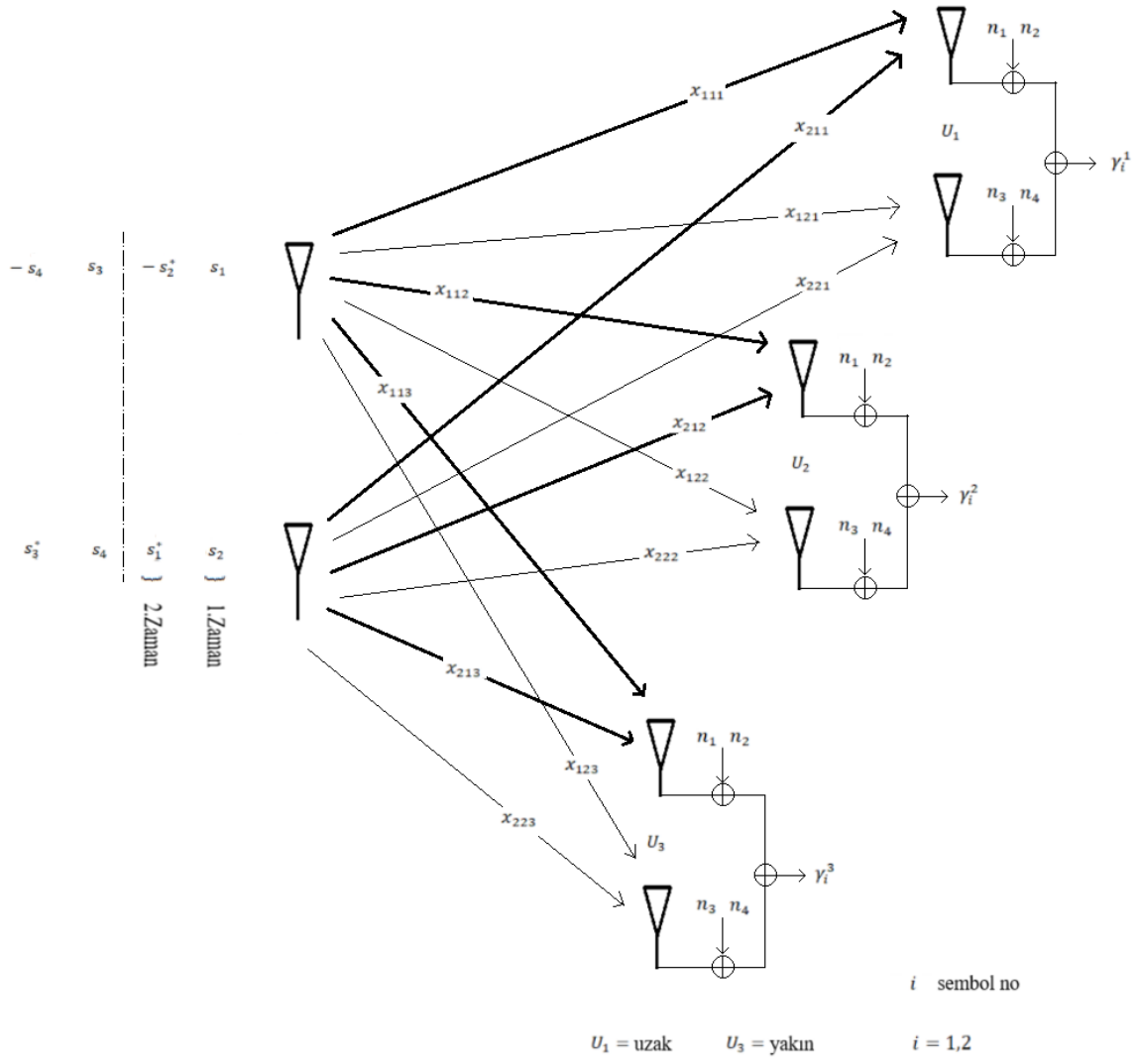
Süperpozisyon kodlaması yapılan işaretler Şekil 6.10 gibi Verici antenler vasıtasıyla gönderilir.

1. Verici antenden gönderilen sembol eşitlik 6.155 ile verilir.

$$s_1 = \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) \quad (6.155)$$

2. Verici antenden gönderilen sembol eşitlik 6.156 ile verilir.

$$s_2 = \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) \quad (6.156)$$



Şekil 6.10 3 Kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA Sinyal Yapısı

U_1 kullanıcısı tarafından alınan sinyaller aşağıdaki gibidir:

Birinci antende alınan işaretler:

$$y_1^1 = s_1 h_{111} + s_2 h_{211} + n_1$$

1.zaman diliminde alınan işaret

$$y_1^2 = -s_2^* h_{111} + s_1^* h_{211} + n_2$$

2.zaman diliminde alınan işaret

İkinci antende alınan işaretler:

$$y_2^1 = s_1 h_{112} + s_2 h_{212} + n_3$$

1.zaman diliminde alınan işaret

$$y_2^2 = -s_2^* h_{112} + s_1^* h_{212} + n_4$$

2.zaman diliminde alınan işaret

Çizelge 6.4 3 Kullanıcılı 2x2 Alamouti_STBC NOMA Kanallar

1.Alici Anten	h_{111}	h_{121}	h_{131}	1X1
	h_{211}	h_{221}	h_{231}	2X1
2. Alıcı Anten	h_{112}	h_{122}	h_{132}	1X2
	h_{212}	h_{222}	h_{232}	2X2
	U_1	U_2	U_3	

U_1 kullanıcısında birinci ve ikinci antenlerden sırasıyla birinci ve ikinci zamanlarda alınan semboller aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y_1^1 = \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) h_{111} + \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) h_{211} + n_1 \quad (6.157)$$

$$y_1^2 = \sqrt{p} \left(-\sqrt{a_1}(x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2}(x_{212}^* + x_{222}^*) - \sqrt{a_3}(x_{213}^* + x_{223}^*) \right) h_{111} + \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2}(x_{112}^* + x_{122}^*) + \sqrt{a_3}(x_{113}^* + x_{123}^*) \right) h_{211} + n_2 \quad (6.158)$$

$$y_2^1 = \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) h_{112} + \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) h_{212} + n_3 \quad (6.159)$$

$$y_2^2 = \sqrt{p} \left(-\sqrt{a_1}(x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2}(x_{212}^* + x_{222}^*) - \sqrt{a_3}(x_{213}^* + x_{223}^*) \right) h_{112} + \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2}(x_{112}^* + x_{122}^*) + \sqrt{a_3}(x_{113}^* + x_{123}^*) \right) h_{212} + n_4 \quad (6.160)$$

Her bir zaman diliminde alınan sinyale bağımsız TBGG eklenir. Böylece alınan işaretler aşağıdaki ifadeyle verilirler.

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \\ y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \\ h_{112} & h_{212} \\ h_{212}^* & -h_{112}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \\ h_{112} & h_{212} \\ h_{212}^* & -h_{112}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) \\ \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix} \quad (6.161)$$

Burada y_1^1 ve y_2^1 sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ilk zaman diliminde alınan işaretler iken y_1^{*2} ve y_2^{*2} sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ikinci zaman dilimlerinde alınan sembollerin karmaşık eşlenikleridirler. Eşitlik 6.161'de görüldüğü gibi ikinci zaman dilimlerinde sembollerin karmaşık eşlenikleri alınmaktadır. Eşitlik 6.161'de verilen kanal katsayılarının kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. Birleştirici çıkışından alınan $\tilde{s}_1$ ve $\tilde{s}_2$ sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orjinal gönderilen $\tilde{s}_1$ ve $\tilde{s}_2$ sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında alınan semboller aşağıdaki gibidirler.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111}^* & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{112}^* & h_{212} \\ h_{212}^* & -h_{112} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} \quad (6.162)$$

$$\tilde{s}_1 = h_{111}^* y_1^1 + h_{211} y_1^{*2} + h_{112}^* y_2^1 + h_{212} y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_2 = h_{211}^* y_1^1 - h_{111} y_1^{*2} + h_{212}^* y_2^1 - y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_1 = h_{111}^* [s_1 h_{111} + s_2 h_{211} + n_1] + h_{211} [-s_2 h_{111}^* + s_1 h_{211}^* + n_2^*] + h_{112}^* [s_1 h_{112} + s_2 h_{212} + n_3] + h_{212} [-s_2 h_{112}^* + s_1 h_{212}^* + n_4^*]$$

$$= |h_{111}|^2 s_1 + h_{111}^* h_{211} s_2 + h_{111}^* n_1 - h_{211} h_{111}^* s_2 + |h_{211}|^2 s_1 + h_{211} n_2^* + |h_{112}|^2 s_1 + h_{112}^* h_{212} s_2 + h_{112}^* n_3 + |h_{212}|^2 s_1 - h_{212} h_{112}^* n_2^* + h_{212} n_4^*$$

$$= s_1 [|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2] + h_{111}^* n_1 + h_{211} n_2^* + h_{112}^* n_3 + h_{212} n_4^*$$

$$\tilde{s}_2 = h_{211}^* [s_1 h_{111} + s_2 h_{211} + n_1] - h_{111} [-s_2 h_{111}^* + s_1 h_{211}^* + n_2^*] + h_{212}^* [s_1 h_{112} + s_2 h_{212} + n_3] - h_{112} [-s_2 h_{112}^* + s_1 h_{212}^* + n_4^*]$$

$$= h_{211}^* h_{111} s_1 + |h_{211}|^2 s_2 + h_{211}^* n_1 + |h_{111}|^2 s_2 - h_{111} h_{211}^* s_1 - h_{111} n_2^* + h_{212}^* h_{112} s_1 + |h_{212}|^2 s_2 + h_{212}^* n_3 - h_{112} h_{212}^* s_1 + |h_{112}|^2 s_2 - h_{112} n_4^*$$

$$= s_2 [|h_{211}|^2 + |h_{111}|^2 + |h_{212}|^2 + |h_{112}|^2] + h_{211}^* n_1 - h_{111} n_2^* + h_{212}^* n_3 - h_{112} n_4^*$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2) s_1 + h_{111}^* n_1 + h_{211} n_2^* + h_{112}^* n_3 + h_{212} n_4^* \\ (|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2) s_2 + h_{211}^* n_1 - h_{111} n_2^* + h_{212}^* n_3 - h_{112} n_4^* \end{bmatrix}$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. U_1 kullanıcısı 1.antenden gelen $x_{111} + x_{121}$ 'i çözer ve 2. Antenden gelen $x_{211} + x_{221}$ 'i çözer.

Burada $(a_1 > a_2 > a_3)$ ve $\sum_{l=1}^{Nu} a_l = 1$ şartını sağlamalı.

1. Sembol için ortalama SINR aşağıdaki gibidir;

$$\gamma_{s_1} = \frac{p a_1 E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2) + 2n_0} \quad (6.163)$$

2.Sembol için ortalama SINR aşağıdaki gibidir;

$$\gamma_{s_2} = \frac{p a_1 E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2 + |h_{112}|^2 + |h_{212}|^2) + 2n_0} \quad (6.164)$$

U_2 kullanıcısı tarafından alınan sinyaller aşağıdaki gibidir:

Birinci antende alınan işaretler:

$$\begin{aligned} y_1^1 &= s_1 h_{121} + s_2 h_{221} + n_1 && \text{1.zaman diliminde alınan işaret} \\ y_1^2 &= -s_2^* h_{121} + s_1^* h_{221} + n_2 && \text{2.zaman diliminde alınan işaret} \end{aligned}$$

İkinci antende alınan işaretler:

$$\begin{aligned} y_2^1 &= s_1 h_{122} + s_2 h_{222} + n_3 && \text{1.zaman diliminde alınan işaret} \\ y_2^2 &= -s_2^* h_{122} + s_1^* h_{222} + n_4 && \text{2.zaman diliminde alınan işaret} \end{aligned}$$

U_2 kullanıcısında birinci ve ikinci antenlerden sırasıyla birinci ve ikinci zamanlarda alınan semboller aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} y_1^1 &= \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) h_{121} + \\ &\sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) h_{221} + n_1 \end{aligned} \quad (6.165)$$

$$y_1^2 = \sqrt{p} \left(-\sqrt{a_1}(x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2}(x_{212}^* + x_{222}^*) - \sqrt{a_3}(x_{213}^* + x_{223}^*) \right) h_{121} + \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2}(x_{112}^* + x_{122}^*) + \sqrt{a_3}(x_{113}^* + x_{123}^*) \right) h_{221} + n_2 \quad (6.166)$$

$$y_2^1 = \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) h_{122} + \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) h_{222} + n_3 \quad (6.167)$$

$$y_2^2 = \sqrt{p} \left(-\sqrt{a_1}(x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2}(x_{212}^* + x_{222}^*) - \sqrt{a_3}(x_{213}^* + x_{223}^*) \right) h_{122} + \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2}(x_{112}^* + x_{122}^*) + \sqrt{a_3}(x_{113}^* + x_{123}^*) \right) h_{222} + n_4 \quad (6.168)$$

Her bir zaman diliminde alınan sinyale bağımsız TBGG eklenir. Böylece alınan işaretler aşağıdaki ifadeyle verilirler.

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \\ y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \\ h_{122} & h_{222} \\ h_{222}^* & -h_{122}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \\ h_{122} & h_{222} \\ h_{222}^* & -h_{122}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) \\ \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix} \quad (6.169)$$

Burada y_1^1 ve y_2^1 sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ilk zaman diliminde alınan işaretler iken y_1^{*2} ve y_2^{*2} sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ikinci zaman dilimlerinde alınan sembollerin karmaşık eşlenikleridirler. Eşitlik 6.169'da görüldüğü gibi ikinci zaman dilimlerinde sembollerin karmaşık eşlenikleri alınmaktadır. Eşitlik 6.169'da verilen kanal katsayılarının kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. Birleştirici çıkışından alınan $\tilde{s}_1$ ve $\tilde{s}_2$ sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orjinal gönderilen

$\tilde{s}_1$ ve $\tilde{s}_2$ sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında alınan semboller aşağıdaki gibidirler.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{121}^* & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{122}^* & h_{222} \\ h_{222}^* & -h_{122} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} \quad (6.170)$$

U_2 kullanıcısındaki semboller aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{s}_1 = h_{121}^* y_1^1 + h_{221} y_1^{*2} + h_{122}^* y_2^1 + h_{222} y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_2 = h_{221}^* y_1^1 - h_{121} y_1^{*2} + h_{222}^* y_2^1 - h_{122} y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_1 = h_{121}^* [s_1 h_{121} + s_2 h_{221} + n_1] + h_{221} [-s_2 h_{121}^* + s_1 h_{221}^* + n_2^*] + h_{122}^* [s_1 h_{122} + s_2 h_{222} + n_3] + h_{222} [-s_2 h_{122}^* + s_1 h_{222}^* + n_4^*]$$

$$= |h_{111}|^2 s_1 + h_{121}^* h_{221} s_2 + h_{121}^* n_1 - h_{221} h_{121}^* s_2 + |h_{221}|^2 s_1 + h_{221} n_2^* + |h_{122}|^2 s_1 + h_{122}^* h_{222} s_2 + h_{122}^* n_3 + |h_{222}|^2 s_1 - h_{222} h_{122}^* n_2^* + h_{222} n_4^*$$

$$= s_1 [|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2] + h_{121}^* n_1 + h_{221} n_2^* + h_{122}^* n_3 + h_{222} n_4^*$$

$$\tilde{s}_2 = h_{221}^* [s_1 h_{121} + s_2 h_{221} + n_1] - h_{121} [-s_2 h_{121}^* + s_1 h_{221}^* + n_2^*] + h_{222}^* [s_1 h_{122} + s_2 h_{222} + n_3] - h_{122} [-s_2 h_{122}^* + s_1 h_{222}^* + n_4^*]$$

$$= h_{221}^* h_{121} s_1 + |h_{221}|^2 s_2 + h_{221}^* n_1 + |h_{121}|^2 s_2 - h_{121} h_{221}^* s_1 - h_{111} n_2^* + h_{222}^* h_{122} s_1 + |h_{222}|^2 s_2 + h_{222}^* n_3 - h_{122} h_{222}^* s_1 + |h_{122}|^2 s_2 - h_{122} n_4^*$$

$$= s_2 [|h_{221}|^2 + |h_{121}|^2 + |h_{222}|^2 + |h_{122}|^2] + h_{221}^* n_1 - h_{121} n_2^* + h_{222}^* n_3 - h_{122} n_4^*$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)s_1 + h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* + h_{122}^*n_3 + h_{222}n_4^* \\ (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)s_2 + h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^* + h_{222}^*n_3 - h_{122}n_4^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) \right) \\ + h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* + h_{122}^*n_3 + h_{222}n_4^* \\ (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) \right) \\ + h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^* + h_{222}^*n_3 - h_{122}n_4^* \end{bmatrix}$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. U_2 kullanıcısı y_2 sinyalinden $x_{111} + x_{121}$ 'i çözer ve 2. antenden gelen $x_{211} + x_{221}$ 'i çözer, ardından SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldırır. U_2 kullanıcısı için SINR eşitliklerinde biri eşitlik 6.171 olur.

$$\gamma_{12i} = \frac{pa_1E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)}{p(a_2 + a_3)E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) + 2n_0}, \quad (i = 1, 2) \quad (6.171)$$

Burada i 1. ve 2. Zamanda iletilen sembolü göstermektedir. SIC işleminden sonra alıcının birleştirici çıkışından elde edilen işaret aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) \right) \\ + h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* + h_{122}^*n_3 + h_{222}n_4^* \\ (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) \right) \\ + h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^* + h_{222}^*n_3 - h_{122}n_4^* \end{bmatrix} \quad (6.172)$$

Böylece U_2 kullanıcısı için diğer bir SINR ifadesi aşağıdaki gibi bulunur:

$$\gamma_{2i} = \frac{pa_2E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2)}{pa_3E(|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2 + |h_{122}|^2 + |h_{222}|^2) + 2n_0} \quad (i = 1, 2) \quad (6.173)$$

U_3 kullanıcısı tarafından alınan sinyaller aşağıdaki gibidir:

Birinci antende alınan işaretler:

$$y_1^1 = s_1 h_{131} + s_2 h_{231} + n_1 \quad \text{1.zaman diliminde alınan işaret}$$

$$y_1^2 = -s_2^* h_{131} + s_1^* h_{231} + n_2 \quad \text{2.zaman diliminde alınan işaret}$$

İkinci antende alınan işaretler:

$$y_2^1 = s_1 h_{132} + s_2 h_{232} + n_3 \quad \text{1.zaman diliminde alınan işaret}$$

$$y_2^2 = -s_2^* h_{132} + s_1^* h_{232} + n_4 \quad \text{2.zaman diliminde alınan işaret}$$

U_3 kullanıcısında birinci ve ikinci antenlerden sırasıyla birinci ve ikinci zamanlarda alınan semboller aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} y_1^1 = & \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1} (x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2} (x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3} (x_{113} + x_{123}) \right) h_{131} + \\ & \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1} (x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2} (x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3} (x_{213} + x_{223}) \right) h_{231} + n_1 \end{aligned} \quad (6.174)$$

$$\begin{aligned} y_1^2 = & \sqrt{p} \left(-\sqrt{a_1} (x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2} (x_{212}^* + x_{222}^*) - \sqrt{a_3} (x_{213}^* + x_{223}^*) \right) h_{131} + \\ & \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1} (x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2} (x_{112}^* + x_{122}^*) + \sqrt{a_3} (x_{113}^* + x_{123}^*) \right) h_{231} + n_2 \end{aligned} \quad (6.175)$$

$$\begin{aligned} y_2^1 = & \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1} (x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2} (x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3} (x_{113} + x_{123}) \right) h_{132} + \\ & \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1} (x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2} (x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3} (x_{213} + x_{223}) \right) h_{232} + n_3 \end{aligned} \quad (6.176)$$

$$\begin{aligned} y_2^2 = & \sqrt{p} \left(-\sqrt{a_1} (x_{211}^* + x_{221}^*) - \sqrt{a_2} (x_{212}^* + x_{222}^*) - \sqrt{a_3} (x_{213}^* + x_{223}^*) \right) h_{132} + \\ & \sqrt{p} \left(\sqrt{a_1} (x_{111}^* + x_{121}^*) + \sqrt{a_2} (x_{112}^* + x_{122}^*) + \sqrt{a_3} (x_{113}^* + x_{123}^*) \right) h_{232} + n_4 \end{aligned} \quad (6.177)$$

Her bir zaman diliminde alınan sinyale bağımsız TBGG eklenir. Böylece alınan işaretler aşağıdaki ifadeyle verilirler.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \\ y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{131} & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131}^* \\ h_{132} & h_{232} \\ h_{232}^* & -h_{132}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} h_{131} & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131}^* \\ h_{132} & h_{232} \\ h_{232}^* & -h_{132}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{p} (\sqrt{a_1}(x_{111} + x_{121}) + \sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123})) \\ \sqrt{p} (\sqrt{a_1}(x_{211} + x_{221}) + \sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223})) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.178)$$

Burada y_1^1 ve y_2^1 sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ilk zaman diliminde alınan işaretler iken y_1^{*2} ve y_2^{*2} sırasıyla birinci ve ikinci alıcı antenlerden ikinci zaman dilimlerinde alınan sembollerin karmaşık eşlenikleridirler. Eşitlik 6.178’de görüldüğü gibi ikinci zaman dilimlerinde sembollerin karmaşık eşlenikleri alınmaktadır. Eşitlik 6.178’de verilen kanal katsayılarının kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. Birleştirici çıkışından alınan $\tilde{s}_1$ ve $\tilde{s}_2$ sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orjinal gönderilen s_1 ve s_2 sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında alınan semboller aşağıdaki gibidirler.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{131}^* & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_1^{*2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{132}^* & h_{232} \\ h_{232}^* & -h_{132} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_2^1 \\ y_2^{*2} \end{bmatrix} \quad (6.179)$$

U_3 kullanıcısındaki semboller aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{s}_1 = h_{131}^* y_1^1 + h_{231} y_1^{*2} + h_{132}^* y_2^1 + h_{232} y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_2 = h_{231}^* y_1^1 - h_{131} y_1^{*2} + h_{232}^* y_2^1 - h_{132} y_2^{*2}$$

$$\tilde{s}_1 = h_{131}^*[s_1 h_{131} + s_2 h_{231} + n_1] + h_{231}[-s_2 h_{131}^* + s_1 h_{231}^* + n_2^*] + h_{132}^*[s_1 h_{132} + s_2 h_{232} + n_3] + h_{232}[-s_2 h_{132}^* + s_1 h_{232}^* + n_4^*]$$

$$= |h_{131}|^2 s_1 + h_{131}^* h_{231} s_2 + h_{131}^* n_1 - h_{231} h_{131}^* s_2 + |h_{231}|^2 s_1 + h_{231} n_2^* + |h_{132}|^2 s_1 + h_{132}^* h_{232} s_2 + h_{132}^* n_3 + |h_{232}|^2 s_1 - h_{132}^* h_{232} s_2 + h_{232} n_4^*$$

$$= s_1[|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2] + h_{131}^* n_1 + h_{231} n_2^* + h_{132}^* n_3 + h_{232} n_4^*$$

$$\tilde{s}_2 = h_{231}^*[s_1 h_{131} + s_2 h_{231} + n_1] - h_{131}[-s_2 h_{131}^* + s_1 h_{231}^* + n_2^*] + h_{232}^*[s_1 h_{132} + s_2 h_{232} + n_3] - h_{132}[-s_2 h_{132}^* + s_1 h_{232}^* + n_4^*]$$

$$= h_{231}^* h_{131} s_1 + |h_{231}|^2 s_2 + h_{231}^* n_1 + |h_{131}|^2 s_2 - h_{131} h_{231}^* s_1 - h_{131} n_2^* + h_{232}^* h_{132} s_1 + |h_{232}|^2 s_2 + h_{232}^* n_3 - h_{132} h_{232}^* s_1 + |h_{132}|^2 s_2 - h_{132} n_4^*$$

$$= s_2[|h_{231}|^2 + |h_{131}|^2 + |h_{232}|^2 + |h_{132}|^2] + h_{231}^* n_1 - h_{131} n_2^* + h_{232}^* n_3 - h_{132} n_4^*$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) s_1 + h_{131}^* n_1 + h_{231} n_2^* + h_{132}^* n_3 + h_{232} n_4^* \\ (|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) s_2 + h_{231}^* n_1 - h_{131} n_2^* + h_{232}^* n_3 - h_{132} n_4^* \end{bmatrix}$$

Her iki zaman diliminde de alınan sinyalin SINR'ı birbirine eşittir. U_3 kullanıcısı y_3 sinyalinden U_1 kullanıcısına ait $x_{111} + x_{121}$ ve $x_{211} + x_{221}$ 'i çözdükten sonra SIC uygulayarak U_1 'in sinyalini kaldırır. Ardından, U_2 kullanıcısına ait $x_{112} + x_{122}$ ve $x_{212} + x_{222}$ 'yi çözdükten sonra SIC uygulayarak U_2 'in sinyalini kaldırır. U_3 kullanıcısı için SINR eşitliklerinde biri eşitlik 6.180 olur.

$$\gamma_{13i} = \frac{p a_1 E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2)}{p(a_2 + a_3) E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) + 2n_0} \quad (i = 1, 2) \quad (6.180)$$

Burada i 1. ve 2. Zamanda iletilen sembolü göstermektedir. İlk SIC işleminden sonra alıcının birleştirici çıkışından elde edilen işaret aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^{3'} \\ \tilde{s}_2^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_2}(x_{112} + x_{122}) + \sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) \right) \\ + h_{131}^* n_1 + h_{231} n_2^* + h_{132}^* n_3 + h_{232} n_4^* \\ (|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_2}(x_{212} + x_{222}) + \sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) \right) \\ + h_{231}^* n_1 - h_{131} n_2^* + h_{232}^* n_3 - h_{132} n_4^* \end{bmatrix} \quad (6.181)$$

Sonra $x_{112} + x_{122}$ ve $x_{212} + x_{222}$ çözülüp SIC uygulanır. Böylece U_2 kullanıcısı için SINR ifadesi aşağıdaki gibi bulunur:

$$\gamma_{23i} = \frac{p a_2 E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2)}{p a_3 E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) + 2n_0} \quad i = 1, 2 \quad (6.182)$$

İkinci SIC işleminden sonra alıcının birleştirici çıkışından elde edilen işaret aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^{3'} \\ \tilde{s}_2^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_3}(x_{113} + x_{123}) \right) \right) \\ + h_{131}^* n_1 + h_{231} n_2^* + h_{132}^* n_3 + h_{232} n_4^* \\ (|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) \left(\sqrt{p} \left(\sqrt{a_3}(x_{213} + x_{223}) \right) \right) \\ + h_{231}^* n_1 - h_{131} n_2^* + h_{232}^* n_3 - h_{132} n_4^* \end{bmatrix} \quad (6.183)$$

Böylece U_3 kullanıcısı için diğer biri SNR ifadesi aşağıdaki gibi bulunur:

$$\gamma_{3i} = \frac{p a_3 E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2)}{2n_0} \quad i = 1, 2 \quad (6.184)$$

3.6.1 3 kullanıcılı 2x2 Alamouti-NOMA Yapısının Servis kesinti olasılığı

U_1 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı için ulaşılabilir hız denklmi x_1 için Denklem 6.185’de ifade edilmiştir;

$$R_1 = \log_2(1 + \gamma_1) \quad (6.185)$$

Daha önce U_1 kullanıcısı için γ_1 eşitlik 6.163’da ifade edilmiştir.

$$\gamma_1 = \frac{pa_1E(|h_{111}|^2+|h_{211}|^2|h_{112}|^2+|h_{212}|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_{111}|^2+|h_{211}|^2|h_{112}|^2+|h_{212}|^2)+2n_0} \quad (6.163)$$

Eşitlik 7.163, denklem 7.185’ de yerine konulduğunda eşitlik 6.186 ulaşılabilir hız denklemi olarak elde edilir.

$$R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_{111}|^2+|h_{211}|^2|h_{112}|^2+|h_{212}|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_{111}|^2+|h_{211}|^2|h_{112}|^2+|h_{212}|^2)+2n_0} \right) \quad (6.186)$$

U_1 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_1^* ’dir.

Servis kesinti olasılığı ise eşitlik 6.187’de belirtilmiştir.

$$P^1 = P_r(R_1 < R_1^*) \quad (6.187)$$

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığının hesaplanabilmesi için x_1 ve x_2 için ulaşılabilir hız denklemleri denklem 6.188 ve denklem 6.189’da ifade edilmiştir;

$$R_{12} = \log_2(1 + \gamma_{12}) \quad (6.188)$$

$$R_2 = \log_2(1 + \gamma_2) \quad (6.189)$$

γ_{12} ve γ_2 sırasıyla eşitlik 6.171 ve eşitlik 6.173'de ifade edilmiştir.

$$\gamma_{12} = \frac{pa_1E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2+|h_{122}|^2+|h_{222}|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2+|h_{122}|^2+|h_{222}|^2)+2n_0} \quad (6.171)$$

$$\gamma_2 = \frac{pa_2E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2+|h_{122}|^2+|h_{222}|^2)}{pa_3E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2+|h_{122}|^2+|h_{222}|^2)+2n_0} \quad (6.173)$$

Eşitlik 6.171, denklem 6.165'de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.190 elde edilir.

$$R_{12} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2+|h_{122}|^2+|h_{222}|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2+|h_{122}|^2+|h_{222}|^2)+2n_0} \right) \quad (6.190)$$

Eşitlik 6.173 ,eşitlik 6.189'da yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.191 elde edilir.

$$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_2E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2+|h_{122}|^2+|h_{222}|^2)}{pa_3E(|h_{121}|^2+|h_{221}|^2+|h_{122}|^2+|h_{222}|^2)+2n_0} \right) \quad (6.191)$$

U_2 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_2^* 'dir.

U_2 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı x_2 için hesaplanabilmesi için gerekli olan eşitlikler eşitlik 6.192 ve eşitlik 6.193 ile ifade edilmiştir

$$P^{12} = P_r(R_{12} < R_1^*) \quad (6.192)$$

$$P^{22} = P_r(R_{12} < R_2^*) \quad (6.193)$$

Eşitlik 6.192, eşitlik 6.193 kullanılarak U_2 için servis kesinti olasılığı eşitlik 6.194 bulunur.

$$P^2 = P_r(R_{12} < R_1^*) + (P_r(R_{12} < R_2^*)P_r(R_{12} < R_1^*)) \quad (6.194)$$

U_3 Kullanıcısı için servis kesinti olasılığı hesaplanabilmesi için x_1, x_2 ve x_3 için gerekli ulaşılabilir hız denklemleri denklem 6.195 denklem 6.196, ve denklem 6.197 ifade edilmiştir;

$$R_{13} = \log_2(1 + \gamma_{13}) \quad (6.195)$$

$$R_{23} = \log_2(1 + \gamma_{23}) \quad (6.196)$$

$$R_3 = \log_2(1 + \gamma_3) \quad (6.197)$$

γ_{13}, γ_{23} ve γ_3 sırasıyla eşitlik 6.180, eşitlik 6.182 ve eşitlik 6.184'de ifade edilmiştir.

$$\gamma_{13} = \frac{pa_1E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2)}{pa_2 + a_3E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) + 2n_0} \quad (6.180)$$

$$\gamma_{23} = \frac{pa_2E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2)}{pa_3E(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2) + 2n_0} \quad (6.182)$$

$$\gamma_3 = \frac{pa_3(|h_{131}|^2 + |h_{231}|^2 + |h_{132}|^2 + |h_{232}|^2)}{\sigma^2} \quad (6.184)$$

Eşitlik 6.180, denklem 6.195'de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 7.198 elde edilir.

$$R_{13} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_1E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2+|h_{132}|^2+|h_{232}|^2)}{p(a_2+a_3)E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2+|h_{132}|^2+|h_{232}|^2)+2n_0} \right) \quad (6.198)$$

Eşitlik 6.182, denklem 6.196’da yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.199 elde edilir.

$$R_{23} = \log_2 \left(1 + \frac{pa_2E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2+|h_{132}|^2+|h_{232}|^2)}{pa_3E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2+|h_{132}|^2+|h_{232}|^2)+2n_0} \right) \quad (6.199)$$

Eşitlik 6.184, eşitlik 6.197’de yerine koyulduğunda ulaşılabilir hız denklemi olan denklem 6.200 elde edilir.

$$R_3 = \log_2 \left(1 + \frac{pa_3E(|h_{131}|^2+|h_{231}|^2+|h_{132}|^2+|h_{232}|^2)}{2n_0} \right) \quad (6.200)$$

U_3 kullanıcısı için ulaşılması hedeflenen hız R_3^* ’dir.

U_3 kullanıcısı için servis kesinti olasılığı x_3 için hesaplanabilmesi için gerekli olan eşitlikler eşitlik 6.201, eşitlik 6.202 ve eşitlik 6.203’de ifade edilmiştir.

$$P^{31} = P_r(R_{31} < R_1^*) \quad (6.201)$$

$$P^{23} = P_r(R_{23} < R_2^*) \quad (6.202)$$

$$P^{33} = P_r(R_3 < R_3^*) \quad (6.203)$$

Eşitlik 6.201, eşitlik 6.202 ve eşitlik 6.203 kullanılarak U_3 kullanıcısı için servis kesinti olasılığı eşitlik 6.204 bulunur.

$$P^3 = P_r(R_{13} < R_1^*) + (P_r(R_{23} < R_2^*)P_r(R_{13} < R_1^*)P_r(R_3 < R_3^*)) \quad (6.204)$$





BÖLÜM 7

BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde, alıcıda 2 kullanıcının olduğu durumlarda klasik NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA ve 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapıları ile alıcıda 3 kullanıcının olduğu durumlarda klasik NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA ve 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapıları güç değişkenine bağlı olarak benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Başarım ölçütü olarak BER ve OP kullanılmıştır.

2 kullanıcı için NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapıları kaynağa uzak olan kullanıcının (U_1) uzaklığı (d_1) 1000 Metre, kaynağa yakın kullanıcının (U_2) uzaklığı (d_2) 450 Metredir. Adil güç dağılımı gözetilerek ve $\sum_{l=1}^{Nu} a_l = 1$ eşitliğini sağlayacak şekilde kullanıcılar arasında en kötü kanal koşullarına sahip olan 1. kullanıcıya (U_1) en yüksek güç ($a_1 = 0.8$) tahsis edilmiştir. Daha sonra 2. kullanıcıya ($a_1 = 0.2$) tahsisi yapılmıştır. Hedeflenen hız U_1 kullanıcısı için ($R_1^* = 0.25$), U_2 kullanıcısı için ($R_2^* = 0.5$) 'dir. Yol kaybı değeri ise 4 (μ) olarak belirlenmiştir.

1 kullanıcı için Süperpozisyon kodlaması yapılır.

$$s = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2)$$

$$s = \sqrt{p}(\sqrt{(0.8)}x_1 + \sqrt{(0.2)}x_2)$$

3 kullanıcı için NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapıları kaynağa uzak olan kullanıcının (U_1) uzaklığı (d_1) 1000 Metre, kaynağa Orta Uzaklıktaki

kullanıcının (U_2) uzaklığı (d_2) 450 Metre, yakın olan kullanıcının ise (U_3) uzaklığı ise (d_1) 250 Metredir. Adil güç dağılımı gözetilerek ve $\sum_{l=1}^{Nu} a_l = 1$ eşitliğini sağlayacak şekilde kullanıcılar arasında en kötü kanal koşullarına sahip olan 1. kullanıcıya (U_1) en yüksek güç ($a_1 = 0.8$) tahsis edilmiştir. Daha sonra diğer kullanıcılara kanal koşullarına bağlı olarak güç ($a_1 = 0.15, a_2 = 0.05$) tahsisi yapılmıştır. Yol kaybı değeri ise 4 (μ) olarak belirlenmiştir. Hedeflenen hız U_1 kullanıcısı için ($R_1^* = 0.25$), U_2 kullanıcısı için ($R_2^* = 0.5$), U_3 kullanıcısı için ($R_3^* = 1$) dir.

3 kullanıcı için Süperpozisyon kodlaması yapılır.

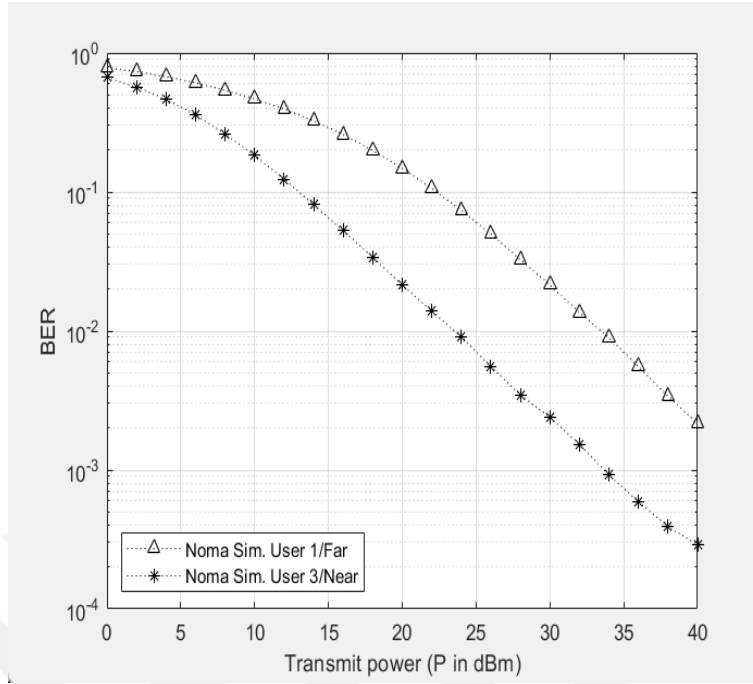
$$s = \sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_1 + \sqrt{a_2}x_2 + \sqrt{a_3}x_3) ,$$

$$s = \sqrt{p}(\sqrt{(0.8)}x_1 + \sqrt{(0.15)}x_2 + \sqrt{(0.05)}x_3)$$

2 kullanıcı ve 3 kullanıcı durumları için kaynaktan Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK) modülasyonlu 10^5 tane sembol üretilmiştir. Kanal bağımsız ve aynı dağılımlı karmaşık Gauss rastgele değişkenleri ve katsayıları sıfır beklenen değerli ve birim varyanslı olarak belirlenmiştir. Üç farklı sistemin BER ve OP başarımları ile ilgili sonuçlar karşılaştırılmıştır.

7.1 BİT HATA ORANI BENZETİM SONUÇLARI

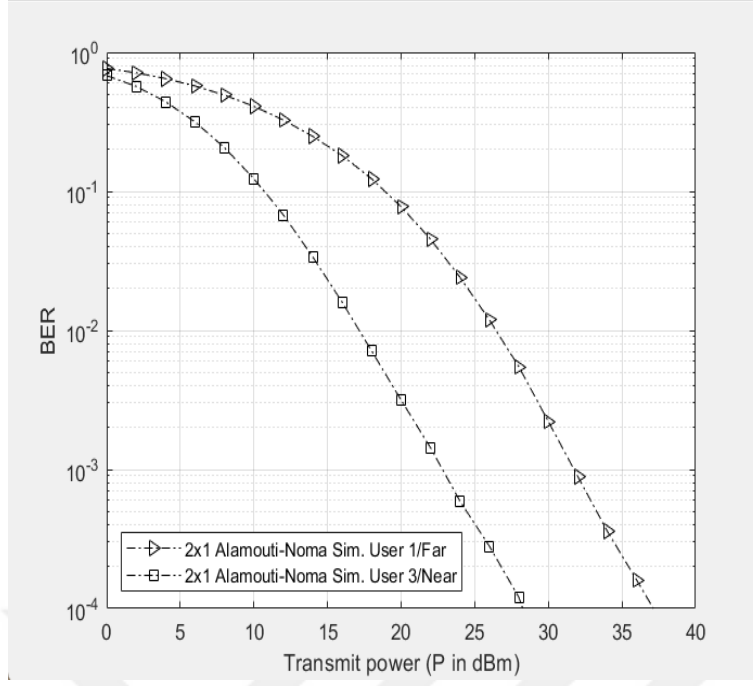
Şekil 7.1’de 2 kullanıcıya sahip NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan BER grafiği verilmiştir.



Şekil 7.1 2 kullanıcılı NOMA yapısının BER başarımı

Şekil 7.1’de görüldüğü üzere Alamouti-STBC yapısı bulunmayan 2 kullanıcılı NOMA’da seçilmiş parametrelere göre en iyi BER başarımına sahip yakın kullanıcı U_2 kullanıcısıdır. BER grafiğinde 0 ile 5 dBm arasında en kötü kanal koşullarına sahip U_1 kullanıcı ise daha iyi kanal koşullarına sahip U_2 kullanıcısı arasında BER başarımı değeri birbirine yakın. Güç değeri 5 dBm ‘in üzerine çıktığında ise kullanıcıların kaynağa olan mesafelerine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak yakın kullanıcı olan U_2 kullanıcısının BER başarımı değeri daha iyi bir değere ulaşmıştır. Güç değeri olan 40 dBm’ de BER grafiği incelendiğinde uzak kullanıcı olan U_1 kullanıcısı ve yakın kullanıcı olan U_2 ‘nin başarımları 3.10^{-4} - 2.10^{-3} arasında olduğu görülmektedir.

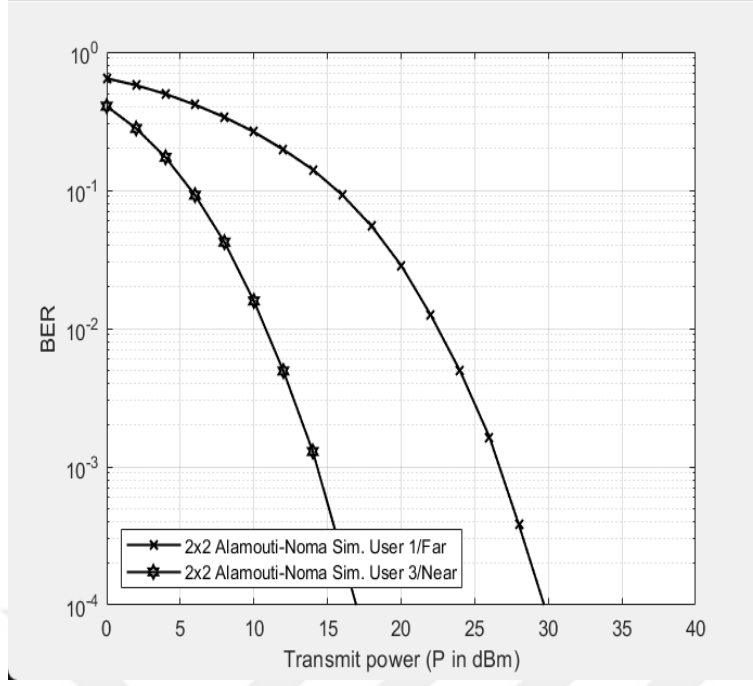
Şekil 7.2’de 2 kullanıcıya sahip 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan BER grafiği verilmiştir.



Şekil 7.2 2 kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısının BER başarımı

Şekil 7.2’de görüldüğü üzere 2 kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA’da seçilmiş parametrelere göre grafik değerlendirildiğinde en iyi BER başarımına sahip olan yakın kullanıcı olan U_2 kullanıcısıdır. BER grafiğinde incelendiğinde güç değerinin başlangıç değeri olan 0 dBm’ den başlayarak yakın kullanıcı olan yani iyi kanal koşullarına sahip U_2 kullanıcısının BER başarımı, uzak kullanıcı olan diğer bir ifadeyle en kötü kanal koşullarına sahip U_1 kullanıcısına göre daha iyi başarımlar göstererek devam etmiştir. Güç değeri 5 dBm ‘in üzerine çıktığında ise kullanıcıların kaynağa olan mesafelerine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak yakın kullanıcı olan U_2 kullanıcısının BER başarımı değeri daha iyi bir değere gelmiştir. Güç değeri olan 27 dBm ile 38 dBm arasında her iki kullanıcının BER başarımları 10^{-4} ’te oluşmaktadır.

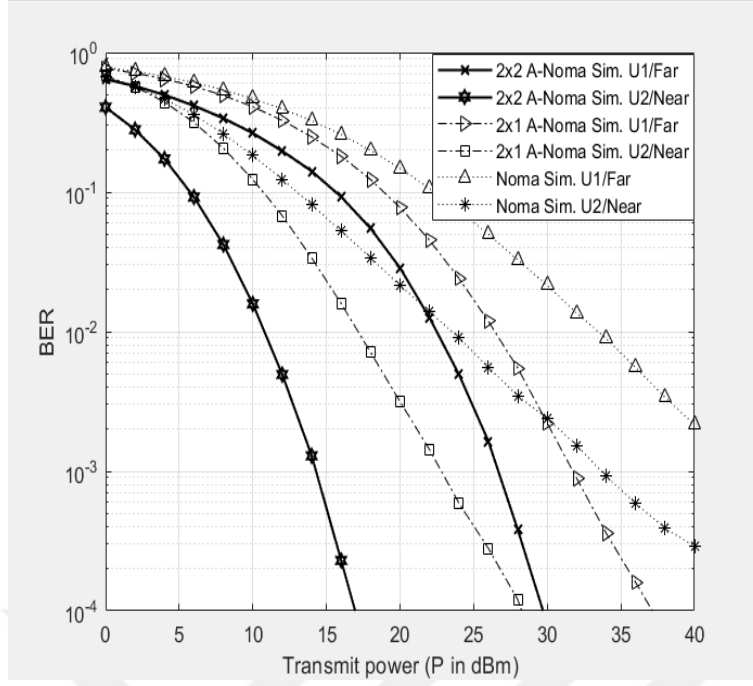
Şekil 7.3’de 2 kullanıcıya sahip 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan BER grafiği verilmiştir.



Şekil 7.3 2 kullanıcılı 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının BER başarımı

Şekil 7.3'deki grafik incelendiğinde 2 kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA'da seçilmiş parametrelere göre en iyi BER başarımına sahip olan yakın kullanıcı olan U_2 kullanıcısıdır. BER grafiğinde incelendiğinde güç değerinin başlangıç değeri olan 0 dBm' den başlayarak ve güç değeri arttıkça yakın kullanıcı olan yani iyi kanal koşullarına sahip U_2 kullanıcının BER başarımı, uzak kullanıcı olan diğer bir ifadeyle en kötü kanal koşullarına sahip U_1 kullanıcısına göre daha iyi başarımlar göstererek devam etmiştir. Güç değeri olan 18 dBm ile 29 dBm arasında her iki kullanıcının BER başarımları 10^{-4} 'te oluşmaktadır.

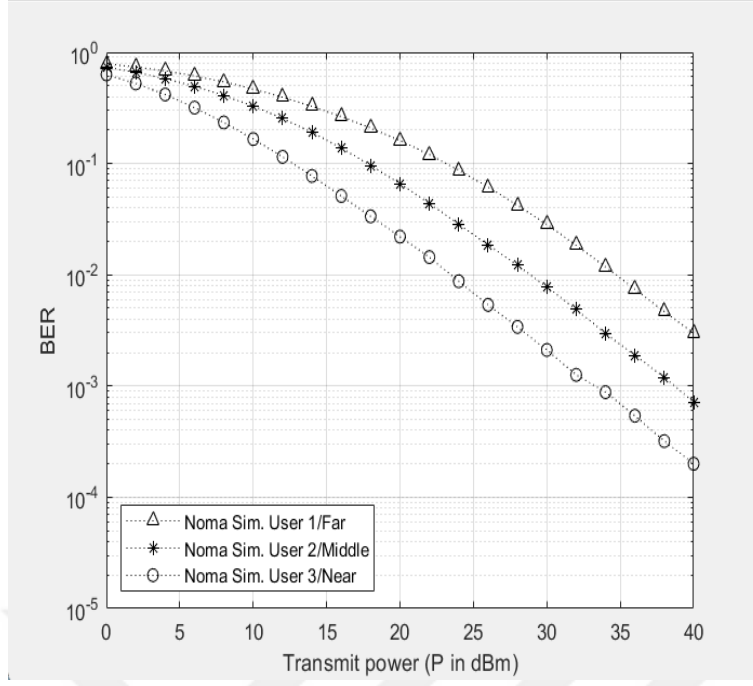
Şekil 7.4'de 2 Kullanıcı yapıları olan NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapılarının karşılaştırmalı BER grafiği verilmiştir.



Şekil 7.4 2 kullanıcı için klasik NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapılarının BER başarımlarını karşılaştırılması

Şekil 7.4'deki 2 kullanıcılı yapılar olan NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapılarının karşılaştırmalı BER başarımlarını grafiği incelendiğinde en iyi BER başarımlarını tüm kullanıcılar için 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısı olmuştur.

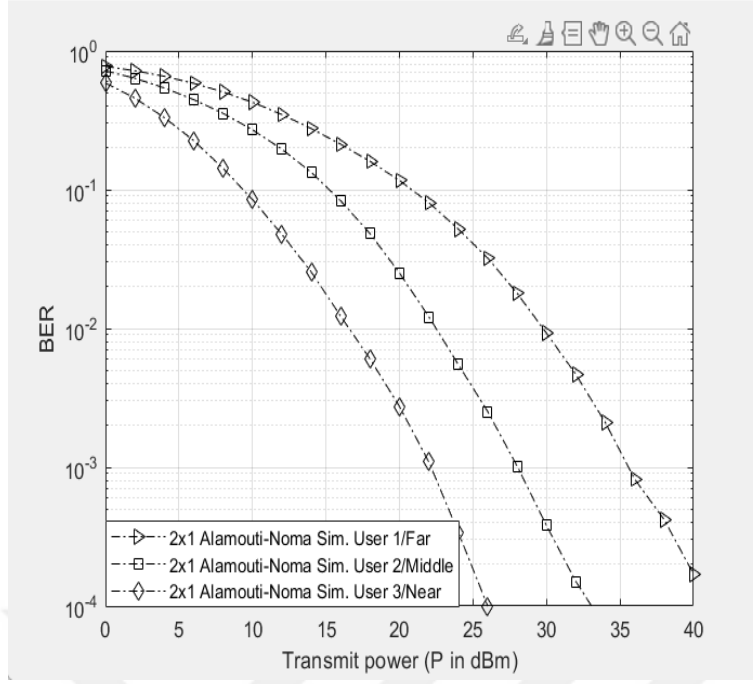
Şekil 7.5'de 3 kullanıcıya sahip NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan BER grafiği verilmiştir.



Şekil 7.5 3 kullanıcıli klasik NOMA yapısının BER başarımı

Şekil 7.5’de görüldüğü üzere 3 kullanıcıli ve Alamouti-STBC yapısı olmayan NOMA’ da seçilmiş parametrelerden göre grafik değerlendirildiğinde en iyi BER başarımına sahip yakın kullanıcı olan U_3 kullanıcısıdır. BER grafiğinde 0 ile 5 dBm arasında en kötü kanal koşullarına sahip U_1 kullanıcı ile daha iyi kanal koşullarına sahip olan U_2 ve U_3 kullanıcıları arasında BER başarımı değeri birbirine yakındır. Güç değeri 5 dBm ‘in üzerine çıktığında ise kullanıcıların kaynağa olan mesafelerine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak yakın kullanıcı olan U_3 kullanıcısının BER başarımı U_2 ve U_3 kullanıcılarının BER başarımına göre daha iyi duruma gelmiştir. Güç değeri olan 35 dBm’ de BER grafiği incelendiğinde uzak kullanıcı olan U_1 kullanıcısı ve yakın kullanıcı olan U_3 ‘ün BER başarımları 2.10^{-4} ile 3.10^{-3} arasında olduğu görülmektedir.

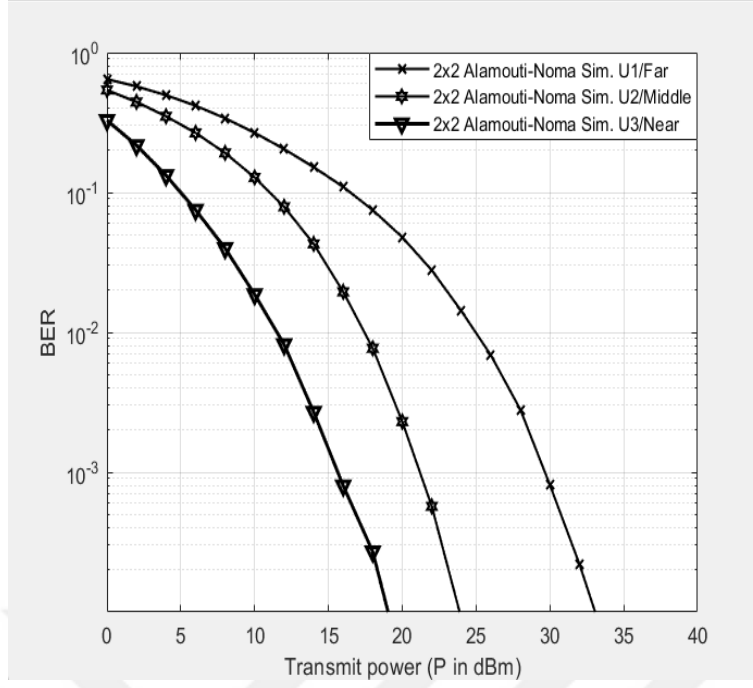
Şekil 7.6’da 3 kullanıcıya sahip 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan BER grafiği verilmiştir.



Şekil 7.6 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısının BER başarımı

Şekil 7.6’da görüldüğü üzere 3 kullanıcı 2x1 Alamouti- STBC NOMA’da seçilmiş parametrelere göre grafik değerlendirildiğinde en iyi BER başarımına sahip olan yakın kullanıcı olan U_3 kullanıcısıdır. BER grafiğinde 0 ile 5 dBm arasında en kötü kanal koşullarına sahip U_1 kullanıcı ile daha iyi kanal koşullarına sahip olan U_2 ve U_3 kullanıcıları arasında BER başarımı değeri birbirine yakın olduğu görülmektedir. Güç değeri 5 dBm ‘in üzerine çıktığında ise kullanıcıların kaynağa olan mesafelerine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak yakın kullanıcı olan yani iyi kanal koşullarına sahip U_3 kullanıcısının BER başarımı, kaynağa göre daha uzak olan kullanıcılar U_1 ve U_2 kullanıcılarına göre başka bir ifadeyle kötü kanal koşullarına sahip diğer kullanıcılara göre daha iyi başarımla devam etmiştir. Güç değeri olan 27 dBm ile 40 dBm arasında üç kullanıcının BER başarımları 10^{-4} ’te oluşmaktadır.

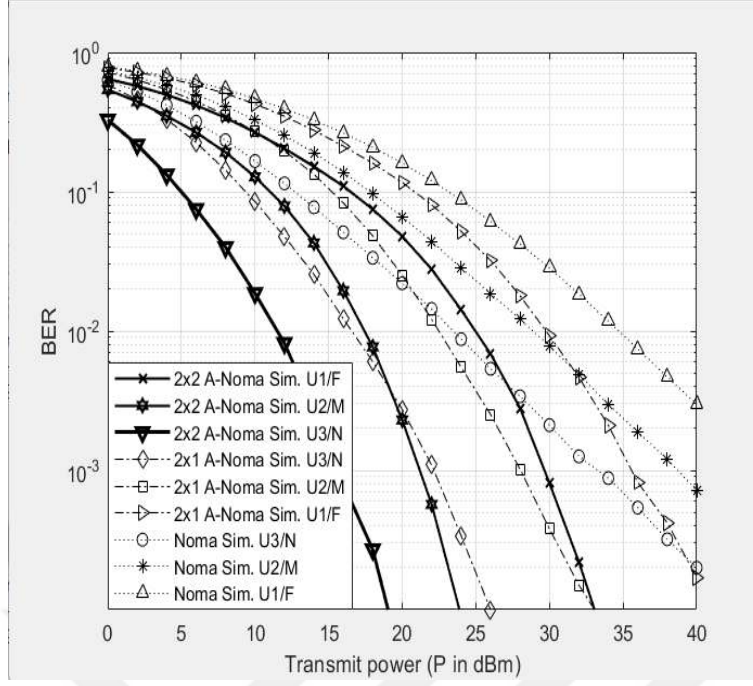
Şekil 7.7’de 3 kullanıcıya sahip 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan BER grafiği verilmiştir.



Şekil 7.7 3 Kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısının BER başarımı

Şekil 7.7’deki grafik incelendiğinde 3 kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA ’da seçilmiş parametrelere göre en iyi BER başarımına sahip olan yakın kullanıcı olan U_3 kullanıcısıdır. BER grafiğinde incelendiğinde güç değerinin başlangıç değeri olan 0 dBm’ den başlayarak ve güç değeri arttıkça yakın kullanıcı olan yani en iyi kanal koşullarına sahip U_3 kullanıcısının BER başarımı, kaynağa U_3 kullanıcısından daha uzak kullanıcılara göre diğer bir ifadeyle en kötü kanal koşullarına sahip U_1 ve U_2 kullanıcılarından daha iyi başarımla devam etmiştir. Güç değeri olan 18 dBm ile 34 dBm arasında 3 kullanıcının da BER başarımları 10^{-4} ’te oluşmaktadır.

Şekil 7.8’de 3 kullanıcılı yapılar olan NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapılarının karşılaştırmalı BER grafiği verilmiştir.

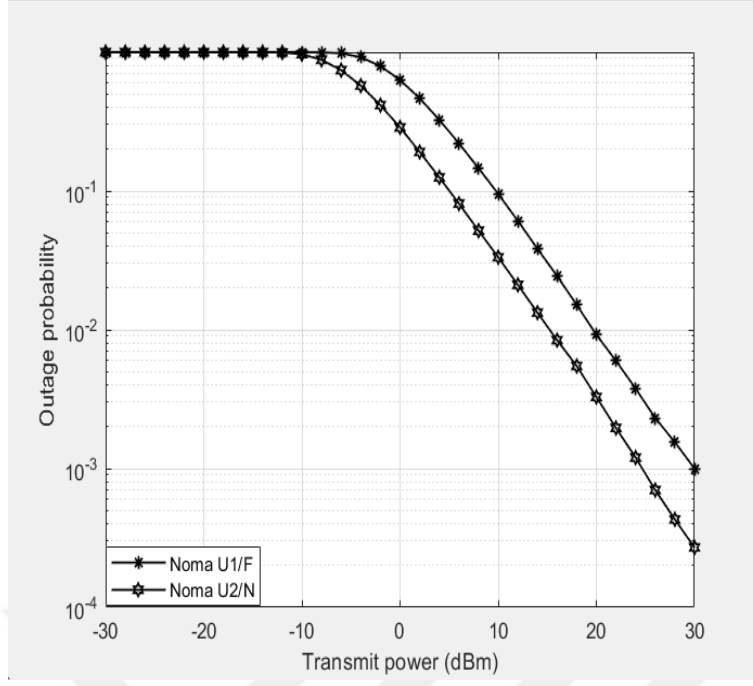


Şekil 7.8 3 Kullanıcı için klasik NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapılarının BER başarımlarını karşılaştırılması

Şekil 7.8’deki 3 kullanıcıya sahip yapılar olan NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapılarının karşılaştırmalı BER başarımlarını grafiği incelendiğinde en iyi BER başarımlarını tüm kullanıcılar için 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısı olduğu anlaşılmaktadır.

8.1 SERVİS KESİNTİ OLASILIĞI BENZETİM SONUÇLARI

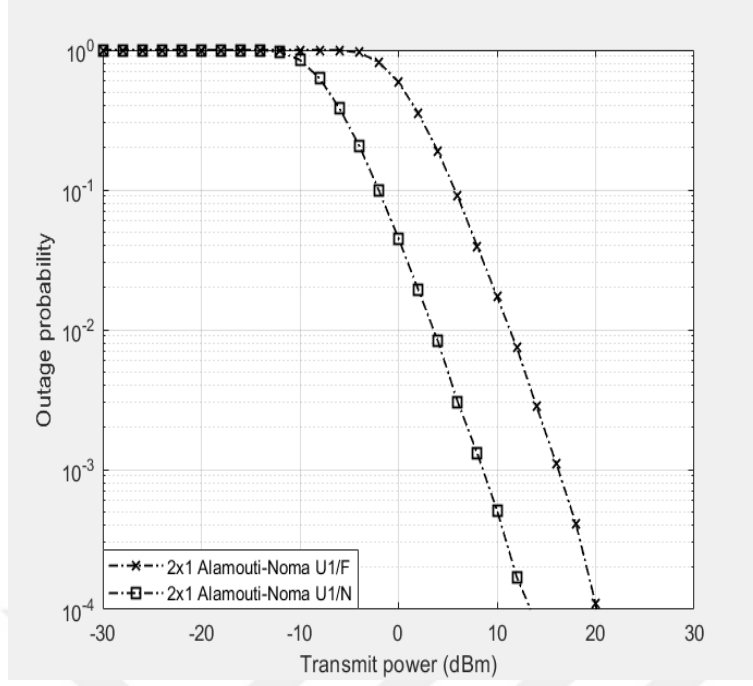
Şekil 7.9’da 2 kullanıcıya sahip NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan Servis kesinti olasılığı grafiği verilmiştir.



Şekil 7.9 2 kullanıcıli NOMA için OP başarımı

Şekil 7.9'deki 2 kullanıcıli yapı olan NOMA yapısı grafiği incelendiğinde seçilmiş parametrelere göre en iyi servis kesinti olasılığına sahip kullanıcının yakın kullanıcı olan U_2 kullanıcısının olduğu görülmektedir. Grafiğe bakınca güç değeri -30 dBm ile -10 dBm arasında iki kullanıcının da servis kesinti olasılıkları aynıdır. Güç değeri arttıkça -10 dBm değerinin üzerine çıktıkça kullanıcıların kaynağa olan mesafesine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak en iyi kanal koşullarına sahip yani U_2 kullanıcısının servis kesinti olasılığı başarımı daha kötü kanal koşullarına sahip U_1 kullanıcısına göre daha iyi bir değere ulaşmıştır. Güç değeri olan 30 dBm' de servis kesinti olasılığı başarımları grafiği incelendiğinde uzak kullanıcı olan U_1 kullanıcısı ve yakın kullanıcı olan U_2 'nin başarımları $2,9 \cdot 10^{-4}$ ile 10^{-3} arasında olduğu görülmektedir.

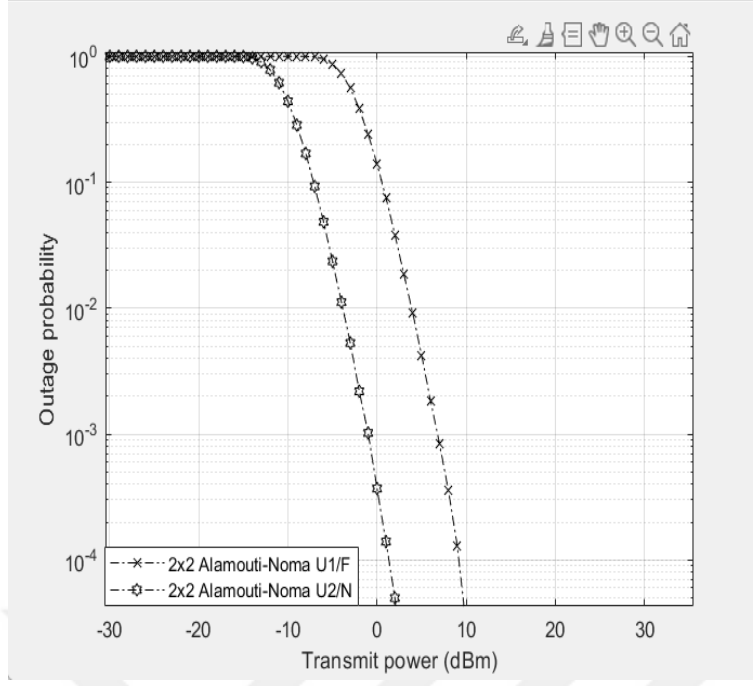
Şekil 7.10'da 2 kullanıcıya sahip 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan Servis kesinti olasılığı başarımı grafiği verilmiştir.



Şekil 7.10 2 kullanıcılı 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısı için OP başarımı

Şekil 7.10'daki 2 kullanıcılı yapı olan 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısı grafiği incelendiğinde seçilmiş parametrelere göre en iyi servis kesinti olasılığına sahip kullanıcının yakın kullanıcı olan U_2 kullanıcısının olduğu anlaşılmaktadır. Grafiğe bakınca güç değeri -30 dBm ile -10 dBm arasında iki kullanıcının da servis kesinti olasılıkları aynı değerde olduğu görülmektedir. Güç değeri arttıkça -10 dBm değerinin üzerine çıktıkça kullanıcıların kaynağa olan mesafesine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak en iyi kanal koşullarına sahip yani U_2 kullanıcısının servis kesinti olasılığı başarımı daha kötü kanal koşullarına sahip U_1 kullanıcısına göre daha iyi bir değere ulaşmıştır. Güç değeri olan 13 dBm ile 20 dBm arasında 2 kullanıcının da servis kesinti olasılığı başarımları 10^{-4} 'te oluşmaktadır.

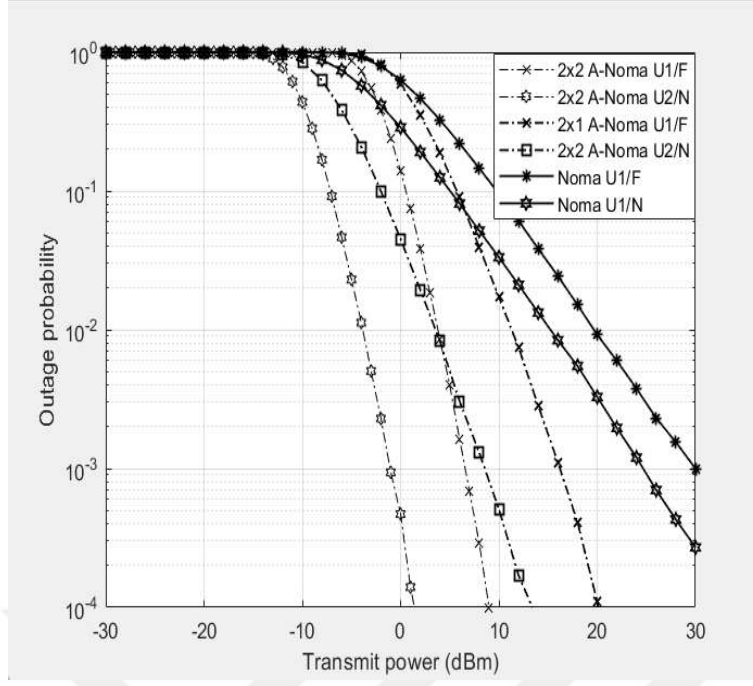
Şekil 7.11'de 2 kullanıcıya sahip 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan Servis kesinti olasılığı başarımı grafiği verilmiştir.



Şekil 7.11 2 kullanıcılı 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısı için OP başarımı

Şekil 7.11'deki 2 kullanıcılı yapı olan 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısı grafiği incelendiğinde seçilmiş parametrelere göre en iyi servis kesinti olasılığına sahip kullanıcının yakın kullanıcı olan U_2 kullanıcısının olduğu anlaşılmaktadır. Grafiğe bakınca yine güç değeri -30 dBm ile -10 dBm arasında iki kullanıcının da servis kesinti olasılıkları aynı değerde olduğu görülmektedir. Güç değeri arttıkça -10 dBm değerinin üzerine çıktıkça kullanıcıların kaynağa olan mesafesine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak yine en iyi kanal koşullarına sahip yani U_2 kullanıcısının servis kesinti olasılığı başarımı daha kötü kanal koşullarına sahip U_1 kullanıcısına göre daha iyi bir değere ulaşmıştır. Güç değeri olan 3 dBm ile 10 dBm arasında 2 kullanıcının da servis kesinti olasılığı başarımları 10^{-4} 'te oluşmaktadır.

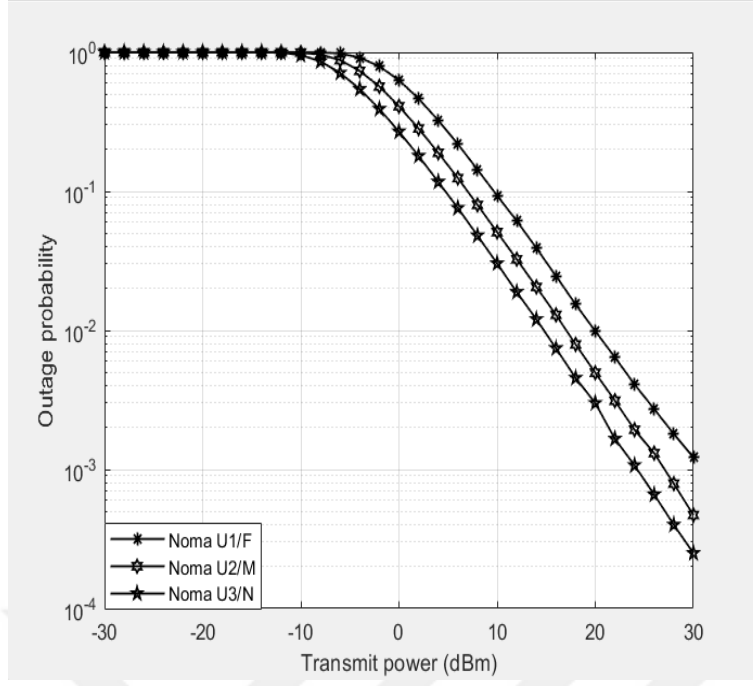
Şekil 7.12'de 2 kullanıcılı yapılar olan NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapılarının karşılaştırmalı servis kesinti olasılığı grafiği verilmiştir.



Şekil 7.12 2 kullanıcı yapılar için klasik NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapıları için OP başarımlarının karşılaştırılması.

Şekil 7.12'deki 2 kullanıcı yapılar olan NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapılarının karşılaştırmalı servis kesinti olasılığı başarımları grafiği incelendiğinde en iyi servis kesinti olasılığı başarımları tüm kullanıcılar için 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısı olduğu anlaşılmaktadır.

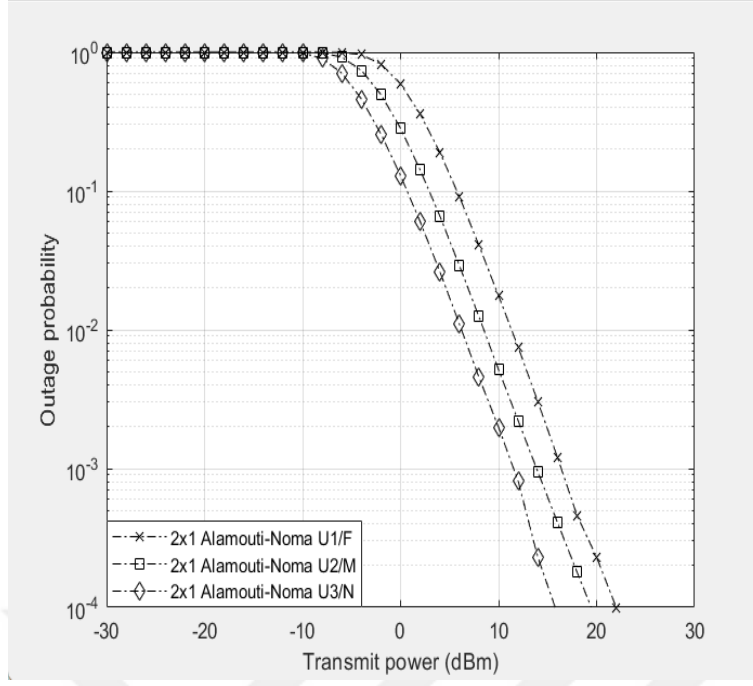
Şekil 7.13'de 3 kullanıcıya sahip NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan Servis kesinti olasılığı grafiği verilmiştir.



Şekil 7.13 3-Kullanıcı NOMA yapısı için OP başarımı

Şekil 7.13'deki 3 kullanıcı yapı olan NOMA yapısı grafiği incelendiğinde seçilmiş parametrelere göre en iyi servis kesinti olasılığına sahip kullanıcının yakın kullanıcı olan U_3 kullanıcısının olduğu görülmektedir. Grafiğe bakınca güç değeri -30 dBm ile -10 dBm arasında üç kullanıcının da servis kesinti olasılıkları aynıdır. Güç değeri arttıkça -10 dBm değerinin üzerine çıktıkça kullanıcıların kaynağa olan mesafesine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak en iyi kanal koşullarına sahip yani U_3 kullanıcısının servis kesinti olasılığı başarımı daha kötü kanal koşullarına sahip U_1 kullanıcısına göre daha iyi bir değere ulaşmıştır. Güç değeri olan 30 dBm' de servis kesinti olasılığı başarım grafiği incelendiğinde uzak kullanıcı olan U_1 kullanıcısı ve yakın kullanıcı olan U_3 kullanıcısının başarımları $2,5 \cdot 10^{-4}$ ile $1,2 \cdot 10^{-3}$ arasında olduğu görülmektedir.

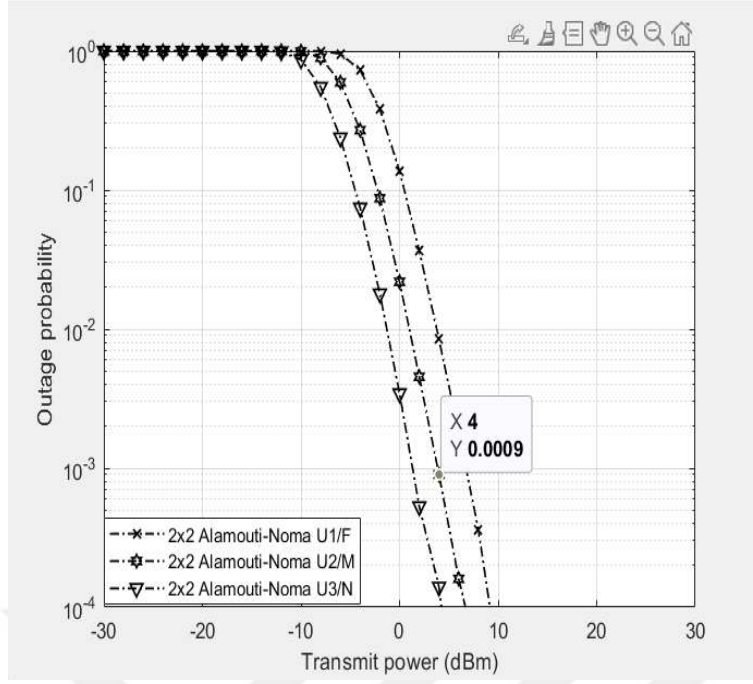
Şekil 7.14'de 3 kullanıcıya sahip 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan Servis kesinti olasılığı başarımı grafiği verilmiştir.



Şekil 7.14 3 Kullanıcı 2x1 Alamouti- STBC NOMA yapısı için OP başarımı

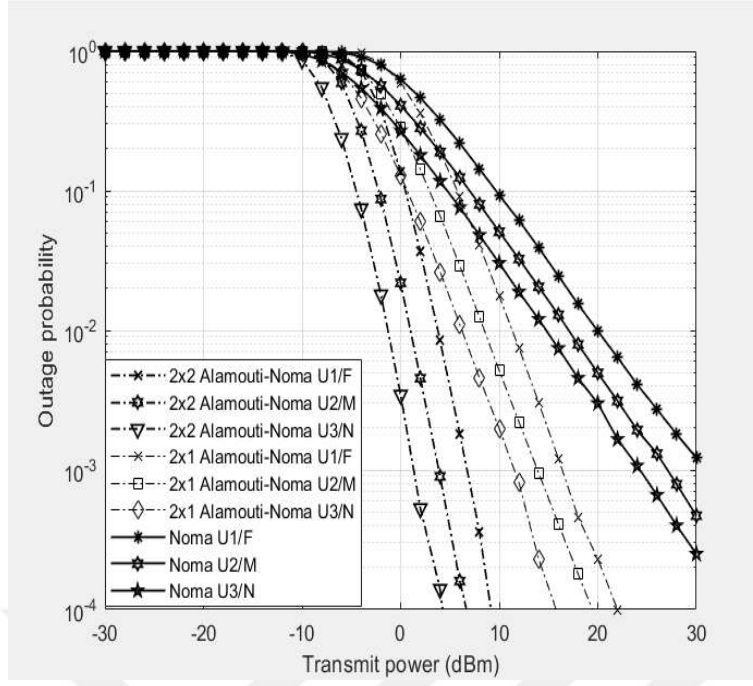
Şekil 7.14'deki 3 kullanıcılı yapı olan 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapısı grafiği incelendiğinde seçilmiş parametrelere göre en iyi Servis kesinti olasılığına sahip kullanıcının yakın kullanıcı olan U_3 kullanıcısının olduğu anlaşılmaktadır. Grafiğe bakınca güç değeri -30 dBm ile -10 dBm arasında üç kullanıcının da servis kesinti olasılıkları aynı değerde olduğu görülmektedir. Güç değeri arttıkça -10 dBm değerinin üzerine çıktıkça kullanıcıların kaynağa olan mesafesine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak en iyi kanal koşullarına sahip yani U_3 kullanıcısının servis kesinti olasılığı başarımı daha kötü kanal koşullarına sahip U_1 ve U_2 kullanıcılarına göre daha iyi bir değere ulaşmıştır. Güç değeri olan 16 dBm ile 23 dBm arasında 3 kullanıcının da servis kesinti olasılığı başarımları 10^{-4} 'te oluşmaktadır.

Şekil 7.15'de 3 kullanıcıya sahip 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısının güç değişkenine bağlı olarak oluşan Servis kesinti olasılığı başarımı grafiği verilmiştir.



Şekil 7.15 3 Kullanıcı 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısı için OP başarımı

Şekil 7.15'deki 3 kullanıcı yapı olan 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısı grafiği incelendiğinde seçilmiş parametrelere göre en iyi servis kesinti olasılığına sahip kullanıcının yakın kullanıcı olan U_3 kullanıcısının olduğu anlaşılmaktadır. Grafiğe bakınca yine güç değeri -30 dBm ile -10 dBm arasında iki kullanıcının da servis kesinti olasılıkları aynı değerde olduğu görülmektedir. Güç değeri arttıkça -10 dBm değerinin üzerine çıktıkça kullanıcıların kaynağa olan mesafesine bağlı ve adil güç dağılımından kaynaklı olarak yine en iyi kanal koşullarına sahip yani U_3 kullanıcısının servis kesinti olasılığı başarımı daha kötü kanal koşullarına sahip U_1 ve U_2 kullanıcısına göre daha iyi bir değere ulaşmıştır. Güç değeri olan 5 dBm ile 9 dBm arasında 3 kullanıcının da servis kesinti olasılığı başarımları 10^{-4} 'te oluşmaktadır.



Şekil 7.16 3 kullanıcılı yapılar için klasik NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapıları için OP başarımlarının karşılaştırılması.

Şekil 7.16'daki 3 Kullanıcılı yapılar olan NOMA, 2x1 Alamouti- STBC NOMA, 2x2 Alamouti- STBC NOMA karşılaştırmalı servis kesinti olasılığı başarımları grafiği incelendiğinde en iyi servis kesinti olasılığı başarımları tüm kullanıcılar için 2x2 Alamouti- STBC NOMA yapısı olduğu anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Literatürde NOMA tekniği ilgili yapılan çalışmalarda geleneksel NOMA tekniğinin kullanıldığı gibi bu tekniği daha verimli bir hale getirmek için NOMA tekniği ile birlikte kullanılan yöntemlerin olduğu çalışmalarda vardır. NOMA ile birlikte kullanılan yöntemlerden biri ise Alamouti-STBC yöntemidir. Alamouti-STBC 'nin kullanıldığı 2 verici ve 1 alıcıdan oluşan çalışmalar daha fazladır. Bunun yanında 2 verici ve 1 alıcının kullanıldığı çalışmalarda vardır. Fakat iki vericinin ve 2 alıcının kullanıldığı Alamouti-STBC NOMA çalışmasında yapılan çalışmalar gerçek zamanlı çalışmalardır.

Bu çalışmamızda diğer çalışmalardan farklı olarak güç değişkenine bağlı olarak birbirinden farklı uzaklıktaki kullanıcılar için Rayleigh sönümlemeli kanalda MATLAB/Simulink programı kullanılarak 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının simülasyonu da gerçekleştirilmiştir. Farklı uzaklıklardaki 2 kullanıcılı NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA, 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapılarının yanında, yine birbirinden farklı uzaklıklardaki 3 kullanıcılı NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA, 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapılarının güç değişkenine bağlı Rayleigh sönümlemeli kanalda MATLAB/Simulink programı kullanılarak BER başarımı ve servis kesinti olasılıkları başarımı simülasyonları gerçekleştirildi. Daha sonra elde edilen BER başarımı ve servis kesinti olasılığı başarımı 2 kullanıcı için karşılaştırılarak değerlendirildi. Daha sonra ise 3 kullanıcı için BER başarımı ve servis kesinti olasılığı başarımı karşılaştırıldı.

Belirtilen parametrelerde birbirinde farklı uzaklıklardaki 2 kullanıcı için Rayleigh sönümlemeli kanalda güç değişkenine bağlı olarak yapılan BER başarımı simülasyonu ve servis kesinti olasılığı simülasyonu sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde tüm kullanıcılar için

en kötü BER başarımına ve en kötü servis kesinti olasılığı başarımına sahip olan yapının geleneksel NOMA yapısının olduğu sonucuna varılmıştır. Yine farklı uzaklıklardaki tüm kullanıcılar için Rayleigh sönümlmeli kanalda yapılan BER başarımı ve servis kesinti olasılığı başarımı simülasyonu sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ise en iyi BER başarımına ve servis kesinti olasılığı başarımına sahip olan yapının 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı uzaklıklardaki 2 kullanıcı için geleneksel NOMA yapısının 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapısına göre daha kötü BER başarımına ve servis kesinti olasılığı başarımına sahip olmasının başlıca sebebi ise 2 verici antenin 1 verici antene göre çeşitleme derecesinin daha yüksek olmasıdır. 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının ise geleneksel NOMA'dan ve 2x1 Alamouti-STBC NOMA' den daha iyi BER başarımına ve servis kesinti olasılığı başarımına sahip olmasının nedeni ise 2 alıcı antenin 1 alıcı antene göre daha yüksek çeşitleme derecesine sahip olmasıdır. Çeşitleme derecesindeki artışın, BER başarımını etkilediği elde edilen sonuçlarda açıkça görülmektedir.

Birbirinden farklı uzaklıklardaki 3 kullanıcı içinde belirlenmiş olan parametrelerle Rayleigh sönümlmeli kanalda güç değişkenine bağlı olarak yapılan BER başarımı simülasyonu ve servis kesinti olasılığı simülasyonu sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilip bir sonuca varıldığında tüm kullanıcılar için en kötü BER başarımına ve en kötü servis kesinti olasılığı başarımına sahip olanın geleneksel NOMA yapısının olduğu açıkça görülmektedir. Yine farklı uzaklıklardaki tüm kullanıcılar içinde aynı parametrelerle BER başarımı ve servis kesinti olasılığı başarımı için Rayleigh sönümlmeli kanalda yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ise en iyi BER başarımına ve servis kesinti olasılığı başarımına sahip olan yapının 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının olduğu sonucuna varılmıştır. Uzaklıkları farklı olan 3 kullanıcı için 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapısının geleneksel NOMA yapısına göre daha iyi BER başarımına ve servis kesinti olasılığı başarımının olmasının en önemli sebebi ise 2 verici antenin 1 verici antene göre çeşitleme derecesinin daha yüksek olmasıdır. 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapısının ise geleneksel NOMA'dan ve 2x1 Alamouti-STBC NOMA' den BER başarımına ve servis kesinti olasılığı başarımına daha iyi olması ise her kullanıcıda 2 alıcı antene sahip olmasından dolayı daha yüksek çeşitleme derecesinin olmasıdır. Elde edilen sonuçlarda çeşitleme derecesindeki artış BER başarımını ve servis kesinti olasılığı başarımını etkilediği elde edilen sonuçlarda görülmektedir.

Farklı uzaklıklarda bulunan 2 kullanıcılı yapılar olan geleneksel NOMA, 2x1 Alamouti-STBC NOMA ve 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapılarının BER başarımı simülasyon sonucunda elde edilen sonuçlar ile farklı uzaklıklarda bulunan 3 kullanıcılı yapılar olan geleneksel NOMA yapısı, 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapısı ve 2x2 Alamouti-STBC NOMA yapılarının BER başarımı ve servis kesinti olasılığı başarımı simülasyon sonuçlarında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, 2 kullanıcılı sahip yapıların BER başarımlarının ve servis kesinti olasılığı başarımlarının daha iyi olduğu sonucuna varılmaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden biri ise elde edilen sonuçlarda açıkça görüldüğü gibi kullanıcı sayısının artması iletilen sinyaller arasındaki girişimi artırmakta ve bunun bir sonucu olarak da BER başarımını ve servis kesinti olasılığı başarımını kötüleştirmektedir. Diğer bir sebep ise kullanıcı sayısının artması ile her bir kullanıcı için adil güç dağılımı da gözetilerek tahsis edilen güçteki azalmadır. Kullanıcıların gücünün azalması ile kullanıcılara iletilen sinyallerin kötü kanal koşullarından daha fazla etkilenmesine neden olarak BER başarımını ve servis kesinti olasılığını başarımını düşürmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Dai L, Wang B, Yuan Y, Han S, Chih-Lin and Wang Z (2015) Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends. *IEEE Communications Magazine*, 53(9): 74-76.
- [2] Islam S M R , Avazov N, Dobre O A, Kwak K S (2016) Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2): 721-742.
- [3] Liaqat M, Noordin K A, Abdul Latef T, Dimyati K (2020) Power-domain non orthogonal multiple access (PD-NOMA) in cooperative networks an overview, *Wireless* (26): 181-203.
- [4] Kara F, Kaya H (2019). İşbirlikli-Dikgen Olmayan Çoklu Erişimin Nakagami-m Sönümlmeli Kanallardaki Hata Analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1), 152
- [5] Tang Z, Wang J, Wang J, Song J (2017) Harvesting both rate gain and diversity gain: Combination of NOMA with the Alamouti scheme. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp. 1-3
- [6] Toka M, Kucur O (2018) Non-orthogonal multiple access with Alamouti space–time block coding. *IEEE Communications letters*, 22(9): 1954-1957.
- [7] Kartal M Z, Coşkun A F, Solak V, İlhan H (2020) Performance of alamouti STBC-NOMA scheme employing different transmit antenna selection strategies. In *2020 28th SIU Signal Processing and Communications Applications Conference*, 1-4
- [8] Özkan L, Büyükçorak S, Güven E, Kurt G K (2023) A Three-User 2x2 MIMO Alamouti/MRC NOMA System Implementation. In *2023 31st SIU Signal Processing and Communications Applications Conference* ,1-4
- [9] Rappaport T S (2002) *Wireless Communications: Principles and Practice*. 2nd Edition, ISBN:0-13-042232-0, Prentice Hall, New Jersey, 707 pp/s
- [10] Oturak A (2017) Hızlı frekans hoplamalı dik frekans bölmeli çoğullama sisteminin sönümlmeli kanallardaki başarıml analizi, *Doktora Tezi*, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı ,197 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [11] **Simon M K, Alauini M** (2004) *Digital Communication over Fading Channels, 2nd edition*, ISBN 0-471-31779-9, Wiley & Sons, Inc, New York, 530 pp/s
- [12] **Proakis J G** (2001) *Digital Communications*. 4th Edition, ISBN:0-07-118183-0, McGraw-Hill International Edition, New York, 1002 pp/s.
- [13] **Stark H and Woods J W** (2002) *Probability and Random Processes with Applications to Signal Processing*. 3rd Edition, ISBN: 0-13-020071-9, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 689 pp/s.
- [14] **Xiao C and Zheng Y R** (2009) Improved Models for the Generation of Multiple Uncorrelated Rayleigh Fading Waveforms. *IEEE Commun letters*, 6 (6): 256–258.
- [15] **Özkan L, Büyükçorak S, Güven E, Kurt G K** (2023) A Three-User 2x2 MIMO Alamouti/MRC NOMA System Implementation. In *2023 31st SIU Signal Processing and Communications Applications Conference* ,1-4
- [16] **Al-Eryani Y and Hossain E.** (2019). The D-OMA method for massive multiple access in 6G: Performance, security, and challenges. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14(3): 92-99
- [17] **Shah A F M S, Qasim A N, Karabulut M A, İlhan H, Islam M B** (2021) Survey and performance evaluation of multiple access schemes for next-generation wireless communication systems. *IEEE Access*, 9, 113428-113442
- [18] **Demiral Bircan, Ertuğ Ö** (2021) Transmitter Receiver Antenna Selection for MIMO-NOMA System, *2021 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, 1-4
- [19] **Wilson S K, Wilson S, Biglieri E** (2016) *Academic Press Library in Mobile and Wireless Communications: Transmission Techniques for Digital Communications*. 1st edition, ISBN:978-0-12-398-281-0, Academic Press, London, 435-465
- [20] **Garg Z K and Wan Y C** (2004) *The Electrical Engineering Handbook: Data Communication Concepts* , 1st edition, USA, Academic Press, 1005-1009.
- [21] **Navita M and Amandeep N** (2016) Performance analysis of OFDMA, MIMO & SC-OFDMA technology in 4G LTE, *6th International Conference-Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)*, Noida, India, 1-5.
- [22] **Demirdögen İ, Birol A, Aldirmaz S, Arslan H, Durak L** (2010) Cognitive OFDMA: Exploring a new FFT based detection technique for opportunistic usage. *IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*, New Orleans, LA, USA, 1-4.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [23] **Ghafoor U, Ali M, Khan H Z, Siddiqui A M and Naeem M** (2022) NOMA and future 5G & B5G wireless networks: A paradigm. *Journal of Network and Computer Applications*, 204
- [24] **Iswarya N and Jayashree L S** (2021) A survey on successive interference cancellation schemes in non-orthogonal multiple access for future radio Access, *Wireless Personal Communication*, 120(2): 1057-1078.
- [25] **Zheng B, Wu Q and Zhang R** (2020) Intelligent reflecting surface-assisted multiple access with user pairing: NOMA or OMA, *IEEE Communications Letters*, 24(4): 753 – 757.
- [26] **Demirel B** (2023) Çoklu erişim için değişken gönderici-alıcı anten Seçimi, *Doktora tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 83 s.
- [27] **Preethi J and Kirthiga S** (2020). Study and analysis of PD-NOMA in downlink land mobile satellite systems, *Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, Tirunelveli, India, 1-5.
- [28] **Dai J, Niu K and Lin J** (2018) Code-domain non-orthogonal multiple Access for Visible light communications, *IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 1-6.
- [29] **Chen S, Ren B, Gao Q, Kang S, Sun S and Niu K** (2017) Pattern division multiple access-a novel nonorthogonal multiple access for fifth-generation radio networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(4): 3185-3196.
- [30] **Liu Z and Yang L** (2021) Sparse or Dense: A Comparative Study of CodeDomain NOMA Systems, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(8): 4768 – 4780.
- [31] **Alamouti S M** (1998) A simple transmit diversity technique for wireless communications, *IEEE Journal on selected areas in communications*, 16(8): 1451-1458.
- [32] **Tarokh V, Seshadri N, Calderbank A** (1997) Space-Time Codes For High Data Rate Wireless Communications: Code Construction, *IEEE Transaction on Information Theory*, 44(2): 744 – 765.
- [33] **Lin H Y, Ma H P** (2009) An MIMO – OFDM Baseband Engine for High Mobility Environment, *IEEE Proc. of the 15th Asia Pacific Conference on Communications*, 1, 8 – 11.
- [34] **Tarokh V, Naguib A, Calderbank A R** (1997), Space Time Codes for High Data Rate Wireless Communication: Mismatch Analysis, *IEEE International Conference on Towards the Knowledge Millennium*, 1, 309 – 313.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [35] **Telatar I E** (1999) Capacity of multi antenna Gaussian channels, European Transaction on Telecommunication, *European transactions on telecommunications*,10(6), 585-596.
- [36] **Proakis J G, Salehi M** (1994) *Communications Systems Engineering*.2th Edition, ISBN:0-13-095007-6, Prentice –Hall, New York, 801 pp/s.



EK AÇIKLAMALAR

EK A: 2 kullanıcılı 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapısı 1. Kullanıcı Birleştirici çıkışından alınan sembollerin türetilmesi

Altıncı bölümde eşitlik 6.34’de verilen birleştirici çıkışındaki semboller aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \tilde{s}_1^1 \\ \tilde{s}_2^1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{111}^* & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right) \\
 &= \begin{bmatrix} h_{111}^* & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} h_{111}s_1 + h_{211}s_2 + n_1 \\ h_{211}^*s_1 - h_{111}^*s_2 + n_2^* \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} |h_{111}|^2s_1 + h_{111}^*h_{211}s_2 + |h_{211}|^2s_1 - h_{111}^*h_{211}s_2 \\ h_{211}^*h_{111}s_1 + |h_{211}|^2s_2 - h_{211}^*h_{111}s_1 + |h_{111}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{111}^*n_1 + h_{211}n_2^* \\ h_{211}^*n_1 - h_{111}n_2^* \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} |h_{111}|^2s_1 + |h_{211}|^2s_1 \\ |h_{211}|^2s_2 + |h_{111}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{111}^*n_1 + h_{211}n_2^* \\ h_{211}^*n_1 - h_{111}n_2^* \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} (|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112}) + h_{111}^*n_1 + h_{211}n_2^*) \\ (|h_{211}|^2 + |h_{111}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212}) + h_{211}^*n_1 - h_{111}n_2^*) \end{bmatrix} \tag{A-1}
 \end{aligned}$$

EK B: 2 kullanıcılı 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapısı 2. Kullanıcı Birleştirici çıkışından alınan sembollerin türetilmesi

Altıncı bölümde eşitlik 6.40'da verilen birleştirici çıkışındaki semboller aşağıdaki gibi

$$\text{türetilmiştir. } \begin{bmatrix} \tilde{s}_1^2 \\ \tilde{s}_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{121}^* & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right)$$

$$= \begin{bmatrix} h_{121}^* & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{121}s_1 + h_{221}s_2 + n_1 \\ h_{221}^*s_1 - h_{121}^*s_2 + n_2^* \end{bmatrix} \right)$$

$$= \begin{bmatrix} |h_{121}|^2s_1 + h_{121}^*h_{221}s_2 + |h_{221}|^2s_1 - h_{121}^*h_{221}s_2 \\ -h_{221}^*h_{121}s_1 + |h_{221}|^2s_2 - h_{221}^*h_{121}s_1 + |h_{121}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* \\ h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} |h_{121}|^2s_1 + |h_{221}|^2s_1 \\ |h_{221}|^2s_2 + |h_{121}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* \\ h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^* \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112}) + h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* \\ (|h_{221}|^2 + |h_{121}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212}) + h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^*) \end{bmatrix} \quad (\text{B-1})$$

EK C: 3 kullanıcılı 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapısı 1. Kullanıcı Birleştirici çıkışından alınan sembollerin türetilmesi

Altıncı bölümde eşitlik 6.114'de verilen birleştirici çıkışındaki semboller aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^1 \\ \tilde{s}_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111}^* & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{111} & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{bmatrix} h_{111}^* & h_{211} \\ h_{211}^* & -h_{111} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} h_{111}s_1 + h_{211}s_2 + n_1 \\ h_{211}^*s_1 - h_{111}^*s_2 + n_2^* \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} |h_{111}|^2s_1 + h_{111}^*h_{211}s_2 + |h_{211}|^2s_1 - h_{111}^*h_{211}s_2 \\ h_{211}^*h_{111}s_1 + |h_{211}|^2s_2 - h_{211}^*h_{111}s_1 + |h_{111}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{111}^*n_1 + h_{211}n_2^* \\ h_{211}^*n_1 - h_{111}n_2^* \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} |h_{111}|^2s_1 + |h_{211}|^2s_1 \\ |h_{211}|^2s_2 + |h_{111}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{111}^*n_1 + h_{211}n_2^* \\ h_{211}^*n_1 - h_{211}n_2^* \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} (|h_{111}|^2 + |h_{211}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) + h_{111}^*n_1 + h_{211}n_2^*) \\ (|h_{211}|^2 + |h_{111}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) + h_{211}^*n_1 - h_{111}n_2^*) \end{bmatrix} \quad (C-1)
\end{aligned}$$

EK D: 3 kullanıcılı 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapısı 2. Kullanıcı Birleştirici çıkışından alınan sembollerin türetilmesi

Altıncı bölümde eşitlik 6.120’de verilen birleştirici çıkışındaki semboller aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \tilde{s}_1^2 \\ \tilde{s}_2^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{121}^* & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{121} & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right) \\
&= \begin{bmatrix} h_{121}^* & h_{221} \\ h_{221}^* & -h_{121} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} h_{121}s_1 + h_{221}s_2 + n_1 \\ h_{221}^*s_1 - h_{121}^*s_2 + n_2^* \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} |h_{121}|^2s_1 + h_{121}^*h_{221}s_2 + |h_{221}|^2s_1 - h_{121}^*h_{221}s_2 \\ -h_{221}^*h_{121}s_1 + |h_{221}|^2s_2 - h_{221}^*h_{121}s_1 + |h_{121}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* \\ h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^* \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} |h_{121}|^2s_1 + |h_{221}|^2s_1 \\ |h_{221}|^2s_2 + |h_{121}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* \\ h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^* \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$= \begin{bmatrix} (|h_{121}|^2 + |h_{221}|^2)\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{111} + \sqrt{a_2}x_{112} + \sqrt{a_3}x_{113}) + h_{121}^*n_1 + h_{221}n_2^* \\ (|h_{221}|^2 + |h_{121}|^2)(\sqrt{p}(\sqrt{a_1}x_{211} + \sqrt{a_2}x_{212} + \sqrt{a_3}x_{213}) + h_{221}^*n_1 - h_{121}n_2^*) \end{bmatrix} \quad (\text{D-1})$$

EK E: 3 kullanıcı 2x1 Alamouti-STBC NOMA yapısı 3. Kullanıcı Birleştirici çıkışından alınan sembollerin türetilmesi

Altıncı bölümde eşitlik 6.127’de verilen birleştirici çıkışındaki semboller aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \tilde{s}_1^3 \\ \tilde{s}_2^3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{131}^* & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131} \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} h_{131} & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix} \right) \\ &= \begin{bmatrix} h_{131}^* & h_{231} \\ h_{231}^* & -h_{131} \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} h_{131}s_1 + h_{231}s_2 + n_1 \\ h_{231}^*s_1 - h_{131}^*s_2 + n_2^* \end{bmatrix} \right) \\ &= \begin{bmatrix} |h_{131}|^2s_1 + h_{131}^*h_{231}s_2 + |h_{231}|^2s_1 - h_{131}^*h_{231}s_2 \\ -h_{231}^*h_{131}s_1 + |h_{231}|^2s_2 - h_{231}^*h_{131}s_1 + |h_{131}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{131}^*n_1 + h_{231}n_2^* \\ h_{231}^*n_1 - h_{131}n_2^* \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} |h_{131}|^2s_1 + |h_{231}|^2s_1 \\ |h_{231}|^2s_2 + |h_{131}|^2s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{131}^*n_1 + h_{231}n_2^* \\ h_{231}^*n_1 - h_{131}n_2^* \end{bmatrix} \quad (\text{E-1}) \end{aligned}$$

ÖZGEÇMİŞ

Murat AKTÜRK

İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini

İstanbul’da tamamladı. Kocaeli Üniversitesi Elektronik öğretmenliği bölümünden 2010 yılında mezun oldu. Daha sonra İstanbul üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden 2019 yılında mezun oldu.2022 yılından itibaren Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında öğrencidir. 2011 yılından itibaren Millî Eğitim Bakanlığında Elektronik öğretmeni olarak çalışmaktadır.

İLETİŞİM BİLGİLERİ: