

T.C.
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜÇ BÖLGESİNDE DİK OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM
TEKNİĞİNİN BAŞARIM ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEDA KIRTAY

OCAK 2021

T.C.
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜÇ BÖLGESİNDE DİK OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM
TEKNİĞİNİN BAŞARIM ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEDA KIRTAY

DANIŞMAN

PROF.DR. NİHAT KABAOĞLU

OCAK 2021

ONAY

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrencisi olan Seda KIRTAY'ın hazırladığı ve jüri önünde savunduğu “Güç Bölgesinde Dik Olmayan Çoklu Erişim Tekniğinin Başarım Analizi” başlıklı tez başarılı kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Nihat KABAOĞLU

.....

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Dr. Öğr. Üyesi Demir ÖNER

.....

Kurumu: Maltepe Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan AYDIN

.....

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 08/02/2021

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt ederim.

SEDA KIRTAY

Danışmanlığını yaptığım işbu tezin tamamen öğrencinin çalışması olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığını taahhüt ederim.

Prof. Dr. NİHAT KABAOĞLU

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında son yılların ilgi gören konularından biri olan dik olmayan çoklu erişim tekniğinin beşinci nesil ağlarda başarımı incelenmiştir. Bu inceleme güç alanında dik olmayan çoklu erişim tekniği esas alınarak yapılmıştır. Özellikle, alıcının kanalı kusursuz olarak bilmemesi durumunda ortaya çıkacak kanal kestirim hatasının, dik olmayan çoklu erişim tekniğinin başarımını nasıl etkilediği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmamın planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve oluşumu kısımlarında engin bilgi ve tecrübeleriyle her türlü katkı ve destek sağlayan çok değerli danışmanım Sn. Prof. Dr. Nihat Kabaoğlu'na, yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman hoşgörüsüyle bilgi birikim ve tecrübelerinden faydalandığım çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan Aydın'a ve son olarak hayatımın her alanında maddi ve madeni desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ocak 2021

Seda KIRTAY

Elektrik Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ONAY.....	iii
BİLDİRİM.....	iv
ÖN SÖZ	v
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Geçmişten Günümüze Telsiz Haberleşme Ağları	1
1.2 Çoklu Erişim Tekniklerine Genel Bir Bakış.....	4
1.2.1 Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA)	5
1.2.2 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim Tekniği (TDMA)	5
1.2.3 Kod Bölmeli Çoklu erişim (CDMA-Code Division Multiple Access).....	5
1.3 NOMA Nedir?.....	6
1.3.1 Aşağı Hat Haberleşme Senaryosu İçin NOMA	6
1.3.2 Yukarı Hat Haberleşmesi İçin NOMA	8
1.4 Tezin Ana Hattı ve Katkıları	8
2. BASKIN NOMA ÇÖZÜMLERİ.....	13
2.1 Güç Bölgesinde NOMA	13
2.1.1 Ardışıl Girişim Önleyicili Alıcı İçeren NOMA	14
2.1.2 Büyük Çaplı MIMO Sistemlerinde NOMA	16
2.1.3 Ağ Tipi NOMA	17
2.2 Kod Bölgesinde NOMA	18
2.2.1 Düşük Yoğunluklu Yayılan CDMA.....	19
2.2.2 Düşük Yoğunluklu Yayılan OFDM	20
2.2.3 Seyrek Kodlu Çoklu Erişim (Sparse Code Multiple Access)	21

2.2.4	Çok Kullanıcı Paylaşımlı Erişim (Multi-user Shared Access: MUSA).....	21
2.3	Diğer NOMA Çözümleri (Other NOMA Schemes).....	23
2.4	NOMA Çözümlerinin Karşılaştırılması	24
3.	AŞAĞI HAT HÜCRESEL AĞLAR İÇİN GÜÇ BÖLGESİNDE NOMA YÖNTEMİ.....	25
3.1	Başarım Analizi	28
3.1.1	Çok Kullanıcılı Durum için SINR Analizi.....	28
3.2	Güç Tahsisi.....	29
3.2.1	Kanal Durum Bilgisinin Mükemmel Olduğu Durum için Güç Tahsisi.....	29
3.2.2	Kanal Bilgisinin Alıcıda Bulunmadığı Durumda Güç Tahsisi.....	32
4.	İKİ KULLANICILI AŞAĞI HAT HÜCRESEL AĞLARDA OPTİMUM GÜÇ TAHSİSİ	37
4.1	Problemin Kurgulanması	38
4.2	Problemin Çözümü	39
5.	BENZETİM ÖRNEKLERİ	41
5.1	Birinci Kullanıcının Baz İstasyonuna Daha Yakın Olma Durumu ($d_1 < d_2$).....	41
5.2	İkinci Kullanıcının Baz İstasyonuna Daha Yakın Olma Durumu ($d_1 > d_2$).....	44
5.3	Kullanıcıların Eşit Mesafede Olma Durumu ($d_1 = d_2$)	47
6.	SONUÇ ve TARTIŞMA	51
	KAYNAKLAR.....	53
	ÖZGEÇMİŞ	59

KISALTMALAR ve SİMGELER

1G	: 1. Nesil
2G	: 2. Nesil
3G	: 3. Nesil
4G	: 4. Nesil
5G	: 5. Nesil
AWGN	: Additive White Gaussian Noise (Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü)
BS	: Base Station (Baz İstasyonu)
BER	: Bit Error Rate (Bit Hata Oranı)
CDMA	: Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CSI	: Channel State Information (Kanal Durum Bilgisi)
DF	: Decode-and-Forward (Çöz-ve-Aktar)
EDGE	: GSM Evrimi İçin Geliştirilmiş Veri Hızları (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)
FDMA	: Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
FEC	: Forward Error Correction (İleri Hata Düzeltme)
HDMI	: High-Definition Multimedia Interface (Yüksek çözünürlüklü çokluortam arayüzü)
HSPA+	: High-Speed Packet Access Plus (Yüksek Hızda Paket Erişimi)
IDMA	: Interleave-Division Multiple Access(Serpiştirerek Bölmeli Çoklu Erişim)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)

LDS	: Low Density Spreading (Düşük Yoğunluklu Yayma)
LSMMSE	: Linear Minimum Mean Square Error (En az Karesel Hata Kestirimi)
MBPS	: Megabits per Second (Saniyede Aktarılan Megabit Sayısı)
MC	:Multicarrier(Çok taşıyıcılı)
MIMO	: Multiple-Input Multiple-Output (Çok-Girişli Çok-Çıkışlı)
MU	:Multiuser (Çok Kullanıcılı)
MUD	: Multiuser Diversity (Çok Kullanıcılı Çeşitlilik)
MUSA	: Multi-User Shared Access (Çok-Kullanıcılı Paylaşımlı Erişim)
NOMA	: Non-Orthogonal Multiple Access (Dik-Olmayan Çoklu Erişim)
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Dik Frekans Bölmeli Çoğullama)
OFDMA	: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
OMA	: Orthogonal Multiple Access (Dik Çoklu Erişim)
QoS	: Quality of Service (Servis Kalitesi)
PAPR	: Peak-to- Average Power Ratio (Tepe güç/Ortalama Güç Oranı)
PDMA	: Pattern Division Multiple Access (Örüntü bölmeli çoklu erişim)
PD-NOMA	:Power Domain NOMA (Güç Alanında Dik Olmayan Çoklu Erişim)
RSMA	: Rate Splitting Multiple Access (Oransal Bölmeli Çoklu Erişim)
SC	: Superposition Coding (Üstdüşüm Kodlama)
SCMA	: Sparse Code Multiple Access (Seyrek Kod Çoklu Erişim)

SIC	: Successive Interference Cancellation (Ardışık Girişim Giderme)
SINR	: Signal-to-Interference-Plus-Noise-Ratio (İşaret Girişim Gürültü Oranı)
SISO	: Single-Input Single Output (Tek-Girişli Tek-Çıkışlı)
SNR	: Signal-to-Noise-Ratio (İşaret Gürültü Oranı)
TDMA	: Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
K_i	: i. kullanıcı
σ	: varyans
h_i	: i. Kanal
p_i	: i. kullanıcıya tahsis edilen gücü
x	: Baz istasyonunundan kullanıcıya iletilen sinyallerin toplamı
α	: güç tahsis oranı
y_i	: i. kullanıcıya iletilen sinyal
d_i	: i. kullanıcının baz istasyonuna olan uzaklığı
C	: Kovaryans matrisi
n	: Gürültü
γ	: Yol kaybı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. SCMA ile LDS karşılaştırılması [54].....	22
Tablo 2. NOMA Çözümlerinin Karşılaştırılması [53]	24

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Aşağı hat haberleşme senaryosu için NOMA	7
Şekil 1.2. Yukarı hat haberleşmesi için NOMA	8
Şekil 1. 3. NOMA-OMA iş çıkarma yetenekleri	11
Şekil 2.1. Baskın NOMA çözümleri.....	13
Şekil 2.2. Aşağı hat senaryosunda SIC alıcı içeren NOMA	14
Şekil 2.3. Yukarı hat haberleşme senaryosunda Ardışıl Girişim Önleyicili Alıcı İçeren NOMA.....	16
Şekil 2.4. Ağ Tipi NOMA [23]	17
Şekil 2.5. LDS-CDMA [23].....	19
Şekil 2.6. LDS-OFDM Blok Diyagramı [49]	20
Tablo 1. SCMA ile LDS karşılaştırılması [54]	22
Tablo 2. NOMA Çözümlerinin Karşılaştırılması [53]	24
Şekil 3.1. N adet kullanıcıya sahip baz istasyonu	25
Şekil 3.2. 3 adet kullanıcıya sahip sistemlerde alıcıda SIC gerçekleştirerek kod çözme işlemi [57]	27
Şekil 3.3. N kullanıcıya sahip baz istasyonundan iletilen sinyallerin alıcıda çözümü [59]	30
Şekil 3.4. Optimum güç tahsisinin tespit için kullanılan BER eğrileri	31
Şekil 3.5. Kanalin mükemmel olarak bilinmesi durumunda, toplam BER'in en küçük değerinin elde edildiği $\alpha_1=0,2$ ve $\alpha_2=0,8$ güç tahsisi için toplam BER'in SNR ile değişimi	32
Şekil 3.6. En iyi güç tahsisi altında farklı SNR değerleri için BER eğrileri.....	32
Şekil 3.7. Kanal durum bilgisi mükemmel olarak bilinmediği durum için SNR-BER eğrisi	36
Şekil 5.1. İki farklı kullanıcıyı aşağı hat hücrel ağlarda NOMA yapısı($d_1 < d_2$) ...	41
Şekil 5.2. Optimum güç tahsisinin tespit için kullanılan BER eğrileri	42

Şekil 5.3. Kanalin mükemmel olarak bilinmesi durumunda, toplam BER'in en küçük değerinin elde edildiği $\alpha_1 = 0,125$ ve $\alpha_2 = 0,875$ güç tahsisi için toplam BER'in SNR ile değişimi.....	43
Şekil 5.4. En iyi güç tahsisi altında farklı SNR değerleri için BER eğrileri	43
Şekil 5.5. İki farklı kullanıcıyı aşağı hat hücresele ağlarda NOMA yapısı ($d_1 > d_2$)...	44
Şekil 5.6. Optimum güç tahsisinin tespit için kullanılan BER eğrileri	45
Şekil 5.7. Toplam BER'in en küçük değerinin elde edildiği $\alpha_1=0,85$ ve $\alpha_2=0,15$ güç tahsisi için toplam BER'in SNR ile değişimi	45
Şekil 5.8. En iyi güç tahsisi altında farklı SNR değerleri için BER eğrileri	46
Şekil 5.9. Kullanıcıların farklı güç tahsis değerleri için BER eğrileri	46
Şekil 5.10. İki farklı kullanıcıyı aşağı hat hücresele ağlarda NOMA yapısı ($d_1=d_2$). ..	47
Şekil 5.11. Optimum güç tahsisinin tespit için kullanılan BER eğrileri	48
Şekil 5.12. Toplam BER'in en küçük değerinin elde edildiği $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5$ güç tahsisi için toplam BER'in SNR ile değişimi	49
Şekil 5.13. En iyi güç tahsisi altında farklı SNR değerleri için BER eğrileri	49
Şekil 5.14. Kullanıcıların farklı güç tahsis değerleri için BER eğrileri	50

ÖZET

GÜÇ BÖLGESİNDE DİK OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM TEKİNİĞİNİN

BAŞARIM ANALİZİ

KIRTAY, Seda

Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği

Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nihat KABAOĞLU

Ocak, 2021. 59 Sayfa.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte telsiz haberleşmeye olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Yapılan çalışmalarla yüksek veri hızı, kapsama alanını artırmak, yüksek bant verimliliği ve sistem kapasitesinin geliştirmek amaçlanmaktadır. Bu bağlamda günümüzdeki dördüncü nesil sistemlerin standardı olan Uzun Vadeli Evrim (Long Term Evaluation-LTE), Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDMA) ve Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO) teknolojileri, baştanbaşa paket anahtarlama tasarlanmış bir ağ üzerinde kullanılarak, kapsama alanı, yüksek veri hızı, sistem kapasitesi ihtiyaçlarını belirli bir noktaya kadar karşılayabilmislerdir. Ancak, daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyan uygulamalara olan talebin artmasıyla, insanların kullandığı neredeyse her aracın birbirleriyle iletişim halinde olduğu nesnelerin interneti, bulut tabanlı mimari gibi uygulamaların sahip olması gereken yeni servis ve işlevsellik beklentilerini mevcut hücresel ağlar karşılayamaz hale gelmişlerdir. Bu gereksinimlerin karşılanabilmesi için devasa MIMO teknikleri, milimetre dalga boyu ve görünür ışık haberleşmesi teknikleri ve ultra yoğunlaştırma ve boşaltma gibi teknolojiler araştırılmaktadır. Diğer yandan heterojen bir ağ yapısına sahip beşinci nesil hücresel ağlarda, esnek, güvenilir ve enerji ve spektrum bakımından verimli bir radyo erişim teknolojisinin kullanması da beklenmektedir. Bu çalışmada, radyo erişiminde bozulma yaratan tasarım değişikliklerine katkıda bulunacak ve yukarıda bahsedilen beşinci nesil (5N) sistemlerin zorluklarına çözüm sunacak ve bu bakımdan umut verici bir teknoloji olduğu öngörülen, Dik Olmayan Çoklu Erişim (NOMA)

yönteminin ele alınması planlanarak, alıcının kanalı kusursuz olarak bilmemesi durumunda ortaya çıkacak kanal kestirim hatasının güç alanında dik olmayan çoklu erişim tekniğinin başarımını nasıl etkilediği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dik Olmayan Çoklu Erişim, Beşinci Nesil Ağlar, Çoklu Erişim

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS TECHNIQUE

KIRTAY, Seda

M.Sc. THESIS, Institute of Graduate Studies, Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nihat KABAOĞLU

January, 2021. 59 Pages.

With advancement in technology, the need for wireless communication has increased day by day. Researches aim to growth high data rate, coverage area and also improve band efficiency and system capacity. In this context, as the standard of fourth generation system, technologies of Long Term Evaluation (LTE), Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA), Multiple Input And Multiple Output(MIMO) meet the needs of coverage area, high data rate, system capacity in a certain extent by using on the network designed end to end packet switching. With rising demands related to applications which need more bandwidth, existing cellular networks have not meet expectations of new service and functionality which has to have applications such as Cloud-Based Architecture, Internet Of Things that almost every tool people use in communication each other. In this respect, technologies are researched like huge MIMO Techniques, Millimeter Wavelength, Visible Light Communication Ultra Dense and Discharge to meet these necessities. On the other hand it is expected to be used a productive radio access technology in terms of flexible, reliable energy and spectrum in fifth generation cellular networks with a heterogeneous network structure. This research will contribute to design changes that impair radio access and solve the difficulties of the fifth generation systems mentioned above. In this context, non-orthogonal multiple access method which predicted to be a promising technology will discuss. In additional, it will analyze that if the receiver

does not know the channel perfectly how channel estimation error affect the performance of the-non-steep multiple access technique in the power domain.

Keywords: Non Orthogonal Multiple Access-NOMA,5 Genereation -5G,Multiple Access

1. GİRİŞ

1.1 Geçmişten Günümüze Telsiz Haberleşme Ağları

Geçmişte, duman sinyalleri, meşale sinyalleri, yanıp sönen aynalar, sinyal işaret fişekleri ve semafor bayrakları kullanılarak görüş hattı mesafesindeki iki nokta arasında telsiz bilgi aktarımı sağlanmıştır. Bu yöntemler sanayi devrimi öncesinde kullanılan telsiz haberleşme tekniğinin ilkel örneklerindendir. Günümüzde kullanılan telsiz haberleşmesi, bilginin elektromanyetik dalgalar aracılığıyla iletilmesi ve alıcı ile verici arasında herhangi bir fiziksel bağlantı bulunmaması esasına dayanır.

1980’li yılların başlarında gezgin kullanıcılara hizmet vermek amacıyla, analog yapılı ses iletimi sağlayan birinci nesil hücresel ağlar kullanılmaya başlanmıştır. Bant genişliği 30KHz olan bu dar bantlı sistemde, bir kullanıcı tarafından kullanılan frekans bandı diğer bir kullanıcı tarafından kullanılmadığı için sınırlı sayıda kullanıcıya ağa erişim imkânı tanımaktadır [1]. Üstelik, birinci nesil olarak adlandırılan bu sistemlerin analog yapıda olması daha güvenli ve kaliteli veri iletim talebinin karşılanmasını da oldukça zorlaştırmaktadır. Bu talebi karşılayacak yeni bir sistem olarak, 1980’li yılların sonlarında ortaya atılan ve 1990’lı yılların hemen başında hayata geçirilen ikinci nesil hücresel gezgin ağ yapısı kullanılmaya başlanmıştır. İkinci nesil hücresel ağ yapısının sahip olduğu en büyük üstünlük, sayısal veri kullanmasıdır [2]. Bu sayede, birinci nesil ağlarda karşılanamayan, daha yüksek ses kalitesi, daha yüksek kapasite, kısa ve düşük çözünürlüklü veri iletimi ile ses ve veri şifreleme talepleri karşılanabilmiştir. İkinci nesil ağlarda 30 - 200 KHz bant genişliği kullanarak 64kbps veri aktarım hızına ulaşılmış ve ilerleyen zamanlarda EDGE teknolojisinin kullanılmasıyla, pratikte 384 kbps hızında veri iletimi mümkün hale gelmiştir [1,2]. Ancak, ikinci nesil standardı, kullanmadığı zamanlarda bile ağı meşgul ettiği için, kullanıcı sayısı arttıkça, onların ses ve veri talebini karşılayamaz hale gelmiştir. Bu yüzden, verilerin gönderilmediği zamanlarda da hattın kullanılabilir olduğu bir standart arayışına girilmiştir. 2000’li yıllarda, ses ve veri iletimi yapılmadığı zamanlarda hattın meşgul edilmediği ve veri hızında artışın hedeflendiği

Üçüncü Nesil Ağlar (3G) ortaya çıkmaya başlamıştır. 3G ile birlikte, devre anahtarlama ile iletişim terkedilerek, paket anahtarlama ile iletişime geçilmiş ve bu sayede, geniş bantlı telsiz ağlar kullanılarak dünya çapında erişim ve daha yüksek kalitede iletişim sağlanabilmektedir [3]. Farklı ülke veya bölgelerde kullanılan farklı 3G teknolojileri olmakla birlikte, en yaygın olanı Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (Universal Mobile Telecommunication System- UMTS)' dir. 15-20 MHz bant genişliğinde 2100 MHz de çalışmakta olan bu sistemde, HSPA+ (High-Speed Packet Access Plus-Yüksek Hızda Paket Erişimi) protokolü sayesinde net bir şekilde sürekli olarak sesli ve görüntülü arama gerçekleştirebilmektedir [1]. Ancak, artan kullanıcı sayısı ve veri hızı talepleri nedeniyle üçüncü nesilde ortaya çıkan kapsama alanı sorunu başta olmak üzere, diğer sorunları da çözebilmek amacıyla Uzun Vadeli Evrim (Long Term Evaluation-LTE) olarak bilinen dördüncü nesil ağlar geliştirilmiştir. 4G ağlar ile birlikte bağlantı hızı, mobil cihazlarda 100 Mbps, Wi-Fi ağlarda ise 1 Gbps'a kadar ulaşmıştır [4]. Bu sayede, yüksek kalitede canlı yayın, görüntülü sohbet, dijital video yayını gibi çeşitli hizmetler ile birlikte, 3G'ye kıyasla düşük gecikme süresi elde edilebilmektedir. Bu yeni yapıyla yüksek hızlarda veri transferine ulaşabilmek, temel olarak kullanılan erişim tekniği ve çoklu anten yapısı sayesinde mümkün olmuştur. Bu ağlarda, karmaşık yapıdaki donanımların ve pahalı ekipmanların kullanılmasının gerektiği de göz ardı edilmemelidir [5,6]. Günümüz teknolojisinde gelinen yer itibarıyla, neredeyse kullanılan her türlü elektronik aygıtın internet bağlantısına ihtiyaç duymasıyla artan kullanıcı sayısı ve kullanıcıların yüksek kapasite ile birlikte yüksek hız talepleri yeni nesil bir yapılanmaya duyulan ihtiyacı daha 2010'lu yılların başında ortaya koymuştur. Bu talepler, dördüncü nesil sistemlere yapılan takviyelerle bir miktar karşılanmış olsa da 2020'li yılların hemen başında beşinci nesil ağların kullanılmasını kaçınılmaz kılmıştır. Zaten günümüzde de birçok ülke 5G yatırımlarını tamamlayarak aşamalı bir şekilde geçiş sürecine girmiştir [3]. Bu çalışmanın başladığı yıllarda beşinci nesil ağlarda erişim tekniği olarak dik olmayan çoklu erişimin tekniğinin de konuşuluyor olması bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır.

Geçmişten günümüze telsiz haberleşme ağlarının gelişimi aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1898 yılında Guglielmo Marconi telsiz telgraf sistemini geliştirdi.
- 1927 yılında Ticari radyo telefon servisi Amerika ve İngiltere arasında geliştirildi.
- 1946 yılında ABD St. Louis'te 6 konuşma kanalı bulunan Manuel alışan mobil telefon sistemi geliştirildi.
- 1947 yılında Hücresel telefon için Bell Laboratuvarı'nda çalışmalara başladı.
- 1950 yılında karasal mikrodalga telekomünikasyon sistemi TD-2 kuruldu.
- 1957 yılında ilk uydu (Sputnik) haberleşmesi Sovyetler Birliği tarafından gerçekleştirildi.
- 1971 yılında Hawaii Üniversitesi 7 bilgisayar ile oluşturduğu telsiz ilk yerel alan ağı (paket radyo ağı) ALOHANET'i geliştirdi.
- 1983 yılında ilk hücresel mobil ağ -AMPS (Advanced Mobile Phone System) Chicago'da geliştirildi.
- 1992 GSM (Global System for Mobile Communications- Küresel Mobil İletişim Sistemi) kullanılmaya başlandı.
- 1994 Ericsson kısa mesafede haberleşme teknolojisi olarak bilinen Bluetooth'u tanıttı.
- 1996 yılında Avrupa menşei HiperLAN (High Performance Radio Local Area Network- Yüksek Performanslı Telsiz Yerel Alan Ağı) geliştirildi.
- 1998 yılında GSM'in gelişmiş bir hizmeti olan UMTS (Universal Mobile Telecommunication System-Evrensel Mobil İletişim Sistemi) IMT-2000 önerisine sunuldu.
- 2000 yılında GPRS (General Packet Radio Service-Genel Paket Radyo Servisi) ile yüksek veri iletim hızlarında denemeler yapıldı.

- 2002 yılında geniş bantlı telsiz erişim teknolojisi olan Wimax- IEEE 802.16 (Worldwide Interoperability of Microwave Access- Mikrodalga Erişiminin Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirliği) onaylanmıştır.
- 2003 yılında kısa mesafede telsiz haberleşme standardı olarak bilinen ZigBee (IEEE 802.15.4) standardı yayınlandı.
- 2008 yılında daha da yüksek hızda yerel alan ağın telsiz uygulamaları için IEEE 802.11n standardı yayınlandı.
- 2010 yılında cep telefonlarında kullanmak için geliştirilmiş özel bir sistem olan LTE (Long Term Evolution-Uzun Vadeli Evrim) 4G denemeleri başladı [7].
- 2012 yılından bu yana telekomünikasyon standartları geliştirme kuruluşları (SDO) endüstri ortaklarıyla beraber akıllı bir ağ üzerinden kişileri, cihazları ve verileri birbirine bağlamak ve sorunsuz bir şekilde iletişim sağlamak amacıyla mevcut mobil ağların sürekli olarak destekleyemediği çalışmalar başlattı. Bu çalışmalar artan veri talebini karşılaması, IoT uygulamalarını desteklemesi ve sorunsuz bir şekilde bağlantı kurmasını hedefledi. 2019 yılında Güney Kore 5G teknolojisini sunan ilk ülke oldu [8-10].
- 2018 yılında 5G'ye yönelik birinci faz çalışmaları başladı [11].
- 2020 yılında ise 5G'ye yönelik ikinci faz çalışmaları başladı [12].

1.2 Çoklu Erişim Tekniklerine Genel Bir Bakış

Birden fazla mobil kullanıcının aynı iletim ortamını kullanarak veri iletebilmesine çoklu erişim denilmektedir. Çoklu erişim temel olarak girişimi azaltmak için farklı kullanıcıların tekniğe ismini veren bölgede ayrıştırılması esasına dayanır. Çoklu erişim tekniklerinde, birden fazla sayıda kullanıcıya telsiz ortamındaki sınırlı bant genişliğini aynı anda kullanabilme imkânı sunulmaktadır [13,14].

1.2.1 Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA)

Bant genişliğinin farklı frekans bandına sahip kanallara bölünmesi esasına dayanan frekans bölmeli çoklu erişim tekniği, kanalların yalnızca kullanıcının talep ettiği zaman diliminde tahsis edilmesi esasına dayanır. Her kullanıcı için aynı anda farklı frekans bandına sahip bir kanal hizmete sunulur. Her kanal bir veri sinyali taşır. Dar bant genişliğine (30KHz) sahip olduğundan bir kullanıcı tarafından kullanılan frekans bandının diğer bir kullanıcı tarafından kullanılamamasından dolayı sınırlı erişime imkân tanımaktadır [15-17].

FDMA, Mobil Telefon Sistemi (Mobile Telephone System-MTS), İleri Cep Telefonu Sistemi (Advanced Mobile Telephone System-AMTS) ve Bas-Konuş (Push to Talk-PTT) gibi teknolojik gelişmelerde kullanıldı. 30 KHz kanal kapasitesiyle 2.4 kbps hıza ulaşması, kullanıcıların yalnızca tek bir ülkede arama yapabiliyor olması ve düşük spektrum verimliliğinden dolayı düşük bir ses kalitesine sahip olması gibi nedenler yeni bir teknolojik gelişmeye ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur [5,18].

1.2.2 Zaman Bölmeli Çoklu Erişim Tekniği (TDMA)

Zaman bölmeli çoklu erişim tekniği bir radyo frekans kanalınının zaman eksenini boyunca birbiriyle çakışmadan farklı zaman diliminde erişime hazır tutulması esasına dayanan bir tekniktir. Yani, kullanıcıların kısa zaman aralıklarıyla sırayla aktif olarak tek bir zaman dilimini kullanması esasına dayanır. TDMA'de kullanıcılar farklı zamanlarda aynı bant genişliğini paylaştıklarından dolayı senkronizasyon ihtiyacı doğar. Bu teknikte semboller arası girişim (Inter Symbol Interference-ISI) sorununun telafi edilmesi gerekir. Bu nedenle, kanalların çevresinde koruma bantları kullanılır. TDMA genellikle FDMA tekniğine göre daha az kanala sahip olduğu için kanallar arası girişim (Inter Channel Interference-ICI) önemsizdir. Dolayısıyla, koruma bandı FDMA göre daha küçük olur [7,17,19,20].

1.2.3 Kod Bölmeli Çoklu erişim (CDMA-Code Division Multiple Access)

Her bir kullanıcının yayılma kodlarını kullanarak tüm bant genişliğini aynı anda kullanması esasına dayanır. Bilgi sinyalleri birbirine dik yayılma kodları ile modüle

edilir. Elde edilen yayılma sinyalleri, zaman ve frekansı aynı anda işgal eder. Alıcı, farklı kullanıcıları ayırmak için her kullanıcıya özel olan yayılma kodunu kullanır. Kullanıcıların taşıdıkları bilgiyi kodlaması için her bir kullanıcıya benzersiz ve diğer kullanıcıların kodlarına dik olmak üzere bir kod dizisi verilir. Alıcının kullanıcıdaki kod dizisini bilmesi, işareti aldıktan sonra kodunu çözmesini sağlar ve başlangıçtaki bilgiye ulaşmış olur [7,17,21].

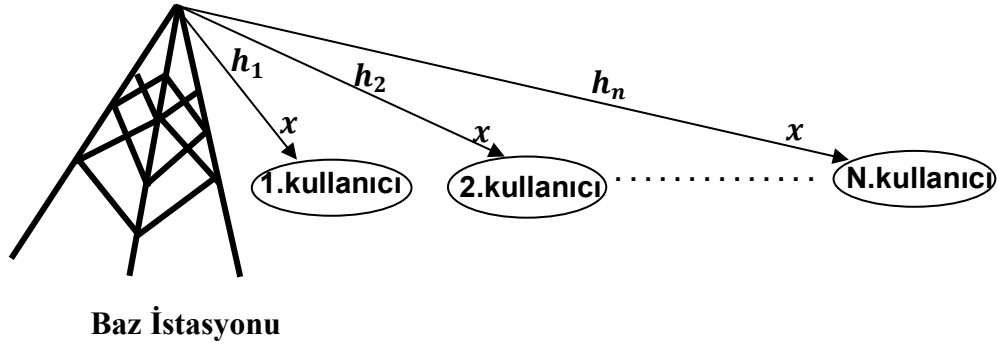
Kod bölmeli çoklu erişim tekniği gürültü gibi sinyali bozan etkilere karşı daha dayanıklıdır. İletim ortamındaki tüm kullanıcılara aynı frekans bandını aynı anda tahsis edebilmesinden dolayı baz istasyonları arasında frekans değişimi olmadan hafif bir geçiş yapabilmektedir. Sistem kapasitesi kullanılan kod sözcüğünün uzunluğu ile kontrol edilebilmektedir [22].

1.3 NOMA Nedir?

Birden fazla kullanıcıya aynı uzaysal katmanda, güç alanı ya da kod alanı çoğullama yöntemleriyle zaman ve frekans kaynaklarının paylaşılması esasına dayanan çoklu erişim tekniğine dik olmayan çoklu erişim (NOMA) adı verilmektedir [23-26].

1.3.1 Aşağı Hat Haberleşme Senaryosu İçin NOMA

Aşağı hat haberleşme sistemleri, bir ana yayın istasyonu tarafından iletilecek sinyallerin üst üste eklenerek alıcılara ulaştırıldığı sistemlerdir. Bu yönteme üstdüşüm kodlama (SC) adı verilir. SC ile tek bir kaynaktan aynı anda birden fazla alıcıya bilgi iletimi sağlanmaktadır. Bir televizyon sinyalini aynı anda birden fazla alıcının kullanması aşağı hat haberleşmeye verilebilecek en basit örnektir.



Şekil 1.1. Aşağı hat haberleşme senaryosu için NOMA

Şekil 1.1.' de N kullanıcıli bir aşağı hat haberleşme sistemi için NOMA sistemi gösterilmektedir. Kullanıcıların sinyalleri sırasıyla $s_1, s_2, \dots, s_N$ olarak, onlara tahsis edilen güçler ise yine sırasıyla $p_1, p_2, \dots, p_N$ olarak ifade edilmiştir. İletilen x sembolü, kullanıcı sinyallerinin kendilerine tahsis edilen güçlerle çarpılıp, toplanmasıyla oluşturulmaktadır. Kullanıcının aldığı $y_1, y_2, \dots, y_N$ sinyalleri, kullanıcı ve baz istasyonu arasındaki iletimde kullanılan $h_1, h_2, \dots, h_N$ karmaşık kanal katsayılarının iletilen sembol ile çarpılmasından sonra, üzerine alıcı $w_1, w_2, \dots, w_N$ gürültülerini eklenmesi ile oluşmaktadır [27-32].

Bu durumda, i ' inci kullanıcıda alınan sinyal:

$$y_i = h_i x + w_i \quad (1.1)$$

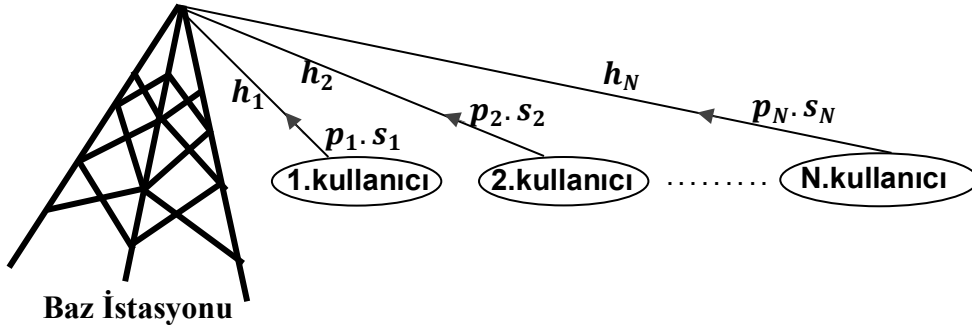
olur. Burada

$$x = \sum_{i=1}^N \sqrt{p_i} s_i \quad (1.2)$$

olarak tanımlıdır.

1.3.2 Yukarı Hat Haberleşmesi İçin NOMA

Yukarı hat haberleşme için NOMA, aynı uzaysal katmandaki zaman ve frekans kaynaklarını kullanan kullanıcıların sinyallerini üst üste ekleyerek baz istasyonuna iletilmesiyle oluşur [33].



Şekil 1.2. Yukarı hat haberleşmesi için NOMA

Şekil 1.2.'de, N kullanıcıli yukarı hat haberleşmesi için NOMA yapısı gösterilmektedir. Birinci ve ikinci kullanıcıların sinyalleri $s_1, s_2, \dots, s_N$, kendilerine baz istasyonu kontrolünde tahsis edilen güçler ise sırasıyla $p_1, p_2, \dots, p_N$ olarak ifade edilmiştir. İlgili sembol süresinde baz istasyonuna ulaşan toplam sinyal y , kullanıcılar ve baz istasyonu arasındaki karmaşık kanal katsayıları $h_1, h_2, \dots, h_N$ olarak ve alıcı gürültüsü ise w olarak ifade edilmiştir. Bu durumda, baz istasyonuna ulaşan toplam sinyalin buradaki gürültü sinyali ile toplanmış hali aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Y = \sum_{l=1}^N \sqrt{p_l} h_l s_l + w \quad (1.4)$$

1.4 Tezin Ana Hattı ve Katkılar

Dik çoklu erişim tekniklerinin

- Artan kapsama alanı, sistem kapasitesi ve yüksek veri hızı taleplerini bir noktaya kadar karşılayabilmesi
- Çeşitli servis kalitesi gereksinimleriyle büyük bağlantıları desteklemek için yeterli olmaması
- Sınırlı serbestliğe sahip olması
- Kanal kalitesi iyi olan kullanıcılara daha yüksek öncelikli hizmet sunulurken, kanal kalitesi kötü olan kullanıcıların hizmet alabilmeleri için beklemek zorunda kalması
- Daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyan uygulamalara olan talep artışı, IoT, bulut tabanlı mimari uygulamaları gibi yeni servis ve işlevsellik beklentilerinin mevcut hücresel ağ teknolojisi ile karşılanmasının mümkün olmaması

gibi nedenlerle birlikte, 5N hücresel ağlarda artacak taleplere esnek, güvenilir ve enerji ve spektrum bakımından verimli bir OMA tekniği ile cevap sunulamaması gibi nedenlerden dolayı NOMA' nın bir alternatif olarak değerlendirilmesi sonucunu doğurmuştur [5,13,16-19,34].

NOMA'nın dikkat çekmesinin asıl nedeni çok sayıda kullanıcıya zaman ve frekans kaynaklarını aynı uzaysal katmanda güç alanı ya da kod alanı çoğullama yöntemleriyle paylaştırmayı vadetmesinden kaynaklanmaktadır. OMA tekniklerine göre, çok büyük bağlanabilirlik, düşük iletim gecikmesi, yüksek spektral verimlilik, gelişmiş kullanıcı adilliği gibi özellikleri ile üstünlük sağladığı da bilinmektedir [34,35]. Bu üstünlükler aşağıda detaylandırılmıştır.

Çok Büyük Bağlanabilirlik: OMA tekniklerinde sınırlı bant üzerinden iletilen sinyallerin tekniğin ismini verdiği bölgeye göre ayrılan kaynak blokları ile sınırlı olması, kullanıcı sayısının da kaynak blok sayısı ile sınırlı olmasına neden olur. Bu sorun NOMA için geçerli değildir. Çünkü bu teknikte kullanıcı sinyalleri üst üste bindirilerek aynı anda aynı kaynak bloğunun birden fazla kullanıcıya tahsis edilebilmesini mümkün kılmaktadır. Zira, NOMA'nın çok sayıda cihazın düzensiz

olarak küçük paketleri iletmeye çalıştığı tipik bir IoT uygulamasına uyarlanabilmesi çok büyük bağlanabilirliği desteklediğini göstermektedir [34,36].

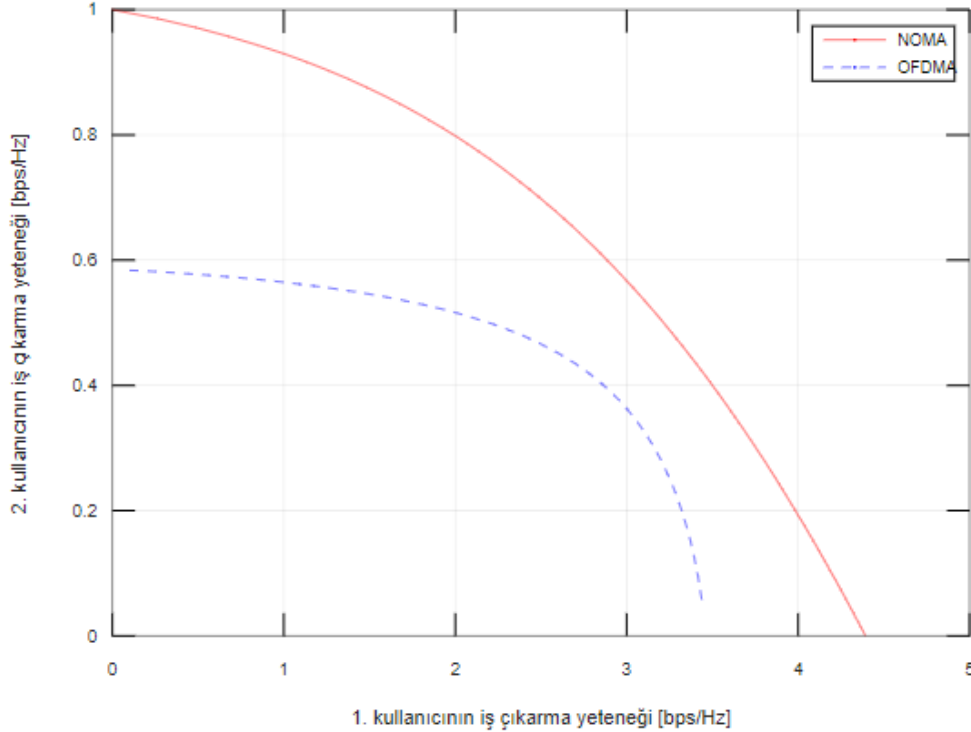
Yüksek Spektral Verimlilik: Telsiz haberleşmede veri hacmine olan talep sürekli artarken, bu talebi karşılayabilmek için elektromanyetik spektrumda mevcut teknolojinin kullandığı bantlarda yer bulabilmek mümkün görünmemektedir. Kullanılan bant genişliğinin sınırlı olması nedeniyle, çözümü yeni spektrum bulmakta aramanın yanında, halihazırda kullanılan spektrumun da verimli kullanılmaya çalışılması bir zorunluluktur. Önceki nesil haberleşme sistemlerinin mevcuttaki sınırlı bant aralığını kullanması frekans kaynaklarının kısıtlaşmasına neden olmuştur. Gelişen teknoloji, birbiriyle bağlantılı olan cihaz sayısındaki artışı da beraberinde getirmektedir. Bu yüzden, mevcut spektrumun verimli kullanılması gerekmektedir [38,39].

Yapılan çalışmalar, OMA tabanlı erişim kullanan sistemlerdeki kullanıcıların bant genişliğini kullanıcı sayısı ile ters orantılı olarak sınırlı bir şekilde kullanabildiğini gösterirken, NOMA kullanıcılarının ise ardışık girişim engelleyicisi (Successive Interference Cancellation-SIC) sayesinde girişimin etkisini makul düzeye düşürerek, tüm bant genişliğini aynı anda paylaşmasının mümkün olduğunu da gözler önüne sermektedir [36,39]. Diğer bir deyişle, OMA ile kıyaslandığında, NOMA'nın yüksek spektral verimliliğe sahip bir erişim tekniği olduğu görülmektedir. Verimliliği daha da artırmak için, çok büyük çaplı MIMO sistemler ile milimetre dalga boyu (mmWave) tabanlı sistemler gibi diğer gelecek nesil aday teknolojilerle de bütünleştirilebilmesi bakımından da NOMA erişim tekniği dikkat çekmektedir [18, 33].

Düşük İletim Gecikmesi: Telsiz haberleşmede sinyal iletmeye başlandığı andan itibaren yansıma, kırılma, saçılma gibi elektromanyetik dalga yayılım mekanizmalarının neden olduğu sönmüleme etkisine maruz kalmaktadır. Bu etkilerin neden olduğu sönmüleme çeşidine bağlı olarak, iletilen sinyal alıcıya gecikmeli ve zayıflamış olarak ulaşmaktadır. Özellikle beşinci nesil ağ standartlarında düşük gecikme gereksinimi oldukça önem arz etmektedir [11,12].

OMA tekniklerinde, vericinin bir işaret bitini iletebilmesi için boş bir kaynak bloğu oluşana kadar beklemesi gerekmektedir. Oysa, kullanılan uygulamaya ve algılanan sinyalin hizmet kalitesine (QoS-Quality of Service) bağlı olarak, NOMA tekniklerinin değişken sayıda sinyali barındırabilmesi nedeniyle bekleme süresi azalmaktadır [18,27].

Gelişmiş Kullanıcı Adilliği: OMA'nın diklik gereksiniminden ötürü her kullanıcının farklı spektrum bandını kullanması gerekmektedir. NOMA tekniğinde diklik kısıtlaması olmadığı için, uygun kaynak tahsisi yapılarak hizmetin adil bir biçimde dağıtılması sağlanmaktadır. Bu sayede, özellikle güç alanında NOMA erişim tekniğinde, yakın kullanıcılara daha az güç tahsisi yapılırken, uzak kullanıcılara hizmetin adil bir şekilde sunulmasını sağlamak için daha fazla güç tahsisi yapılmaktadır [14,36-38]. İki kullanıcıli OMA ve NOMA erişim tekniklerinin kullanıldığı bir ağda ikinci kullanıcıların iş çıkarma yetenekleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

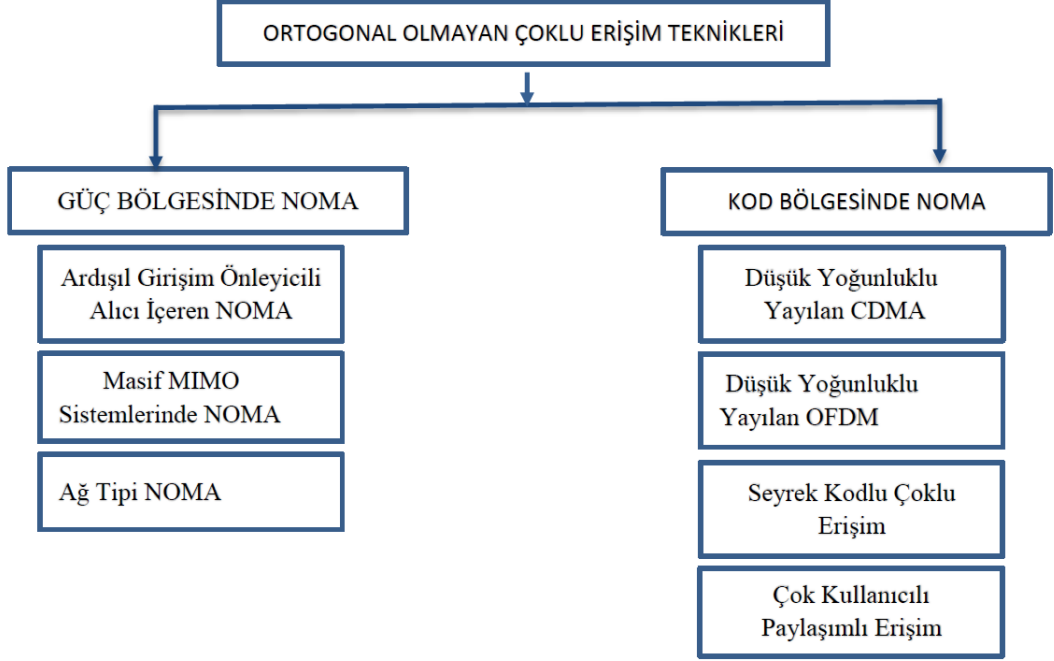


Şekil 1. 2. NOMA-OMA iş çıkarma yetenekleri

Şekil 1.2.' de birinci kullanıcının makul düzeyde bir kanal kalitesine sahip olduğu, ancak ikinci kullanıcının hücre sınırına yakın olduğu bir senaryo için iş çıkarma yeteneği bakımından NOMA ve OMA'nın başarımları karşılaştırılmıştır. NOMA'nın özellikle ikinci kullanıcının iş çıkarma yeteneği açısından üstünlüğü Şekil 1.3.'den açıkça görülmektedir.

Bu pratik durumun yaratacağı etkilerin NOMA'nın başarımını nasıl etkileyeceği bu tez çalışmasının motivasyonunu oluşturmaktadır. Yapılan çalışmada, kanal kestirim hatasının, alıcılardaki veri sezim başarımını nasıl etkilediği de incelenmiş ve bu şartlar altında toplamda en iyi veri sezme başarımını elde edebilmek için NOMA güç tahsisinin nasıl yapılması gerektiği ele alınmıştır. Çeşitli senaryolar için, en iyi ampirik güç tahsis yöntemleri elde edilmiştir. Gerçekçi bir senaryo altında 5N bir ağda ele alınan problemin analitik çözümü için de uğraşılmış, ancak problemin karmaşıklığı nedeniyle, analitik çözüm belirli kabulleri yapmadan elde edilememiştir. Bu kabuller altında elde edilen çözümler literatürdeki çözümlerden farklı olmadığı için burada verilmemiştir.

2. BASKIN NOMA ÇÖZÜMLERİ



Şekil 2.1. Baskın NOMA çözümleri

Literatürde kullanılan baskın NOMA çözümleri Şekil 2.1’ de verilmiştir. Bu bölümde güç bölgesinde ve kod bölgesinde olmak üzere iki sınıfa ayrılan dik olmayan çoklu erişim tekniklerinin temel prensiplerinin anlatılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, güç bölgesinde NOMA sınıfına giren ardışıl girişim önleyicili NOMA, büyük çaplı MIMO sistemler için NOMA ve ağ tipi NOMA ile kod bölgesinde NOMA sınıfına ait düşük yoğunluklu yayılan CDMA, düşük yoğunluklu yayılan OFDM, seyrek kodlu çoklu erişim ve çok kullanıcı paylaşımlı erişim tekniklerinden bahsedilmektedir.

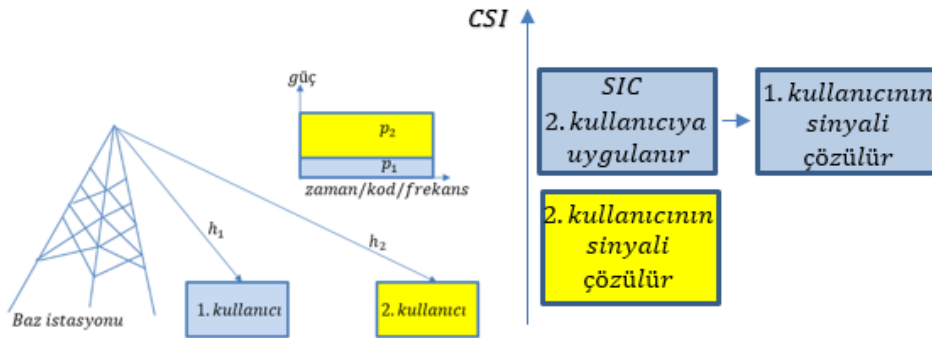
2.1 Güç Bölgesinde NOMA

Bu teknikte, çok sayıdaki kullanıcı, aynı uzaysal katmanda bulunan zaman, frekans, kod kaynaklarını güç alanında çoğullama yöntemiyle kullanırlar. Vericiden gönderilen sinyaller üst üste eklenerek alıcıya iletilir. Kullanıcıların sahip oldukları

kanal durum bilgilerine göre güç tahsisi yapılır. İyi kanal durum bilgisine sahip kullanıcıya daha az güç tahsisi yapılırken, kötü kanal bilgisine sahip kullanıcıya daha fazla güç tahsis edilerek kullanıcılar arası hizmet adaleti sağlanır [23,36,40].

2.1.1 Ardışıl Girişim Önleyicili Alıcı İçeren NOMA

Aşağı hat haberleşmede baz istasyonu, aynı zaman, frekans ve kod kaynak bloklarını kullanarak kanal durum bilgisi ile ters orantılı bir şekilde kullanıcılara güç tahsis ederek üst üste eklediği sinyalleri iletir. Vericiden uzak konumu nedeniyle iletilen sinyalde doğal olarak oluşacak yol kaybı ve sönmülemenin ortaya çıkaracağı bozulmanın etkilerini en aza indirip, kullanıcılar arasında hizmet kalitesi adaletini sağlamak için, uzaktaki kullanıcıya daha yüksek güç tahsisi yapılır. Böyle bir yapıda, tüm kullanıcı cihazlarının ardışıl girişim önleme (SIC) devresine sahip olduğu varsayılır. Bu senaryoda, kanal durum bilgisi eksikliği nedeniyle yüksek SINR değerine sahip kullanıcının SIC devresini kullandığı varsayılır. İlk tespit edilen sinyal en yüksek SINR değerine sahip kullanıcı olduğundan, bu sinyaldeki algılama hatası diğer kullanıcıları çözerken de oluşacak hataları beraberinde getireceği için yüksek SINR değerine sahip kullanıcıya yeterli güç tahsisinin yapılması gerekmektedir [36,41].

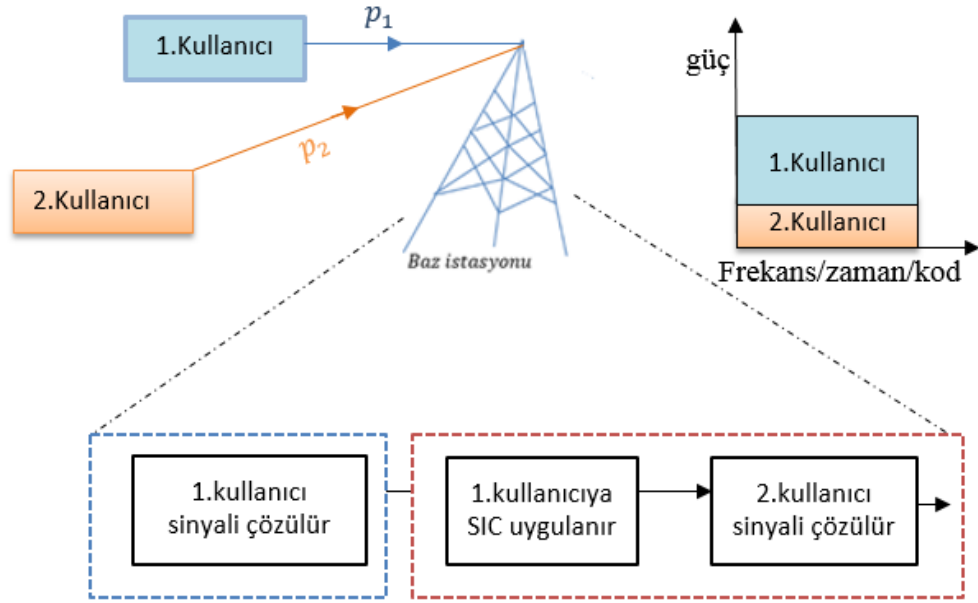


Şekil 2.2. Aşağı hat senaryosunda SIC alıcı içeren NOMA

Şekil 2.2.'de iki kullanıcılı bir aşağı hat haberleşmesi yapan NOMA sistemi gösterilmektedir. Birinci kullanıcı baz istasyonuna daha yakın olduğu için ikinci

kullanıcıya göre daha iyi CSI'ya sahiptir ve sinyaller daha az bozulma ile iletilir. Bu nedenle kullanıcılar arasındaki hizmet kalitesi adaletini sağlamak ve daha iyi sinyal iletimi gerçekleştirmek amacıyla ikinci kullanıcıya daha fazla güç tahsisi yapıldığı görülmektedir. Bu durumda, baz istasyonuna yakın olan kullanıcının cihazında var olduğu varsayılan SIC alıcısı kullanılır. Baz istasyonundan üst üste eklenerek gelen sinyaller ikinci kullanıcıya iletildiğinde, ikinci kullanıcı diğer sinyali gürültü gibi görür ve kendi sinyalini çözer. Bu aşamada, birinci kullanıcıdaki SIC işlemi, birinci kullanıcıya iletilen sinyalden, ikinci kullanıcının çözülen sinyali çıkartılarak gerçekleşir. Böylece sinyaller arasındaki girişim ortadan kalkmış olur. Birinci kullanıcı da kendisine ait sinyali çözdükten sonra, alıcı kısımdaki tüm sinyallerin çözümü yapılmış olur. Bu işlem, N kullanıcılu bir senaryo için de benzer sırayla ardışık olarak gerçekleştirilir.

Yukarı hat haberleşme senaryosunda aşağı hat haberleşme senaryosundan farklı olarak, kullanıcılardan gelen sinyaller baz istasyonuna ayrı ayrı ve kendi pil durumlarına göre güç ayarı yapılarak iletilir. Bu senaryoda baz istasyonu alıcı durumundadır. Daha iyi CSI'ya sahip kullanıcıya kendi batarya durumuna uygun olarak daha fazla güç tahsis yapılır. Alıcı, yani baz istasyonu, öncelikle iyi CSI'ya sahip kullanıcının verisini çözer. Baz istasyonuna iletilen sinyalden çözülen sinyal çıkartılarak SIC işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem, aşağı hatlı NOMA senaryosunun tam tersi sırada uygulanır [32,41].



Şekil 2.3. Yukarı hat haberleşme senaryosunda Ardışıl Girişim Önleyicili Alıcı İçeren NOMA

Şekil 2.3. iki kullanıcılı yukarı hat haberleşmesi için SIC alıcı içeren NOMA sistemini göstermektedir. Burada kullanıcılar verici konumunda bulunurken baz istasyonu alıcı konumundadır. Yakın olan kullanıcının daha fazla güç kullanarak ilettiği kendi sinyali çözüldükten sonra, SIC devresi kullanılarak, iletilen sinyalden çözülen sinyal çıkartılır. Geriye kalan sinyalden ise ikinci kullanıcıya ait bilgi sinyali çözülür [14,31]. Bu senaryo için alıcı gürültüsü eklendikten sonra baz istasyonuna ulaşan sinyal (2.1) eşitliğindeki gibi ifade edilir:

$$y = h_1 \sqrt{p_1} x_1 + h_2 \sqrt{p_2} x_2 + w \quad (2.1)$$

2.1.2 Büyük Çaplı MIMO Sistemlerinde NOMA

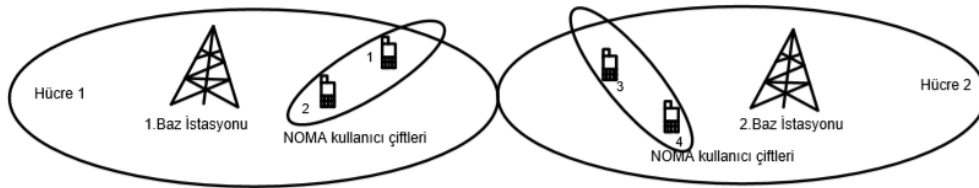
Yüksek veri hızlarına erişmek ve ihtiyaç duyulan yüksek hizmet kapasitelerine ulaşmak için yapılması gereken çözümlerden birisi de sistem kapasitesini artırmaktır. Bu hedefle önerilen çalışmalar sonucunda büyük anten dizisine sahip sistemler olan

büyük çaplı MIMO yapıları ortaya çıkmıştır [42]. Bu yapının spektrum ve enerji verimliliği geleneksel MIMO yapılarından daha üstündür [38]. Bu sayede artan anten sayısı baz istasyonları aynı anda çok sayıda kullanıcıya hizmet verebilmektedir [43].

Büyük çaplı MIMO ile 5G teknolojileri için birden çok sayıda kullanıcıya uzaysal alanda çoğullama imkânı verilerek sistem kapasitesinin artırılması hedeflenmiştir. Literatürde büyük çaplı MIMO ve NOMA yapılarının beraber kullanılmasıyla geleneksel OMA yapılarına nazaran sistem kapasitesinin arttığı gösterilmiştir [44]. Anten sayısı artırılarak performans artırılmıştır, ancak anten elemanları en az dalga boyunun yarısı kadar aralıklarla konumlandırılmadıklarında sistem performansı düşmektedir. Diğer bir deyişle, kullanılabilecek anten sayısı sınırlıdır. Bu nedenle, çok kullanıcı, büyük çaplı MIMO sistemlerinde anten sayısı kullanıcıların sayısından fazla tutulmaktadır [45].

2.1.3 Ağ Tipi NOMA

Akıllı anten tekniği sınıfında yer alan ağ tipi NOMA yapılarında, telsiz sistemde konumlanmış kullanıcılar diğer bir kullanıcıya çoklu baz istasyonu ya da erişim noktası şeklinde hizmet eder. Sistemdeki kullanıcılar, hücre kenarındaki ve yakınındaki kullanıcılar olarak iki kategoride değerlendirilir. Hücre kenarındaki kullanıcılar baz istasyonuna uzaktır. Dolayısıyla, bu kullanıcılar için yüksek hizmet kalitesi gerekirken, yakındaki kullanıcıya fırsatçı hizmet sunulur [46].



Şekil 2.4. Ağ Tipi NOMA [23]

Şekil 2.4.' de iki hücreli ve dört kullanıcıli sistem gösterilmiştir. Burada, birinci ve ikinci kullanıcı, birinci baz istasyonuna hizmet ederken, üçüncü ve dördüncü kullanıcılar ikinci baz istasyonuna hizmet etmektedir. Birinci ve üçüncü kullanıcılar arasında yüksek miktarda girişim olacağı yönündeki beklenti nedeniyle ağ tipi NOMA'nın performansının azalacağı düşünülebilir. Ancak, bu hücreler arasındaki girişim düzeyi, NOMA kullanıcılarının komşu hücreler ile arasındaki sinyallerin ortak kodlanması sayesinde düşürülebilir. Bu durumda, tüm kullanıcıların verileri ile CSI bilgilerinin çoklu baz istasyonlarında mevcut olması gerekmektedir [23].

Ağ tipi NOMA yapılarını süperpozisyon kodlamasının analog hüzmelendirmesi biçiminde ele alırsak, süperpozisyon kodların hücre kenarında bulunan ve baz istasyonu yakınındaki kullanıcılara aynı anda destek sağladığını kolayca farkedebiliriz. Bu analog hüzmeye dağılımında hücre kenarındaki kullanıcının QoS artar. Analog hüzmelendirme yalnızca sinyalin fazını düzenler. Böylece, baz istasyonu sadece kanalın fazını bilmeye ihtiyaç duyar. Bu nedenle baz istasyonu anlık CSI'ya ihtiyaç duymayacağından sistemin genel yükü azalır [47].

2.2 Kod Bölgesinde NOMA

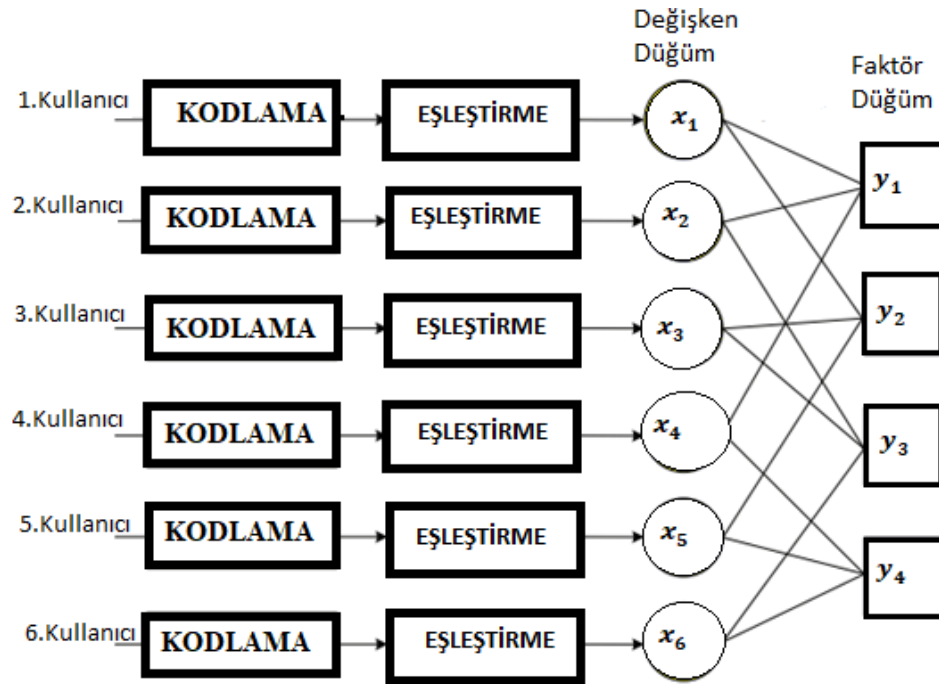
Kod bölmeli çoklu erişim tekniği tüm kullanıcıların bant genişliğinin tamamının aynı anda kullanmasına izin vererek, frekans bölmeli çoklu erişim ve zaman bölmeli çoklu erişim tekniğinden ayrılır. Kullanıcının bant genişliğinin tümünü aynı anda kullanabilmesine imkân sunabilmek için, kullanıcılara alıcı ve verici tarafından bilinmesi gereken rastgele kodlar atanır [22,33].

Yukarıda temel prensibi ifade edilen kod bölmeli çoklu erişim ve NOMA teknikleri birleştirilerek kod bölgesinde NOMA tekniği oluşturulmuştur [48]. Kod bölgesinde NOMA yöntemi sayesinde, güç alanında NOMA yapılarına kıyasla daha fazla bant genişliği kullanarak, belirli oranda yayılma ve yapılandırma kazancı elde etmek mümkündür [36].

2.2.1 Düşük Yoğunluklu Yayılan CDMA

Kod alanında çoğullamanın bir başka biçimi olan bu yöntemin en önemli özelliği, düşük yoğunluktaki işaretin, düşük yoğunluklu parite kontrol matrisi (LDPC) formuna benzer bir şekilde kod kitabı oluşturmakta kullanılması esasına dayanmaktadır. Yaygın kod bölmeli çoklu erişim tekniğinde, kullanıcıların sayısı sembol periyot başına alınan örneklerden fazlaysa, çoklu erişim girişimi kaçınılmaz olacağından, mümkün olan en iyi kullanıcıyı bulmak son derece karmaşıklaşacaktır [36].

Aslında, bu metodun arkasında yatan temel motivasyon yoğun yayılan klasik CDMA yöntemine göre düşük yoğunlukta yayılan CDMA kullanarak, her bir çip arasındaki girişimi azaltmaktır. Bu nedenle, azalan girişim sayesinde sistem performansı artar ve dolayısıyla uygun yayılım dizisi tasarımı ile birlikte kullanıcılar arasındaki girişim önemli ölçüde azaltılabilir. Alıcı mesaj aktarma algoritması kullanılarak çoklu kullanıcı tespitinin gerçekleştirilebileceği [23]' da gösterilmiştir.

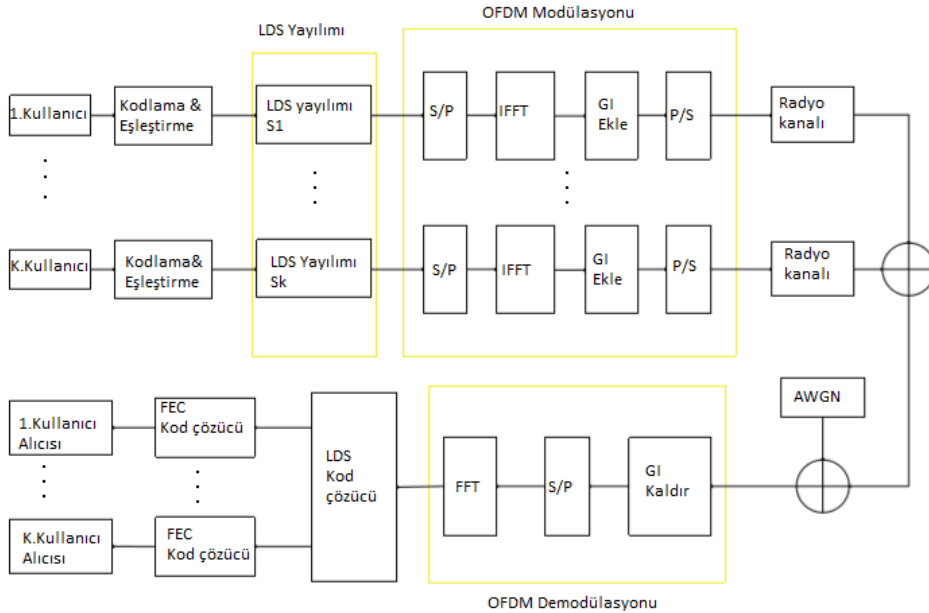


Şekil 2.5. LDS-CDMA [23]

2.2.2 Düşük Yoğunluklu Yayılan OFDM

Düşük yoğunlukta yayılan dik frekans bölmeli çoğullama (Low Density Spreading Orthogonal Frequency Division Multiple Access: LDS-OFDMA) yöntemi, LDS ve OFDMA yapılarının birleştirilmesi şeklinde düşünülebilir. Temelde düşük yoğunluklu yayılan CDMA yapısına benzemektedir. Tek farkının, işaret çıkışlarının CDMA'daki gibi zaman örneklerine değil de OFDM alt taşıyıcılarına eşleştirilmesi olduğu söylenebilir. Üstelik, çok taşıyıcılı iletimden faydalandığı için geniş bant kanallar için de kullanılabilir. LDS-OFDMA'de ilk olarak, iletilen semboller belirli LDS dizileri ile eşleştirilir. Daha sonra, farklı OFDM alt taşıyıcıları ile iletilir. Sembol sayısı, alt taşıyıcı sayısından fazla olabilir. Dolayısıyla aşırı yüklenme spektral verimliliği artırmaya müsaade eder. LDS-CDMA'da olduğu gibi bu yöntem için de mesaj aktarma algoritmasının kullanılabileceği gösterilmiştir [23].

Bu tekniğin düşük yoğunluktaki yayılım yapısı nedeniyle, tüm veri sembolleri yalnızca alt taşıyıcıların küçük alt kümelerinde yayılabilmektedir. Ayrıca, her alt taşıyıcı yalnızca küçük alt kümeler tarafından farklı kullanıcılara ait olabilen veri sembolleri için de kullanılabilmektedir [49].



Şekil 2.6. LDS-OFDM Blok Diyagramı [49]

2.2.3 Seyrek Kodlu Çoklu Erişim (Sparse Code Multiple Access)

OFDM sistemleri için son zamanlarda önerilen NOMA stratejilerinden biri de seyrek kodlu çoklu erişimdir. Bu tekniğe göre, kullanıcılar tüm frekans bantlarının seyrek alt kümelerinde iletim yaparlar. Zaman diliminde kodlama yapan CDMA'ya benzer şekilde, SCMA tekniği frekans bandında kodlama yapmaktadır [50].

LDS-CDMA tekniğinin gelişmiş versiyonu olarak da ifade edilen bu teknikte, LDS-CDMA'nın aksine, farklı veri akışlar farklı kod sözcüklerine eşlenmektedir. Her kullanıcı önceden tanımlanmış kod sözcüğüne sahiptir. Tüm kod sözcükleri aynı kod kitabındaki iki boyutlu sıfırlar içermektedir. Farklı kod kitabı içinde bulunan sıfırların konumu herhangi iki kullanıcıyı ayırarak çarpışmayı önlemede kolaylık sağlamaktadır. Kullanıcıların her biri iki bitlik karmaşık kod sözcüğü ile eşleştirilir. Kod sözcükleri tüm kullanıcılar için (örneğin OFDM alt taşıyıcısı gibi tüm dik kaynakların paylaşarak kullanılması gibi) çoğullanır. Farklı kod kitapları ile farklı katmanlar çoğullandığından, SCMA kod kitabı tasarlamak oldukça zordur. Çok boyutlu problemler için özel çözüm ve uygun tasarım kriteri gibi zorluklarla karşılaşılrsa da çoklu kademeli yaklaşım ile birlikte en iyi çözüme yakın çözümlere ulaşılabilmektedir [23].

2.2.4 Çok Kullanıcı Paylaşımlı Erişim (Multi-user Shared Access: MUSA)

Çok kullanıcı paylaşımlı erişim tekniğinde her kullanıcının modüle edilmiş sembolleri kısa vadeli olarak yayılır. Kullanıcılara ait özel kodlar aynı kaynak bloklarında iletim sağlar. Alıcıdaki her bir kullanıcının verisi SIC yardımıyla bulunabilmektedir [51].

Çok kullanıcı paylaşımlı erişim tekniği olan MUSA karmaşık değerli ikili olmayan (non-binary) yayılım dizilerini seçerek farklı kullanıcıların bilgilerini ayırır. Alışılmış CDMA şemaları, ikili yapılarda kullanılarak korelasyonu azaltmak için uzun sözde rastgele yayılım dizileri kullandığından, alıcıda yüksek karmaşıklık gerektiren hesaplamalara ve uzun gecikmelere yol açıyordu. MUSA tekniğinde ise karmaşık değerli yayılım dizilerinin uzunluğu kısaltılabildiği için sanal kısım tarafından ilave

özgürlük sağlanmaktadır. Karmaşık yayılım dizisinin elemanları QAM modülasyonunda olduğu gibi iki boyutlu uzaydan seçilir. Alıcıda kullanılan SIC yöntemi sayesinde kullanıcılar arası girişim engellenebilir. Bu yöntem, her kullanıcıya yayılma sırasını seçme özgürlüğü sunarak, serbest erişim olanağı sağlar. Böylece, sinyalin aşırı yüklenmesi ve gecikmesinin önüne geçilir [52,53].

Tablo 1. SCMA ile LDS karşılaştırılması [54]

	SCMA		LDS	
Çoklu Erişim	✓	Kod Kitabı Alanında	✓	İşaret Alanında
Seyrek	✓	Seyrek Kod Sözcüğü	✓	Düşük Yoğunlukta İşaret
Kod Kazancı	✓	Veriler çok boyutlu karmaşık kod kitabında taşınır	✗	Veriler QAM sembolleri üzerinde taşınır
Alıcı	Kod kitabı-MPA alanında		Sembol-MPA alanında	

Aşağı hat haberleşmesi için çok kullanıcılı paylaşımlı erişim tekniğinde kullanıcılar gruplara ayrılır. Her bir gruptaki kullanıcılara farklı miktarda güç tahsisi yapılır ve üst üste eklenir. Aynı gruptaki kullanıcılar aynı yayılım dizisini kullanabilirken, farklı gruplar arasında yayılma dizileri dik seçilir. Bu sayede, alıcıda gruplar arası girişimin önüne geçilebilmektedir. Diğer bir deyişle, farklı güç seviyeleri kullanılarak, gruplar arası girişim önlenmektedir [21,52].

Yukarı hat haberleşme senaryosu için MUSA tekniği esasında çok taşıyıcılı kod bölme çoklu erişim (MC-CDMA) tekniğine dayanmaktadır. Düşük korelasyon yayma dizileri ile donatılmış olması sayesinde, doğrusal işleme becerisi ile birlikte

MUSA sistem performansında kullanıcıların aşırı yüklenme faktörü neredeyse %300'den fazla çıkmaktadır. Bu sayede önemli derecede kazanımlar elde edilmektedir [55].

2.3 Diğer NOMA Çözümleri (Other NOMA Schemes)

Örüntü bölmeli çoklu erişim tekniği (PDMA) kullanıcılar arasındaki korelasyonu en aza indirip, çeşitliliği en büyükmek için dik olmayan örüntülerin kullanıldığı bir diğer NOMA çözümüdür. Bu teknikte kod, güç veya uzaysal alanda yahut da bunların kombinasyonunda çoğullama gerçekleştirilebilmektedir [14,21].

PDMA sistemin spektral verimliliği bir ile iki kat arası artırılabilirdiğinden gecikme süresi azaltılabilmektedir [55].

Eğer çoğullama kod alanında yapılmaktaysa, ardışıl girişim önleyici uysal çoklu erişim tekniği (Successive Interference Cancellation Amenable Multiple Access: SAMA) olarak adlandırılır. Bu yöntem güç alanındaki çoğullamaya benzemekle birlikte, verilen bir toplam güç kısıtlaması altında gücün dağılımını yaparak kod alanında çoğullama yapan bir yöntemdir. Uzaysal alanda çoğullama ile kullanıldığında çoklu anten destekli tekniklere dayanan uzaysal PDMA tekniği ortaya çıkar. MU-MIMO ile kıyaslandığında, uzaysal PDMA'nın uzaysal diklik için ön kod gerektirmeyeceği açıktır. Bu da sistemin tasarım karmaşıklığını azaltmaktadır [21].

IGMA (Interleave-grid multiple Access) serpiştirme tabanlı çoklu erişim yöntemlerindendir. Kullanıcılara farklı dağıtımlı eşleme örüntüleri kullanıp farklı bit düzeyinde serpiştirme yapılmasıyla kullanıcı ayırma işlemi gerçekleştirilir. Kanal kodlama işleminde ya klasik ileri hata düzeltme (FEC) için ortalama kodlama hızında basit tekrarlamalı kodlama (yayılım) ya da düşük hızda FEC kullanılır [21].

NOMA'nın diğer bir serpiştirici tabanlı çoklu erişim tekniği olan IDMA (interleave-division multiple Access) tekniğinde kullanıcılara rastgele atanan serpiştirme örnekleriyle kullanıcı ayırma işlemi gerçekleşir [26].

2.4 NOMA Çözümlerinin Karşılaştırılması

Tablo 2’de IDMA, RSMA, LDS, SCMA, MUSA ve PD-NOMA teknikleri karşılaştırılmıştır. Alıcı karmaşıklığı, PAPR (Peak-to- Average Power Ratio - Tepe güç/Ortalama Güç Oranı), gecikme süresi, kullanıcı yükü, en yüksek veri hacmi gibi performansı etkileyen faktörler bakımından kıyaslamaları bu tabloda görülmektedir.

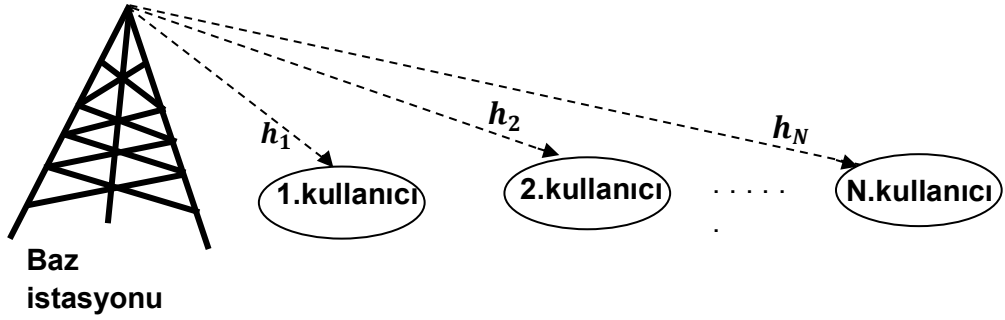
Tablo 2. NOMA Çözümlerinin Karşılaştırılması [53]

NOMA	PAPR	Alıcı Karmaşıklığı	Gecikme Süresi	Kullanıcı Yüğü	Grant Free access	En yüksek veri hacmi
IDMA	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Evet	Düşük
RSMA	Düşük (SC-RSMA) Yüksek(MC-RSMA)	Düşük	Yüksek(SC-RSMA) Düşük (MC-RSMA)	Düşük	Evet	Düşük
LDS	Düşük	Yüksek	Yüksek	Orta	Evet	Düşük
SCMA	Düşük	Yüksek	Yüksek	Orta	Evet	Düşük
MUSA	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Evet	Düşük
PD-NOMA	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Hayır	Yüksek

3. AŞAĞI HAT HÜCRESEL AĞLAR İÇİN GÜÇ BÖLGESİNDE NOMA YÖNTEMİ

Baz istasyonundan gelen sinyallerin üst üste eklenerek alıcılara iletiildiği aşağı hat hücresel ağ tekniğinden 1.3.1. kısmında bahsedilmektedir. Bu bölümde ise aşağı hat hücresel ağlar için güç bölgesinde NOMA başarımı incelenmiştir.

Baz istasyonuna farklı uzaklıklarda konumlanmış kullanıcılara baz istasyonu tarafından bilgi iletimi yapılırken temel hedef kullanıcılar arası hizmet adaletini sağlamaktır. Bu amaçla gecikme süresini minimize edecek bir şekilde kullanıcılara optimum güç tahsisi yapılarak iletimin gerçekleştirilmesi hedeflenir.



Şekil 3.1. N adet kullanıcıya sahip baz istasyonu

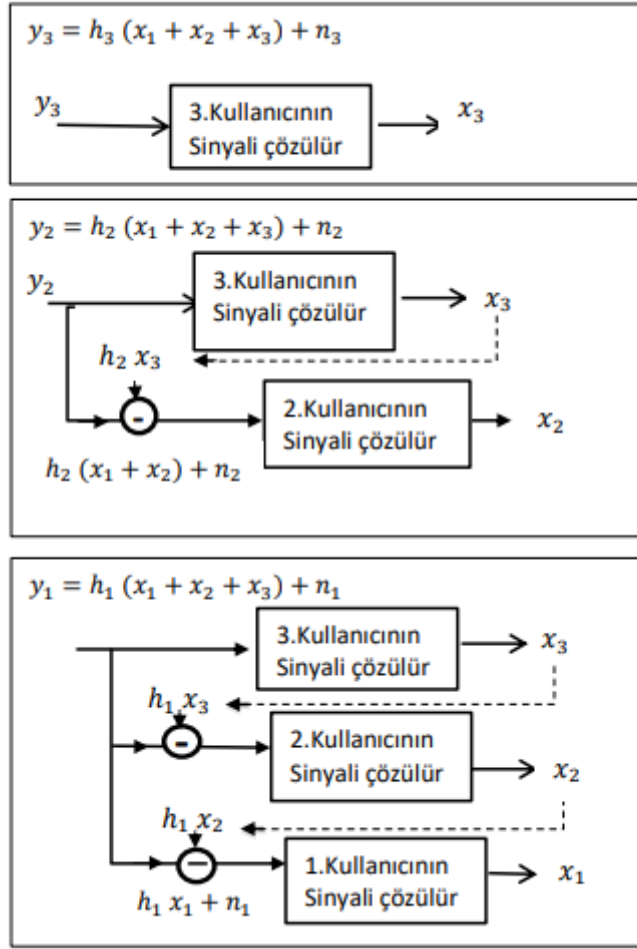
Şekil 3.1.'de N tane kullanıcıya sahip bir hücre yapısı gösterilmektedir. $(x_1, x_2 \dots x_N)$ sinyalleri üst üste eklenerek oluşturulan x sinyali baz istasyonundan iletilmektedir. Baz istasyonundan kullanıcılara tahsis edilen toplam güç $p = p_1 + p_2 + \dots + p_N$ olmak üzere, tüm kullanıcılara sırayla $p_1 = \alpha_1 p$, $p_2 = \alpha_2 p$, ..., $p_N = \alpha_N p$ güçleri tahsis edilir. Ardından baz istasyonu yayın yapar. Bu iletilen $x = x_1 + x_2 + \dots + x_N$ toplam sinyali, her bir kullanıcıya farklı kanalları kat ederek ulaşır. Güç tahsisinde esas alınan ise baz istasyonuna olan uzaklıktır. Yakındaki kullanıcının kanal durum bilgisinin diğer kullanıcılara nazaran daha iyi olduğu varsayılarak, kullanıcılar arası hizmet adaletini

sağlamak için baz istasyonuna yakın olan kullanıcıya en az güç tahsisi yapılır. Bu senaryoda, i ' inci kullanıcı tarafından alınan sinyal

$$y_i = \sqrt{d_i^{-\gamma}} h_i x + n_i \quad (3.1)$$

olarak ifade edilir. Burada, $x = \sum_{i=1}^N \sqrt{\alpha_i} p s_i$ olarak tanımlanmaktadır. En yüksek güç tahsisi kanal durum bilgisi en az olan kullanıcıya verildiğinden dolayı kod çözme işlemi en fazla güç tahsisi yapılan kullanıcıda başlar. Bu kullanıcı diğer kullanıcıların sinyallerini gürültü olarak algılayarak bünyesinde var olduğu varsayılan SIC devresi yardımıyla kendi sinyalini doğrudan çözer. Ardından diğer kullanıcılar da SIC devreleri yardımıyla kendi sinyallerini çözer. Bu işlem kullanıcıların kendilerinden daha yüksek güce sahip kullanıcıyı tespit etmesiyle başlar. Ardından bu kullanıcıya ait sinyalin kestirimini elde edip, alınan toplam sinyalden çıkarır. Bu işlem kendi sinyalini elde edinceye kadar sürer. Şekil 3.2.'de aktif üç kullanıcının bulunduğu ve üçüncü kullanıcının en uzakta birinci kullanıcının ise en yakında olduğunun varsayıldığı bir hücrel ağda bu işlemin nasıl yapıldığı gösterilmiştir.

Üçüncü kullanıcı en düşük kaliteli kanala sahip olduğu için en yüksek güç ona tahsis edilir. Bu nedenle, üçüncü kullanıcı herhangi bir şekilde SIC devresini kullanmadan doğrudan kendi sinyalini çözer. Görece daha iyi kanala sahip olan ikinci kullanıcı ise, SIC devresi yardımıyla önce yüksek güçlü üçüncü kullanıcının verisini kestirip, bunu toplam sinyalden çıkardıktan sonra kendi sinyalini çözer.



Şekil 3.2. 3 adet kullanıcıya sahip sistemlerde alıcıda SIC gerçekleştirerek kod çözme işlemi [57]

Yani, ikinci kullanıcının SIC devresi kendisine ulaşan y_2 sinyalinden bir önceki adımda kestirdiği x_3 sinyalinin kendi kanal bilgisiyle çarpımı olan $h_2 x_3$ ifadesini çıkardıktan sonra, ikinci kullanıcının alıcısı kalan sinyalden kendi sinyali olan x_2 'yi çözer. En iyi kanala sahip birinci kullanıcı ise SIC devresi yardımıyla önce x_3 sinyalinin kendi kanal bilgisiyle çarpımı olan $h_1 x_3$ ifadesini kendisine ulaşan y_1 sinyalinden çıkarıp, geriye kalan sinyalden de x_2 sinyalinin kendi kanal bilgisiyle çarpımı olan $h_1 x_2$ ifadesini de çıkardıktan sonra, birinci kullanıcının alıcısı kendi sinyali olan x_1 sinyalini çözer.

3.1 Başarım Analizi

3.1.1 Çok Kullanıcılı Durum için SINR Analizi

$i \in 1, 2, \dots, N$ olmak üzere N kullanıcılı, tek antenli bir baz istasyonu ile hizmet verilen bir hücrede, sinyallerin baz istasyonundan tüm kullanıcılara eş zamanlı olarak iletildiği, kullanıcılara tahsis edilen toplam gücün p olduğu, baz istasyonu ile kullanıcılar arasındaki kanalların Rayleigh sönümlemeli kanallar olduğu, alıcı gürültülerinin de toplamsal beyaz gauss gürültüsü olarak modellendiği ve kanal kalitesinin $|h|^2$ değerinin büyüklüğü ile ölçüldüğü varsayalım. Baz istasyonu güç katsayısının toplam güç ile çarpılmasıyla ortaya çıkan miktardaki gücü kullanıcılara tahsis etmektedir. Örneğin, i ' inci kullanıcıya $p_i = \alpha_i p$ gücü tahsis edilir. Bu tahsisat yapılırken, kullanıcıların kanal kalitesi dikkate alınır. Örneğin, Rayleigh sönümlemeli kanalların kalitesi $|h_1|^2 \geq |h_2|^2 \geq \dots \geq |h_N|^2$ şeklinde sıralandığında, kullanıcılara tahsis edilen güç katsayıları da $\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \dots \leq \alpha_N$ düzeninde sıralanır. Bu tahsisattan sonra, üst üste eklenen kullanıcı sinyallerinin toplamından oluşan x sinyali baz istasyonu tarafından tüm kullanıcıların istifadesi için yayınlanır. Bu sayede, içinde farklı güç oranlarında tüm kullanıcıların bilgilerinin yer aldığı toplam sinyale tüm kullanıcılar erişebilir. Sonuç olarak, dik olmayan çoklu erişim güç bölgesinde sağlanmış olur. Kullanıcılar kendilerine ait sinyali toplam sinyali ve SIC devrelerini kullanarak çözebilirler.

N adet kullanıcıya sahip böyle bir sistemde i ' inci kullanıcıya ulaşan sinyal aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$y_i = \sqrt{d_i^{-\gamma}} h_i x + n_i \quad (3.4)$$

Burada, d_i , i ' inci kullanıcı ile baz istasyonu arasındaki mesafeyi, γ , yol kaybı üstelini, h_i , i ' inci kullanıcı ile baz istasyonu arasındaki Rayleigh kanalı, n_i , i ' inci

alıcıdaki sıfır ortalamalı ve σ^2 varyanslı toplamsal beyaz gauss gürültüsünü, x ise baz istasyonu tarafından üst üste eklenerek iletilen toplam sinyali temsil etmektedir. Toplam sinyal (3.5)'deki gibi ifade edilir:

$$x = \sum_{i=1}^N \sqrt{\alpha_i p} s_i \quad (3.5)$$

i ' inci alıcı kendi sinyalini SIC devresi yardımıyla çözdükten sonra, oluşan işaret girişim gürültü oranı (3.6)'da ifade edilmiştir [58].

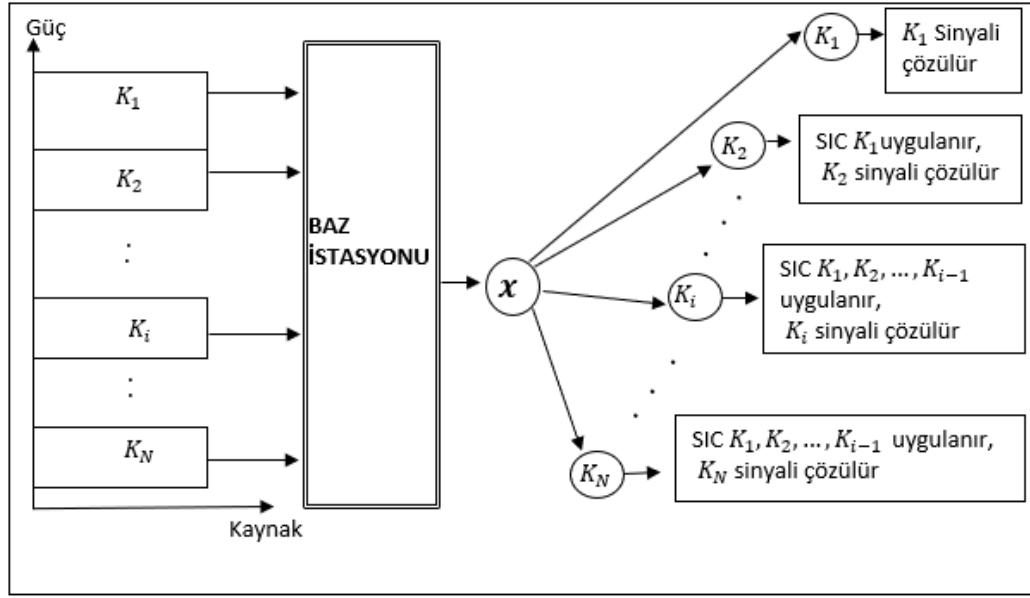
$$\text{SINR}_i = \frac{p_i |h_i|^2}{|h_i|^2 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N p_j + \sigma^2} \quad (3.6)$$

3.2 Güç Tahsisi

Bu bölümde kanalın kusursuz bilindiği ve bilinmediği durumlarda güç tahsisinin nasıl yapılacağından bahsedilecektir. Aşağıdaki Şekil 3.3.'de N kullanıcılu bir aşağı hat haberleşmesi için güç tahsisi ve çözme işlemi detaylı olarak gösterilmektedir.

3.2.1 Kanal Durum Bilgisinin Mükemmel Olduğu Durum için Güç Tahsisi

Kanalın kusursuz bilinmesi durumunda, kanal kestirimi yapılmasına ihtiyaç olmayacağından, doğrudan veri çözüm aşamasına geçilir. Çözme işleminin nasıl yapılacağı daha önce detayları ile açıklandığı için burada yeniden değinilmeyecektir.

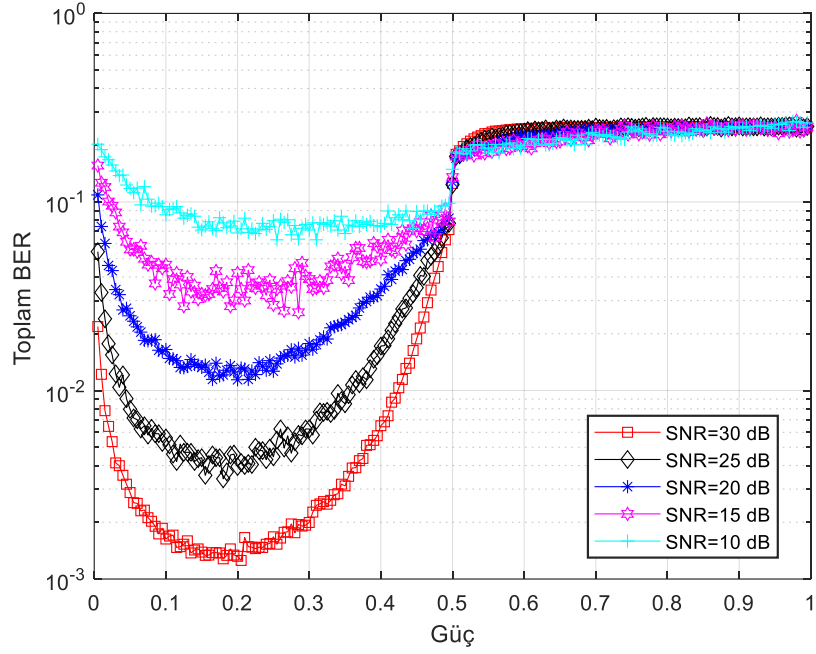


Şekil 3.3. N kullanıcıya sahip baz istasyonundan iletilen sinyallerin alıcıda çözümü [59]

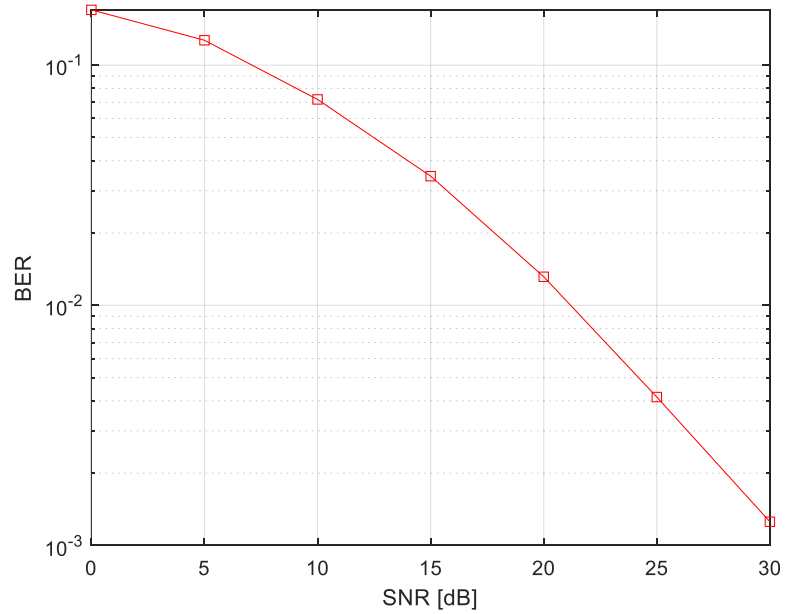
Optimum güç dağılımının nasıl yapıldığını göstermek amacıyla iki kullanıcılı Şekil 3.3.' deki bir hücre yapısı ele alınmış ve toplam gücün bir olduğu varsayılarak, farklı SNR değerleri için sistemin toplam BER eğrisinin güç ile değişimi benzetim yoluyla incelenmiştir. Bu benzetim örneğinde, SNR değerleri 10 dB, 15 dB, 20 dB, 25 dB ve 30 dB olarak, birinci kullanıcının baz istasyonuna olan uzaklığı $d_1=1$ olarak, ikinci kullanıcının baz istasyonuna olan uzaklığı $d_2 = 1,5$ olarak ve yol kaybı üsteli ise $\gamma = 2$ olarak seçilmiştir. PSK(faz kaydırmalı anahtarlama) modülasyonu kullanılmıştır. Modülasyon derecesi 2 seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.4.'de verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, en düşük toplam BER değeri 0.2 noktasında çıkmaktadır. Bu, birinci kullanıcıya (yakındaki kullanıcıya) toplam gücün 0.2'si, ikinci kullanıcıya (uzaktaki kullanıcıya) ise 0.8'i aktarıldığında en düşük toplam BER değerinin elde edilebileceği anlamına gelmektedir.

Bu seçilen güç tahsis oranları için toplam BER eğrisinin SNR ile değişimi incelendiğinde ise, Şekil 3.5.' deki sonuç elde edilmiştir. Şekildeki BER eğrisi, ele alınan sistem için farklı SNR değerlerinde ulaşılacak en düşük toplam BER değerlerini temsil etmektedir. Bu oranlarla yapılan güç tahsisinin kullanıcılar arası

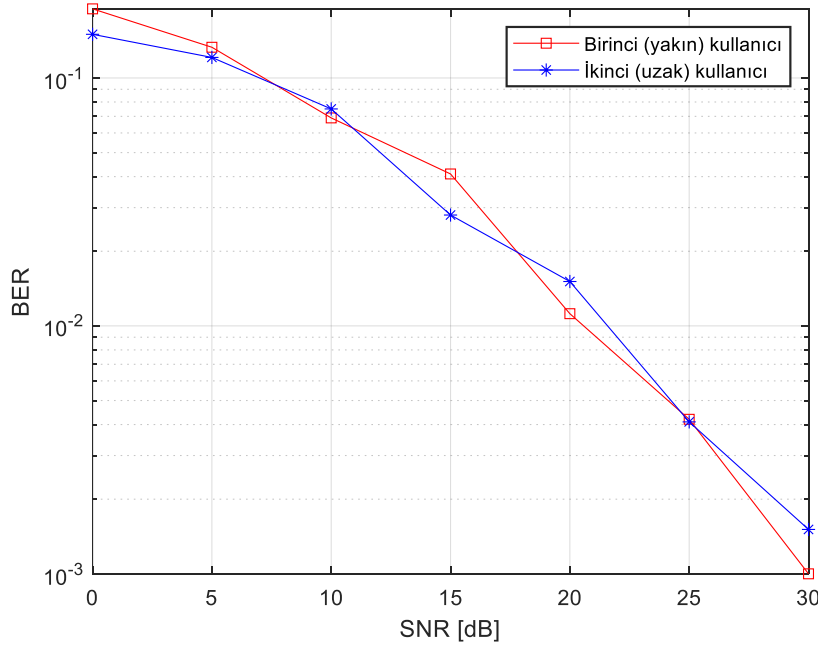
hizmet adaletini sağlaması beklenmektedir. Şekil 3.6.'dan farklı SNR değerleri için her iki kullanıcının BER eğrilerinin birbirine çok yakın olduğu, yani hizmet kalitesi bakımından kullanıcılar arası adaletin sağlandığı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.4. Optimum güç tahsisinin tespit için kullanılan BER eğrileri



Şekil 3.5. Kanalin mükemmel olarak bilinmesi durumunda, toplam BER'in en küçük değerinin elde edildiği $\alpha_1=0,2$ ve $\alpha_2=0,8$ güç tahsisi için toplam BER'in SNR ile değişimi



Şekil 3.6. En iyi güç tahsisi altında farklı SNR değerleri için BER eğrileri

3.2.2 Kanal Bilgisinin Alıcıda Bulunmadığı Durumda Güç Tahsisi

Eğer alıcılara baz istasyonu ile kendileri arasındaki kanal bilgisi, bir geri besleme kanalından iletilmemişse, bu durumda alıcılar kendi iletişimlerini gerçekleştirdikleri kanalların bilgisine sahip olamazlar. Dolayısıyla, kullanıcı cihazlarında bulunduğu varsayılan SIC devrelerini işlevsel olarak kullanamazlar. Sonuç olarak da en uzaktaki kullanıcı dışında hiçbir kullanıcı veri sezimi işlemini başarılı bir şekilde yerine getiremez. Çünkü, SIC devreleri yardımıyla aldıkları toplam sinyalden diğer kullanıcıların verilerini çıkarabilmeleri için, bu alıcılar kendi kanal bilgilerine sahip olmak zorundadırlar. Bu durumda, her bir alıcının kendi kanalını kestirmesi gerekmektedir. Ancak, aşağı hat haberleşmesinde kullanıcıların bu kestirim işleminin belirli aralıklarla yineleyebilmesi batarya ömürlerinin sınırlı olması nedeniyle gerçekçi değildir. Bu nedenle, bu çalışmanın bundan sonraki kısımlarında, her bir kullanıcının kanal bilgisi baz istasyonu tarafından kestirilerek temiz bir geri besleme kanalıyla kullanıcılara ulaştırılmış kabul edilmiştir. Ancak, kullanıcıların sınırlı

batarya ömrü olmadığı varsayılarak kullanıcılar tarafından kanalın kestirilmesi durumu ile baz istasyonunun kanalı kestirip onlara bildirmesi durumu kanal kestirim başarımı açısından kıyaslandığında doğal olarak herhangi bir başarıım düşüşüne neden olmayacağı açıktır. Bu başlık altında yapılan benzetim örnekleri, kanal kestirim işlemini mobil kullanıcıların kendilerinin yaptığı varsayımı ile gerçekleştirilmiştir.

Kanal modellerini stokastik ve deterministik olarak ikiye ayırmak mümkündür. Kestirim problemlerinde bilinmeyen parametre deterministik ise klasik kestirim yöntemleri kullanılırken, bilinmeyen parametrenin stokastik olması durumunda ise Bayes kestirimi yöntemleri tercih edilmektedir [60].

Klasik kestirim yöntemlerini aşağıdaki aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Minimum Varyanslı Yansız Kestirimi (MVU-Minimum Variance Unbiased Estimator)
- En İyi Lineer Yansız Kestirimci (BLUE- Best Linear Unbiased Estimator)
- Maximum Likelihood Kestirimi (MLE-Maximum Likelihood Estimator)
- Cramer- Rao Alt Sınırı (CRLB- Cramer-Rao Lower Bound)
- En iyi Lineer Yansız Kestirimci (BLUE- Best Linear Unbiased Estimator)
- Maximum Likelihood Kestirimi (MLE-Maximum Likelihood Estimator)
- En Küçük Kareler Kestirimi (LSE-Least Squares Estimator).

Stokastik (Bayes tipi) kestirim yöntemleri ise,

- Minimum Ortalamalı Karesel Hata Kestirimi (MMSE-Minimum Mean Square Error Estimator)
- Maksimum Sonsal Kestirim (MAP -Maximum A Posteriori Estimator)
- Linear MMSE Estimator (LMMSE :En az Karesel Hata Kestirimi / Linear Minimum Mean Square Error)
- Kalman Filtresi

olarak sıralanabilir.

Ele alınan senaryoda baz istasyonu tarafından hizmet verilen aktif kullanıcı sayısının K olduğu kabul edildiğinde, baz istasyonundan alıcılara iletilen sinyaller

$$\mathbf{y} = \mathbf{X} \mathbf{h} + \mathbf{n} \quad (3.11)$$

olarak ifade edilir. (3.11)'de kullanıcı verileri olarak tanımlanan $\mathbf{X}$, alıcı ve verici tarafından bilinen eğitim dizilerinden (pilot verilerden) oluşan bir köşegen matris olup, genel yapısı aşağıdaki denklemde verilmiştir:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x(0) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & x(K-1) \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Kanal kestirimi sırasında matris tersi almak gerektiği için, bu işlemin karmaşıklığını azaltabilmek amacıyla, kullanıcı verilerini temsil eden eğitim dizisi matrisi $\mathbf{X}$ köşegen yapıda oluşturulmuştur. (3.11) denkleminde, $\mathbf{y}$ kullanıcılar tarafından alınan veri vektörünü, $\mathbf{h}$ kullanıcılara ait Rayleigh sönümlmeli kanal vektörünü, $\mathbf{n}$ ise kovaryans matrisi $\mathbf{C} = \sigma^2 \mathbf{I}$ olan toplamsal beyaz Gauss gürültü vektörünü temsil etmektedir. $[\cdot]^H$ eşlenik evriği göstermek üzere, bu denklemdeki diğer vektörler

$$\mathbf{h} = [h[0], \dots, h[K-1]]^H, \quad (3.13)$$

$$\mathbf{y} = [y[0], \dots, y[K-1]]^H, \quad (3.14)$$

$$\mathbf{n} = [n[0], \dots, n[K-1]]^H, \quad (3.15)$$

olarak tanımlanır. Baz istasyonun hizmet verdiği her bir aktif kullanıcı (3.11)'deki sinyal modelini kullanarak kanal kestirimini aşağıda verilen yöntemlerden herhangi birini kullanarak yapılabilir [57].

- BLUE, LSE (veya Gürültünün Gauss olması durumunda MVU ve MLE)

$$\hat{\mathbf{h}} = (\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^H \mathbf{y} \quad (3.20)$$

- LMMSE (veya kanal ve gürültünün Gauss olması halinde MSSE)

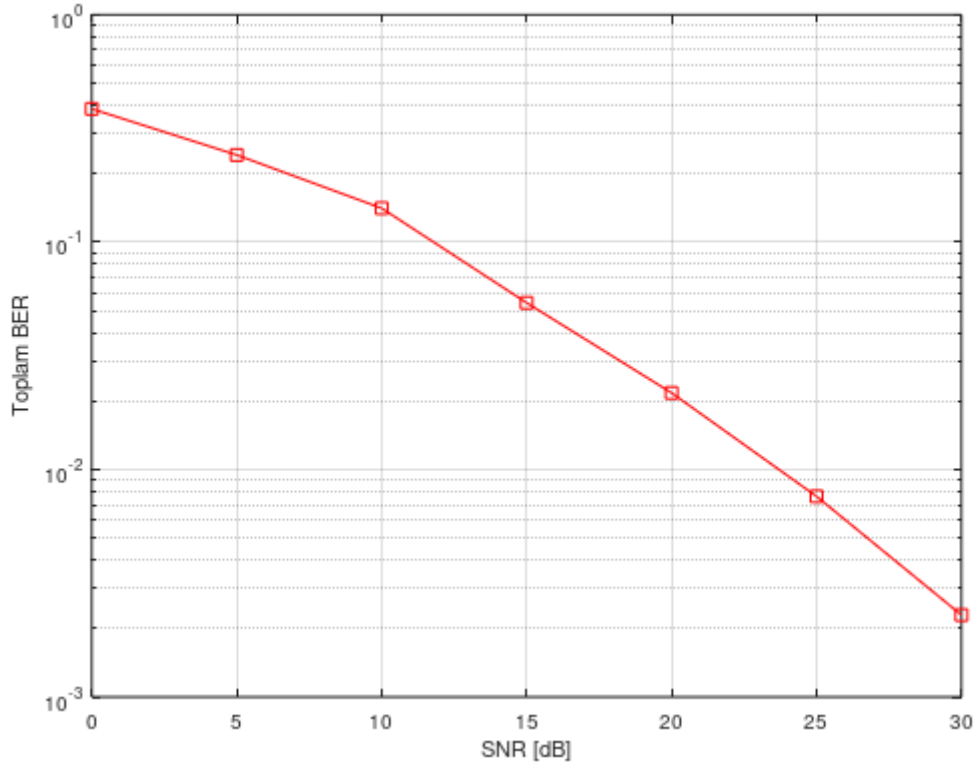
$$\hat{\mathbf{h}} = (\mathbf{X}^H \mathbf{X} + \sigma^2 \mathbf{C}_h^{-1})^{-1} \mathbf{X}^H \mathbf{y} \quad (3.21)$$

burada $\mathbf{C}_h$ kanalın kovaryans matrisini temsil etmektedir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mathbf{C}_h = E_h \{\mathbf{h} \mathbf{h}^H\}. \quad (3.22)$$

Bu aşamada, kanal kestiriminin mobil kullanıcılar tarafından yapıldığı varsayıldığı için, ekstradan bir çarpma ve toplama işlemi yapmamak adına, düşük performansına rağmen kanal kestirimcisi olarak LSE seçilmiştir.

Adil bir karşılaştırma olması için kısım 3.2.1.'de kullanılan benzetim verileri kullanılarak ve kanalların kullanıcılar tarafından bilinmediği varsayılarak sistem tekrar çalıştırılmıştır. Mobil kullanıcılar tarafından kestirilen kanallar yardımıyla yapılan veri sezim işlemi sonrasında, sistem için elde edilen toplam BER başarımı Şekil 3.7'de verilmiştir. Kullanıcılar tarafından kanalın mükemmel olarak bilindiği duruma göre BER başarımında bir miktar düşüş olduğu net bir şekilde görülmektedir. Başarımdaki bu düşüş doğal olarak beklenen bir sonuçtur.



Şekil 3.7. Kanal durum bilgisi mükemmel olarak bilinmediği durum için SNR-BER eğrisi

4. İKİ KULLANICILI AŞAĞI HAT HÜCRESEL AĞLARDA OPTİMUM GÜÇ TAHSİSİ

Güç bölgesinde NOMA erişim tekniğinin kullanıldığı iki kullanıcıli aşağı hat hücresel haberleşme sistemi Şekil 2.2.'de verilmişti. Üçüncü kısımda verilen bilgiler doğrultusunda, toplam güç p ile gösterilmek üzere, baz istasyonu tarafından birinci ve ikinci kullanıcılara tahsis edilen güçler sırasıyla $p_1 = \alpha p$ ve $p_2 = (1-\alpha) p$ ile ifade edilmektedir. Bu durumda, kullanıcılar tarafından alınan sinyaller (3.1) eşitliğinden yararlanarak sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$y_1 = \sqrt{d_1^\gamma p_1} h_1 x + n_1 , \quad (4.1)$$

$$y_2 = \sqrt{d_2^\gamma p_2} h_2 x + n_2 \quad (4.2)$$

Bu tez çalışması boyunca, yukarıdaki modele uygun olarak, α çarpanı ile birinci kullanıcıya, $(1-\alpha)$ çarpanı ile de ikinci kullanıcıya güç tahsisi yapıldığı kabul edilmiştir.

Daha önce de söylendiği gibi, kullanıcılar arası hizmet adaletini sağlamak ve spektral verimliliği artırmak için yapılan çalışmalarda uzaktaki kullanıcıya daha fazla, yakındaki kullanıcıya ise daha az güç tahsisi yapılmaktadır. Bu durumda, baz istasyonundan gönderilen toplam sinyalde baz istasyonundan uzaktaki (hücre sınırına yakın bölgelerdeki) kullanıcıya ait sinyal bileşeni yüksek güce sahip iken, yakındaki kullanıcıya ait bileşen düşük güce sahip olur. Dolayısıyla, yüksek güç tahsis edilen uzak kullanıcının alıcısı, veri çözümü aşamasında, kendisine ulaştığında daha da zayıflamış olan yakın kullanıcıya ait sinyal bileşenini gürültü olarak algılayıp, herhangi bir SIC işlemine ihtiyaç duymadan doğrudan kendi

verisini çözebilir. Yakındaki kullanıcı ise, önce SIC devresini kullanarak ikinci kullanıcının verisini kendisine kendi kanalı üzerinden ulaşan toplam sinyalden çıkarır. Daha sonra, geriye sadece kendi sinyali kaldığı için kalan sinyalden kendi verisini kolaylıkla çözebilir.

4.1 Problemin Kurgulanması

Birinci bölümde bahsedilen önceki nesil haberleşme sistemlerinde kullanılan çoklu erişim tekniklerinde, çoklu erişim girişimini azaltmak için farklı kullanıcıların tekniğe ismini veren bölgede ayrıştırılması esasına dayanan farklı erişim tekniklerinden bahsedilmiştir. Bu tekniklerin sınırlı serbestliğe sahip olması nedeniyle, daha iyi kanal kalitesine sahip kullanıcılara öncelik sunulurken, hücre sınırına yakın bölgelerde bulunan, kötü kanal kalitesine sahip kullanıcılara ise oldukça düşük hizmet kalitesi sunulmaktadır. Diğer bir deyişle, bu teknikler, hizmet alabilmeleri için bu konumdaki kullanıcıları uygun kanal şartları oluşana kadar beklemek zorunda bırakmaktadır. Bu durum, kullanıcılar arasındaki hizmet adaletinin sağlanmasını engellemektedir ve gecikmeye neden olmaktadır. Bu sorunlara çözüm getirebilmek adına, mevcutta kullanılan dik erişim yöntemlerinin aksine, kaynak bloklarını kullanıcıların aynı anda kullanabileceği çoklu erişim tekniklerinden biri olan dik olmayan çoklu erişim teknikleri ikinci bölümde “Baskın NOMA Çözümleri” başlığı altında sunulmuştur. Bu tez çalışmasında, bu yöntemler arasında yer alan, son zamanlardaki çalışmalarda oldukça fazla üzerinde durulan [14,15,26] ve başarımı bakımından gelecek nesil haberleşme sistemleri için ümit vaat edici bir alternatif olan güç alanında çoğullama esasına dayalı NOMA tekniği [19,29,62,63] ele alınmıştır. Bu erişim tekniğinin iki kullanıcılı olan özel halinin 5N hücresel ağlarda aşağı hat haberleşmesi için başarımı incelenmiştir. Bir yandan gezgin kullanıcıların kanalı mükemmel bilmesi durumunda en iyi güç dağılımının nasıl yapılması gerektiği sorusuna cevap aranırken, diğer yandan da kanalı bilmemeleri durumunda kanal kestirimi sırasında yapılan hatanın veri sezim başarımına olan olumsuz etkisini en aza indirecek güç tahsisinin nasıl yapılması

gerektiği sorusuna cevap aranmıştır. Bu incelemeler sonucunda, her iki durumda farklı kullanıcı konumları için en iyi ampirik güç tahsis yöntemi elde edilmiştir.

4.2 Problemin Çözümü

Beşinci kısımda yapılan benzetim çalışmaları sonrasında elde edilen sonuçlar analiz edilerek, ele alınan problem için hedeflenen en iyi BER başarımına ulaşmak için yapılması gereken güç tahsisleri için kabaca aşağıdaki eşitliklere ulaşılmıştır. Bu eşitlikler ampirik sonuçlara oldukça yakın sonuçlar elde edilmesini sağlamakla birlikte, ampirik sonuçlardaki başarıma tam olarak ulaşmamaktadırlar.

İkinci kullanıcı hücre sınırlarına yakın bir bölgedeyken, birinci kullanıcının baz istasyonuna yakın olduğu senaryolar için baz istasyonuna yakın kullanıcıya (birinci kullanıcıya) en iyi güç tahsisine en yakın tahsisat

$$\alpha_{\text{opt}} = \frac{\left(\frac{d_1}{d_2} - \frac{d_1^2}{(d_1^2 + d_2^2)} \right)}{\gamma} \quad (4.3)$$

seçilerek yapılabilmektedir. Burada, d_1 birinci kullanıcının baz istasyonuna olan uzaklığını, d_2 ikinci kullanıcının baz istasyonuna olan uzaklığını ve γ yol kaybı üstelini temsil etmektedir.

Birinci kullanıcı hücre sınırlarına yakın bir bölgedeyken, ikinci kullanıcının baz istasyonuna yakın olduğu senaryolar için baz istasyonuna yakın kullanıcıya (ikinci kullanıcıya) en iyi güç tahsisine en yakın tahsisat

$$\alpha_{\text{opt}} = 1 - \frac{\left(\frac{d_2}{d_1} - \frac{d_2^2}{(d_1^2 + d_2^2)} \right)}{\gamma} \quad (4.4)$$

seçilerek yapılabilmektedir.

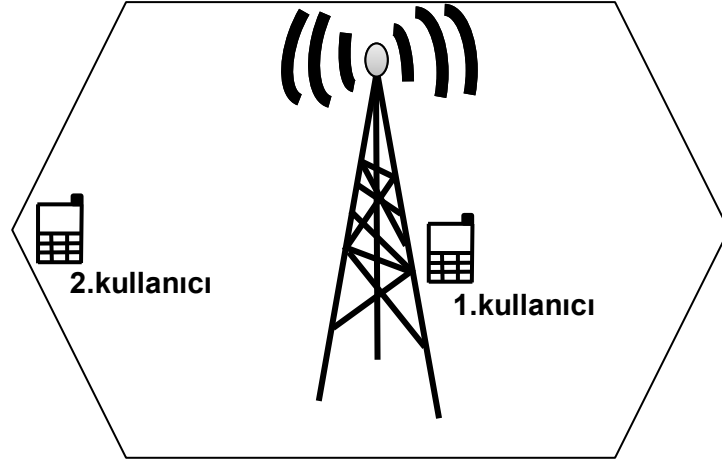
Her iki kullanıcının baz istasyonuna eşit mesafede olması durumunda en iyi güç tahsisinin yarı yarıya yapılacağı zaten açıktır:

$$\alpha_{\text{opt}} = \frac{d_1}{d_1 + d_2} = \frac{d_2}{d_1 + d_2} . \quad (4.5)$$

Gerçekçi bir senaryo altında 5N bir ağda ele alınan problemin analitik çözümü için de uğraşılmış, ancak problemin karmaşıklığı nedeniyle, analitik çözüm belirli kabulleri yapmadan elde edilememiştir. Bu kabuller altında elde edilen çözümler literatürdeki mevcut çözümlerden farklı olmadığı için burada verilmemiştir.

5. BENZETİM ÖRNEKLERİ

5.1 Birinci Kullanıcının Baz İstasyonuna Daha Yakın Olma Durumu ($d_1 < d_2$)

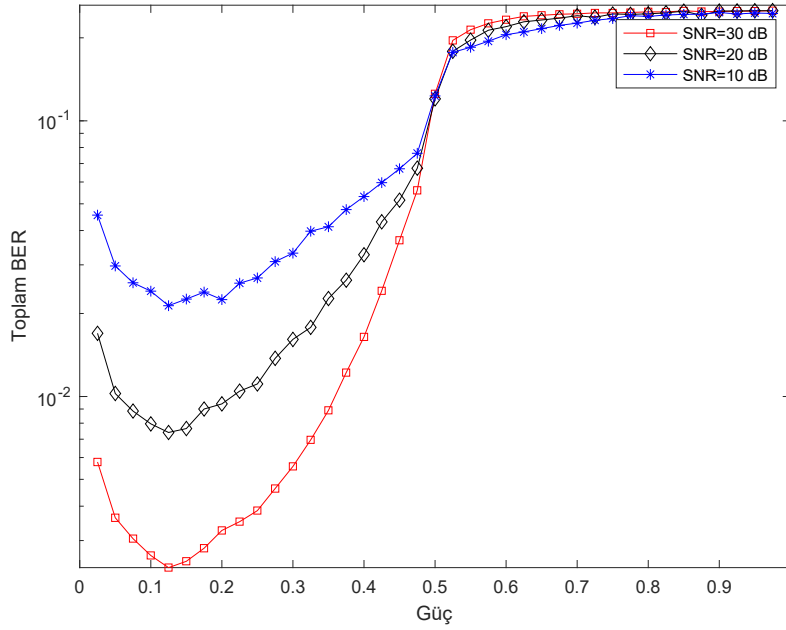


Şekil 5.1. İki farklı kullanıcıyı aşağı hat hücresel ağlarda NOMA yapısı($d_1 < d_2$)

Şekil 5.1.' de birinci kullanıcı baz istasyonuna yakın konumdayken, ikinci kullanıcının hücre sınırına yakın konumda olduğu ve her iki kullanıcının da kanallarına ilişkin bilgiye sahip olmadığı bir senaryo gösterilmektedir. Bu senaryoda, kullanıcıların kanal bilgilerinin (3.11)'deki sinyal modelini kullanarak, baz istasyonu tarafından (3.21)'de verilen LMMSE kanal kestirimcisi yardımıyla kestirildiği ve temiz geri besleme kanalları üzerinden kullanıcılara bildirildiği varsayılmıştır. Birinci kullanıcının baz istasyonuna olan uzaklığı $d_1 = 1$, ikinci kullanıcının ise $d_2 = 2,5$ ' dur. Kullanıcı kanalları Rayleigh sönmülemeli birim varyanslıdır. Yol kaybı üsteli $\gamma = 2,7$ 'dir. PSK(faz kaydırmalı anahtarlama) modülasyonu kullanılmıştır. Modülasyon derecesi 2 seçilmiştir.

Bu benzetim örneği için ampirik optimum güç tahsis değeri $\alpha=0,125$ olarak bulunmuştur. Bunu Şekil 5.2'den de görmek mümkündür. Eşitlik (4.3) ile hesaplanan optimum güç tahsis değeri ise $\alpha=0,1191$ olarak bulunur. Bu değerler, birbirlerine oldukça yakın değerlerdir. Şekil 5.3'te sistemin toplam BER değerinin SNR ile

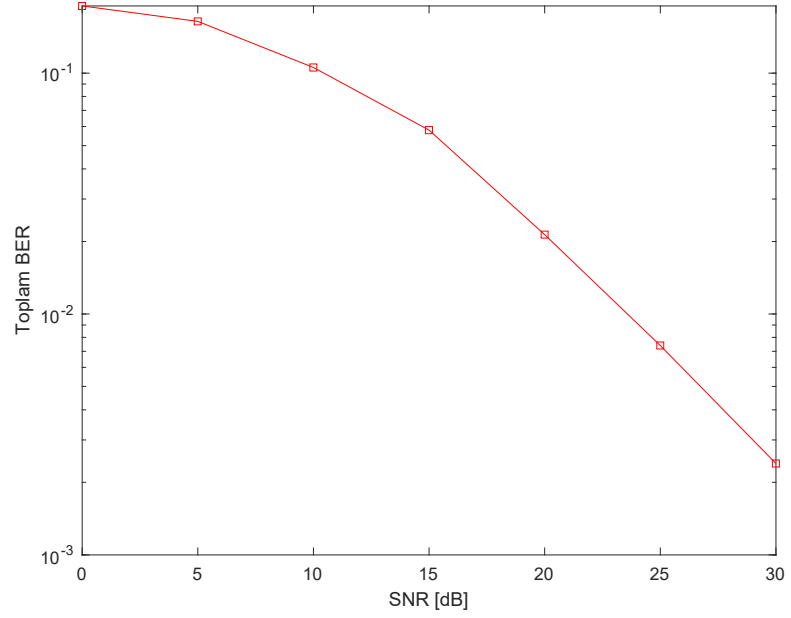
değişimi gösterilmiştir. Oldukça yüksek yol kaybı üsteline nazaran yine de sistemin iyi bir başarımla sergilediği söylenebilir. Şekil 5.4’ de ise her iki kullanıcının optimum güç tahsisinden sonraki BER eğrileri gösterilmiştir. Bu şekle bakarak kullanıcılar arası hizmet adaletinin hemen hemen sağlandığı söylenebilir. Zira, SNR arttıkça kullanıcıların BER eğrileri arasındaki fark sıfıra doğru yaklaşmaktadır.



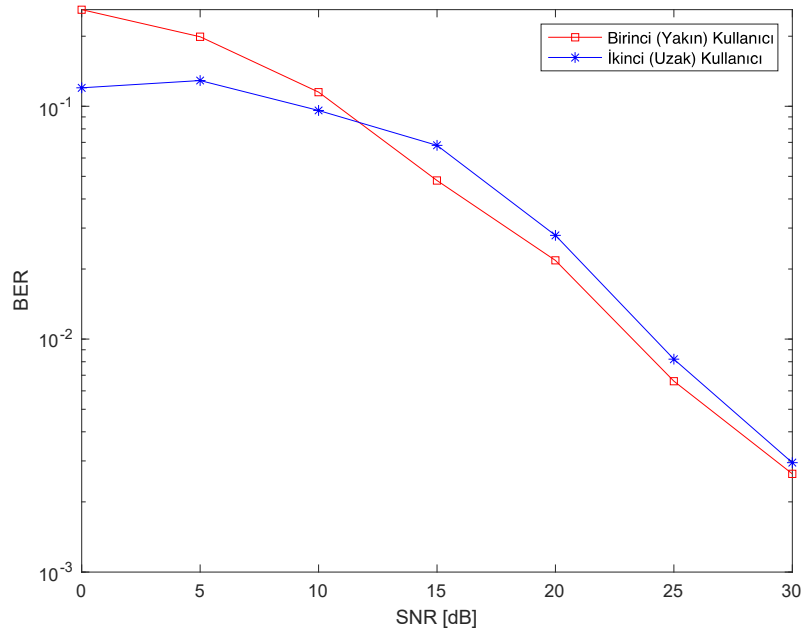
Şekil 5.2. Optimum güç tahsisinin tespit için kullanılan BER eğrileri

Eğer uzaktaki kullanıcı hücre sınırından biraz daha beride konumlandırılıp, yol kaybı üstelinin değeri de daha düşük mertebelerde tutulduğunda, sistemin toplam BER değerinin artan SNR değerleri ile daha da azaldığı görülebilir. Ayrıca, böyle bir senaryoda her iki kullanıcının BER eğrileri düşük SNR değerlerinde bile neredeyse üst üste gelir. Benzer benzetim örneği sonuçlarını burada ikinci kez vererek tekrara

düşölmek istenmemiştir. Ancak, bir sonraki durum için yapılacak olan benzetim örneğinde böyle bir senaryoya yer verilerek bu durum gözler önüne serilecektir.

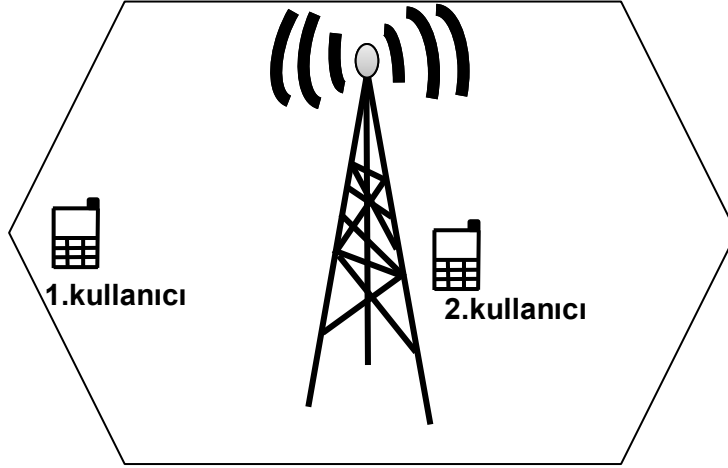


Şekil 5.3. Kanalın mükemmel olarak bilinmesi durumunda, toplam BER'in en küçük değeri için $\alpha_1 = 0,125$ ve $\alpha_2 = 0,875$ güç tahsisi için toplam BER'in SNR ile değişimi



Şekil 5.4. En iyi güç tahsisi altında farklı SNR değerleri için BER eğrileri

5.2 İkinci Kullanıcının Baz İstasyonuna Daha Yakın Olma Durumu ($d_1 > d_2$)

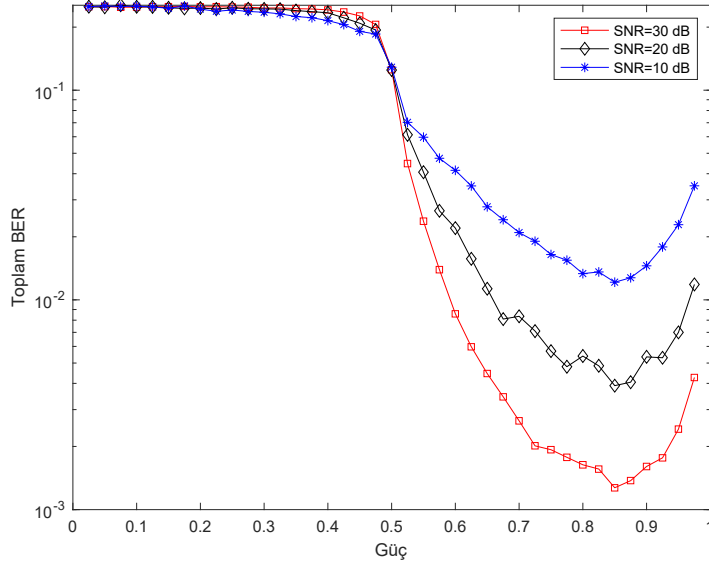


Şekil 5.5. İki farklı kullanıcıyla aşağı hat hücresel ağlarda NOMA yapısı ($d_1 > d_2$)

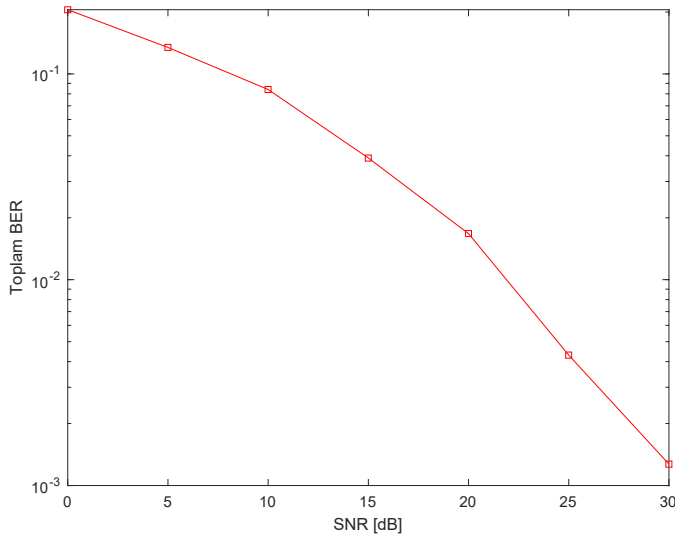
Şekil 5.5.’de ikinci kullanıcı baz istasyonuna yakın konumdayken, birinci kullanıcının hücre sınırının biraz berisinde olduğu ve her iki kullanıcının da kanallarına ilişkin bilgiye sahip olmadığı bir senaryo gösterilmektedir. Bu senaryoda, kullanıcıların kanal bilgilerinin (3.11)’deki sinyal modelini kullanarak, baz istasyonu tarafından (3.21)’de verilen LMMSE kanal kestirimcisi yardımıyla kestirildiği ve temiz geri besleme kanalları üzerinden kullanıcılara bildirildiği varsayılmıştır. Birinci kullanıcının baz istasyonuna olan uzaklığı $d_1 = 1,92$, ikinci kullanıcının ise $d_2 = 0,87$ ve yol kaybı üsteli $\gamma = 1,8$ olarak seçilmiştir. Kullanıcı kanalları Rayleigh sönümlmeli birim varyanslıdır. PSK(faz kaydırmalı anahtarlama) modülasyonu kullanılmıştır. Modülasyon derecesi 2 seçilmiştir.

Bu benzetim örneği için ampirik optimum güç tahsis değeri $\alpha=0,85$ olarak bulunmuştur. Bunu Şekil 5.6.’dan da görmek mümkündür. Eşitlik (4.4) ile hesaplanan optimum güç tahsis değeri ise $\alpha = 0,8429$ olarak bulunur. Bu değerler, birbirlerine oldukça yakın değerlerdir. Şekil 5.7.’de sistemin toplam BER değerinin SNR ile değişimi gösterilmiştir. 5.1. kısmındaki duruma göre görece daha düşük yol kaybı üsteline sahip olan hücrenin daha iyi bir başarımla sergilediği görülebilir. Şekil 5.8’ de

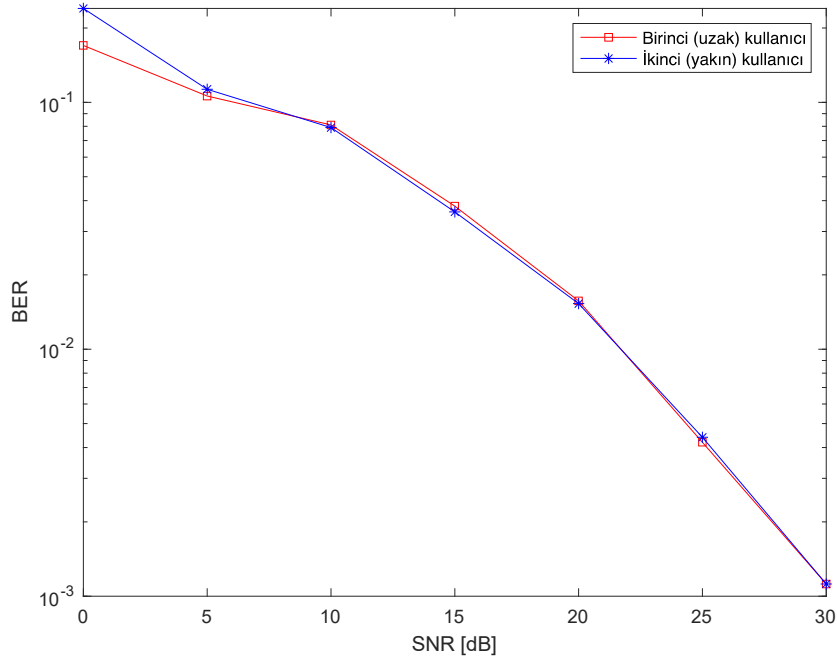
ise her iki kullanıcının optimum güç tahsisinden sonraki BER eğrileri gösterilmiştir. Bu şekle bakarak, bir önceki bölümde öngörülen kullanıcılar arası hizmet adaletinin SNR=5 dB değerinden itibaren sağlandığı görülebilir.



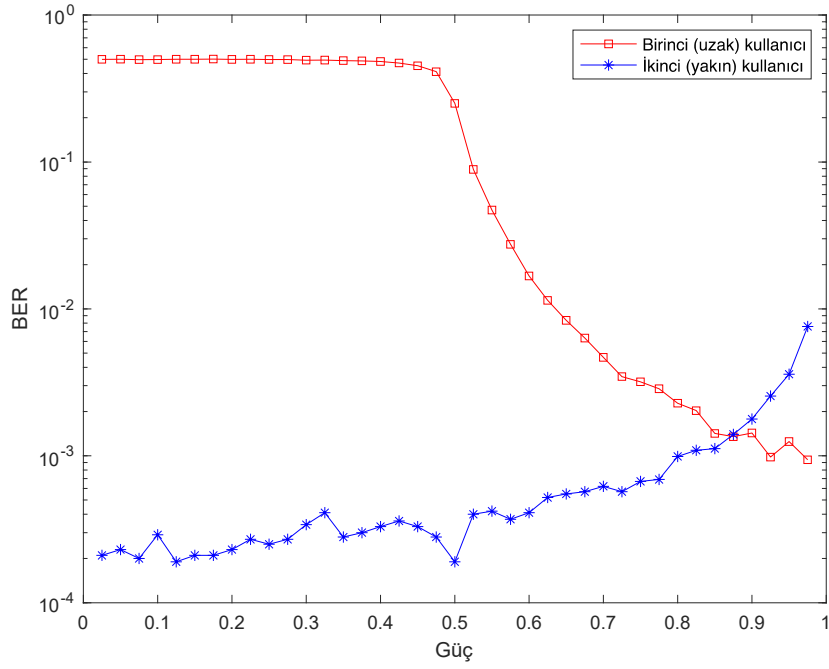
Şekil 5.6. Optimum güç tahsisinin tespit için kullanılan BER eğrileri



Şekil 5.7. Toplam BER'in en küçük değerinin elde edildiği $\alpha_1=0,85$ ve $\alpha_2=0,15$ güç tahsisi için toplam BER'in SNR ile değişimi



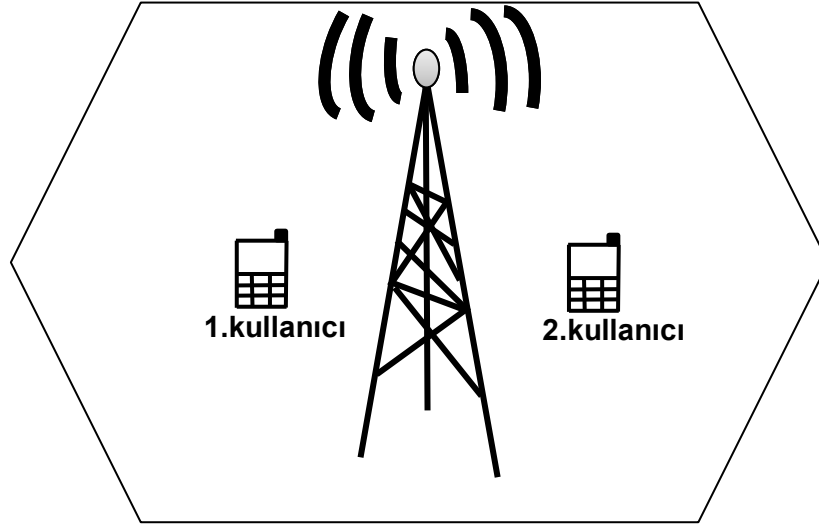
Şekil 5.8. En iyi güç tahsisi altında farklı SNR değerleri için BER eğrileri



Şekil 5.9. Kullanıcıların farklı güç tahsis değerleri için BER eğrileri

Ayrıca, Şekil 5.9.'dan en iyi güç tahsis değerini yaklaşık olarak tespit etmek mümkündür. Çünkü, her iki kullanıcının BER eğrileri yaklaşık olarak $\alpha = 0,85$ değerinde kesişmektedir.

5.3 Kullanıcıların Eşit Mesafede Olma Durumu ($d_1=d_2$)

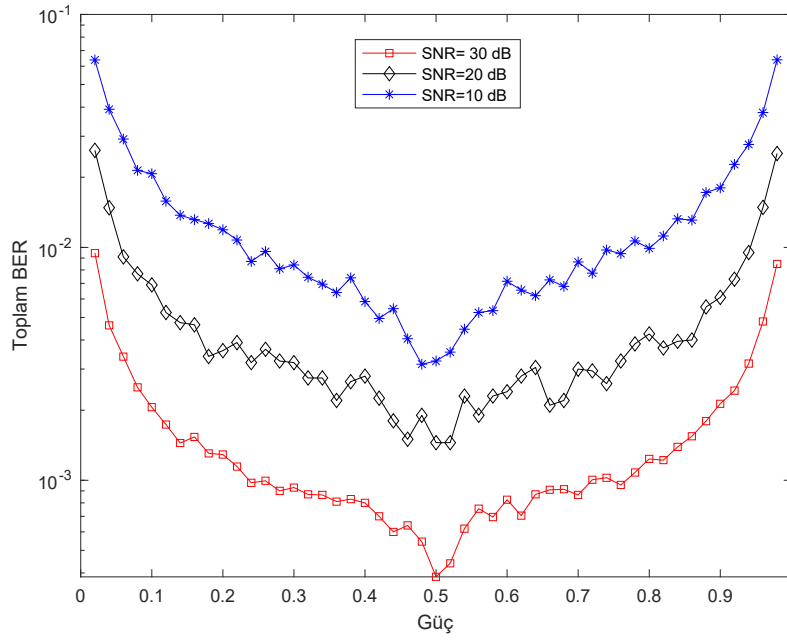


Şekil 5.20. İki farklı kullanıcıyı aşağı hat hücresel ağlarda NOMA yapısı ($d_1=d_2$)

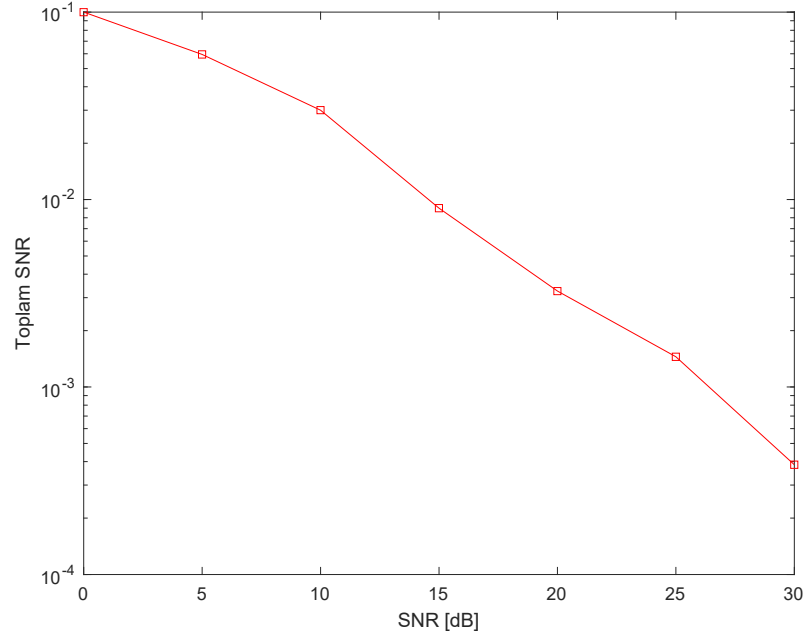
Şekil 5.10.' da her iki kullanıcının da baz istasyonundan uzaklıklarının eşit olduğu bir senaryo gösterilmektedir. Bu senaryoda, kullanıcıların kanal bilgilerinin (3.11)'deki sinyal modelini kullanarak, baz istasyonu tarafından (3.21)'de verilen LMMSE kanal kestirimcisi yardımıyla kestirildiği ve temiz geri besleme kanalları üzerinden kullanıcılara bildirildiği varsayılmıştır. Birinci kullanıcının baz istasyonuna olan uzaklığı $d_1 = 1,25$, ikinci kullanıcının ise $d_2 = 1,25$ ve yol kaybı üsteli $\gamma = 1,9$ olarak seçilmiştir. Kullanıcı kanalları Rayleigh sönümlmeli birim varyanslıdır. PSK(faz kaydırmalı anahtarlama) modülasyonu kullanılmıştır. Modülasyon derecesi 2 seçilmiştir.

Bu benzetim örneği için ampirik optimum güç tahsis değeri $\alpha = 0,5$ olarak bulunmuştur. Zaten sezgisel olarak da bunu öngörmek mümkündür. Bu Şekil 5.11.'den de görülebilir. Eşitlik (4.5) ile hesaplanan optimum güç tahsis değerinin de

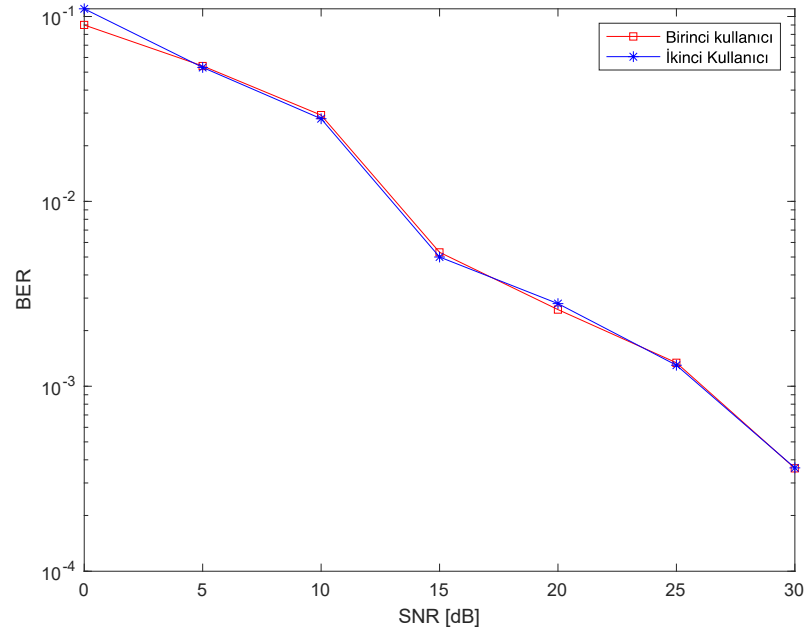
$\alpha = 0,5$ olarak bulunacağı açıktır. Şekil 5.12.'de sistemin toplam BER değerinin SNR ile değişimi gösterilmiştir. 5.1. ve 5.2. kısımdaki durumlara göre daha iyi bir başarımla elde edildiği görülebilir. Bu da beklenen bir durumdur. Çünkü her iki kullanıcı da baz istasyonuna eşit mesafededir. Şekil 5.13.'de ise her iki kullanıcının optimum güç tahsisinden sonraki BER eğrileri gösterilmiştir. Bu şekle bakarak, kullanıcılar arası hizmet adaletinin mükemmel bir şekilde sağlandığı görülmektedir. Ayrıca, bu şekil oluşturulan benzetim algoritmasının doğruluğunun bir kanıtı olarak da görülebilir. Şekil 5.14.'den ise yine en iyi güç tahsis değerini yaklaşık olarak tespit etmek mümkündür. Çünkü, her iki kullanıcının BER eğrileri yaklaşık olarak $\alpha=0.5$ değerinde kesişmektedir.



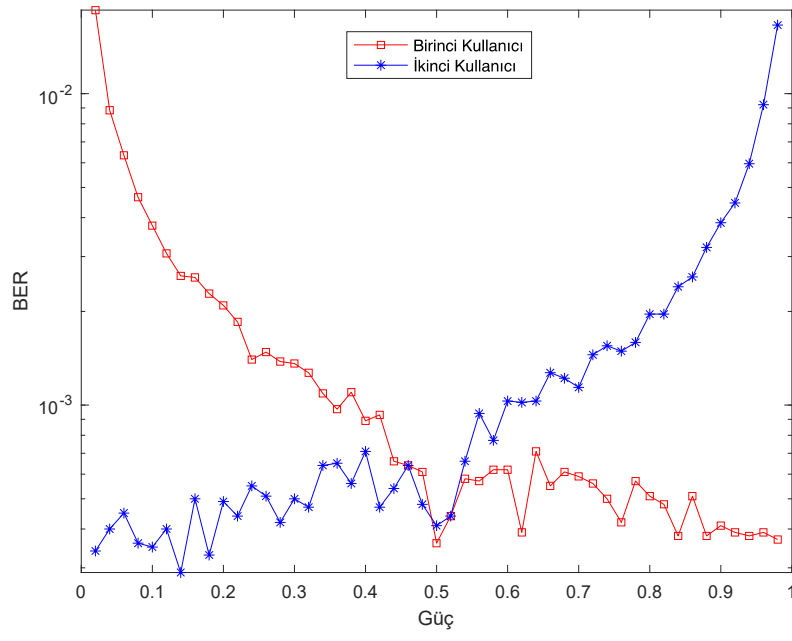
Şekil 5.11. Optimum güç tahsisinin tespit için kullanılan BER eğrileri



Şekil 5.12. Toplam BER'in en küçük değerinin elde edildiği $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$ güç tahsisi için toplam BER'in SNR ile değişimi



Şekil 5.13. En iyi güç tahsisi altında farklı SNR değerleri için BER eğrileri



Şekil 5.14. Kullanıcıların farklı güç tahsis değerleri için BER eğrileri

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

Duman sinyalleri, meşale sinyalleri, yanıp sönen aynalar, sinyal işaret fişekleri ve semafor bayraklarını kullanarak bilgi aktarımının sağlandığı ilk haberleşme döneminden günümüze teknolojiye beklentilerimiz oldukça artmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmalar ile beklenen yüksek veri hızları, minimum bekleme süresi ve aynı anda hızlı bir iletişim için çalışmalar olanca hızıyla sürmektedir. Bu tez çalışmasında halihazırda kullanılan dik çoklu erişim tekniklerinin bahsedilen taleplere neden tam olarak cevap veremeyip, belirli bir noktaya kadar karşılayabildiği açıklanmıştır. Literatürde bu taleplere çözüm üretmek amacıyla önerilmiş çeşitli erişim teknikleri arasında NOMA'nın ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Bu erişim tekniği o kadar ilgi görmüştür ki, bu tez çalışmasında da bahsedildiği gibi, birçok çeşidi ile ilgili literatürde oldukça fazla sayıda çalışma bulmak mümkündür. Bu teknikler incelendiğinde, düşük gecikme süresi, yüksek bant verimliliği ile kullanıcılar arası hizmet adaletini sağlaması bakımından, diğer NOMA tekniklerine nazaran görece daha basit alıcı yapısına sahip olması nedeniyle, güç alanında NOMA tekniğinin incelenmesine karar verilmiştir. Sonrasında da yukarıda bahsedilen taleplere çözüm getirmesi beklenen güç bölgesinde NOMA tekniğinin başarımı, 5N ağlarda aşağı hat haberleşmesi için incelenmiştir. Öncelikle, güç bölgesinde NOMA tekniğinin OMA tekniklerine göre iş çıkarma becerisinin daha üstün olduğu gösterilmiştir. Ardından, kullanıcıların kanal bilgilerine sahip olması durumunda, SIC devresine sahip alıcıların veri sezme başarısı gözler önüne serilmiş, daha sonrasında da kullanıcı kanallarının bilinmemesi durumunda kanal kestirim hatasının veri sezim başarımına etkisini en küçükleyecek güç tahsisinin nasıl yapılması gerektiği incelenmiştir. Bu amaçla, yapılan denemelerden sonra elde edilen sonuçların analizi yardımıyla, üç farklı durum için ampirik güç tahsis yöntemi önerilmiştir. Gerçekçi bir senaryo altında 5N bir ağda ele alınan problemin analitik çözümü için de uğraşılmış, ancak problemin karmaşıklığı nedeniyle, analitik çözüm belirli kabulleri yapmadan elde edilememiştir. Bu kabuller altında elde edilen

özmler literatürdeki çözümlerden farklı olmadığı için bu tez çalışmasında verilmemiştir.

KAYNAKLAR

- [1]. Goldsmith, A. (2005). Wireless communications. Cambridge University Press.
- [2]. Garg, V. (2010). Wireless communications & networking. Elsevier.
- [3]. Rackley, S. A. (2011). Wireless networking technology: From principles to successful implementation. Elsevier.
- [4]. Leung, B. (2011). VLSI for wireless communication. Springer Science & Business Media.
- [5]. Baba M. I., Nafees N., Manzoor I., Naik K.A ve Ahmed S. Evolution of Mobile Wireless Communication Systems from 1G to 5G : A Comparative Analysis
- [6]. Yadav,S.,Singh,S.(2018) Review Paper on Development of Mobile Wireless Technologies (1G to 5G)5G Wireless Communication Networks, Evolution and Challenges International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol.7 Issue.5, May- 2018, pg. 94-100
- [7]. Bayılmış, C. Kablosuz Ağ Teknolojileri Ve Uygulamaları ders notu
- [8]. 3GPP (2012). Technical Report, Release 11, Q3.
- [9]. 3GPP (2015). Technical Report, Release 12, Q1.
- [10]. Gallagher, J. C., & DeVine, M. E. (2019). Fifth-generation (5G) telecommunications technologies: issues for congress. Congressional Research Service, 1(30), 1-39.
- [11]. 3GPP (2018). Technical Report, Release 15, Q2.
- [12]. 3GPP (2020). Technical Report, Release 16, Q3
- [13]. Bandırmalı, N., Çeken, C., Bayılmış, C. ve Ertürk, İ. Kablosuz Erişim Yöntemlerinin Karşılaştırmalı İncelemesi
- [14]. Liaqat, M., Noordin, K. A., Latef, T. A., & Dimyati, K. (2020). Power-domain non orthogonal multiple access (PD-NOMA) in cooperative networks: an overview. Wireless Networks, 26(1), 181-203.
- [15]. Maraqa, O., Rajasekaran, A. S., Al-Ahmadi, S., Yanikomeroglu, H., & Sait, S. M. (2020). A survey of rate-optimal power domain NOMA with enabling technologies of future wireless networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 22(4), 2192-2235.

- [16]. Li,X.,Gani,A.,Salleh,R.,Zakaria,O.(2009) . The Future of Mobile Wireless Communication Networks. Communication Software and Networks. IEEEExplore, PP:554-557 in citizen Chen,HH.,Guizina,M.,Mohr,W(2007),"Evolution toward 4G wireless networking" IEEE Network,Volume21Issue:1 PP.4-5.
- [17]. Yildirim.R.(2016).Kablosuz Haberleşme Ders Notu, Ankara "Stüber, G. L., & Stüber, G. L. (1996). Principles of mobile communication (Vol. 2). Norwell, Mass, USA: Kluwer Academic."
- [18]. Salih, A. A., Zeebaree, S. R., Abdulraheem, A. S., Zebari, R. R., Sadeeq, M. A., & Ahmed, O. M. (2020). Evolution of Mobile Wireless Communication to 5G Revolution. Technology Reports of Kansai University.
- [19]. Iradier, E., Montalban, J., Fanari, L., Angueira, P., Zhang, L., Wu, Y., & Li, W. (2020). Using NOMA for enabling broadcast/unicast convergence
- [20]. Boccuzzi, J. (2019). Introduction to cellular mobile communications. In Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond (pp. 3-37). Springer, Cham. in 5G networks. IEEE Transactions on Broadcasting.
- [21]. Dai, L., Wang, B., Ding, Z., Wang, Z., Chen, S., & Hanzo, L. (2018). A survey of non-orthogonal multiple access for 5G. IEEE communications surveys & tutorials, 20(3), 2294-2323.
- [22]. Sorgucu,U., ,Kabalcı,Y., ,Develi ,İ.(2011) "Kod bölmeli çoklu erişim haberleşmesinde yayma kodlarının bit hata oranı başarımı üzerine etkisi" Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 27(3):242-246
- [23]. Dai, L., Wang, B., Yuan, Y., Han, S., Chih-Lin, I., & Wang, Z. (2015). Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends. IEEE Communications Magazine, 53(9), 74-81.
- [24]. Bhatia,S., Chandni.(2017) "An Efficient Scheduling Algorithm for NOMA in LTE and 5G Networks" International Journal of Trend in Research and Development, Volume 4(4), ISSN: 2394-9333,pp.522-525.
- [25]. Canonne-Velasquez, L., Haghighat, A., & Herath, P. (2019, May). Multi-Cell IDMA NOMA Performance in NR Deployment. In 2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops) (pp. 1-5). IEEE.

- [26]. Lu, Y., Qu, Y., Yang, C., Li, T., Wang, X., Bian, H., & Zhu, H. (2020). A user matching and power allocation scheme for downlink MIMO-NOMA communication system. *Physical Communication*, 42, 101174
- [27]. Do, D. T., Nguyen, T. T. T., Nguyen, T. N., Li, X., & Voznak, M. (2020). Uplink and Downlink NOMA Transmission Using Full-Duplex UAV. *IEEE Access*, 8, 164347-164364.
- [28]. Islam, S. (2016) "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Cellular Downlink and Uplink: Achievements and Challenges" Huazhong University of Science and Technology (HUST), Wuhan, China
- [29]. Nguyen, K. H., Nguyen, H. V., Le, M. T., Cao, T. X., & Shin, O. S. (2021). Rate Fairness and Power Consumption Optimization for NOMA-Assisted Downlink Networks. *Energies*, 14(1), 58.
- [30]. Non- K. Higuchi and Kishiyama, Y. (2012). "Non-orthogonal access with successive interference cancellation for future radio access," in *Proceedings of APWCS*, Kyoto , Japan.
- [31]. Wei, Z., et al. (2016). "A Survey of Downlink Non-Orthogonal Multiple Access for 5G Wireless Communication Networks" arXiv:1609.01856v1 [cs.IT]
- [32]. Benjebbour, A. (2017). "An overview of non-orthogonal multiple access" *ZTE SCOMMUNICATIONS* 21 June 2017 Vol.15 No S1
- [33]. Lu, H., Xie, X., Shi, Z., & Cai, J. (2020). Outage Performance of CDF-Based Scheduling in Downlink and Uplink NOMA Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.
- [34]. Zheng, B., Wu, Q., & Zhang, R. (2020). Intelligent reflecting surface-assisted multiple access with user pairing: NOMA or OMA?. *IEEE Communications Letters*, 24(4), 753-757.
- [35]. Bakar, I. (2017). Spectrally efficient Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) techniques for future generation mobile systems. Doctoral thesis (PhD), University of Sussex.
- [36]. Cai, Y., Qin, Z., Cui, F., Li, G. Y., & McCann, J. A. (2017). Modulation and multiple access for 5G networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1), 629-646.
- [37]. Marzetta, T. L. (2015). Massive MIMO: an introduction. *Bell Labs Technical Journal*, 20, 11-22.

- [38]. Dikmen, O., & Kulaç, S. (2016, November). 5G Teknolojisine Genel Bir Bakış. In 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016) 3-5 Nov 2016 Alanya/Antalya-Turkey
- [39]. Islam , S. M. R., Zeng, M., Octavia A. D. (2017). NOMA in 5G Systems: Exciting Possibilities for Enhancing Spectral Efficiency, IEEE 5G Tech Focus: Volume 1, Number 2
- [40]. Al Khansa, A., Chen, X., Yin, Y., Gui, G., & Sari, H. (2020). Performance analysis of Power-Domain NOMA and NOMA-2000 on AWGN and Rayleigh fading channels. *Physical Communication*, 43, 101185.
- [41]. Zeng, M., Hao, W., Dobre, O. A., Ding, Z., & Poor, H. V. (2020). Power minimization for multi-cell uplink NOMA with imperfect SIC. *IEEE Wireless Communications Letters*, 9(12), 2030-2034.
- [42]. Senel, K., Cheng, H. V., Björnson, E., & Larsson, E. G. (2019). What role can NOMA play in massive MIMO?. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13(3), 597-611.
- [43]. Sançar, Ş. (2018). Masif MİMO Kesimlerde Kanal Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- [44]. Zhang, Di, et al. "Capacity analysis of NOMA with mmWave massive MIMO systems." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 35.7 (2017): 1606-1618.
- [45]. Sena, A.S., Costa, D.B., Ding, Z. (2019), "Massive MIMO-NOMA Networks with Multi-Polarized" *IEEE Transactions on Wireless Communications*, (Volume:18, Issue:12) Page(s): 5630 – 5642
- [46]. Sun, Y., Ding, Z., Dai, X., Karagiannidis, G. (2017). "A Novel Network NOMA Scheme for Downlink Coordinated Three-Point Systems". *IEEE*, arXiv:1708.06498
- [47]. Sun, Y., Ding, Z., Dai, X., Karagiannidis, G.. (2018). "A Feasibility Study on Network NOMA". *IEEE Transactions on Communications*. PP. 1-1. 10.1109/TCOMM.2018.2825420.
- [48]. Choi, Jinho. "NOMA: Principles and recent results." 2017 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). *IEEE*, 2017.
- [49]. Al-Imari, M., Imran, M., Tafazolli, R., Chen, D. (2011). "Subcarrier and power allocation for LDS-OFDM system". 1-5. 10.1109/VETECS.2011.5956554.

- [50]. Lin, J., Feng, S., Zhang, Y., Yang, Z., & Zhang, Y. (2020). A novel deep neural network based approach for sparse code multiple access. *Neurocomputing*, 382, 52-63.
- [51]. Göken, Ç., Yılmaz, A., & Dizdar, O. (2019). Evaluation of 5G New Radio Non-orthogonal Multiple Access Methods for Military Applications. *arXiv preprint arXiv:1805.01125*.
- [52]. Berceanu, M. G., Florea, C., & Halunga, S. (2020). Performance Comparison of Massive MIMO System with Orthogonal and Nonorthogonal Multiple Access for Uplink in 5G Systems. *Applied Sciences*, 10(20), 7139.
- [53]. Wang, Q., Zhang, R., Yang, L. L., & Hanzo, L. (2018). Non-orthogonal multiple access: A unified perspective. *IEEE Wireless Communications*, 25(2), 10-16.
- [54]. H. Nikopour and H. Baligh, "Sparse code multiple access," 2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), London, 2013, pp. 332-336, doi: 10.1109/PIMRC.2013.6666156.
- [55]. Ding, Z. et al. (2017). Application of non-orthogonal multiple access in LTE and 5G networks, a. *IEEE Communications Magazine*, 55(2), 185-191.
- [56]. Wang, Q., Zhang, R., Yang, L. ve Hanzo, L. (2017). Non-Orthogonal Multiple Access: A Unified Perspective . Application of non-orthogonal multiple access in LTE and 5G networks, *IEEE Communications Magazine*, 55(2), 185-191.
- [57]. Saito, Y., Benjebbour, A., Kishiyama, Y., & Nakamura, T. (2013, September). System-level performance evaluation of downlink non-orthogonal multiple access (NOMA). In 2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC) (pp. 611-615). IEEE.
- [58]. Islam, S.M.R., Avazov, N., Dobre, O.A., ve Kwak, K. (2017). Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 741- 742.
- [59]. Aldababsa, M., Toka, M., Gökçeli, S., Kurt, G.K., ve Kucur, O. (2018). A tutorial on nonorthogonal multiple access for 5G and beyond, *Wireless Communications and Mobile Computing*
- [60]. Capistrán, M. A., Christen, J. A., Daza-Torres, M. L., Flores-Arguedas, H., & Montesinos-López, J. C. (2021). Error Control of the Numerical Posterior with Bayes Factors in Bayesian Uncertainty Quantification. *Bayesian Analysis*.

- [61]. Abur, A., & Exposito, A. G. (2004). Power system state estimation: theory and implementation. CRC press.
- [62]. Hasan, M. K., Shahjalal, M., Islam, M. M., Alam, M. M., Ahmed, M. F., & Jang, Y. M. (2020, February). The Role of Deep Learning in NOMA for 5G and Beyond Communications. In 2020 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIC) (pp. 303-307). IEEE
- [63]. Prabha Kumaresan, S., Chee Keong, T., Ching Kwang, L., & Yin Hoe, N. (2020). Adaptive user clustering for downlink nonorthogonal multiple access based 5G systems using Brute-force search. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 31(11), e4098.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : SEDA KIRTAY

Doğum Tarihi ve Yeri : 12 Şubat 1992, Malatya

Elektronik Posta : kirtayseda@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Lisans	KBU, Elektrik Elektronik Mühendisliği	2015
Yüksek Lisans	İMU, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği	