



**HABERLEŞME AĞLARINDA MIMO NOMA ÇOKLU ERİŞİM İÇİN
DEĞİŞKEN GÖNDERİCİ-ALICI ANTEN SEÇİMİ**

Bircan DEMİRAL

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bircan DEMİRAL

03/02/2023

HABERLEŞME AĞLARINDA MIMO NOMA ÇOKLU ERİŞİM İÇİN DEĞİŞKEN GÖNDERİCİ-ALICI ANTEN SEÇİMİ

(Doktora Tezi)

Bircan DEMİRAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2023

ÖZET

Günümüzde kullanıcılara daha fazla performans sağlayan teknolojilere duyulan ihtiyaç, karmaşık iletişim sistemlerinin kurulmasına yol açmıştır. Gittikçe karmaşılaşan iletişim senaryoları ve ağ mimarileri ile artan veri trafiği talepleri nedeniyle, yeni nesil 5G ağlarında spektrum verimliliği, kullanıcı adaleti, azaltılmış gecikme, daha iyi bağlantı, veri hızı ve enerji verimliliği açısından ana ağ gereksinimlerinin karşılanmasını mevcut dikgen çoklu erişim (orthogonal multiple access-OMA) teknikleri garanti etmede yetersiz kalmıştır. Dikgen olmayan çoklu erişim (non-orthogonal multiple access-NOMA) tekniği, 5G kablosuz sistemlerdeki çeşitli zorlukların üstesinden gelmek için önerilmiş ve zaman geçtikçe geleneksel OMA teknikleri NOMA tekniklerine evrimleşmiştir. NOMA teknikleri arasında en dikkat çekici, güç alanlı dikgen olmayan çoklu erişim (power domain-NOMA-PD-NOMA) ve seyrek kod çoklu erişim (sparse code multiple access-SCMA) teknikleridir. PD-NOMA, kullanıcılara kanal koşullarına göre adaletli güç tahsisi yaptıktan sonra spektral verimlilik sağlamak amacıyla süperpozisyon yöntemi ile veri göndermekte ve girişimi azaltmak için alıcıda ardışık girişim iptali metodunu kullanmaktadır. Yüksek verim ve güvenilirlik sağlayan çok giriş çok çıkış (multi input multi output-MIMO) sistemleri PD-NOMA ile birleştirilmiştir. Ancak birden fazla anten kullanılması ile radyo frekans (radio frequency-RF) zincirleri de artmakta, buna bağlı olarak maliyet, karmaşıklık ve güç tüketimi beklenenden çok daha fazla olmaktadır. Bahsedilen bu nedenlerden yola çıkarak tezde önce, aşağı-hat MIMO PD-NOMA için iletim sağlayan anten sayısını azaltırken veri hızını artırmayı hedefleyen max-max-max ve max-min-max anten seçim algoritmaları uygulanmıştır. Sonra seyrek yapı sayesinde kullanıcı girişimini ve aşırı yüklemeyi destekleyen SCMA tekniği MIMO ile entegre edilmiştir. Literatürde MIMO-SCMA sistemlerde anten seçimi konusunda açıklık bulunmasından dolayı aynı anten seçim algoritmaları daha fazla kullanıcı için geliştirilmiş ve ek olarak optimum anten seçim algoritması aşağı-hatlı bu sisteme de uygulanmıştır. Uygulamalar sonucunda algoritmaların sistemlere sağladığı kapasite, bit hata oranı (bit error rate-BER) ve kesinti olasılığı benzetim çalışmaları Matlab/Simulink programında yapılarak paylaşılmıştır.

Bilim Kodu : 90523
Anahtar Kelimeler : Güç alanlı dikgen olmayan çoklu erişim, seyrek kod çoklu erişim, çok giriş çok çıkış, anten seçimi, radyo frekans zinciri, kapasite, bit hata oranı, kesinti olasılığı
Sayfa Adedi : 83
Danışman : Doç. Dr. Özgür ERTUĞ

VARIABLE TRANSMITTER-RECEIVER ANTENNA SELECTION FOR MIMO NOMA IN WIRELESS NETWORK

(Ph. D. Thesis)

Bircan DEMİRAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2023

ABSTRACT

Today, the need for technologies that provide more perform to users has led to the establishment of complex communication systems. Due to increasingly complex communication scenarios and network architectures and increasing data traffic demands, current orthogonal multiple access (OMA) techniques have fallen short of guaranteeing main net requirements in terms of spectrum efficiency, user fairness, reduced latency, better connectivity, data rate and energy efficiency in next generation 5G networks. Non-orthogonal multiple access (NOMA) technique has been proposed to overcome various challenges in 5G wireless systems and over time traditional OMA techniques have evolved into NOMA techniques. Among the NOMA techniques, the most remarkable techniques are the power-domain non-orthogonal multiple access (PD-NOMA) and sparse code multiple access (SCMA) techniques. PD-NOMA sends data with the superposition method to provide spectral efficiency after allocating power to the users according to the channel conditions, and uses the successive interference cancellation (SIC) method at the receiver to reduce the interference. Multi input multi output (MIMO) systems providing high efficiency and reliability are combined with PD-NOMA. However, with the use of more than one antenna, radio frequency (RF) chains also increase, resulting in higher costs, complexity and power consumption than expected. Based on these reasons, firstly, max-max-max and max-min-max antenna selection algorithms that aim to increase the data rate while reducing the number of antennas for downlink MIMO PD-NOMA are applied in the thesis. Then, the SCMA technique, which supports user interference and overloading thanks to the sparse structure, is integrated with MIMO. Since there is clarity about antenna selection in MIMO-SCMA systems in the literature, these antenna selection algorithms have been developed for more users and in addition, the optimum antenna selection algorithm has been applied to this downlink system. As a result of the applications, the capacity, bit error rate (BER) and outage probability provided by the algorithms to the systems were simulated in the Matlab/Simulink program and shared.

Science Code : 90523

Key Words : Power domain non-orthogonal multiple access, sparse code multiple access, multi input multi output, antenna selection, radio frequency chain, capacity, bit error rate, outage probability

Page Number : 83

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Özgür ERTUĞ

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca zamanını ve bilgisini esirgmeden çalışmalarına verdiği kıymetli fikirleri ve yol göstericiliği ile meslek hayatımda örnek aldığım değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Özgür ERTUĞ'a sonsuz teşekkür ederim. Tez çalışmalarım boyunca değerli fikirlerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Murat Hüsnü SAZLI ve Sayın Prof. Dr. Erkan AFACAN hocalarıma tüm içtenliğimle saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Hayatımın her anında en büyük destekçim olarak yanımda olan ve hayatını bizlere adayan sevgili annem Zeynep SAÇAKLI'ya ve babam Mahmut SAÇAKLI'ya en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim. Bu süreçte küçük yaşında büyük olgunluk ve sabırla yanımda olan canım yavrum Doruk Alp DEMİRAL'a ve eşim Yaser DEMİRAL'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. DİKGİN ÇOKLU ERİŞİM.....	11
2.1. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA).....	11
2.2. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA)	12
2.3. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)	14
2.4. Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA).....	15
3. DİKGİN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM.....	17
3.1. Güç Alanlı NOMA (PD-NOMA).....	18
3.2. Kod Alanlı NOMA (CD-NOMA).....	18
3.2.1. Düşük yoğunluklu yayımlı CDMA (LDS-CDMA).....	19
3.2.2. Düşük yoğunluklu yayımlı OFDM (LDS-OFDM).....	19
3.2.3. Çok kullanıcılı paylaşımlı erişim (multiuser shared access-MUSA)	20
3.2.4. Örüntü bölmeli çoklu erişim (pattern division multiple access-PDMA)..	21
3.2.5. Seyrek kod çoklu erişim (sparse code multiple access-SCMA).....	22
4. PD-NOMA	25
4.1. Sistem Modeli	26
4.2. MIMO PD-NOMA.....	27

	Sayfa
4.3. Anten Seçim Algoritmaları	28
4.3.1. Max-max-max anten seçim algoritması.....	31
4.3.2. Max-min-max anten seçim algoritması	32
4.3.3. Benzetim çalışmaları	33
4.3.4. Sonuç	43
5. SEYREK KOD ÇOKLU ERİŞİM.....	45
5.2. SCMA Kod Kitabı Tasarımı	48
5.2.1. Grafik matrisi	50
5.3. SCMA Çok Kullanıcı Sezimi.....	51
5.4. Anten Seçim Algoritmaları	52
5.4.1. Kapasite analizi.....	53
5.4.2. Optimum anten seçim algoritması	55
5.4.3. Max-max-max anten seçim algoritması.....	55
5.4.4. Max-min-max anten seçim algoritması	57
5.4.5. Benzetim çalışmaları	58
5.4.6. Sonuç	71
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Max-max-max anten seçim algoritması.....	31
Çizelge 4.2. Max-min-max anten seçim algoritması	33
Çizelge 4.3. Farklı güç katsayıları için BER değerleri	39
Çizelge 4.4. Farklı uzaklıklar için BER değerleri	40
Çizelge 4.5. Farklı uzaklıklar için ulaşılabilir kapasite değerleri	41
Çizelge 5.1. Max-max-max anten seçim algoritması (çok kullanıcı için)	56
Çizelge 5.2. Max-min-max anten seçim algoritması (çok kullanıcı için)	58
Çizelge 5.3. Simülasyon parametreleri	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. 5G uygulama senaryoları a) eMBB b) uRLLC c) mMTC	3
Şekil 1.2. Çoklu erişim şemaları a) TDMA b) FDMA c) OFDMA d) CDMA e) NOMA.....	4
Şekil 2.1. Çoklu erişim konsepti	11
Şekil 2.2. FDMA tekniği.....	12
Şekil 2.3. TDMA tekniği	14
Şekil 2.4. CDMA tekniği	15
Şekil 2.5. OFDMA tekniği.....	16
Şekil 3.1. NOMA çeşitleri	17
Şekil 3.2. LDS-OFDM blok diyagramı.....	20
Şekil 3.3. MUSA tekniği.....	21
Şekil 3.4. Aşağı-hat PDMA sistem modeli	22
Şekil 3.5. Aşağı-hat SCMA sistem modeli	23
Şekil 4.1. SIC yöntemi	25
Şekil 4.2. Aşağı-hat MIMO PD-NOMA sistem.....	29
Şekil 4.3. Max-max-max ve max-min-max AS algoritmalarının BER performans analizi $d_1=300m$, $d_2=500m$	34
Şekil 4.4. Max-max-max ve max-min-max AS algoritmalarının BER performans analizi $d_1= d_2=500m$	35
Şekil 4.5. Max-max-max ve max-min-max AS algoritmalarının BER performans analizi $d_1=800m$, $d_2=500m$	36
Şekil 4.6. Algoritmaların BER-SNR performansı	37
Şekil 4.7. Farklı anten seçim algoritmaları için UF kullanıcısının BER-SNR grafiği, $d_1=500m$, $d_2=300m$, $c_1=0,6$ $c_2=0,4$	38
Şekil 4.8. Kullanıcıların BER-SNR performansı	38
Şekil 4.9. Farklı güç katsayıları için BER-SNR performansı	39
Şekil 4.10. Farklı uzaklıklar için BER-SNR performansı.....	40

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. Farklı uzaklıklar için ulaşılabilir kapasite.....	41
Şekil 4.12. Kesinti olasılığı, $d_1=300m$, $d_2=500m$, $R=0,5$, $R=1$	42
Şekil 4.13. Kesinti olasılığı, $d_1=300m$, $d_2=500m$, $R=0,5$, $R=1$, $R=3$	43
Şekil 5.1. SCMA’de yayma	46
Şekil 5.2. Aşağı-hat MIMO-SCMA sistem blok diyagramı	47
Şekil 5.3. SCMA kodlayıcı	48
Şekil 5.4. Takımyıldızı rotasyonu	49
Şekil 5.5. SCMA kod çözücünün faktör grafiği gösterimi	50
Şekil 5.6. SISO-MIMO sistemlerin ergodik kapasite performansı.....	60
Şekil 5.7. Anten seçim algoritmalarının ergodik kapasite performansları, 2×2 $N_q=1$...	61
Şekil 5.8. Anten seçim algoritmalarının ergodik kapasite performansları, 2×2 $N_q=2$...	62
Şekil 5.9. Optimum anten seçim algoritması ergodik kapasite performansı	63
Şekil 5.10. Max-max-max anten seçim algoritması ergodik kapasite performansı	63
Şekil 5.11. Max -min-max anten seçim algoritması ergodik kapasite performansı.....	64
Şekil 5.12. MIMO-SCMA’de kullanıcıların BER performansı	65
Şekil 5.13. Optimum AS BER performansı, 2×2	65
Şekil 5.14. Optimum AS BER performansı, 4×4	66
Şekil 5.15. Max-max-max AS BER performansı, 2×2	66
Şekil 5.16. Max-max-max AS BER performansı, 4×4	67
Şekil 5.17. Max-min-max AS BER performansı, 2×2	68
Şekil 5.18. Max-min-max AS BER performansı, 4×4	68
Şekil 5.19. Rasgele AS BER performansı, 2×2	69
Şekil 5.20. Rasgele AS BER performansı, 4×4	69
Şekil 5.21. Kesinti Olasılığı, 2×2	70
Şekil 5.22. Kesinti Olasılığı, 4×4	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Bps

Bit Per Second

dB

Desibel

Hz

Hertz

m

Metre

Kısaltmalar

Açıklamalar

5G

The Fifth Generation

AGMA

Arithmetic Geometric Mean Approximation

AS

Antenna Selection

AWGN

Additive White Gaussian Noise

BER

Bit Error Rate, Bit Hata Oranı

BS

Base Station, Baz İstasyonu

CDMA

Code Division Multiple Access

CD-NOMA

Code Domain Noma, Kod Alanlı Noma

CSI

Channel State Information, Kanal Durum Bilgisi

D2D

Device to Device, Cihazdan Cihaza

eMBB

Enhanced Mobile Broadband

FDD

Frequency Division Duplexing

FDMA

Frequency Division Multiple Access

FFT

Fast Fourier Transform

ICI

Inter-carrier Interference

IFFT

Inverse Fast Fourier Transform

IoT

Internet of Things

ISI

Inter-symbol Interference

ITU

International Telecommunication Union

JAS

Joint Antenna Selection

Kısaltmalar	Açıklamalar
LDS	Low Density Spreading
LLR	Logarithm Likelihood Ratio
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine to Machine
MIMO	Multi Input Multi Output
MISO	Multi Input Single Output
mMTC	Massive Machine Type Communication
MPA	Message Passing Algorithm
MUD	Multiuser Detection
MUSA	Multiuser Shared Access
NOMA	Non-orthogonal Multiple Access
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMA	Orthogonal Multiple Access
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PDMA	Pattern Division Multiple Access
PD-NOMA	Power Domain Noma
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
SCA	Successive Convex Approximation
SCMA	Sparse Code Multiple Access
SIC	Successive Interference Cancellation
SINR	Signal to Interference Noise Ratio
SMS	Short Message Service
SNR	Signal to Noise Ratio
TAS	Transmitter Antenna Selection
TDMA	Time Division Multiple Access
uRLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication

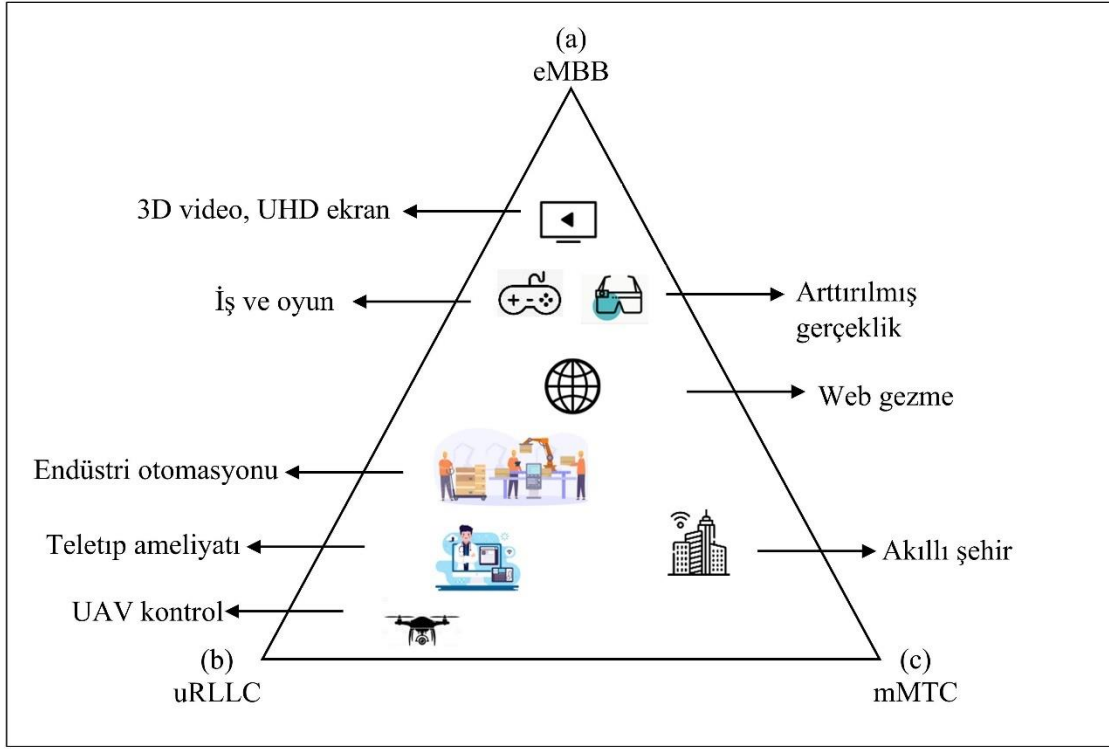
1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde haberleşme alanında büyük ilerlemeler yaşanmıştır. Analog haberleşmeyle başlayan bu ilerleyiş, sayısal (dijital) haberleşmeyle devam etmiştir. Gelişimin gerçekleşmesinde en etkileyici faktör, spektrum kıtlığının yol açtığı arayıştır. Bu nedenle analog sistemler olarak adlandırılan 1G'den yeni nesil haberleşme sistemi 5G'ye kadar her haberleşme türünde çoklu erişim yöntemlerine başvurulmuştur. Bu süreçte 1G'den başlayarak sırasıyla frekans bölmeli çoklu erişim (frequency division multiple access - FDMA), zaman bölmeli çoklu erişim (time division multiple access-TDMA), kod bölmeli çoklu erişim (code division multiple access-CDMA) ve dikgen frekans bölmeli çoklu erişim (orthogonal frequency division multiple access-OFDMA) teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler genel olarak dikgen çoklu erişim (orthogonal multiple access-OMA) şemaları olarak ifade edilmektedir. FDMA, frekans bandını farklı kanallara bölüp bu kanallardan her birini bir kullanıcıya tahsis eden ve eş zamanlı olarak frekans bandında iletme imkan tanıyan bir tekniktir. Zamanlama konusunda sıkıntı yaşanmayan bu teknikte çapraz konuşmalar frekanslar arasında parazite neden olur. TDMA, FDMA'nın yönteminden yola çıkarak zaman bandını kanallara bölme esasına dayanır. Eş zamanlama gerektiren TDMA'de kullanıcılar arası girişim önemsizmeyecek derecededir. Zaman veya frekans bandında bölümlendirme işlemine girmeden tüm kullanıcı sinyallerini aynı anda aynı frekans bandı üzerinden ileten CDMA tekniği 3G haberleşme ağları için önerilmiştir. Kullanıcılara özgü sözde rassal yayma kod (pseudo random) atanarak kullanıcı sinyallerinin yayılması sağlanır. Bu yöntem ile çoklu yol ve çoklu kullanıcı gibi durumların meydana getirdiği girişim sorununun önüne geçilir. Vericiden gönderilen yayılmış sinyaller içinden kullanıcı sinyalinin ayırt edilebilmesi için çok kullanıcılı algılama (multiuser detection-MUD) özelliğine ve düşük düzeyde karmaşıklığa sahip bir korelasyon alıcısına ihtiyaç vardır. Bu alıcının da rassal kodları bilmesi gerekir. Genellikle uzak mesafeler için kullanılan CDMA tekniğinde kullanıcı sayısı arttığında sistem kapasitesi artarken gürültü oluşmaya ve kalite düşmeye başlar. 4G uzun vadeli evrim (long term evolution-LTE) için önerilen OFDMA, bant genişliğinde verimlilik sağlamak amacıyla bir kanalı alt kanallara bölerek aynı anda çoklu kullanıcı iletimini gerçekleştiren tekniktir. Bant genişliğinde verimlilik sağlamak için alt taşıyıcılar en az yer kaplayacak yani dikgen olacak şekilde yerleştirilir. Aynı anda iletimin gerçekleşmesi ağ hızını artırırken, kanalların bölünerek alt taşıyıcılar üzerinden kesintisiz iletişimin gerçekleşmesi spektral verimlilikte avantaj sağlar [1].

Mobil ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) ağlarındaki patlamalı artış ile birlikte, mevcut mobil ağlar (3G, 4G), 5G mobil ağlara evrilmiştir [2]. 5G mobil ağlardan daha yüksek ağ kapasitesi ve daha iyi kapsama alanı sağlaması, kullanıcıların ve hizmetlerin farklı ihtiyaçlarına uyum sağlamak için esnek ve ölçeklenebilir bir mimari uygulaması, çeşitli spektrum kaynaklarının verimli kullanılması, çok sayıda IoT cihazının erişim gereksinimleriyle başa çıkmak için daha güçlü bağlantı özelliklerine sahip olması beklenmektedir.

Performans özelliklerine dayalı olarak Uluslararası Telekomünikasyon Birliği-Radyo haberleşme (ITU-R) sektörü, 5G kullanım senaryolarını üç ana kategoriye ayırmıştır: gelişmiş Mobil Geniş Bant (enhanced Mobile Broadband-eMBB), büyük Makine Türü İletişimi (massive Machine Type Communication-mMTC) ve ultra Güvenilir ve Düşük Gecikmeli İletişim (ultra Reliable Low Latency Communication-uRLLC) [3-5]. Bu hizmet türlerinin Hizmet Kalitesi (Quality of Service-QoS) gereksinimleri farklıdır [6]. eMBB multimedya içeriğine, hizmetlere ve verilere erişim için insan merkezli kullanım durumlarını ele alır. Bu kullanım durumlarının genellikle daha yüksek veri hızları ve daha iyi kapsama gereksinimleri vardır. Web erişimi, video konferans ve sanal gerçeklik gibi uygulamalar için yüksek hızlar sağlar. Gecikme ve veri güvenilirliği konusuna son derece önem veren uRLLC'nin, endüstri otomasyonu ve üretimi, enerji dağıtımı, drone kontrolü, yeni tıbbi uygulamalar (uzaktan cerrahi gibi) ve akıllı ulaşım sistemleri gibi çeşitli alanlardaki dinamik süreçlerin gerçek zamanlı kontrolünü ve otomasyonunu sağlaması öngörülmektedir. mMTC kullanım senaryolarının çok büyük cihaz yoğunluğunu destekleme gereksinimleri vardır. Bu bağlamda cihazların düşük maliyetli olması ve uzun ömürlü pillere sahip olması gerekmektedir [7]. Şekil 1.1.'de 5G uygulama senaryoları gösterilmektedir.

Makineden makineye (Machine to Machine-M2M), cihazdan cihaza (Device to Device-D2D) ve IoT gibi haberleşme türlerinin tek bir başlık altında toplandığı mMTC sistemleri günlük hayatta birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler nedeniyle yeni nesil 5G ve ötesi ağlarda insan merkezli veri hizmetlerinden makine merkezli hizmetlere doğru yönelim gerçekleşmektedir. Yönelim sonucunda karşılaşılan ve çözüm aranan en büyük sorun cihaz sayısındaki ve gelişimindeki aşırı büyümenin nasıl destekleneceğidir [8]. Kullanılan mevcut OMA yöntemleri 5G için beklentileri destekleme konusunda yetersiz kalmaktadır. Bunun en temel nedeni kullanıcı sayısının dikgen kaynak sayısı ile sınırlı olması ve verimsizliğe neden olan her kullanıcıya kaynak tahsisi yapılmasıdır.

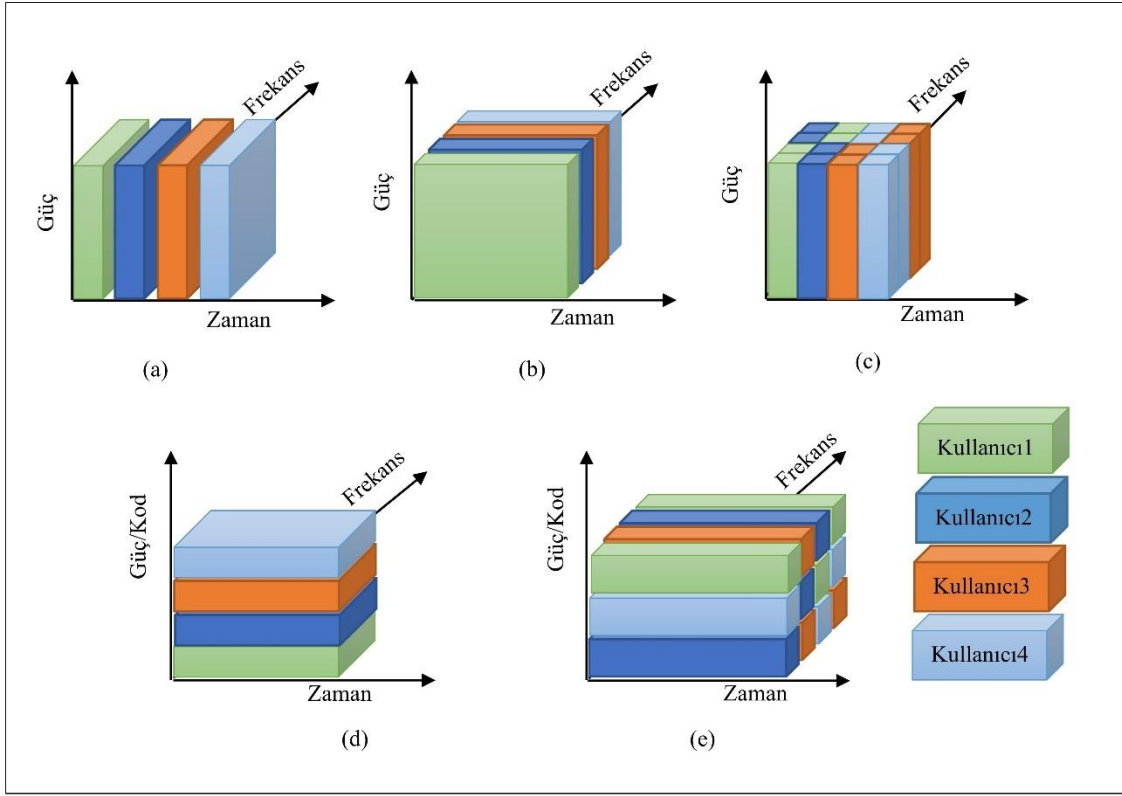


Şekil 1.1. 5G uygulama senaryoları a) eMBB b) uRLLC c) mMTC

Dahası kanal kaynaklı bozulmalarda dikgen kaynaklar kullanılsa bile bu durumdan etkilenip dikgenliğin bozulmasıdır. Dikgenliğin tekrar elde edilmesi için yüksek karmaşıklığa sahip dikgen restorasyon yöntemleri kullanılması gerekir [9]. Bu gibi olumsuz durumların üstesinden gelmek ve 5G’de spektral verimlilik, maksimum veri hızı, minimum gecikme gibi talepleri karşılamak için dikgen olmayan çoklu erişim (non-orthogonal multiple access-NOMA) tekniği önerilmiştir. OMA türleri ile NOMA tekniğini karşılaştırmak için Şekil 1.2.’de çoklu erişim şemaları gösterilmektedir.

NOMA, kanal kazanç farkından yararlanarak kullanıcılar için farklı güç seviyeleri veya düşük yoğunluklu yayma kodları tahsis etmekte ve birden fazla kullanıcının aynı zaman-frekans kaynağına aynı anda erişmesine izin vermektedir [1,10]. Aşırı yüklenmiş çok kullanıcıli iletişim için, çok değerli sistem kaynaklarını dikgen olmayan bir şekilde tahsis etme fikrinden doğan NOMA, temel olarak güç alanlı NOMA (power domain NOMA-PD-NOMA) ve kod alanlı NOMA (code domain NOMA-CD-NOMA) olarak iki ana kategoride sınıflandırılmıştır [8,11]. CD-NOMA adı altında birçok teknik önerilmiş olup bunlardan bazıları; düşük yoğunluklu yayılım (low density spreading-LDS) [12], çok kullanıcıli paylaşımlı erişim (multiuser shared access-MUSA) [13], serpiştirme bölmeli çoklu erişim

(interleave division multiple access-IDMA) [14], örüntü bölmeli çoklu erişim (pattern division multiple access-PDMA) [15], seyrek kod çoklu erişim (sparse code multiple access-SCMA) [16]'dir. Bu teknikler detaylı olarak 2. ve 3. Bölümde açıklanacaktır.



Şekil 1.2. Çoklu erişim şemaları a) TDMA b) FDMA c) OFDMA d) CDMA e) NOMA

PD-NOMA, verici tarafında süperpozisyon kodlaması kullanılarak her kullanıcıya farklı güç seviyeleri tahsis eden ve birden fazla kullanıcının hem zaman hem de frekans alanlarını paylaşmasına izin veren bir tekniktir. Bu teknikte, alıcı tarafta kullanıcı sinyali elde etmek için ardışık girişim iptali (successive interference cancellation-SIC) yöntemi uygulanmaktadır. Alıcı önce tüm baskın sinyalleri (yani alıcının istediği sinyalden daha güçlü olanları) çözmekte ve ardından bunları üst üste gelen sinyalden çıkararak kendi sinyaline ulaşır [17].

CD-NOMA, farklı kullanıcılara farklı kod dizileri atayarak aynı zaman/frekans kaynak bloğunda çok sayıda kullanıcı iletimini destekleyebilmektedir. Kod dizileri atama yöntemini temel alan CD-NOMA, CDMA'nın uzantısı olarak kabul edilir. Ancak uyumlu filtre tabanlı alıcının benimsendiği geleneksel bir CDMA sisteminin aksine, CD-NOMA'da daha gelişmiş alıcılar kullanılabilir. Alıcı tarafında, PD-NOMA'da kullanılan SIC tekniği yerine

sinyal çıkarmak için mesaj aktarım algoritması (message passing algorithm-MPA) uygulanır [18]. CD-NOMA ile ilişkili önemli bir özellik ise tüm kod dizileri benzersiz olduğunda güç dengeli senaryolarda daha iyi performans gösterebilmesidir [19].

Kablosuz iletişim sistemlerinde iletilen veri miktarı giderek arttığından büyük miktarda veriyi iletmek için, daha fazla kanal kapasitesine ihtiyaç vardır. Çok giriş çok çıkış (multi input multi output-MIMO) kablosuz iletişim sistemleri, bünyesinde birden fazla anten bulundurduğu için sistem verimliliğinde önemli bir gelişme sağlamaktadır. MIMO sistemlerinin en büyük avantajlarından biri kanal kapasitelerinin yüksek olmasıdır. MIMO ve NOMA'nın avantajlarından yararlanmak ve sistem performansını iyileştirmek için bu teknikler bütünleştirilerek MIMO-NOMA sistemleri elde edilmiştir. Buna karşın, MIMO sistemler, çok pahalı ve karmaşık amplifikatörler, analogdan dijitale dönüştürücüler, karıştırıcılar içermektedir. Karmaşıklık ve maliyet gibi dezavantajlara rağmen, MIMO sistemlerinin avantajları daha ağır bastığından dolayı tercih sebebi olmaktadır [20]. MIMO sistemlerinde, sistem gereksinimlerini karşılamak için en az sayıda anten kullanmak önemlidir [21]. Bu nedenle anten seçimi, MIMO sistemlerinden yararlanmak için düşük maliyetli ve düşük karmaşıklıkta bir alternatiftir [22].

Tez kapsamında PD-NOMA ve SCMA'in MIMO ile oluşturduğu sistem modelleri ele alınmış ve her iki sistem için de anten seçimi yapılmıştır. Anten seçimi yapılmadan önce literatür derinlemesine incelenmiştir.

Literatür incelemesi

Tezin ilk kısmını oluşturan MIMO PD-NOMA sistemlerde anten seçimi için literatür incelemesi yapılmıştır. [23]'te aşağı-hat çok giriş tek çıkış (multi input single output-MISO) NOMA sistemde anten seçimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu seçimde toplam hız kriteri aktif rol almıştır. Toplam hızı yükselten anten seçilerek iletim tamamlanmış ve sistemin hız performansı değerlendirilmiştir.

Do, Costa, Duong ve An (2017), MISO-NOMA sistemi için iletim anteni seçim (transmit antenna selection, TAS) algoritması geliştirilmiştir. Bu algorithmada antenlerin kanal katsayılarına göre seçim yapılmaktadır. Önce baz istasyonundan uzak kullanıcıya, daha sonra kalan antenler arasından baz istasyonuna yakın kullanıcıya iletim yapacak antenler

seçilmektedir. Bu da iletim süresinde gecikmeye neden olabilmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda da önerilen algoritma ile rasgele anten seçiminin kesinti olasılık performansları karşılaştırılmıştır.

Liu ve Wang (2016), masif MIMO-NOMA sistemde tek bantlı iki kullanıcı ve çok bantlı çok kullanıcı olmak üzere iki senaryo üretilerek bu senaryolar için anten seçimi gerçekleştirilmiştir. İlk senaryoda aday anten kümesi oluşturularak bu kümeden en yüksek kanal kazancına sahip antenin seçildiği verimli bir algoritma önerilmiştir. İkinci senaryoda ise toplam kanal kazancını en yükseğe çıkartacak anten-kullanıcı çiftinin seçimine dayanan ortak anten ve kullanıcı katkılı algoritma önerilmiştir.

Farklı bir TAS algoritma sunan [26]'da kanal katsayılarının varyansı hesaplanıp azalan değerlere göre sıralandıktan sonra anten seçimi yapılmıştır. Burada önerilen algoritmanın toplam hız ve kesinti olasılık performansları değerlendirilmiştir.

Yukarı-hat MIMO-NOMA sistemi ele alan [27]'de optimum ortak kullanıcı kümeleme- alıcı anten seçimi-güç tahsisi (optimal joint user clustering-RAS-power allocation), kullanıcı kümeleme- alıcı anten seçimi-güç tahsisi (user clustering-RAS-power allocation), kullanıcı kümeleme- güç tahsis-alıcı anten seçimine dayalı güç (user clustering-power allocation-power based RAS) ve kullanıcı kümeleme-güç tahsis-alıcı anten seçimine dayalı kapasite (user clustering-power allocation-capacity based RAS) olmak üzere dört algoritma önerilmiştir. Yapılan işlemlerin sırasının değişikliğine dayanan bu algoritmaların kapasite sonuçları karşılaştırılmıştır.

Aldababsa ve Kucur (2017), baz istasyonu, röle ve kullanıcılardan oluşan aktarmalı aşağı-hat MIMO-NOMA sistem tasarlanmıştır. Ancak bu sistemde her iki taraf birden fazla antene sahip olmasına rağmen anten seçimi sadece verici taraf için yapılmakta ve bilgi sinyali röleye gönderilmektedir. Bu sinyali her bir kullanıcı birden fazla antenle almaktadır.

Farklı bir çalışma konusunu ele alan [29]'da MIMO-NOMA da gizlilik performansı incelenmiştir ve güvenliği artırmak için iki yeni TAS algoritma protokolü önerilmiştir. Bu algoritmalar ile önce baz istasyonuna yakın kullanıcıya, daha sonra uzak kullanıcıya aktarım için anten seçilmektedir.

Sistem toplam hızını maksimize etmek için [30]'da max-max-max ve max-min-max anten seçim algoritmaları önerilmiştir. Ancak bu algoritmaların sadece toplam hız performansları incelenmiş ve farklı açılardan değerlendirilmemiştir.

Li, Ge, Wang ve Bu (2017), çalışmada yukarıda bahsedilen max-max-max ve max-min-max anten seçim algoritmalarından esinlenerek kesinti olasılığını Nakagami-m sönümlerme üzerinden en aza indirmek için algoritmalara ek yeni bir ortak anten seçim (joint antenna selection-JAS) algoritması önerilmiştir. Yapılan tüm çalışmalar derinlemesine incelendiğinde algoritmaların BER performanslarının değerlendirilmediği ve kapasite üzerinde durulmadığı anlaşılmıştır.

Tezin ikinci kısmı MIMO-SCMA sistemlerde anten seçimi olarak belirlenmiş ve bu sistem için literatür incelemesi yapılmıştır. Çalışmalarda, daha çok kod kitabı tasarımına ve farklı MPA şemaları üzerine yoğunlaşmışken anten sorunu göz ardı edilmiştir.

Çok boyutlu takımyıldızları şekillendirmenin performans artışı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu vurgulayan [32]'de, SCMA kod kitaplarının tasarımı için sistematik bir yöntem önerilmiştir. İlk olarak, iyi bir Öklid mesafesine sahip çok boyutlu takımyıldızı tasarlanmakta ve taban takımyıldızı uygun mesafe elde edilene kadar döndürülmektedir. Döndürülmüş takımyıldızına farklı operatörler (faz dönüşü) uygulanmaktadır. Kafes takımyıldız yöntemi denilen bu yöntemle SCMA tekniğinin LDS tekniklerine göre daha iyi performans gösterdiği kanıtlanmıştır.

Hussain ve diğerleri (2021), literatürdeki farklı kod kitabı tasarım uygulamaları, bit hata oranı (BER), optimizasyon tekniği ve kanal ayarları gibi parametreler için analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında, yaklaşımların etkinliği sunulmakta ve gelecekte daha iyi bir takımyıldızına sahip olmak için sinir ağlarının kullanılması önerilmektedir.

Moltafet, Yamchi, Javan ve Azmi (2018), kaynak tahsisi sorunu vurgulanmaktadır. NOMA türlerinde kaynak tahsisi dışbükey olmadığı için mevcut yöntemlerle problem çözülememiştir. Bu nedenle problem alt taşıyıcı ve güç tahsisi olmak üzere iki aşamada ele alınmaktadır. Alt taşıyıcı tahsisi için aritmetik geometrik ortalama yaklaşımı (arithmetic geometric mean approximation-AGMA) ve güç tahsisi için ardışık dışbükey yaklaşım (successive convex approximation-SCA) yöntemi uygulanmaktadır. Bu uygulamalar SCMA

sisteminde de test edilmiştir. Kod kitap tahsis AGMA ile, güç tahsis SCA ile yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, NOMA ve SCMA karşılaştırıldığında SCMA performansının daha başarılı olduğu bulunmuştur.

Zhang, Zhang, Li, Yang ve Zhao (2018), kaynak tahsis süreci, kod kitabı kombinasyonu ve tahsis olmak üzere iki adımda ele alınmaktadır. İlk adımda, kod kitaplarının farklı kombinasyonları elde edilmektedir. Ortaya çıkan kod kitapları tahsise hazırlanmaktadır ve bu kitaplar sistem kapasitesini artırmak için tahsis edilmektedir.

Uçtan uca öğrenme tabanlı SCMA'yi öneren [36]'da, hesaplama karmaşıklığını ve hata oranını en aza indirme amaçlanmaktadır. Bu amaçla kodlayıcı, eşleme prosedürü ile tasarlanmış ve kod çözücü, çoklu görev öğrenme yaklaşımı ile optimize edilmiştir.

Alıcı bitlerinin algılanması konusunu ele alan çalışmalar da vardır. [37] ve [38]'de, kullanıcı ve anten sayısındaki artışın getirdiği karmaşıklıktan dolayı aşağı-hat MIMO-SCMA sistemi için yeni bir MPA algılama şeması geliştirilmiştir. Algoritmalar ile BER performansını değiştirmeden karmaşıklığın azaldığı gösterilmiştir.

Kim, Hong ve Kurniawan (2018), bir yukarı-hat sistemi için yeni bir MPA şeması önerilmiştir. [40]'ta, bir yukarı-hat sisteminde MPA karmaşıklığını azaltmak için iki konu tartışılmıştır. Birincisi, çoklu alıcı antenli sistemlere genişletilen eşik tabanlı bir kenar seçimidir. İkincisi, MPA hesaplamaları sırasında gözlemlenen sinyalin sinyal-gürültü oranını en aza indiren bir alıcı anten seçimidir.

Gao ve diğerleri (2018), MPA, algılama ve seyrek hata düzeltme olarak iki aşamalı bir prosedürle önerilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar genellikle kod kitabı tasarımı, kaynak tahsis ve MPA üzerine odaklanmıştır. Birden fazla antene sahip SCMA sisteminde ele alınması gereken sorunlardan biri, sistemdeki anten sayısının dezavantajlarıdır. [42]'de, kapasiteyi artırırken BER değerlerinde azalma olan bir aşağı-hat MISO-SCMA sisteminde anten seçim algoritması önerilmiştir. Kapasite atarken BER değerleri artacağından verici tarafında eşit güç uygulamasına ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaç doğrultusunda kapasiteyi artırmak için oluşturulan

anten seçim algoritmasına adaptif güç aktarımı da eklenmiştir. Bu yöntemle, kapasite artarken BER değerlerinde azalma olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırmanın amacı

Birden fazla anten kullanmanın getirdiği olumsuzlukları minimize etmek için anten seçim algoritmalarına yoğunlaşan tezde çalışmalar iki ana kısım olarak ayrı ayrı ele alınmış ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır.

Süperpozisyon ve SIC yöntemini kullanarak birden fazla kullanıcıya iletim imkanı tanınması, kullanıcı adaleti benimsemesi, sinyal girişim önlemesi gibi özellikleriyle PD-NOMA tez kapsamında yapılan çalışmanın birinci konusu olmuştur. PD-NOMA'nın sağladığı olanakları artırmak için MIMO tekniği ile birleştirilmiş ve bu sistem literatürde yer edinmiştir. Literatürde bu sistem için yapılan anten seçimi genel olarak ya verici ya da alıcı tarafa odaklanmaktadır. Ancak hem verici hem de alıcı tarafta anten seçimine değinen çalışmalar az olup bu konuda açık bulunmaktadır. Bu amaçla, çeşitli çalışmaların da ilham alarak farklı açılardan değerlendirdiği, her iki tarafta anten seçimi üzerine [30]'da yapılan çalışma bu tezde ele alınmıştır. Bu çalışmadaki amaç max-max-max ve max-min-max anten seçim algoritmalarının literatürde değinilmeyen BER, ulaşılabilir kapasite ve kesinti olasılığı parametreleri için incelemektir. Yapılan benzetimler sonucunda performanslar ortaya konulmuş ve bu algoritmaları geliştirmek üzere tezin ikinci kısmı yapılmıştır.

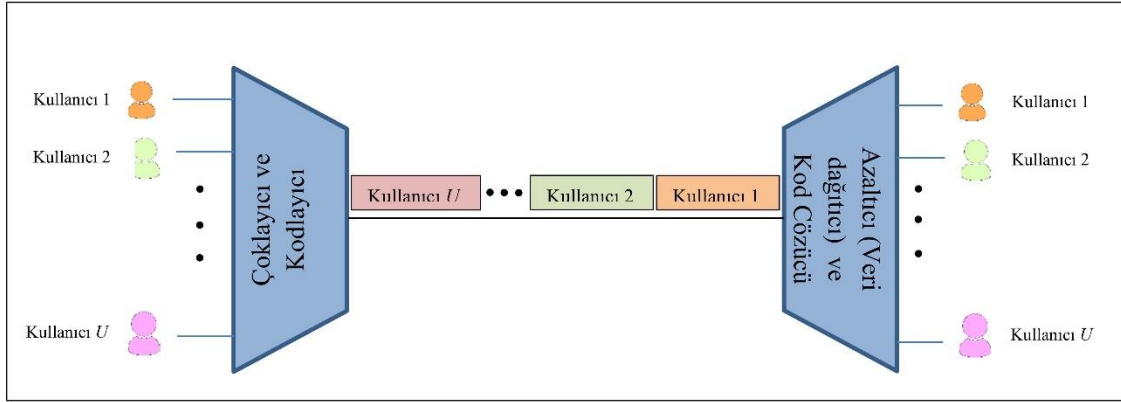
Bu tez çalışmasında ayrıca, iki kullanıcılı PD-NOMA için önerilmiş max-max-max ve max-min-max algoritmaları geliştirilerek daha fazla kullanıcı için tekrar yapılandırılmıştır. Elde edilen yeni algoritmalar, NOMA tekniğinin yeni nesil haberleşme için parlayan bir yıldızı olarak görülen SCMA tekniğine uygulanmıştır. Seyrek yapısı sayesinde birçok avantajı bulunan SCMA tekniğinin MIMO ile birleşmesi sonucunda fazla anten kullanımına bağlı fazla RF (radio frequency) kullanma sorunu meydana gelmektedir. Karmaşıklığın, güç tüketiminin ve maliyetin azaltılmasına yönelik geliştirilen algoritmaların MIMO-SCMA sistemi için BER, kapasite ve kesinti olasılığı performansları ortaya konulmuştur.

Tezin geri kalan bölümleri şu şekilde planlanmıştır. Tezin ikinci bölümünde dikgen çoklu erişim teknikleri, üçüncü bölümünde ise dikgen olmayan çoklu erişim teknikleri detaylı olarak açıklanmıştır. Daha sonraki bölümlerde tez kapsamında çalışılan NOMA türlerinden

PD-NOMA ve SCMA tekniklerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde PD-NOMA tekniğinin sistem modeli, gerekli teorik işlemler ve anten seçim algoritmaları anlatılmış olup yapılan benzetim çalışmalarına yer verilmiştir. Tezin beşinci bölümünde ise SCMA tekniğinin sistem modeli, gerekli teorik işlemleri ve geliştirilen anten seçim algoritmalarından bahsedilmiş ve yapılan benzetim çalışmaları verilmiştir. Son bölüm olan tezin altıncı bölümünde geliştirilen algoritmalar benzetim sonuçlarına göre değerlendirilmiş ve gelecekte yapılması düşünülen çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. DİKGEN ÇOKLU ERİŞİM

Çoklu erişim, birden çok kullanıcının sinyallerini birleştirme mekanizmasına dayanır [43]. Bu birleştirilmiş sinyal, Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi ortak bir ortam aracılığıyla iletilir. Çoklu erişim teknikleri, aynı ortamda bulunan belirli sayıdaki kullanıcıya aynı anda hizmet sağlamaktan sorumlu olduğu için büyük öneme sahiptir. Kaynakları zaman, frekans veya kod olarak paylaşmak için çoklu erişim yapılır. Bu, kullanıcıların organize bir şekilde aynı kaynağı kullandığı ve diğer kullanıcılarla girişimi azalttığı anlamına gelir [1]. Çoklu erişim teknikleri OMA ve NOMA olmak üzere iki gruba ayrılır.



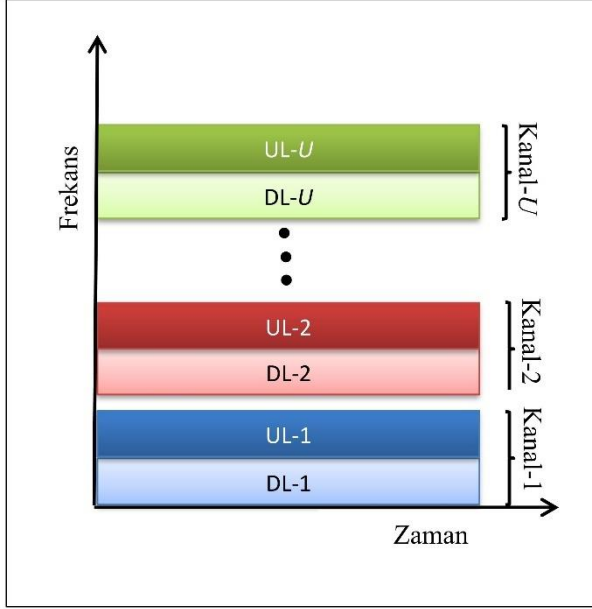
Şekil 2.1. Çoklu erişim konsepti

Geleneksel OMA teknikleri, birden fazla kullanıcının kaynakları dikgen olarak kullanmasına ve sistem kaynaklarını zaman, frekans veya kod ile aynı anda paylaşmasına izin verir [44]. Bu nedenle, alıcıda artan karmaşıklık ile sinyal algılamının makul ölçüde erişilebilir olmasına izin veren bitişik bloklar arasında nominal girişim mevcuttur. Bilginin iletildiği ortamın kaynaklarını nasıl paylaştıklarına bağlı olarak çeşitli OMA teknikleri vardır. Ana OMA teknikleri, aşağıda açıklanan FDMA, TDMA, CDMA ve OFDMA'dır [45].

2.1. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA)

FDMA, her kullanıcıya benzersiz bir frekans kanalı tahsis eden ve 1G haberleşme sistemlerinde kullanılan OMA tekniğidir. Mevcut bant genişliğini frekans kanallarına bölmekte ve bu kanalları hizmet talep eden abonelere isteğe bağlı olarak tahsis eder. Kanallar arasındaki çapraz konuşmayı en aza indirmek için bitişik sinyal spektrumları arasında

koruma bantları bulunur. Arama süresi boyunca aynı frekans bandını başka bir kullanıcı kullanamaz. Frekans bölmeli dupleks (frequency division duplex-FDD) sistemlerinde, kullanıcılara bir çift frekans olarak bir kanal atanır; bir frekans yukarı kanal için, diğer frekans aşağı kanal için kullanılır. Şekil 2.2.'de FDMA tekniği gösterilmiştir.



Şekil 2.2. FDMA tekniği

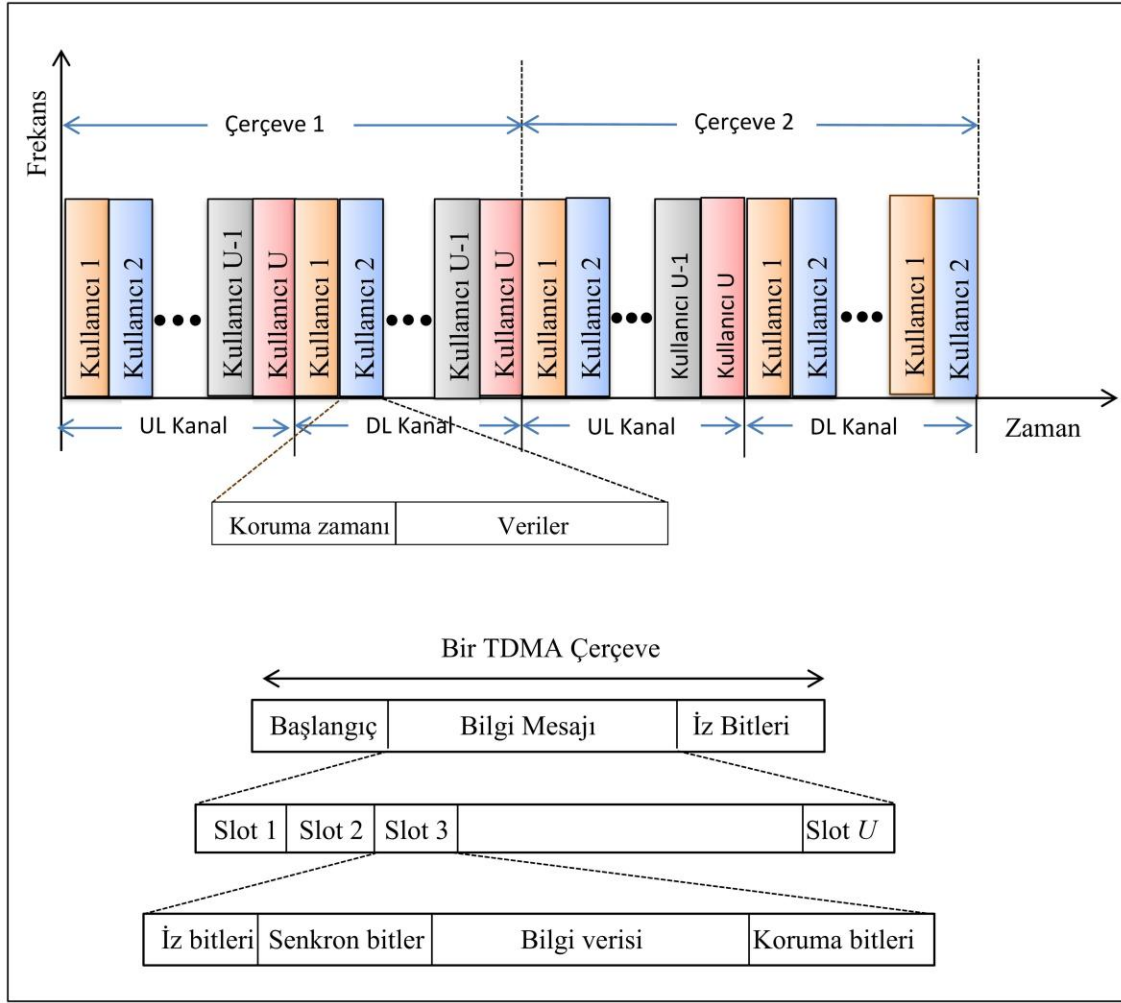
Uygulaması teknik olarak basit olan FDMA sistemlerinin karmaşıklığı, TDMA ve CDMA sistemlerine kıyasla daha düşüktür. Bilgi biti hızını azaltarak ve verimli dijital kodlar kullanarak kapasite artışı elde edilebilir. Ayrıca FDMA sürekli bir iletim şeması olduğundan, TDMA'e göre daha az bit gereklidir. FDMA'ın bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunur. Bir FDMA kanalı kullanımda değilse, boşta kalmakta ve diğer kullanıcılar tarafından kapasiteyi arttırmak veya paylaşmak için kullanılamaz. Bu da bant genişliğinde israfa neden olur. FDMA sistemde hem verici hem de alıcı aynı anda çalıştığı için dupleksleyiciler bulunur. Dupleksleyiciler, ağırlık ve maliyet sebebidir. Bu nedenle TDMA sistemlerine kıyasla daha yüksek sistem maliyetine sahiptirler [46].

2.2. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA)

TDMA, zaman kaynağını veri iletimi için kullanıcılara atamak üzere zaman dilimlerine bölen ve sayısal iletişim döneminde başlayan bir kanallaştırma protokolüdür. Şekil 2.3.'te gösterildiği gibi belirli bir kullanıcıya tahsis edilen zaman diliminde tüm bant genişliği o

kullanıcıya ayrılmış olarak kalır. Yani N kullanıcılı bir sistemde, her kullanıcı toplam bant genişliği W 'yi kullanabiliyorken zamanın sadece $1/N$ 'lik bir kısmını kullanabilir. Bu, FDMA'in aksine TDMA'in analog iletişim için uygun olmadığı anlamına gelir [47]. TDMA şemasının çalışma prensipleri çerçeve ve çoklu çerçevedir. Böylece bir kullanıcı periyodik çerçevelerin zaman dilimleri içinde büyük bir veri dosyası gönderebilir [9]. Her çerçeve giriş, bilgi mesajı ve izleme bitleri olmak üzere üç bölümden oluşur. Kanallar arasındaki çapraz konuşmayı en aza indirmek için her kullanıcının iletimi arasında koruma süreleri yer alır. Bir TDMA sisteminde, çerçeve bilgi mesajındaki zaman dilimlerinin yarısı aşağı-hat kanalları için, yarısı ise yukarı hat kanalları için kullanılır.

TDMA, iletim ve alım için farklı zaman dilimleri kullanmakta olup dupleksleyicilere ihtiyaç duymaz. TDMA, sesli iletişimin yanı sıra veri aktarımına da kolayca uyarlanabilir. TDMA, veri hızlarını 64 kbps'den 120 Mbps'ye taşıma yeteneği sunar. Bu, operatörlerin faks, ses bandı verileri ve kısa mesaj hizmetleri (short message service-SMS) gibi kişisel iletişim hizmetlerinin yanı sıra multimedya ve video konferans gibi bant genişliği yoğun uygulamalar sunmalarını sağlar. TDMA ayrıca, cep telefonu görüşmeleri sırasında zamanın yalnızca bir kısmını ilettiği için kullanıcıya daha uzun pil ömrü ve konuşma süresi imkanı tanır. TDMA, mevcut bir analog sistemi dijitale yükseltmek için maliyeti en uygun teknolojidir. Bu avantajlarının yanında dezavantajları da bulunur. Eşleştirilmiş filtreleme için önemli miktarda sinyal işleme ve zaman dilimi ile senkronizasyon için korelasyon tespiti gerektirir. Her kullanıcının önceden tanımlanmış bir zaman dilimi vardır. Ancak, bir hücreden diğerine dolaşan kullanıcılara bir zaman aralığı tahsis edilmez. Bu nedenle, bir sonraki hücredeki tüm zaman dilimleri doluyorsa, arama bağlantısı kesilebilir. TDMA, çok yönlü bozulmaya maruz kalır [46].

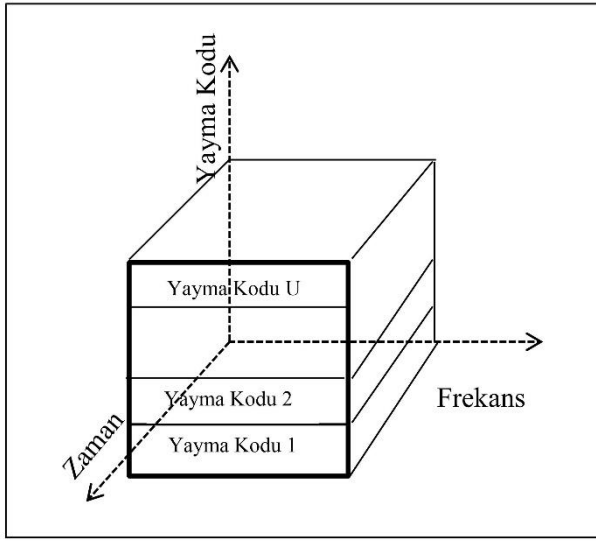


Şekil 2.3. TDMA tekniği

2.3. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)

TDMA ve FDMA'de, kaynaklar geçici olarak bölünür ve yalnızca belirli kullanıcıya bir zaman aralığı veya frekans bandı atanır. Şekil 2.4.'te görüldüğü gibi CDMA'de kullanıcıları birbirinden ayıran bir kod tahsis ederek tüm kullanıcıların aynı anda aynı frekans bandında iletim yapmasına imkan tanır [45]. CDMA, yayılı spektrum teknolojisine dayanır. Bir yayılı spektrum etkisi üretebilen üç temel yöntem vardır: doğrudan frekans, frekans atlama ve zaman atlama. CDMA ise doğrudan frekans yayılı spektrumun bir uzantısıdır [48]. Doğrudan frekans yayılı spektrum, sinyalin iletimini geniş bir frekans aralığına yayar. Orijinal veriler doğrudan dizi modülatörüne girildiğinden, matematiksel olarak bir sözde-rasgele bit akışı ile yayılır ve alıcıya iletilir. Alıcıya ulaşan yayılı spektrum sinyalinden sinyalin iletimi sırasında kullanılan aynı sözde-rasgele bit akışı ile orijinal veri elde edilir [49].

TDMA ve FDMA'den farklı olarak, CDMA'deki kullanıcı sayısı sabit değildir ve sisteme her zaman yeni kullanıcıların eklenmesine izin verir. Ancak kullanıcı sayısındaki artış, hizmet kalitesinde bozulmaya neden olabilir. Aynı frekans spektrumunu kullanan sistemdeki maksimum eşzamanlı kullanıcı sayısı, baz istasyonuna olan mesafesine göre güç değerleri olabilir. Bu durum uzaktaki kullanıcıda bozucu etki olarak karşımıza çıkar. CDMA, TDMA ve FDMA'ye göre kapasite geliştirmesi nedeniyle 3G mobil hücresel sistemler için ana çoklu erişim şeması olarak tanımlanır [9].

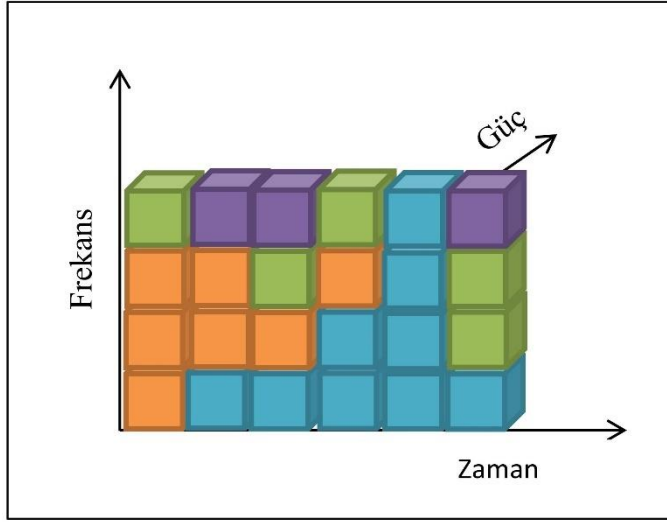


Şekil 2.4. CDMA tekniği

2.4. Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA)

4G ağlarda çoklu erişim şeması olarak tercih edilen OFDMA, FDMA tekniğinin gelişmiş versiyonudur. Şekil 2.5.'te görüldüğü gibi OFDMA, frekans bandını dikgen alt taşıyıcılara bölüp aradaki koruma bandını kaldırarak ve böylece bant genişliğinden tasarruf sağlayarak gelişmişliğini ortaya koyar. Üst üste binen alt taşıyıcılar ile, daha önce incelenen tekniklere göre daha fazla kullanıcıyı barındırabilir. OFDMA yüksek esneklik, kanal sönümlenmesine karşı dayanıklılık, eşitleme kolaylığı ve yüksek spektral verimlilik gibi ayırt edici özelliklere sahiptir [50]. Bu özelliklerinden dolayı, yüksek veri hızları sunabilen çok taşıyıcılı bir teknoloji olarak ifade edilir [51]. Bu önemli özellikleri ile OFDMA farklı sınırlamalardan muzdariptir. Bunlar çok yüksek tepe/ortalama güç oranı (peak to average power ratio-PAPR), taşıyıcılar arasında girişim (Inter-carrier interference-ICI) ve frekans hatalarına karşı yüksek hassasiyettir. OFDMA'in verici ucunda, mevcut bant genişliği spektrumu bir dizi

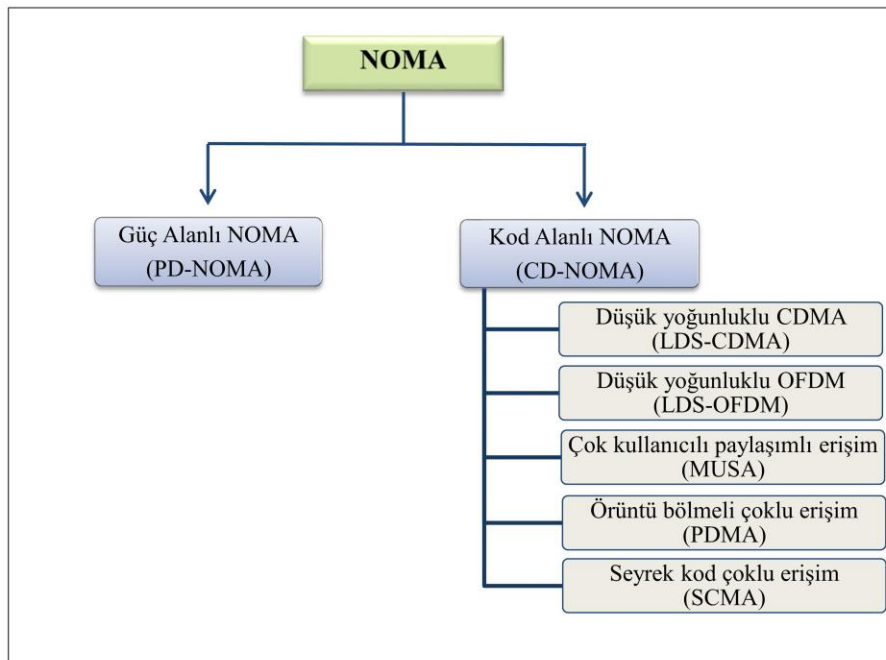
dikey alt taşıyıcıya bölünür. Bundan sonra sinyal modüle edilir ve modüle edilmiş sinyal daha sonra bir seriden paralele dönüştürücüye aktarılır. Elde edilen frekans bileşenleri, ters hızlı Fourier dönüşümü (inverse fast Fourier transform-IFFT) algoritması kullanılarak zaman alanı örneklerine çevrilir. Ortaya çıkan zaman alanı sembolleri, sinyalin gürültüye ve çok yollu sönmelenmeye maruz kalacağı semboller arası girişim (inter-symbol interference- ISI) sorununa neden olabilir. Bu nedenle, sinyale döngüsel bir uzantı eklenir ve kanala iletilir. Alıcı tarafında, orijinal sinyali almak için vericide kullanılan tüm işlemler tersine çevrilir. Veriler, alıcıda hızlı Fourier dönüşümü (fast Fourier transform-FFT) kullanılarak tekrar frekans alanına dönüştürülür [50].



Şekil 2.5. OFDMA tekniği

3. DİKGEN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM

Son yıllarda kablosuz iletişim, teknolojik bir devrimle karşı karşıya kalmıştır. Teknoloji, basit sesli iletişimden yeni yüksek etkileşimli multimedya uygulamalarına dönüştüğü için yüksek veri hızı ve sürekli bağlantı bir zorunluluk haline gelmiştir. Ayrıca, mobil cihazlara olan talepler muazzam bir şekilde artmaktadır. Bu gelişimler karşısında mevcut OMA teknikleri yetersiz kalmıştır. OMA teknikleri zaman ve frekans seçici geniş bant kanalını dar bant kanallardan oluşan bir kümeye dönüştürüp zaman ve frekans alanında dikgenlik yapısını koruyarak kanalı büyük gecikme yayılımlarına karşı dayanıklı hale getirmektedir. Bununla birlikte, kullanıcı sayısı dikgen kaynakların sayısı ile sınırlıdır. Ayrıca, kablosuz kanal sinyali zayıflatır ve dikgenliği bozar. Bu gibi engelleyici nedenlerden dolayı arayış içine girilmiş ve 5G için dikgen olmayan çoklu erişim (NOMA) tekniği önerilmiştir. NOMA artan kullanıcı taleplerini, bağlantı, düşük maliyet, bant genişliği verimliliği ve yüksek kapsama gereksinimlerini karşılamak için umut verici bir çözüm olarak ortaya atılmıştır [52]. NOMA'nın ana fikri, aşırı yüklenmiş çok kullanıcılı iletişim için çok değerli sistem kaynaklarını ortogonal olmayan bir şekilde tahsis etmektir. Bugüne kadar, temel olarak iki ana kategoride sınıflandırılabilen çok sayıda NOMA şeması önerilmiştir. Bu temel kategoriler, Şekil 3.1.'de görüldüğü üzere güç alanlı NOMA (PD-NOMA) ve kod alanlı NOMA (CD-NOMA)'dır [53].



Şekil 3.1. NOMA çeşitleri

3.1. Güç Alanlı NOMA (PD-NOMA)

PD-NOMA, her kullanıcıya farklı güç seviyeleri tahsis ederek aynı anda ve/veya aynı frekans bandında birden fazla kullanıcıya hizmet verilebilen tekniktir. En ayırt edici özelliği verici tarafta süperpozisyon kodlaması ve alıcı tarafta SIC yöntemlerini kullanmasıdır. Süperpozisyon ile güç oranlarına göre sinyal birleştirilirken SIC ile girişim yok etme işlemi yapılır. Güçlü kanal kullanıcısı, kendi mesajının kodunu çözmeden önce, daha zayıf kanalların kullanıcılarından gelen ortak kanal girişimini iptal eder. Burada kod çözme sırası, yayılma ortamları ve kullanıcı konumları tarafından belirlenen kullanıcı kanalı güç kazanımlarına bağlıdır [54].

PD-NOMA, çoğullama için güç alanından yararlanarak spektrumu verimli bir şekilde kullanır ve böylece birden fazla kullanıcıyı barındırabilir. Ayrıca optimal güç tahsis stratejileri ile kullanıcılar arasında adalet sağlar [55]. Bu tekniğin ayrıntıları Bölüm 4'te detaylı olarak açıklanmıştır.

3.2. Kod Alanlı NOMA (CD-NOMA)

CD-NOMA, farklı kullanıcılara farklı kod sözcükleri atayarak çoklu iletimi destekleyebilen 5G kablolu ağlar için aday olarak önerilmiştir. CD-NOMA, OFDM iletimi ile daha verimli bir şekilde birleştirilebilen tipik birçok taşıyıcılı NOMA şeması olarak da kategorize edilebilir [56].

PD-NOMA, aynı zaman/frekans kaynakları üzerine farklı güç seviyelerine sahip iki veya daha fazla kullanıcının üst üste binmesine, CD-NOMA ise birden çok kullanıcıyı ayırmak için dikkatlice tasarlanmış kanal kodlarına, serpiştiricilere ve kod kitaplarına/dizilerine dayanır. Kullanıcı algılama performansını etkileyen belirli yayılma ve şekillendirme kazancına sahip olan CD-NOMA, PD-NOMA'ya göre daha üstündür.

Son yıllarda birbirinden esinlenerek çok sayıda CD-NOMA şeması önerilmiştir. Bu şemalar arasındaki temel fark, serpiştirme, modülasyon ve yaymayı birleştirme biçimleridir [15]. 2008'de, düşük yoğunluklu yayılımın seyrekliğinden verimli bir şekilde yararlanarak MPA'ye dayalı olarak çok kullanıcılı algılamanın yürütüldüğü düşük yoğunluklu yayımlı CDMA önerilmiştir. Bir LDS-CDMA sisteminde, her kullanıcı veri sembollerini, çok küçük

bir kesir dışında dizi girişleri sıfır olan benzersiz bir LDS ile yayar. Daha sonra, LDS-CDMA kavramı, her kullanıcının anlık giriş mesajına göre bir seyrek kod sözcüğü gönderdiği SCMA tekniğine kadar genişletilmiştir. SCMA'in yanı sıra CDMA, 3GPP tartışmalarında, MUSA önerisine ilham vermiştir. Bu tekniklere ek olarak LDS-OFDMA ve PDMA gibi birçok çeşit ortaya atılmıştır [57].

3.2.1. Düşük yoğunluklu yayımlı CDMA (LDS-CDMA)

Düşük yoğunluklu yayımda, her kullanıcıya benzersiz olan düşük yoğunluklu yayılma dizileri atanır ve alıcı tarafından bu kodlar bilinir [58]. Bundan yola çıkılarak LDS'nin CDMA tekniğine uygulanması ile oluşan LDS-CDMA tekniğinde, her veri sembolü yalnızca sınırlı sayıda çip üzerine yayılır [59]. Yani LDS-CDMA, uygun şekilde tasarlanmış yayma dizileriyle birden çok kullanıcı arasındaki girişimi verimli bir şekilde azaltmak için yoğun diziler yerine seyrek yayma dizileri kullanır [60].

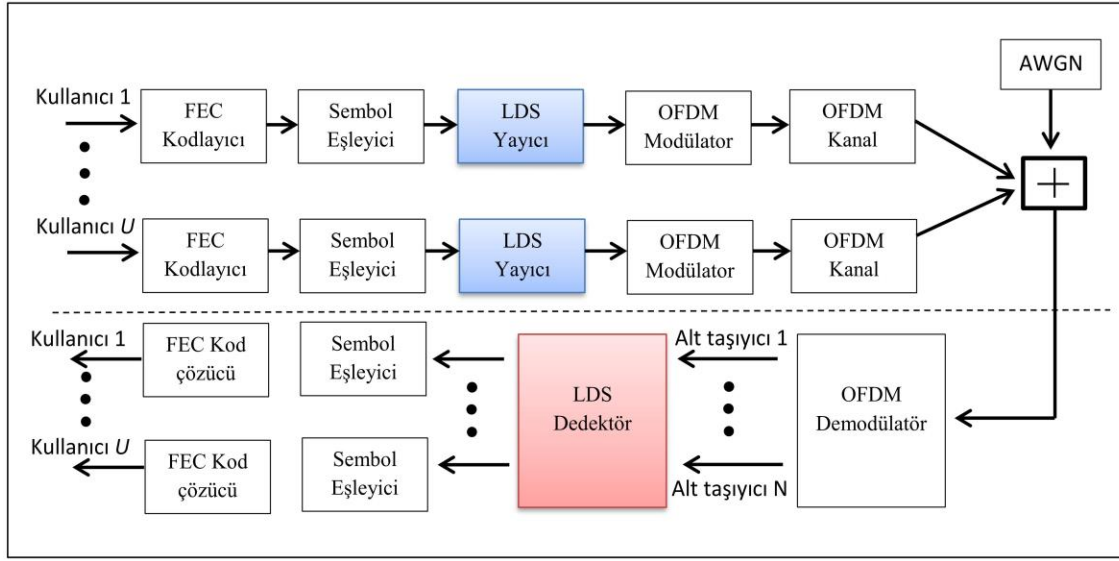
Kullanıcı sayısı, geleneksel CDMA'de sembol periyodu başına örnek sayısını aştığında, optimal çok kullanıcılı algılama zordur. LDS-CDMA algılamasında MPA'ye dayalı düşük karmaşıklığa sahip optimale yakın çok kullanıcılı algılama şeması kullanılır, bu da performansı etkili bir şekilde artırır.

3.2.2. Düşük yoğunluklu yayımlı OFDM (LDS-OFDM)

LDS-OFDM, LDS-CDMA ve OFDM tekniklerinin farklı özelliklerinin bir araya getirilmiş halidir. Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi bilgi sembolleri ilk olarak LDS dizilerine eşlenir ve daha sonra elde edilen yayılmış semboller dikgen alt taşıyıcılar seti üzerinden iletilir [61]. Dikgen alt taşıyıcılar aracılığıyla, semboller arası girişim engellenmiş olur [62].

Bu teknik, spektral verimlilik için sembol sayısının alt taşıyıcı sayısından büyük olmasından kaynaklanan aşırı yüklenmeye izin verir. LDS-CDMA'ye kıyasla, LDS-OFDM, geniş bantlı kanallar için daha uygundur [63].

LDS-OFDM, MPA uygulayarak iyi bir performans gösterir. Ancak LDS-OFDM'nin alıcı karmaşıklığı nispeten yüksektir. Bu nedenle, karmaşıklığı azaltırken iyi performans elde etmek için bir LDS-OFDM alıcısı tasarlamak zordur [64].



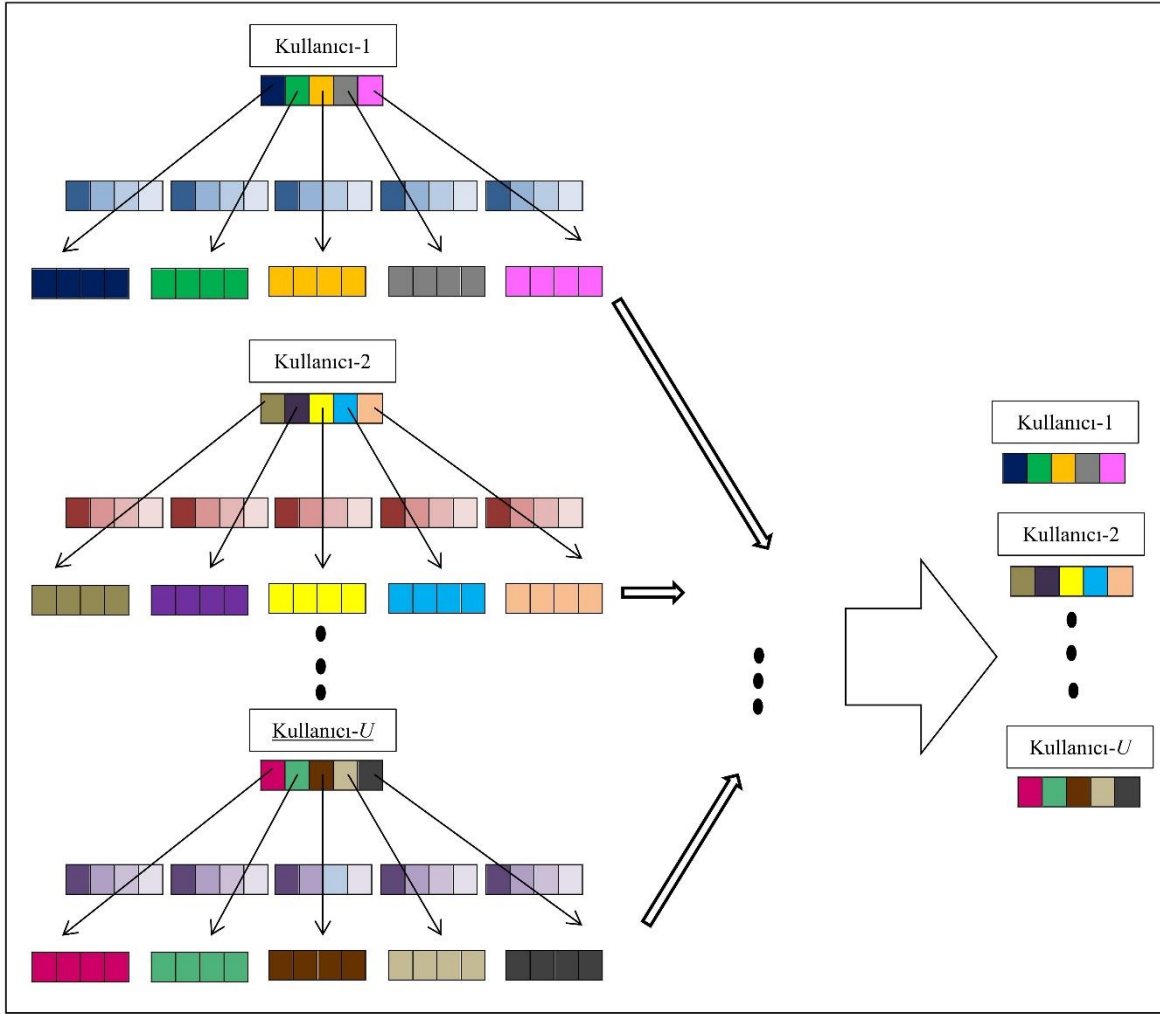
Şekil 3.2. LDS-OFDM blok diyagramı

3.2.3. Çok kullanıcılı paylaşımlı erişim (multiuser shared access-MUSA)

ZTE firması tarafından önerilen MUSA, CDMA tekniğinin gelişmiş versiyonudur. Geleneksel CDMA'de, kullanıcı sinyallerini ayırt etmek için düşük çapraz korelasyona sahip olan ve uzun yayma dizileri kullanılır. Uzun yayma kodları ile, sistemde aşırı yükleme desteklenirken, kullanıcı sayısının artmasıyla alıcıdaki işlem karmaşıklığı ve gecikme süresi artar. Ek olarak, uzun yayma kodları, orijinal sinyalin geniş zaman/frekans yayılmasına ve dolayısıyla yüksek iletim gecikmesine ve güç tüketimine yol açar. Bu nedenle kısa kod kullanımına yönelik olan çok kullanıcılı paylaşımlı erişim tekniği önerilmiştir. Bu kodlar sayesinde aşırı yükleme performansı elde edilirken karmaşıklık, gecikme ve güç tüketiminde azalma sağlanır.

CDMA'de kullanıcılara özgü olan yayma kodları MUSA tekniğinde genel kullanıma açıktır. Bu nedenle her kullanıcı kendi yayma kodunu bağımsız olarak seçebilir. Bu da baz istasyonu tarafından kaynak koordinasyonu ihtiyacını ortadan kaldırır [65].

MUSA'da birden fazla kullanıcının verileri bahsedilen yayma dizileri ile sırasıyla yayılır, daha sonra yayılan veriler iletilmeden önce üst üste bindirilir. Alıcı uçta kullanıcı verilerinin elde edilmesi için SIC alıcısı kullanılır. Şekil 3.3.'te MUSA tekniği gösterilmiştir.

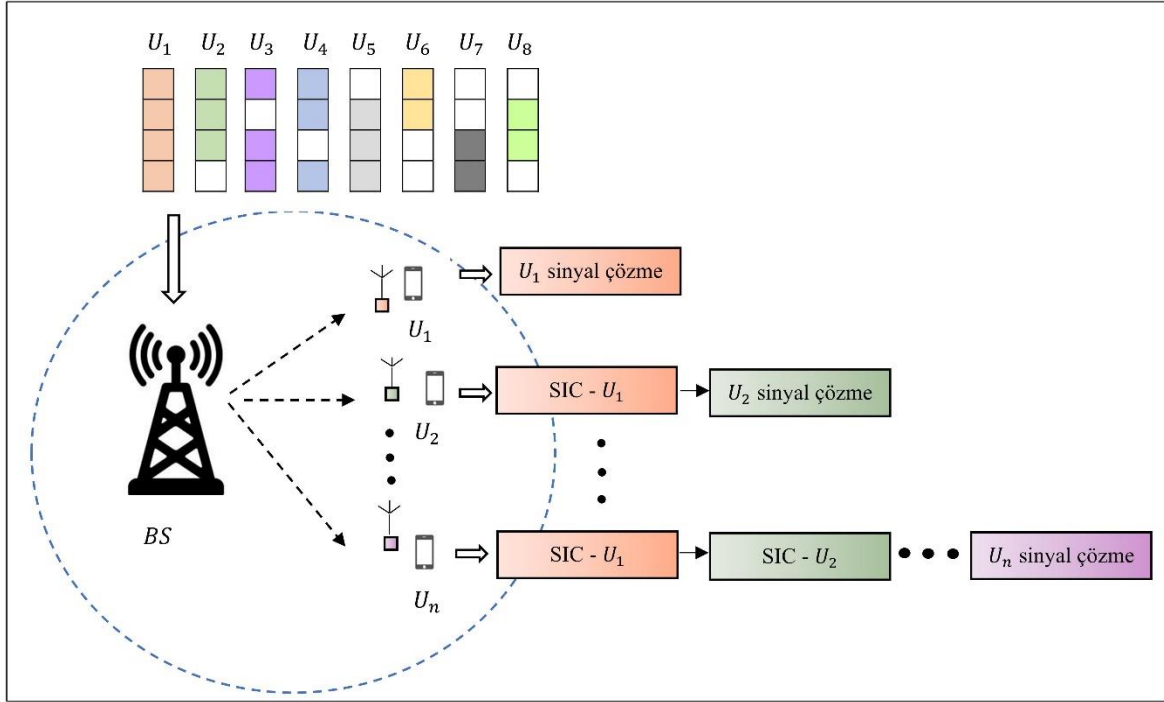


Şekil 3.3. MUSA tekniği

3.2.4. Örüntü bölmeli çoklu erişim (pattern division multiple access-PDMA)

Örüntü bölmeli çoklu erişim, kaynak elemanına iletilecek olan kullanıcı verilerinin tasarlanmış bir desene göre haritalanmasına dayanan NOMA tekniğidir [66]. Çoğullama çeşitli alanlarda yapılmakta olup kod alanında, uzaysal alanda veya bunların bir kombinasyonunda gerçekleşir [1]. Şekil 3.4., aşağı-hat PDMA sisteminin genel bir modelini göstermektedir. Vericide, farklı kullanıcıların sinyalleri, PDMA karakteristik model matrisine (desene) göre tahsis edilmiş kaynak elemanlarına eşlenir. İletişim sisteminin genel performansında optimuma ulaşmak için alıcıda çok kullanıcılı algılamayı gerçekleştiren SIC algılama algoritması veya MPA kullanılır [67].

PDMA için tasarlanan dikgen olmayan desenler ortak kanal girişimini önemli ölçüde bastırır ve daha az güç tüketilir. Ayrıca yüksek spektral verimlilik sağlanır [68].



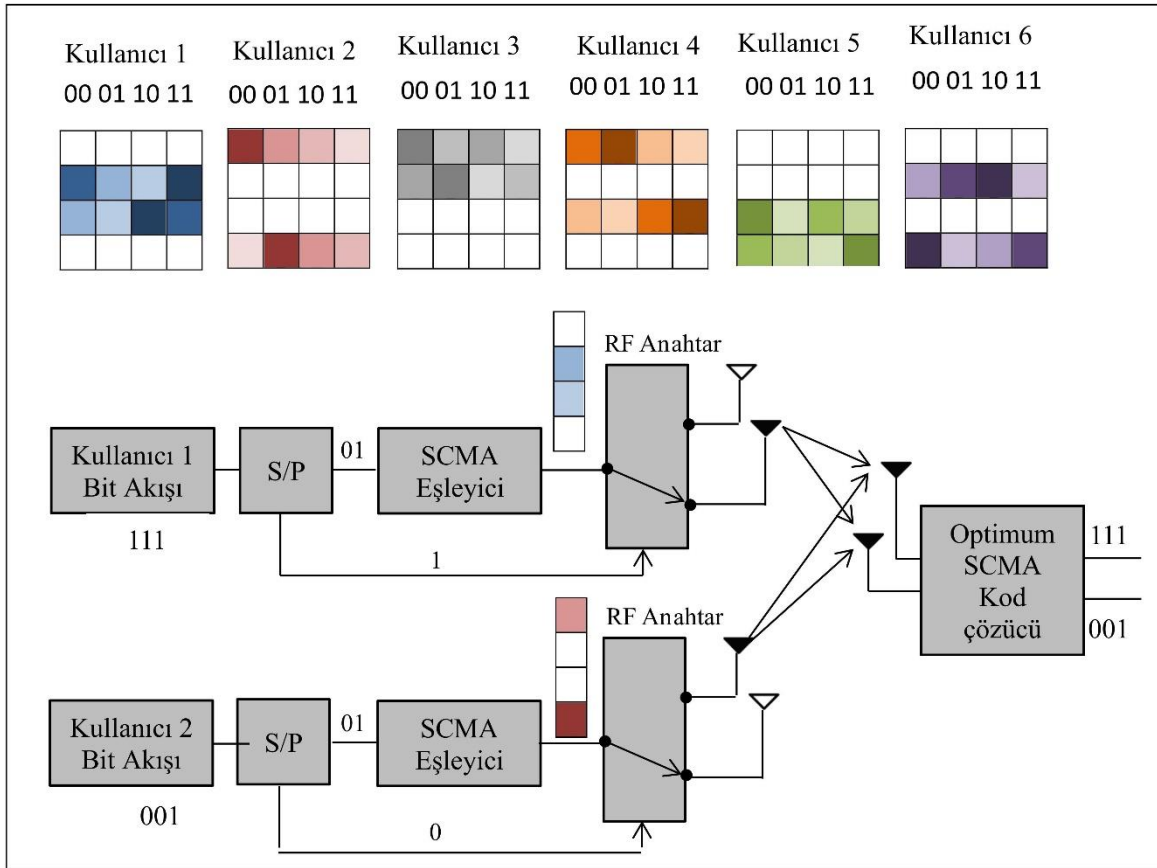
Şekil 3.4. Aşağı-hat PDMA sistem modeli

3.2.5. Seyrek kod çoklu erişim (sparse code multiple access-SCMA)

Seyrek kod çoklu erişim (SCMA), NOMA şemalarından biri olup büyük bağlantı, daha düşük gecikme süresi ve yüksek verimde performansı artırmak için önerilmiştir. Şekil 3.5.'te verilen SCMA sistemi, gelen verilerin doğrudan çok boyutlu bir kod sözcüğüne eşlendiği kod kitabı tabanlıdır. Farklı kod kitapları çok boyutlu takımyıldızları kullanılarak tasarlanır.

SCMA sisteminin alıcı tarafında çok kullanıcılı algılama için yaygın bir kod çözücü algoritması olan MPA tercih edilir.

Diğer yandan, MIMO, verici ve alıcı antenlerin çeşitliliği yoluyla performansı artırmaya yönelik bir tekniktir. MIMO'yu SCMA sisteminde uygulayarak, 5G iletişimini desteklemek için daha fazla kapasite ve bağlantı elde edilir [69].



Şekil 3.5. Aşağı-hat SCMA sistem modeli

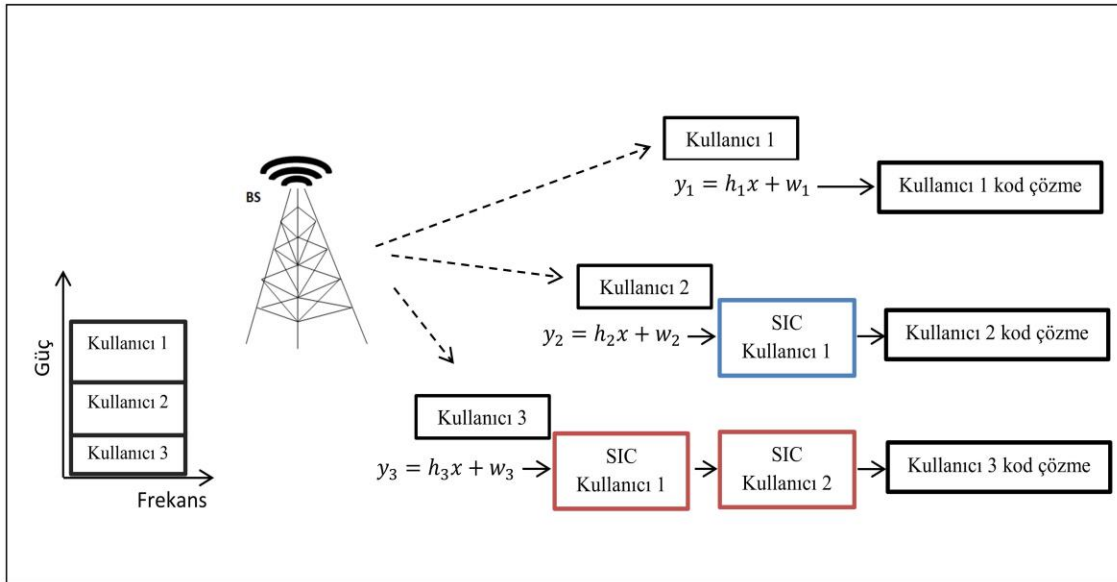
SCMA, aşağıdaki gibi sıralanabilecek belirli özelliklere sahiptir.

- Bitler, önceden tanımlanmış çok boyutlu seyrek yapıdaki kod kitabından doğrudan çok boyutlu kod kelimesine eşlenir. Seyrek yapıdan dolayı girişim engellenir.
- Kullanıcılar, kod sözcükleri yardımıyla ayırt edilir ve böylece çoklu erişim sağlanır.
- Alıcıda orta düzeyde karmaşıklıkta MPA çok kullanıcılı algılama şeması kullanılır [19].

SCMA tekniğinin bahsedilen yapısının getirmiş olduğu çeşitli avantajlar bulunur. Bu avantajlar; çoklu sembollerin süperpozisyon ile iletilmesi, seyrek yapı sayesinde katmanlar arası sembol girişimlerinin minimize edilmesi, çok boyutlu takımyıldızı sayesinde spektral verimlilikte artış olması ve alıcı tarafta karmaşıklığın azaltılması olarak sıralanabilir.

4. PD-NOMA

PD-NOMA, verici tarafında süperpozisyon kodlaması kullanılarak tek bir alt taşıyıcıda birden fazla kullanıcı sinyalinin çoğullandığı ve alıcı tarafında kullanıcıların sinyallerini almak için SIC yönteminin gerçekleştirildiği bir NOMA tekniğidir. Süperpozisyon kodlamasında, her kullanıcıya vericiye olan mesafeye göre bir güç seviyesi atanır. SIC yönteminde ise önce en güçlü sinyal algılanır ve diğer tüm sinyaller gürültü olarak kabul edilir. Sonra gelen toplam sinyalden çözülen sinyal çıkarılır ve kullanıcı sinyali çözülür. Bu gürültülü sinyaller daha sonra, tüm kullanıcı sinyalleri ilgili alıcılarında ayrı ayrı algılanıncaya kadar her alıcıda arka arkaya iptal edilir. Gerçekleştirilen işlemler Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. SIC yöntemi

PD-NOMA'nın alt kanal iletimi dikgen frekans bölmeli çoğullamayı benimser. Alt kanallar dikgendir ve birbirleriyle etkileşime girmezler. Ancak bir alt kanal artık yalnızca bir kullanıcıya tahsis edilmez, birden çok kullanıcı tarafından paylaşılır. Verici uça, aynı alt kanaldaki farklı kullanıcılar, güç çoğullama teknolojisi kullanılarak iletilir ve farklı kullanıcıların sinyal güçleri, ilgili algoritmalarla göre tahsis edilir. Böylece alıcı uca gelen her kullanıcının sinyal gücü farklı olur. Aynı alt kanaldaki farklı kullanıcılar arasında dikgen olmayan iletim, kullanıcılar arasında parazite neden olur. Bu nedenle alıcı uça SIC teknolojisi kullanılır [70].

PD-NOMA'nın en önemli özelliklerinden biri, zayıf kanal koşullarına sahip kullanıcıya daha fazla güç ve daha iyi kanal koşullarına sahip kullanıcıya daha düşük güç atamasıdır. Bu, OMA geleneksel güç atamasına aykırıdır. Bu nedenle, PD-NOMA aracılığıyla kullanıcılar arasında gücün dağılımında adalet sağlanır. Bu faydalar dikkate alındığında, PD-NOMA, kablosuz iletişim teknolojisinde uygulama için potansiyel bir teknik olarak kabul edilir [71].

4.1. Sistem Modeli

Baz istasyonundan kullanıcılara doğru iletimin yapıldığı aşağı-hat bir MIMO PD-NOMA sistemi ele alınmaktadır. U adet kullanıcının bulunduğu sistemde vericide süperpozisyon yönteminin kullanılması sonucunda baz istasyonundan (base station-BS) gönderilen sinyal aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$X = \sum_{u=1}^U \sqrt{P_u} x_u = \sqrt{P} (\sqrt{c_1} x_1 + \sqrt{c_2} x_2 + \dots + \sqrt{c_U} x_U) \quad (4.1)$$

Burada, $u \in \{1, \dots, U\}$ olmak üzere x_u u . kullanıcı sinyalini, c_u ise BS'ye olan uzaklığına bağlı olarak atanan güç katsayısını temsil etmektedir. Kullanıcılara atanan güç, P toplam gücüyle sınırlı olup uzaklıkla ters orantılı olacak şekilde belirlenir ve böylece $P_u = c_u P$ olur. BS tarafından gönderilen süperpozisyon uygulanmış sinyali her kullanıcı aldıktan sonra SIC yöntemi uygulanır. SIC uygulanmadan önce u . kullanıcı alıcısından alınan sinyal,

$$Y_u = H_u X + W_u \quad (4.2)$$

biçimde ifade edilir.

Burada, u . kullanıcı kanalı H_u 'nın ve tüm kullanıcıların kanallarının Rayleigh sönümlü kanal olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca burada W , sıfır ortalamalı ve σ^2 varyanslı toplanır beyaz Gauss gürültüsüdür (additive white Gauss noise-AWGN).

Gelen toplam sinyalden, kullanıcı sinyali elde etmeye dayalı olan SIC tekniğinin kullanıldığı durumda u . kullanıcı sinyal girişim gürültü oranı (signal-to-interference-noise-ratio, SINR) Eş. 4.3'teki gibidir.

$$SINR_u = \frac{c_u P |H_u|^2}{|H_u|^{2P} (c_1 + c_2 + \dots + c_{u-1}) + \sigma^2} \quad (4.3)$$

u . kullanıcının birim frekans başına düşen en yüksek veri hızı;

$$R_u = \log_2 (1 + SINR_u) \quad (4.4)$$

eşitliği ile hesaplanır. PD-NOMA'nın toplam hızı ise Eş. 4.5'teki gibi kullanıcı hızları toplanarak elde edilir.

$$R_{toplam} = \sum_{i=1}^U \log_2 (1 + SINR_i) \quad (4.5)$$

Her bir kullanıcıya atanan güç miktarının, diğer kullanıcıların ulaşılabilir veri hızlarını etkilediği Eş. 4.3'te açıkça görülmektedir. Tüm kullanıcıların kanal bilgilerinin BS tarafından bilindiği varsayımıyla PD-NOMA'da BS'ye güç paylaşırma konusunda büyük görev düşer.

4.2. MIMO PD-NOMA

PD-NOMA paylaşılan kaynakların birden fazla kullanıcı tarafından kullanılmasına rağmen, 5G için gerekli olan spektral verimlilik konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle PD-NOMA, MIMO teknikleri ile birleştirilerek, spektral verimlilik beklenti ihtiyacı karşılanmak üzere ilgi çekici bir çözüm olarak sunulmuştur. MIMO, sinyalde zayıflamayı en aza indirmek ve veri hızını artırmak için hem verici hem de alıcı tarafında birden fazla anten kullanan bir kablosuz iletişim anteni teknolojisidir.

MIMO teknolojisi uzaysal alandan, PD-NOMA ise güç alanından yararlanır. Bu ikisi spektrum verimliliğini artırmak amacıyla birleştirilir. MIMO tekniği aşağı-hat PD-NOMA sistemlerine uygulandığında, ışın oluşturma yardımıyla uzaysal alanda farklı ışınlar üretilir. Her ışında, sinyallerin üst üste bindirilmesiyle BS'den çoklu kullanıcı sinyalleri iletilir. Alıcı tarafında, iletilen sinyaller daha önce bahsedilen PD-NOMA konsepti olan SIC aracılığıyla algılanır [54].

MIMO, kablosuz iletişim sistemlerini iki farklı şekilde iyileştirebilir: uzaysal çeşitleme ve çoğullama [72]. Uzaysal çeşitleme ile verici ve alıcı antenler arasındaki çoklu yollardan yararlanılarak bağımsız sönümlenen sinyaller alıcıda birleştirilir ve BER açısından iyileşme sağlanır. Uzaysal çoğullama ile antenlerin verileri paralel olarak iletilerek, yüksek veri hızına ulaşılır ve çok daha yüksek kanal kapasitesi elde edilir.

MIMO sistemleri yüksek verim ve güvenilirlik sağlarken, birden fazla antenin konuşlandırılması sonucunda çoklu verici alıcı RF zincirlerinin (amplifikatörler, analogdan dijitala dönüştürücüler) maliyeti ve karmaşıklığı önemli sınırlayıcı faktörlerdir [73-75]. Bu soruna yönelik uzaysal çoğullama ve anten seçimi çözümdür. Uzaysal çoğullama, veriyi gönderme çeşitliliğinden yararlanmadan bilgiyi iletmek için anten seçimi yapar. Anten seçim yönteminde ise bilgi iletmeye görev almadan gönderme çeşitliliğinden yararlanarak ve kanal durumları baz alınarak anten seçimi yapılır. Her sembol süresinde farklı bir antenle iletişim gerçekleşir. Bu nedenle anten seçiminde süreklilik mevcuttur. Bir sembol süresinde tek antenle iletişim söz konusu olduğundan kanallar arası girişimin önüne geçilir ve azaltılmış sayıda RF zinciri kullanılarak donanım azaltılır [76]. Bu amaçla çeşitli anten seçim algoritmaları geliştirilmiştir.

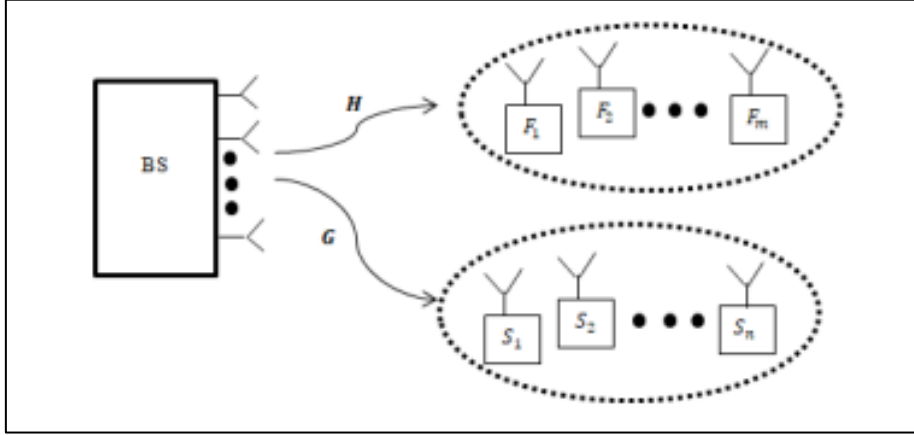
4.3. Anten Seçim Algoritmaları

Baz istasyonundan kullanıcılara doğru iletimin yapıldığı iki kullanıcı MIMO PD-NOMA sisteminde baz istasyonunun (BS), birinci kullanıcının (U_F) ve ikinci kullanıcının (U_S) sırasıyla N , F ve S antenle donatıldığı varsayılmıştır. Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi bu sistemde BS ile U_F kullanıcı arasındaki kanal katsayılarının oluşturduğu set H_{U_F} ve BS ile U_S kullanıcı arasındaki kanal katsayılarının oluşturduğu set ise G_{U_S} ile temsil edilmektedir. BS ve kullanıcılar arasındaki bu kanalların uzamsal olarak ilişkisiz düz Rayleigh sönümlü olduğu kabul edilmiştir.

$$H_{U_F} = [h_1 ; h_2 ; \dots ; h_N] \quad (4.6)$$

$$G_{U_S} = [g_1 ; g_2 ; \dots ; g_N] \quad (4.7)$$

Burada $h_n = [h_{n1} \dots h_{nf} \dots h_{nF}]$ ve $g_n = [g_{n1} \dots g_{ns} \dots g_{nS}]$ sırasıyla H_{U_F} ve G_{U_S} 'nin eleman vektörleridir.



Şekil 4.2. Aşağı-hat MIMO PD-NOMA sistem

Kanal girişleri $\bar{h}_{nf}$ ve $\bar{g}_{ns}$ Gauss rasgele değişkenler olarak tanımlanmaktadır. $\bar{h}_{nf}$ ($\bar{g}_{ns}$) BS'nin n . anteni ile U_F (U_S)'nin f . (s .) anteni arasındaki kompleks kanal katsayısıdır.

$$h_{nf} = |\bar{h}_{nf}|^2 \quad (4.8)$$

$$g_{ns} = |\bar{g}_{ns}|^2 \quad (4.9)$$

Kullanıcıların birbirinden farklı uzaklıkta olduğu ve BS tarafından kanal durum bilgisinin çok iyi bilindiği varsayılmıştır. BS'ye yakın olan kullanıcının mesafeden dolayı kanal katsayısı uzak olana kıyasla daha iyidir. Kullanıcılara kanal katsayıları veya uzaklıkları kriter olacak şekilde güç tahsis edilir. Yakındaki kullanıcıya (kanal katsayısı iyi olan kullanıcı) sinyali mesafeden dolayı daha az zayıflamaya maruz kalacağı için uzaktaki kullanıcıya göre daha az güç tahsis edilir. Uzaktaki kullanıcıya (kanal katsayısı kötü olan kullanıcı) sinyalinin gideceği mesafenin ve sinyalde gerçekleşecek zayıflamanın fazla olacağından daha fazla güç atanır. Bu tahsis işlemi sonucunda kullanıcıların sembolleri kendilerine atanan güç katsayıları ile çarpılır, ardından toplanarak tek sinyal elde edilir. Elde edilen bu sinyal;

$$S_T = \begin{cases} \sqrt{c_2}x_1 + \sqrt{c_1}x_2, & h_{nf} \geq g_{ns} \\ \sqrt{c_1}x_1 + \sqrt{c_2}x_2, & h_{nf} < g_{ns} \end{cases} \quad (4.10)$$

şeklinde verilmektedir. Gönderilen sinyal

$$X = \sqrt{P}S_T \quad (4.11)$$

olarak verilmektedir.

c_1 ve c_2 kullanıcılara atanan güç katsayısı olup $c_1 > c_2$ olarak kabul edilmiştir. x_1 (x_2), U_F (U_S) kullanıcı sinyalini temsil etmektedir.

Her bir kullanıcı anteninde alınan sinyal aşağıdaki gibidir.

$$Y_1 = \bar{h}_{nf} X + W_1 \quad (4.12)$$

$$Y_2 = \bar{g}_{ns} X + W_2 \quad (4.13)$$

U_F kullanıcı anteninde Y_1 sinyali alınırken, U_S kullanıcı anteninde Y_2 sinyali alınır. $h_{nf} < g_{ns}$ ise, U_F zayıf kullanıcıdır ve bu kullanıcı için daha fazla güç tahsis edilir. Y_1 sinyali U_F 'e ulaştığında diğer kullanıcının sinyali gürültü olarak algılanır ve kendi güçlü sinyalini Y_1 sinyalinden kolaylıkla çözebilir. U_S kullanıcı kanal katsayısı daha iyi olduğundan güçlü kullanıcı olarak sayılır ve bu kullanıcı için daha az güç ayrılır. Bu nedenle U_S önce U_F kullanıcı sinyalini algılar, Y_2 sinyalinden algıladığı sinyali çıkarır ve ardından kendi sinyaline ulaşır. Başka bir deyişle, U_S SIC yöntemini kullanır. $h_{nf} \geq g_{ns}$ durumu için ise kod çözme işlemleri tam tersi şekildedir.

Yukarıda açıklanan sistemde Eş. 4.5'te yer alan ulaşılabilir toplam hızı maksimize etmek için kapsamlı arama yaparak hem BS'de hem de kullanıcılarda optimal anten kombinasyonu elde edilmesi gerekir. Bu arama, anten sayıları arttığında karmaşık hale gelir. Bundan yola çıkarak önemli ölçüde azaltılmış hesaplama karmaşıklığına sahip max-max-max ve max-min-max anten seçim algoritmaları önerilmiştir [30].

4.3.1. Max-max-max anten seçim algoritması

Max-max-max anten seçim algoritması, kullanıcı kanallarına göre her pilot çerçevede iletim yapacak anteni seçmektedir. Kullanıcı kanalları üç aşamada karşılaştırılarak maksimum değeri veren kullanıcının kanalı bulunur. Bu kanalın hangi kullanıcının kaçınıcı anteni ile BS'nin hangi anteni arasında olduğu belirlenir ve o antenler iletim için seçilir. Maksimum değeri veren kullanıcı kanalı ile aynı dizide yer alan diğer kullanıcı kanalı, ikinci kullanıcının antenini seçmede rol oynar. Bu kanalın da hangi antenler arasında olduğu tespit edilir ve tespit edilen bu antenler BS ve ikinci kullanıcı için iletim yapmak üzere seçilir.

Max-max-max anten seçim (max-max-max AS) algoritmasının adımları ayrıntılı olarak çizelge 4.1.'de yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Max-max-max anten seçim algoritması

Girdi: U_F, U_S kanal matrisleri: H_{U_F}, G_{U_S} BS, U_F, U_S anten sayıları: N, F ve S
Adım 1: (4.14) - (4.15)'e göre h_n^{max} ve g_n^{max} bulunur, $\beta = \{(h_1^{max}, g_1^{max}), \dots, (h_n^{max}, g_n^{max}), \dots, (h_N^{max}, g_N^{max})\}$ elde edilir.
Adım 2: $\alpha_j = \max(\beta_j)$.
Adım 3: $\delta_i = \max(\alpha_1, \dots, \alpha_n, \dots, \alpha_N)$, $n_{BS} = i$, β_i 'de yer alan (h_i^{max}, g_i^{max}) elemanlar bulunur, Bulunan h_i^{max} 'ın H_{U_F} 'deki satır ve sütunları bulunur, $n_F = (H_{U_F})^{sütun}$, Bulunan g_i^{max} 'ın G_{U_S} 'deki satır ve sütunları bulunur, $n_S = (G_{U_S})^{sütun}$.
Tekrar n_{BS}, n_F, n_S .

Adım 1: H_{U_F} ve G_{U_S} matrislerinin her satırındaki maksimum eleman belirlenir ve belirlenen maksimum elemanlardan bir dizi oluşturulur.

$$h_n^{max} = \max(h_{n1}, h_{n2}, \dots, h_{nF}) \quad (4.14)$$

$$g_n^{max} = \max(g_{n1}, g_{n2}, \dots, g_{nS}) \quad (4.15)$$

$$\beta = \{(h_1^{max}, g_1^{max}), \dots, (h_n^{max}, g_n^{max}), \dots, (h_N^{max}, g_N^{max})\} \quad (4.16)$$

Adım 2: β dizisinin her bir elemanının maksimum değeri bulunmaktadır.

$$\alpha_j = \max (\beta_j) \quad (4.17)$$

Adım 3: α değerleri içinden maksimum değeri veren indeks bulunmaktadır.

$$\delta_i = \max (\alpha_1, \dots, \alpha_n, \dots, \alpha_N) \quad (4.18)$$

Bulunan i indeksi baz istasyonunun gönderim yapacağı anteni temsil etmektedir. Ayrıca (h_i^{max}, g_i^{max}) kullanıcılar için seçilecek antenlerin kanallarıdır. Bu kanalları veren indeksler bulunarak pilot çerçevede iletim yapacak antenler seçilmiş olacaktır. Yeni çerçeve için seçim tekrarlanır.

4.3.2. Max-min-max anten seçim algoritması

Max-min-max anten seçim algoritması şeması, max-max-max anten seçim algortimasına benzer şekilde üç aşamada gerçekleşir. Max-max-max AS ile max-min-max-AS arasındaki temel farkı ikinci adım verir. Spesifik olarak, her bir (h_i^{max}, g_i^{max}) çifti için max-max-max AS daha büyük öğeyi seçerken max-min-max AS daha küçük olanı seçer. Çizelge 4.2.'de verilen max-min-max anten seçim (max-min-max AS) algoritmasının üç aşaması aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır.

Adım 1: H_{UF} ve G_{US} matrislerinin her satırındaki maksimum eleman belirlenir ve belirlenen maksimum elemanlardan bir dizi oluşturulur.

$$h_n^{max} = \max (h_{n1}, h_{n2}, \dots, h_{nF}) \quad (4.19)$$

$$g_n^{max} = \max (g_{n1}, g_{n2}, \dots, g_{nS}) \quad (4.20)$$

$$\gamma = \{(h_1^{max}, g_1^{max}), \dots, (h_n^{max}, g_n^{max}), \dots, (h_N^{max}, g_N^{max})\} \quad (4.21)$$

Adım 2: γ dizisinin her bir elemanının minimum değeri bulunur.

$$\mu_j = \min(\gamma_j) \quad (4.22)$$

Adım 3: μ değerleri içinden maksimum değeri veren indeks bulunur.

$$\vartheta_i = \max (\mu_1, \dots, \mu_n, \dots, \mu_N) \quad (4.23)$$

Bulunan i indeksi baz istasyonunun gönderim yapacağı anteni temsil etmektedir. Ayrıca (h_i^{max}, g_i^{max}) kullanıcılar için seçilecek antenlerin kanallarıdır. Bu kanalları veren indeksler bulunarak pilot çerçevede iletim yapacak antenler seçilmiş olur. Yeni çerçeveye için seçim tekrarlanır.

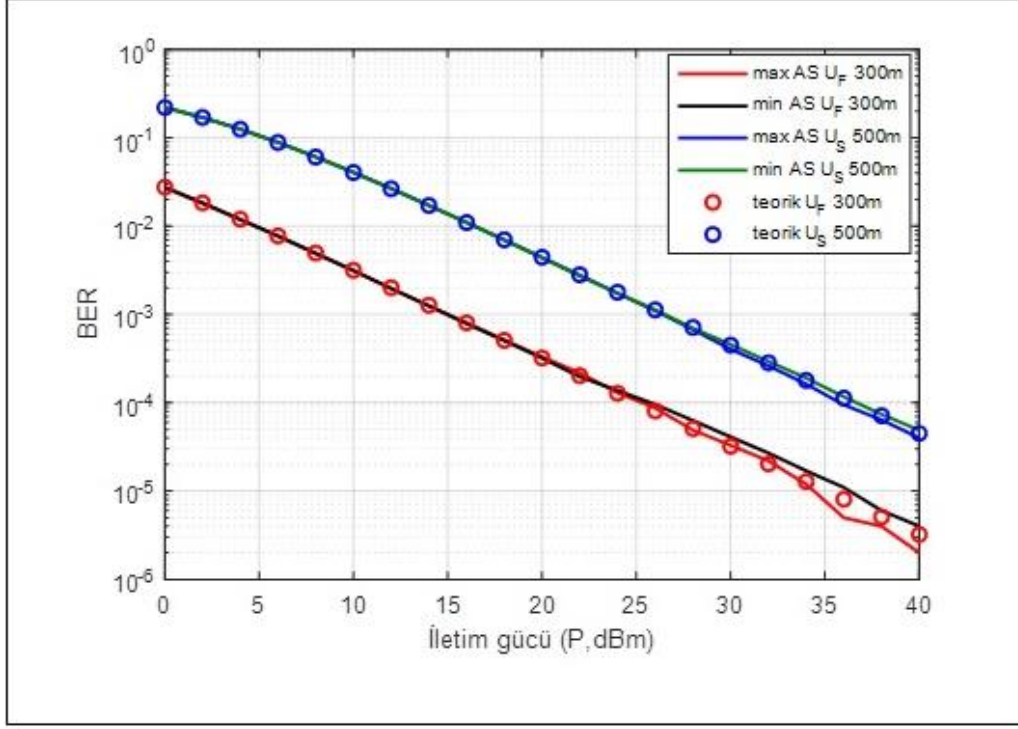
Çizelge 4.2. Max-min-max anten seçim algoritması

Girdi: U_F, U_S kanal matrisleri: H_{U_F}, G_{U_S} BS, U_F, U_S anten sayıları: N, F ve S
Adım 1: (4.19) - (4.20)'e göre h_n^{max} ve g_n^{max} bulunur, $\gamma = \{(h_1^{max}, g_1^{max}), \dots, (h_n^{max}, g_n^{max}), \dots, (h_N^{max}, g_N^{max})\}$ elde edilir.
Adım 2: $\mu_j = \min(\gamma_j)$.
Adım 3: $\vartheta_i = \max(\mu_1, \dots, \mu_n, \dots, \mu_N)$, $n_{BS}^* = i$, γ_i 'de yer alan (h_i^{max}, g_i^{max}) elemanlar bulunur, Bulunan h_i^{max} 'ın H_{U_F} 'deki satır ve sütunları bulunur, $n_F^* = (H_{U_F})^{sütun}$, Bulunan g_i^{max} 'ın G_{U_S} 'deki satır ve sütunları bulunur, $n_S^* = (G_{U_S})^{sütun}$.
Tekrar n_{BS}^*, n_F^*, n_S^* .

4.3.3. Benzetim çalışmaları

Gönderici-alıcı anten seçimi için max-max-max ve max-min-max algoritmalarının uygulandığı aşağı-hat iki kullanıcılı MIMO PD-NOMA sistemde BER, ulaşılabilir kapasite ve kesinti olasılığı performansları analiz edilmiştir. Benzetim çalışmalarında literatürde yer alan bu algoritmaların değinilmemiş durumları ele alınmıştır. Tüm performans analizleri Matlab/Simulink programı aracılığıyla yapılmıştır. Simülasyonlarda kullanılan d_1 ifadesi BS ile U_F arasındaki mesafeyi, d_2 ise BS ile U_S arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. U_F ve U_S kullanıcılarına atanan güç katsayıları sırasıyla c_1 ve c_2 olarak gösterilmiş ve $c_1 + c_2 =$

1 olarak kabul edilerek kullanıcılara kanal durumlarına göre tahsis edilmiştir. Kanal olarak Rayleigh düz sönümlmeli kanal ve gürültü olarak AWGN modeli tercih edilmiştir. Ayrıca şekillerde karmaşıklığa sebep olmamak için max-max-max AS, max olarak max-min-max AS ise min olarak ifade edilmiştir.

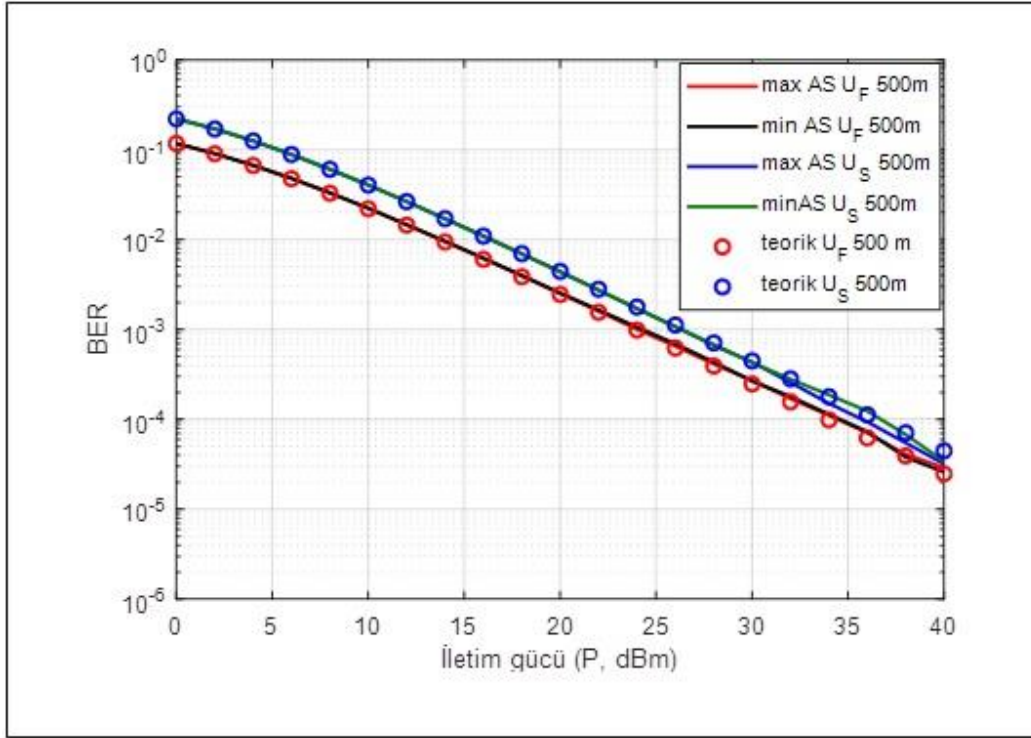


Şekil 4.3. Max-max-max ve max-min-max AS algoritmalarının BER performans analizi $d_1=300m$, $d_2=500m$

Baz istasyonundan farklı uzaklıklarda yer alan kullanıcıların bulunduğu sistemde anten seçimini gerçekleştirmek için max-max-max ve max-min-max AS algoritmaları uygulanmıştır. Uygulama sonucunda BER performansları Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. U_F kullanıcı BS'den $d_1=300m$ uzaklıkta iken U_S kullanıcı $d_2=500m$ uzaklıkta olarak varsayılmıştır. Şekilden de anlaşılacağı üzere algoritmaların neredeyse BER performansları aynıdır. Bunun nedeni ise algoritma şemasındaki adımların genel olarak benzer olmasından kaynaklanmaktadır. Burada dikkat çekilecek nokta kullanıcıların uzaklığından kaynaklı BER değerlerindeki farklılıktır. Yakında olan U_F kullanıcısının performansı uzakta olan U_S kullanıcıdan daha iyidir.

BS'den 500m mesafede olacak şekilde aynı uzaklığa konuşlandırılan U_F ve U_S kullanıcıları için BER performansları Şekil 4.4.'te verilmiştir. Hem uzaklıklarının hem de mesafeye bağlı

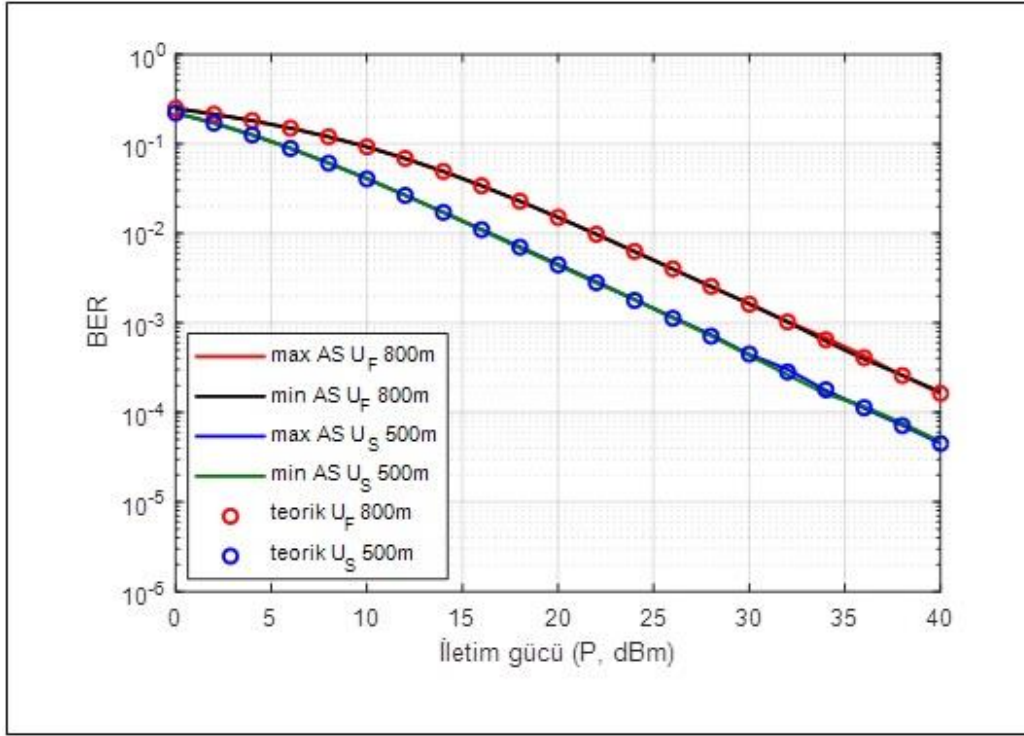
tahsis edilen güç katsayılarının aynı olması BER değerlerinde benzer sonuca ulaşılmasına neden olmuştur. Bu durum, iletim gücünün 40 dBm'de olduğu zaman net olarak gözlenmektedir.



Şekil 4.4. Max-max-max ve max-min-max AS algoritmalarının BER performans analizi $d_1 = d_2 = 500\text{m}$

Şekil 4.5.'te $d_1 = 800\text{m}$ ve $d_2 = 500\text{m}$ de iken AS algoritmaları ile seçilen antenler aracılığıyla gönderilen ve daha sonra seçilen antenlerle alınan kullanıcı verileri için BER değerleri gösterilmektedir. Daha önce yakın mesafede konumlandırılan U_F burada daha uzak mesafeye alınmıştır. Şekle bakıldığında daha önce BER performansı iyi olan U_F kullanıcısının 800m'ye alındığında daha kötü sonuca ulaştığı anlaşılmaktadır. Örneğin, iletim gücü 20 dBm'de max-max-max AS için şekil incelendiğinde yaklaşık olarak U_F BER değeri 15×10^{-3} iken U_S için $4,5 \times 10^{-3}$ 'tür.

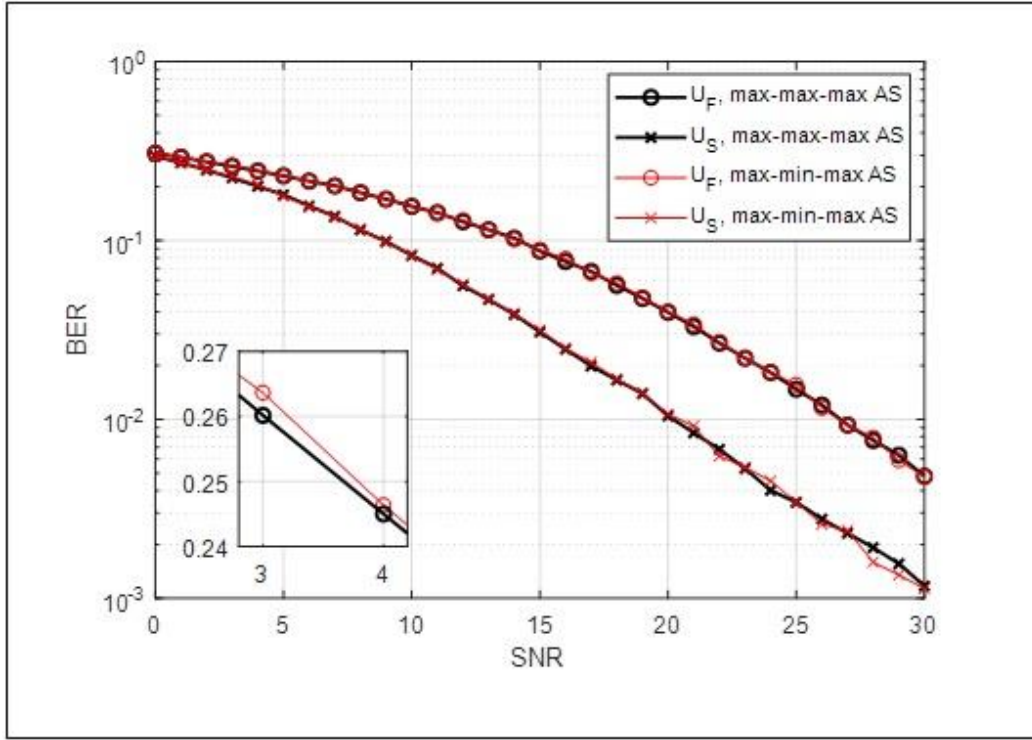
Ayrıca yukarıda yer alan Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'te olduğu gibi her iki AS algoritmalarının aynı mesafelerde BER performansları da aynıdır.



Şekil 4.5. Max-max-max ve max-min-max AS algoritmalarının BER performans analizi $d_1=800m$, $d_2=500m$

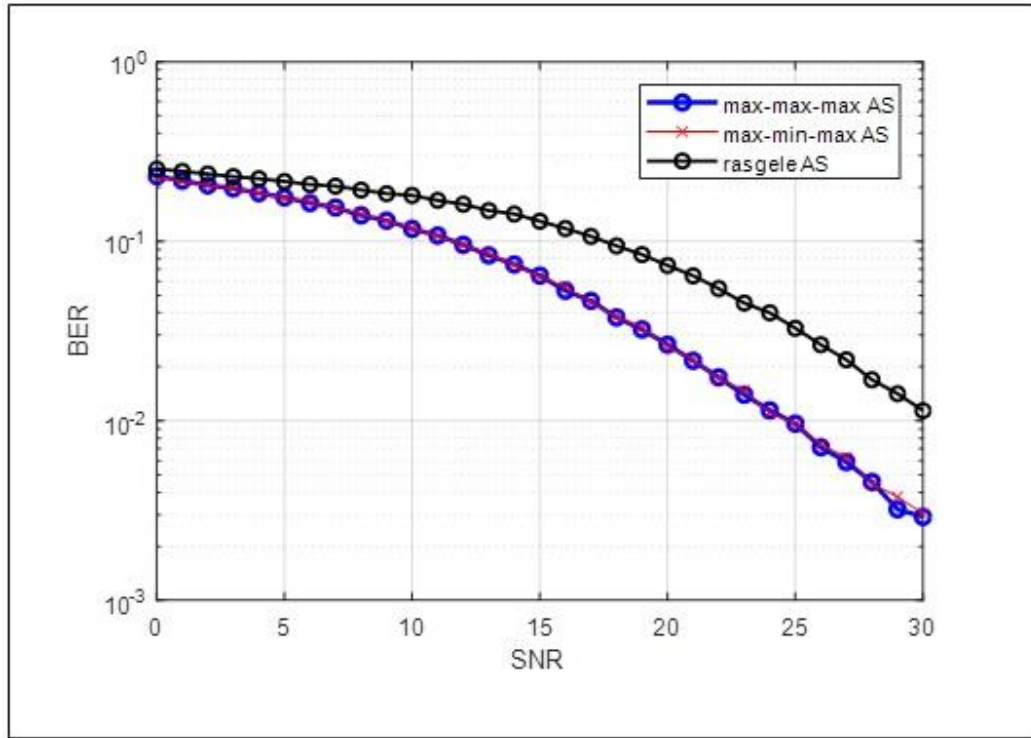
Şekil 4.6.'da $d_1=800m$, $d_2=500m$, $c_1=0,7$, $c_2=0,3$ iken max-max-max ve max-min-max AS algoritmalarının hata oranları karşılaştırılmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi her iki algoritmanın neredeyse aşamalarının aynı olması elde edilen BER değerlerinde de benzerlik göstermesine neden olmuştur.

Birbiriyle yaklaşık olarak aynı sonuçları veren max-max-max ve max-min-max AS algoritmaların rasgele anten seçime göre BER farkını ortaya koymak için yapılan simülasyon sonucu Şekil 4.7.'de verilmiştir. Kullanıcı mesafeleri $d_1=500m$, $d_2=300m$ iken uzakta olan kullanıcıya daha fazla güç katsayısı tahsis edilmek üzere $c_1=0,6$ ve $c_2=0,4$ olarak belirlenmiştir. Bu değerlerde yapılan BER performans karşılaştırması sonucunda büyük oranda avantaj sağlayan bu algoritmalar kanal katsayısını dikkate alarak ve hızı artırmayı amaçlayarak yapıldığı için kriterlere dikkat edilmeden yapılan seçime kıyasla daha iyi sonuç vermiştir.

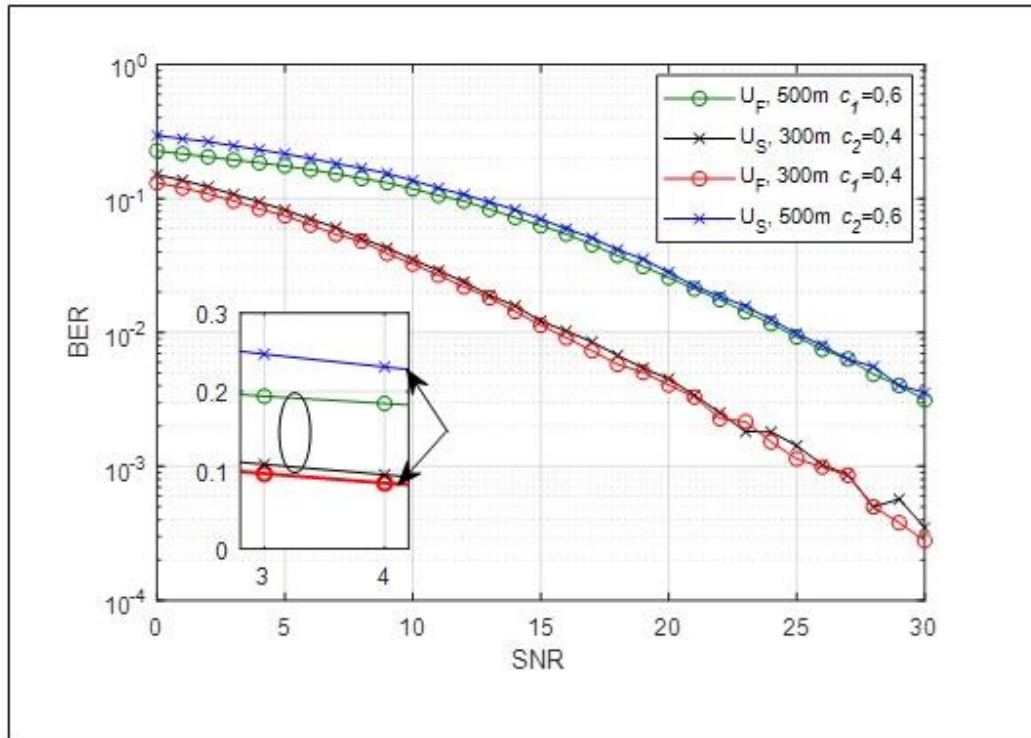


Şekil 4.6. Algoritmaların BER-SNR performansı

Max-max-max AS algoritması ile yapılan seçime bağlı performansın yer aldığı Şekil 4.8.'de ilk olarak BS'e göre U_F 500m, U_S ise 300 m'ye alınarak simülasyon çalışması yapılmıştır. U_F kullanıcının uzakta olmasından kaynaklı daha kötü performans elde edilmiştir. Bu kez de ters durum düşünülüp U_F 300m'ye, U_S 500m'ye alınmıştır. Yine elde edilen sonuçlar uzakta olan U_S kullanıcısının performansının kötü olduğunu kanıtlamıştır. Örneğin 25 dBm'de 500m'deki kullanıcıların BER değeri yaklaşık olarak 15×10^{-3} iken 300m'deki kullanıcıların $3,5 \times 10^{-3}$ 'tür. $11,5 \times 10^{-3}$ farkla yakındaki U_S kullanıcısının uzaktaki U_F kullanıcısına göre BER performansında üstünlüğü görülmektedir.

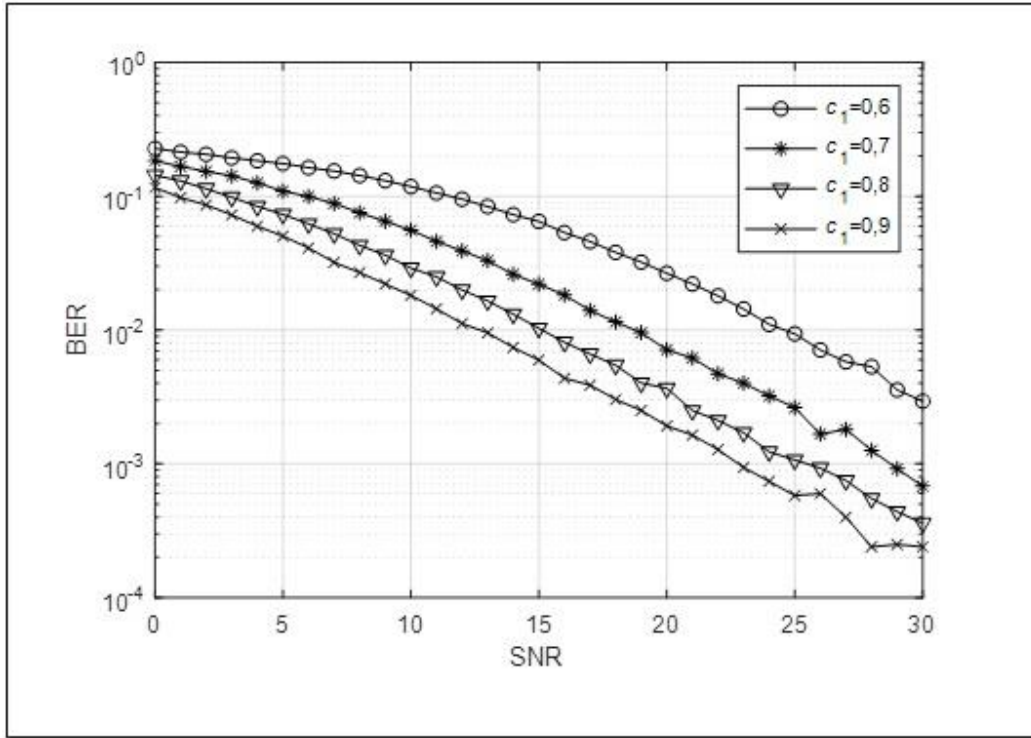


Şekil 4.7. Farklı anten seçim algoritmaları için U_F kullanıcısının BER-SNR grafiği, $d_1=500\text{m}$, $d_2=300\text{m}$, $c_1=0,6$ $c_2=0,4$



Şekil 4.8. Kullanıcıların BER-SNR performansı

Şekil 4.9 da $d_1=600\text{m}$ ve $d_2=400\text{m}$ olduğu düşünülerek U_F kullanıcısına U_S kullanıcısından daha fazla olacak şekilde farklı güç katsayıları tahsis edilmiştir. Bunu yaparken $c_1 + c_2 = 1$ kabul edildiği için toplam değerin 1'i aşmamasına özen gösterilmiştir. Örneğin $c_1=0,6$ iken $c_2=0,4$ tür. Elde edilen sonuçlar tahsis edilen güç değeri artıkça sinyalde oluşacak BER değerinde azalma olduğunu göstermektedir. Örneğin, 20 dBm'de güç katsayısı 0,6'dan 0,9'a doğru giderken BER değerlerinde sırasıyla 47×10^{-3} , 14×10^{-3} , 7×10^{-3} ve 4×10^{-3} azalış gerçekleşmektedir. Elde edilen değerler Çizelge 4.3.'te ayrıntılı olarak verilmiştir.



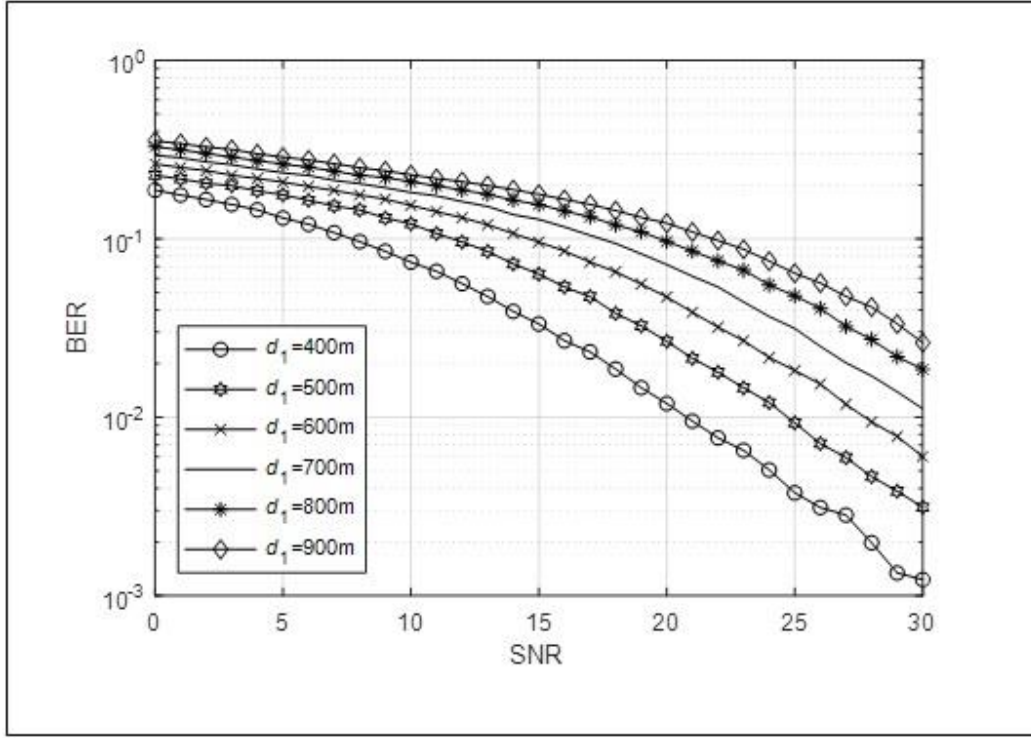
Şekil 4.9. Farklı güç katsayıları için BER-SNR performansı

Çizelge 4.3. Farklı güç katsayıları için BER değerleri

dB \	0	5	10	15	20	25	30
$c_1 = 0,6$	0,265	0,21	0,155	0,096	0,047	0,017	0,006
$c_1 = 0,7$	0,23	0,156	0,09	0,04	0,014	0,0054	0,0015
$c_1 = 0,8$	0,198	0,115	0,055	0,021	0,007	0,002	0,00082
$c_1 = 0,9$	0,17	0,09	0,036	0,0125	0,004	0,0012	0,00032

Kullanıcılara tahsis edilen güç katsayıları ($c_1 = 0,6$, $c_2 = 0,4$) ve U_S kullanıcısının BS'ye olan uzaklığı ($d_2 = 300\text{m}$) sabit tutularak U_F kullanıcısının bulunduğu konumun değiştirilmesi sonucu elde edilen performans Şekil 4.10.'da verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere

uzaklık artıkça aynı güç değeri tahsis edilmesinden dolayı sinyalde alınacak olan hata oranları artmaktadır. Örneğin, 25 dBm’de uzaklık 400 m’den 900 m’ye doğru artıkça hata oranları sırasıyla $3,8 \times 10^{-3}$, $9,3 \times 10^{-3}$, 18×10^{-3} , 31×10^{-3} , 48×10^{-3} ve 64×10^{-3} şeklinde artmaktadır. Elde edilen değerler Çizelge 4.4.’te ayrıntılı olarak verilmiştir.

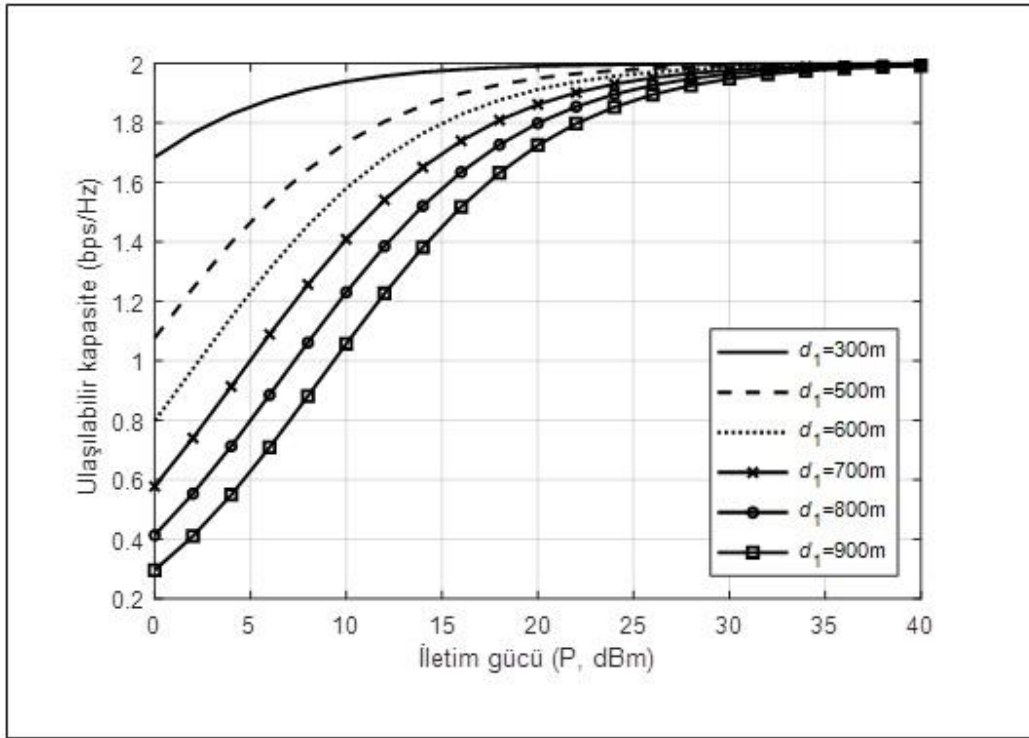


Şekil 4.10. Farklı uzaklıklar için BER-SNR performansı

Çizelge 4.4. Farklı uzaklıklar için BER değerleri

m \ dB	0	5	10	15	20	25	30
$d_1=400$	0,188	0,131	0,074	0,033	0,011	0,0038	0,001
$d_1=500$	0,227	0,176	0,122	0,063	0,026	0,0093	0,003
$d_1=600$	0,263	0,208	0,154	0,096	0,047	0,018	0,006
$d_1=700$	0,295	0,234	0,182	0,128	0,072	0,031	0,011
$d_1=800$	0,33	0,262	0,209	0,156	0,097	0,048	0,018
$d_1=900$	0,35	0,288	0,228	0,178	0,122	0,064	0,026

Şekil 4.11.’de uzaklığa göre ulaşılabilir kapasite performansı gösterilmiştir. Kullanıcının baz istasyonuna olan uzaklığı artıkça kapasite başarımı azalmaktadır. Örneğin, iletim gücü 10 dBm iken mesafe artışına göre sırasıyla yaklaşık olarak 1,94, 1,74, 1,58, 1,41, 1,24 ve 1,06 bps/Hz spektral verimlilikleri elde edilmiştir. Elde edilen diğer değerler Çizelge 4.5.’te ayrıntılı olarak verilmiştir.

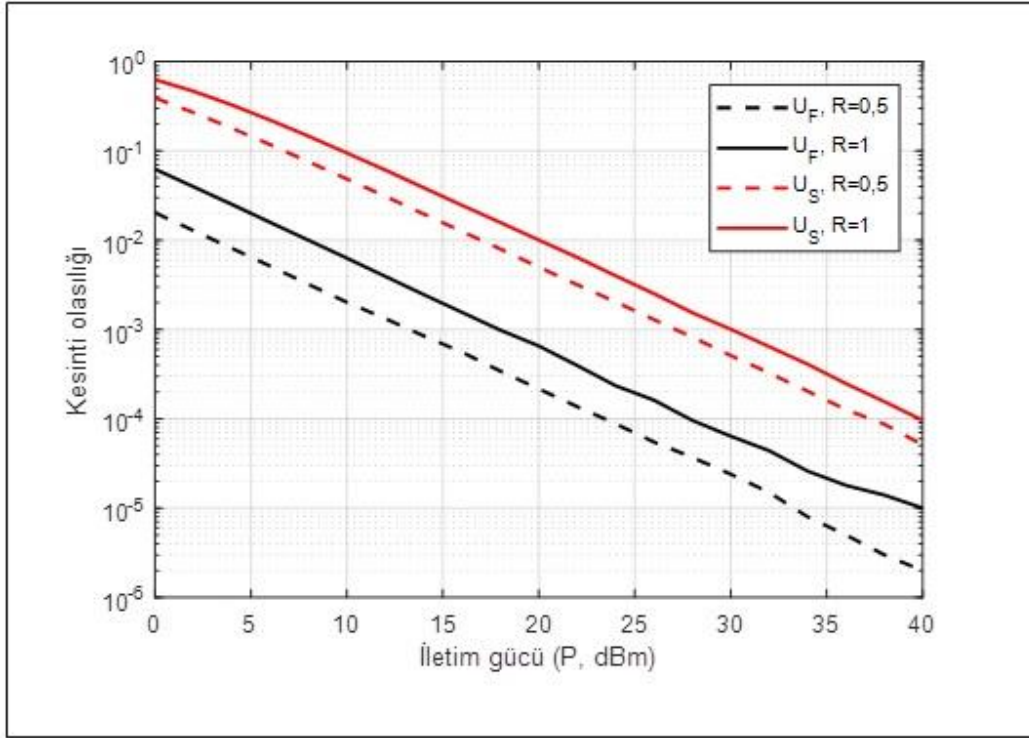


Şekil 4.11. Farklı uzaklıklar için ulaşılabilir kapasite

Çizelge 4.5. Farklı uzaklıklar için ulaşılabilir kapasite değerleri

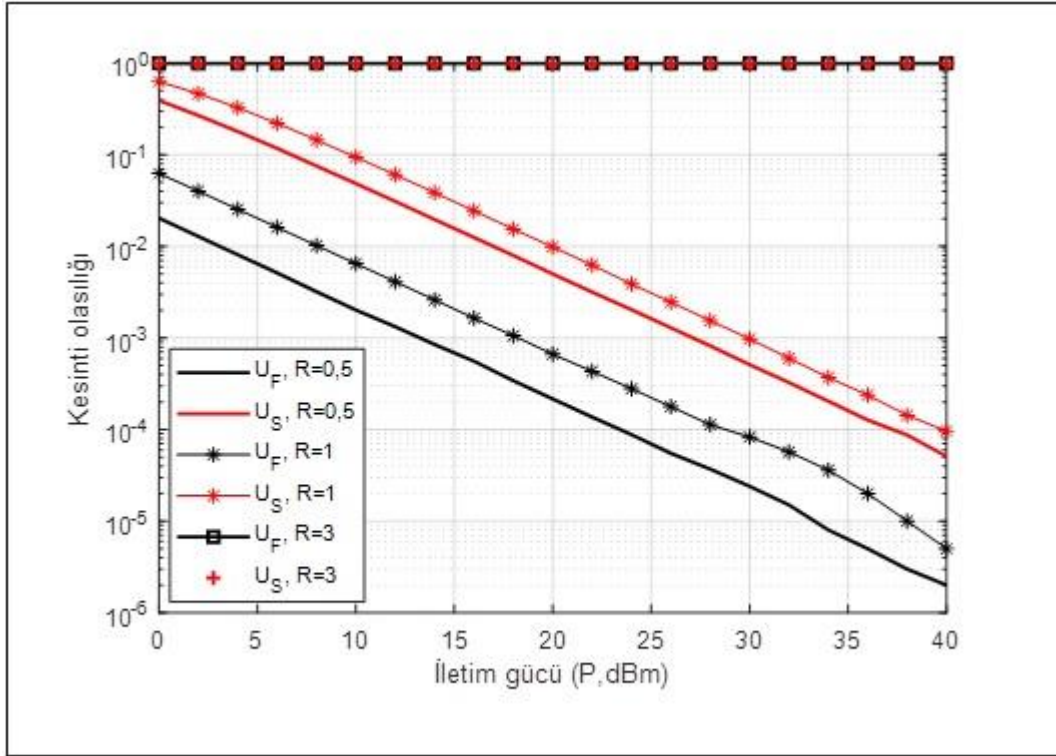
dBm \ m	0	5	10	15	20	25	30
$d_1=400$	1,68	1,85	1,94	1,97	1,98	1,99	1,99
$d_1=500$	1,07	1,47	1,74	1,88	1,95	1,98	1,99
$d_1=600$	0,79	1,24	1,58	1,80	1,91	1,96	1,98
$d_1=700$	0,57	1,00	1,41	1,70	1,86	1,94	1,97
$d_1=800$	0,41	0,80	1,24	1,58	1,8	1,91	1,96
$d_1=900$	0,29	0,63	1,06	1,45	1,73	1,87	1,94

Şekil 4.12.'de farklı hedef/istenen hız yani QoS ister değerleri için kesinti olasılığı performansları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre senaryoların bazılarında kullanıcılar için kesinti olasılığı 1 olarak görünmektedir. Bu durum tahsis edilen güç katsayısı ile QoS isterlerin karşılayamamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle güç katsayılarının QoS isterlerine uygun olacak şekilde seçilmesi son derece önemlidir. Ayrıca, ister değerleri arttıkça her kullanıcının kendi içinde kesinti olasılığı artmaktadır. Örneğin, 30 dBm'de U_S kullanıcısının ister değeri 0,5 ve 1 iken kesinti olasılığı değerleri sırasıyla $5,2 \times 10^{-4}$ ve 10×10^{-4} 'tür. Aynı durum U_F kullanıcısı için de geçerli olup yine 30 dBm'de ister değerleri 0,5 ve 1 iken kesinti olasılığı değerleri sırasıyla $2,5 \times 10^{-5}$ ve $6,5 \times 10^{-5}$ 'tir.



Şekil 4.12. Kesinti olasılığı, $d_1=300\text{m}$, $d_2=500\text{m}$, $R=0,5$, $R=1$

Şekil 4.13.'de kullanıcılar için QoS isterleri $R=0,5$ BPCU ve $R=1$ BPCU olacak şekilde seçilerek kesinti olasılığı performansı gösterilmiştir. 300 ve 500m'ye konumlandırılmış U_F ve U_S kullanıcılardan yakın kullanıcının uzak kullanıcıya göre kesinti olasılığı performansının daha iyi olduğu açıkça gözükmemektedir. Örneğin, 20 dBm'de $R=0,5$ BPCU iken U_F ve U_S kullanıcısının kesinti olasılığı değerleri sırasıyla $2,2 \times 10^{-4}$ ve 5×10^{-3} 'tür. $R=1$ BPCU iken U_F ve U_S kullanıcısının kesinti olasılığı değerleri sırasıyla $6,4 \times 10^{-4}$ ve 10×10^{-3} 'dir. Bu durumda yakın kullanıcıda uzak kullanıcıya ait QoS isterlerinin sağlanamaması nedeniyle SIC sonrasında yakın kullanıcı da kesintiye uğramaktadır.



Şekil 4.13. Kesinti olasılığı, $d_1=300\text{m}$, $d_2=500\text{m}$, $R=0,5$, $R=1$, $R=3$

4.3.4. Sonuç

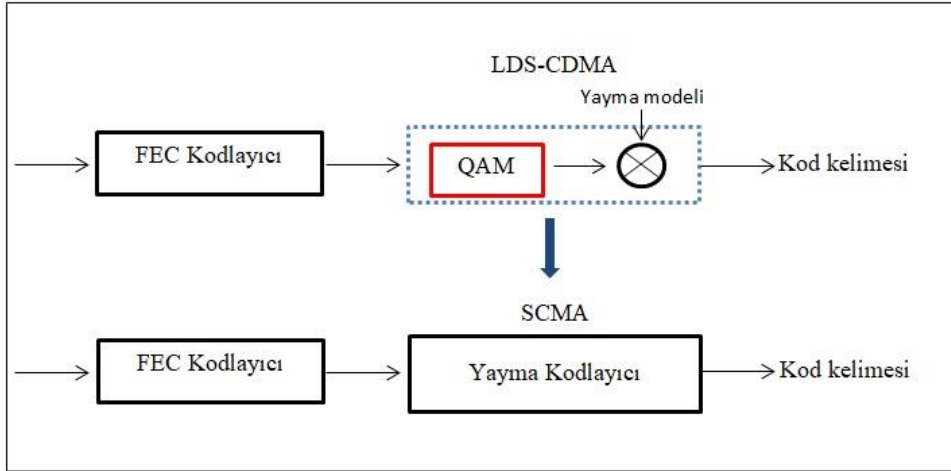
İki kullanıcıli aşağı-hat MIMO PD-NOMA sistemi için aynı anda hem verici hem de alıcı tarafta anten seçimi yapılmasına bağlı BER, ulaşılabilir kapasite ve kesinti olasılığı performansları incelenmiştir. Burada literatürde yer edinmiş max-max-max ve max-min-max AS algoritmaları kullanılmıştır. Maksimum kanal katsayısına göre seçim yapan bu algoritmalar için kullanıcının uzaklığı da kanal katsayısı kadar öneme sahiptir. BS'ye göre yakında olan kullanıcıların kanal katsayısı daha iyi iken uzakta olan kullanıcı için durum tam tersidir. Bu durumda baz istasyonuna yakın olan kullanıcının uzak olan kullanıcıya göre BER performansının daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir. Baz istasyonuna olan mesafe azaldıkça BER değerlerinde iyileşme, kapasitede artış ve kesinti olasılığında düşüş gerçekleşmiştir. Ayrıca kullanıcıların kanal katsayısı, onlara tahsis edilecek güç katsayısını belirlemede rol oynamaktadır. Kanal katsayısı yüksek olana düşük güç, düşük olana yüksek güç tahsis edilmektedir. Baz istasyonuna uzak olan kullanıcının kanal katsayısı daha kötü olacağından bu kullanıcıya diğer kullanıcıdan az olmamak koşuluyla farklı değerlerde güç tahsis edildiğinde BER performansının güç katsayısındaki artışa göre olumlu yönde etkilendiği ortaya konulmuştur.

5. SEYREK KOD ÇOKLU ERİŞİM

5G'nin gereksinimlerini karşılamak için 2013 yılında ortogonal olmayan kod kitabı tabanlı seyrek kod çoklu erişim (sparse code multiple Access-SCMA) tekniği önerilmiştir. SCMA, alıcıda düşük karmaşıklığa sahip LDS-CDMA'in geliştirilmiş bir versiyonu olup büyük bağlantı, düşük gecikme süresi ve yüksek verimde performans sağlar [38]. SCMA'de, gelen bitler önceden tanımlanmış kod kitabı kümelerinden seçilen çok boyutlu karmaşık kod sözcüklerine doğrudan eşlenir ve birlikte iletilen yayılmış veriler, üst üste bindirilmiş katmanlar üzerinde taşınır.

LDS'de, gelen bitler bir QAM sembolüne eşlenmekte ve QAM sembolünün tekrarları, tasarlanan modele göre alt taşıyıcılar aracılığıyla iletilir. Tekrar kodlaması, geniş bir SNR aralığı için arzu edilen spektral verimliliği sağlayamaz. Bu sorunun üstesinden gelmek için, Şekil 5.1.'de gösterildiği gibi SCMA'de QAM eşleme ve seyrek yayılma işlemleri, gelen bitleri doğrudan önceden tanımlanmış kod kitabından seçilen çok boyutlu karmaşık kod sözcükleri olarak adlandırılan karmaşık seyrek vektöre eşlemek için birleştirilir. Bu SCMA'in seyrek dizilerin basit tekrar kodlamasının aksine, çok boyutlu takımyıldızların şekillendirme kazancından faydalanmasını sağlar. Kod kitaplarının çok boyutlu şekillendirme kazancının, verimliliği önemli ölçüde artırma, aşırı yükleme ve orta düzeyde algılama karmaşıklığı açısından faydaları vardır [77]. Ayrıca çok boyutlu takımyıldızı tasarımı avantajıyla SCMA, diğer NOMA çeşitleri özellikle PDMA ile kıyaslandığında çok daha iyi performansa sahiptir [78].

SCMA'in alıcı tarafında, sinyali algılamak için MPA kullanılır. Alınan sinyalin haritası çıkarılır ve ardından SCMA kod çözme işlemi gerçekleştirilir [18]. Kod sözcüklerinin seyrekliği, MPA aracılığıyla optimuma yakın algılamayı mümkün kılar.



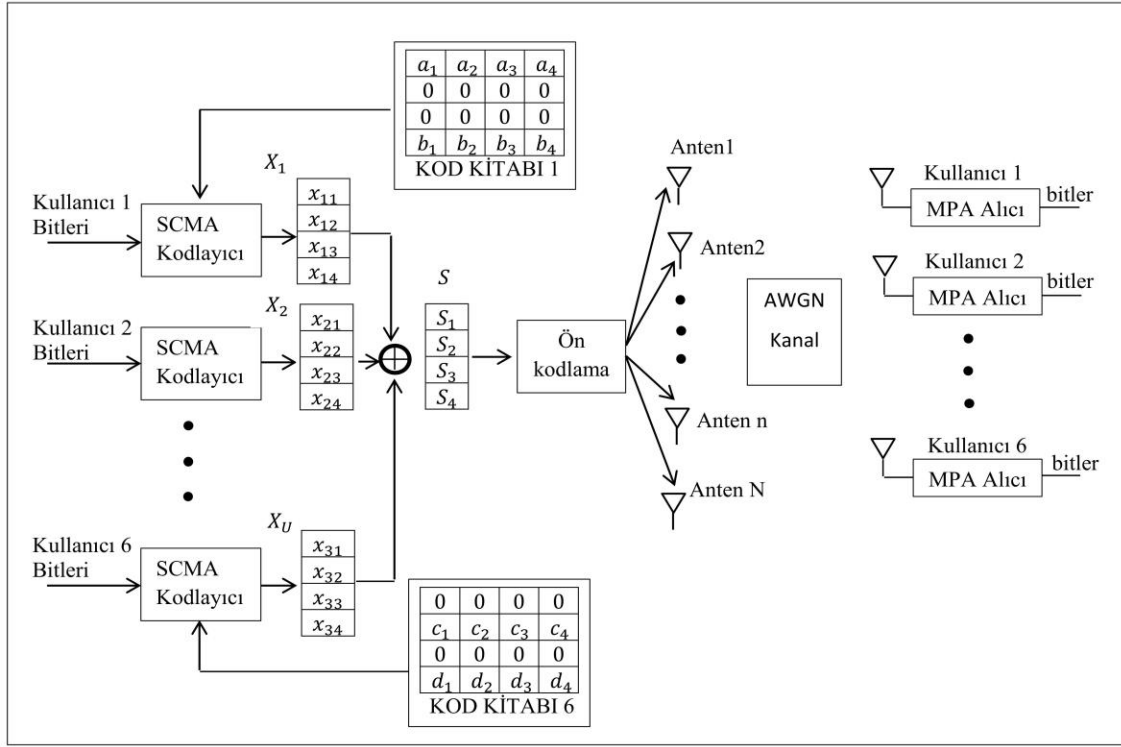
Şekil 5.1. SCMA’de yayma

5.1. Sistem Modeli

SCMA, seyrek bir kodlama üzerinde çalışan bir tekniktir. M bit uzunluğunda gelen veri akışı, $m = \log_2 M$ uzunluğunda belirli sayıda bloğa bölünür. Şekil 5.2.’de gösterildiği gibi verici tarafında her blok, önceden tanımlanmış çok boyutlu SCMA kod kitabı setinden seçilen L -uzunlukta kod kelimesine eşlenir [19]. Seyrek yapıdan dolayı her kod sözcüğünde sıfır ve sıfır olmayan öğeler bulunur. Toplam sıfır olmayan öğe Z_N ise $L - Z_N$ adet sıfır öğe vardır. Kod kitabındaki tüm kod sözcükleri aynı sayıda sıfır ve sıfır olmayan öğe içerir. Kullanıcı çiftleri arasındaki paraziti önlemek için farklı kod kitabındaki sıfırın konumu farklıdır. Her U kullanıcısının benzersiz bir kod kitabı vardır. Kod kitaplarının sayısı, kullanıcı sayısına eşittir.

Toplam kullanılabilir kaynak (alt taşıyıcı) sayısı K ve her kullanıcı tarafından kullanılan toplam alt taşıyıcı sayısı N ise, tüm kullanılabilir kaynakları paylaşabilecek kullanıcı sayısı $\binom{K}{N}$ ’dir.

SCMA tekniğinin en önemli özelliklerinden biri de aşırı yüklemeyi desteklemesidir. Her blok K kaynak işgal ettiğinden aşırı yükleme faktörü U kullanıcı sayısı ile orantılı olup $\lambda = \frac{U}{K}$ ’dir.



Şekil 5.2. Aşağı-hat MIMO-SCMA sistem blok diyagramı

U kullanıcı ve K kaynak elemanı içeren bir aşağı-hat SCMA sistemi için, gönderilen X_u sembolü ve alınan Y sembolü

$$X_u = [x_{u1}, \dots, x_{uk}, \dots, x_{uK}]^T \quad (5.1)$$

$$Y = \sum_{u=1}^U \text{diag}(H_u) X_u + W \quad (5.2)$$

olarak verilmektedir.

Burada $H_u = [h_{u1}, \dots, h_{uk}, \dots, h_{uK}]^T$ u . kullanıcı kanal kazancını, $W = [w_1, \dots, w_k, \dots, w_K]^T$ bağımsız ve özdeş olarak dağılmış Gauss gürültülerini, $\text{diag}(\cdot)$ ise köşegen matrisi temsil etmektedir.

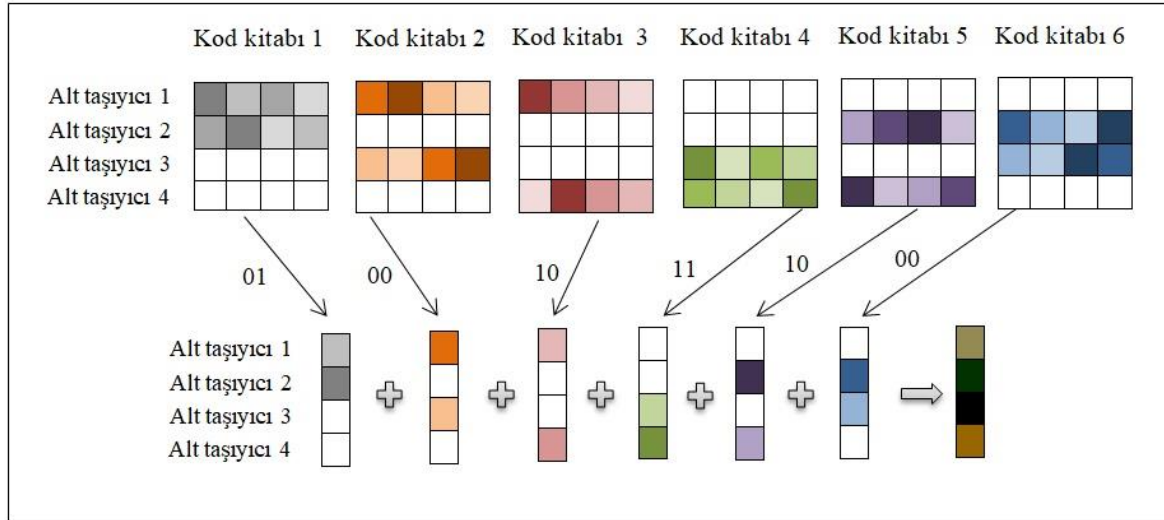
Haritalama matrisi a , alıcıya gönderilen kullanıcı bilgisi bitlerinin hangi alt taşıyıcılarda iletilildiğini göstermek için kullanılır. Alt taşıyıcı ile kullanıcı arasındaki ilişkiyi temsil eden bu matris, kullanıcı sayısı kadar sütun ve kaynak sayısı kadar satır içerir.

Literatürde en sık kullanılan haritalama matrisi aşağıdaki gibidir.

$$a = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

5.2. SCMA Kod Kitabı Tasarımı

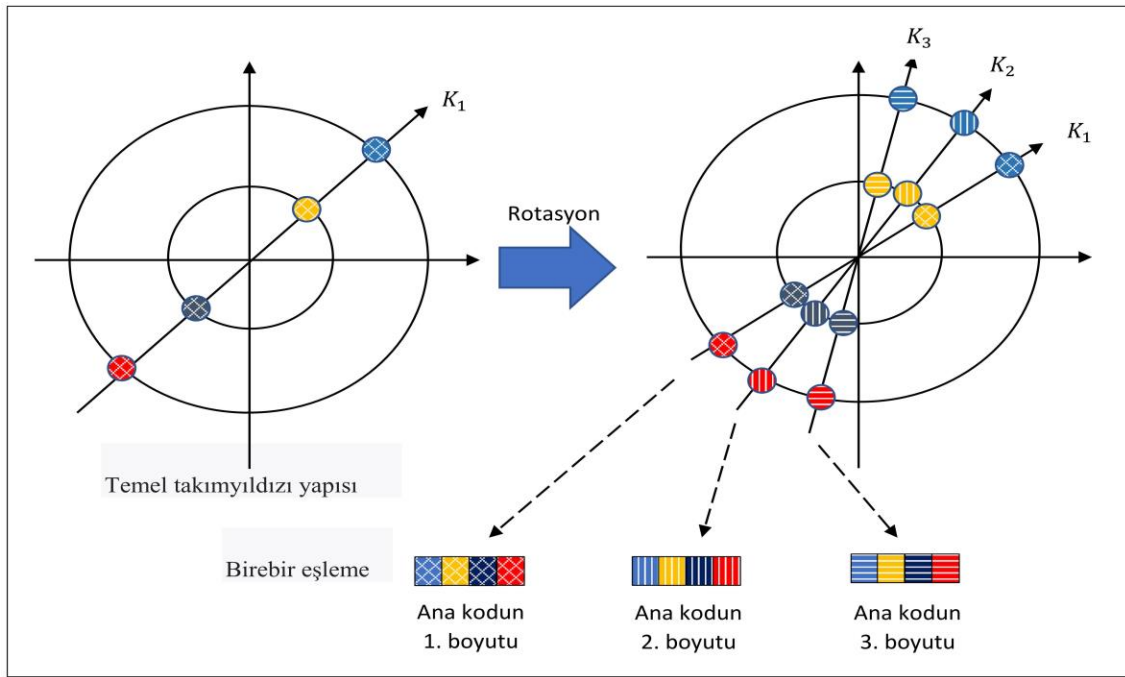
SCMA kodlamasında, kullanıcı sembollerini tahsis edilen kaynaklara yaymak için kod kitapları kullanılır ve bu kod kitapları kod çözmede birden fazla kullanıcının aynı anda tespit edilmesine yardımcı olur [79]. Şekil 5.3., 6 katmanlı kod kitabını ve 4 alt taşıyıcı içeren bir SCMA kodlayıcı örneğini göstermektedir. Her satır bir boyutu belirtir ve her sütun 4 boyutlu bir kod sözcüğü anlamına gelir. Her kod kitabında takımyıldız boyutu 4'tür, yani 4 farklı kod sözcüğü seçilebilmektedir. Beyaz girişler, kod kitaplarındaki sıfır öğelerini ve renkli girişler, sıfır olmayan öğeleri belirtmektedir. Her kod kitabında, sıfır olmayan 2 boyut vardır. Farklı kod kitaplarında, kullanıcıları ayırt etmek için sıfırların konumları farklıdır.



Şekil 5.3. SCMA kodlayıcı

Her kullanıcı için veri akışı, benzersiz bir kod sözcüğü ile karşılık gelen iki alt taşıyıcıya eşlenir. Böylece, 6 kullanıcının veri akışı, karşılık gelen kod sözcüklerinin üst üste bindirilmesinin ardından 4 alt taşıyıcıya iletilir. LDS-CDMA'den farklı olarak, çok boyutlu takımyıldızları kod kitapları oluşturmak üzere tasarlanır ve bu da önemli bir şekillendirme

kazancı sağlar. Burada şekillendirme kazancı, takımyıldızın şekli değiştiğinde ortalama sembol enerjisindeki artışı ifade eder. Örnek takımyıldızı şekil değişimi (rotasyonu) Şekil 5.4.'te gösterilmektedir. Genel olarak, takımyıldızın şekli küresel yüzeye yaklaştığında, şekillendirme kazancı artar. Çok boyutlu bir takımyıldızını optimize ederek elde edilen maksimum şekillendirme kazancı 1.53 dB'dir. Yüksek boyutlu modülasyonun kademeli yöntemini optimize ederek ve çok boyutlu takımyıldıza dayalı kod kitabı tasarımları oluşturarak şekillendirme kazancını arttırmak mümkündür [69].



Şekil 5.4. Takımyıldızı rotasyonu

Kod kitabı tasarımı, SCMA kodlayıcıdaki en önemli kısımdır. Hedef, büyük minimum Öklid mesafesini korurken, takımyıldızın boyutsal bağımlılığı ve güç değişimi ile çok boyutlu bir kafes takımyıldızı tasarlamaktır. Genellikle, SCMA kodunu tasarlamak için 3 aşama vardır.

Haritalama matrisi oluşturma: MPA algılamanın karmaşıklığını temsil eden her bir alt taşıyıcıda girişim yapan katmanların sayısını belirler.

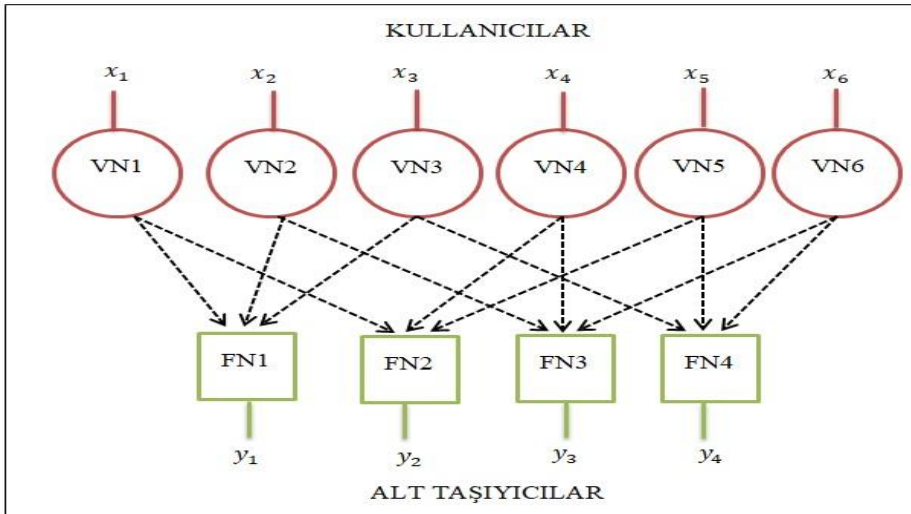
2) Takımyıldız noktaları ve çok boyutlu ana takımyıldız tasarımı: İlk olarak, maksimize edilmiş minimum Öklid mesafesine sahip bir temel takımyıldızı tasarlanır. İkincisi, boyutsal bağımlılığı ve güç değişimini kontrol etmek için takımyıldızın minimum çarpım mesafesini en üst düzeye çıkarmak için tasarlanabilen üniter bir dönüş, temel takımyıldıza uygulanır.

Üçüncüsü, karışık takımyıldızı, döndürülmüş temel takımyıldızı kullanarak oluşturulur. Son olarak, yansıtma noktalarını en aza indirmek için döndürme işlemi yapılır.

Karmaşık eşlenik, faz dönüşü ve boyutsal permütasyon gibi çeşitli operatörleri içeren takımyıldızı işlev operatörü, çarpışma katmanları için farklı kod kitapları tasarlamayı amaçlar [16].

5.2.1. Grafik matrisi

SCMA sistemindeki kod kitapları seti, faktör grafik matrisi adı verilen bir ikili model matrisi kullanılarak temsil edilir. Bu adlandırma, SCMA kod çözme işleminin çok kullanıcılı algılama için MPA kullanması ve bu algoritmanın da faktör grafiği tabanlı bir yaklaşım kullanması gerçeğinden kaynaklanır. Faktör grafiği matrisindeki iki temel unsur, kaynak başına müdahale eden kullanıcı sayısı (df ile gösterilmektedir) ve kullanıcı başına tahsis edilen kaynak sayısıdır (dv ile gösterilmektedir). Kullanıcı sayısının kaynak sayısına oranı ($\frac{U}{K} \times \%100$) bir SCMA sisteminin yükleme faktörü olarak adlandırılır. SCMA için yaygın bir örnek, %150'lik bir yükleme faktörüne karşılık gelen $dv = 2$ ve $df = 3$ ile 6 kullanıcı tarafından paylaşılan 4 kaynaktan oluşur [76]. Bu yapı Şekil 5.5.'te verilmiştir. Yapıda VN değişken düğüm iken FN fonksiyon düğümü temsil etmektedir.



Şekil 5.5. SCMA kod çözücünün faktör grafiği gösterimi

Farklı kullanıcıların ve alt taşıyıcıların kaynak işgalini belirtmek için genellikle haritalama matrisi kullanılır. Örneğin, Eş. 5.4.'te verilen F haritalama matrisi 6 kullanıcı ve 4 alt taşıyıcılı bir SCMA sisteminin kaynak tahsisini göstermektedir [80]. F matrisinin her bir sütunu, bir kullanıcının kaynak tahsisini göstermekte olup sütunlara bakıldığında 2 adet 1 bulunmaktadır. Yani kullanıcılara 2 adet kaynak tahsisi yapılmıştır. Ayrıca bu matrisin her bir satırına bakıldığında 3 adet 1 vardır. Bu da kullanıcı verilerinin çakışmasını önleyici niteliktedir.

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Örnek olarak verilmiş Eş. 5.4.'teki F matrisi, Şekil 5.4.'te yer alan eşlemenin matematiksel ifadesidir.

5.3. SCMA Çok Kullanıcı Sezimi

SCMA alıcı tarafta SIC yerine meydana gelen girişimi ortadan kaldırmak için MPA algılama kullanılır. Kod çözme işlemi VN'ler ve FN'ler arasında kod sözcüğü olabilirlik mesajları alışverişi olarak tanımlanabilen MPA, optimuma yakın bir performansa sahip faktör grafiği tabanlı yinelemeli bir dedektördür [81].

Şekil 5.4., 6 kullanıcının dört kaynak üzerinden veri ilettiği kod çözücünün faktör grafiği gösterimini vermektedir. Bu durum dikkate alındığında, her kullanıcı tarafından seçilebilecek dört olası kod sözcüğü olduğundan, her bir fiziksel kaynak eklenen kod sözcüklerinin 64 olası kombinasyonunu alabilmektedir. MPA algoritması, beklenen değerlerin ve alınan değerlerin Öklid mesafesini kullanarak her bir kaynağa alınan tüm birleşik ek kod sözcüklerini (i, j, k) alma olasılığını hesaplayarak başlamaktadır.

$$d_{FN4}(i, j, k, H) = \|y_4 - (h_6 x_6(i) + h_5 x_5(j) + h_3 x_3(k))\| \quad (5.5)$$

$$d_{FN\alpha} = \|y_\alpha - \sum h_l x_l(n)\| \quad (5.6)$$

Burada $l \in \{\text{bağlı kullanıcılar}\}$ ve $n \in \{i, j, k\}$ 'dir.

Gauss gürültüsü varsayıldığında, bu mesafeler üstel fonksiyonlar kullanılarak olasılık olarak ifade edilir. Mesafe küçük olduğunda i, j, k 'a karşılık gelen kod sözcüklerinin ω olasılığı yüksektir.

$$\omega(d_l(i, j, k)) = \exp\left(-\frac{1}{N_o} d_{FN\alpha}^2\right) \quad (5.7)$$

Bu olasılıkları hesapladıktan sonra yinelemeli mesaj geçişi, VN'ler ve FN'ler arasında olası iletilen kod sözcüğüne ilişkin olasılıkları değiş tokuş etmeye başlayacaktır. FN'den VN'ye gönderilen her mesaj, FN'ye bağlı diğer düğümler tarafından alınan tüm olasılıklardan oluşmakta ve Eş. 5.18 gibi yazılabilmektedir.

$$\varphi_{FN4 \rightarrow VN3}(i) = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 \omega(d_3(i, j, k)) \times \varphi_{VN5 \rightarrow FN4}(j) \times \varphi_{VN6 \rightarrow FN4}(k) \quad (5.8)$$

Her kullanıcıya bağlı yalnızca iki kaynak olduğundan, her kullanıcıda (VN) normalleştirilmiş bir olasılık (mesaj) değiş tokuşu gerçekleşir [82].

$$\varphi_{VN6 \rightarrow FN4}(i) = \frac{\varphi_{FN3 \rightarrow VN6}(i)}{\sum \varphi_{FN3 \rightarrow VN6}(i)} \quad (5.9)$$

Eş. 5.10, her VN düğümü için o düğüme gelen tüm mesajların çarpılmasıyla hesaplanan nihai olasılığı $B_j(i)$ göstermektedir. Son adımda (Eş. 5.11), her bit b_x için bir log-olabilirlik oranı hesaplanır.

$$B_6(i) = \varphi_{FN3 \rightarrow VN6}(i) \times \varphi_{FN4 \rightarrow VN6}(i) \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} LLR_x &= \log \frac{\text{Prob}(b_x=0)}{\text{Prob}(b_x=1)} \\ &= \log \frac{\sum B_m(i)_{b_x=0}}{\sum B_m(i)_{b_x=1}} \end{aligned} \quad (5.11)$$

5.4. Anten Seçim Algoritmaları

Spektrum verimliliğini artırmak için SCMA, MIMO sistemlerle birleştirilir. MIMO sistemlerin anten sayısının artması ile oluşan istenmeyen maliyet, güç tüketimi ve karmaşıklık için anten seçim algoritmaları uygulanır. [30]'da önerilen Max-max-max ve

max-min-max anten seçim algoritmaları, iki kullanıcı PD-NOMA için uygulanmış ve kapasiteyi arttırdığı Bölüm 4'te gösterilmiştir. Sağladığı kapasiteden motive olarak bu algoritmalar daha fazla kullanıcı sistem için geliştirilmiş ve MIMO-SCMA sistemine uygulanmıştır. Bu algoritmalara ek olarak optimum anten seçim algoritmasına da yer verilmiştir.

5.4.1. Kapasite analizi

SCMA sistemi için, R_T toplam hız aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [80].

$$R_T = \sum_{u=1}^U R_u \leq I(Y; X_1, \dots, X_u, \dots, X_U | H_1, \dots, H_u, \dots, H_U) \quad (5.12)$$

R_u , u . kullanıcının iletim hızını ve I karşılıklı bilgi fonksiyonunu temsil etmektedir. Aynı anda örneklenen iki rasgele değişken arasındaki ilişkiyi belirten karşılıklı bilgi fonksiyonu, bir rasgele değişkende diğeri hakkında ortalama olarak ne kadar bilginin iletildiğini ölçmektedir.

Bilgi teorisine göre, X ve Y rasgele vektörlerinin karşılıklı bilgi ifadesi Eş. 5.13'deki gibi verilebilmektedir.

$$I(Y; X) = \mathbb{H}(Y) - \mathbb{H}(Y|X) \quad (5.13)$$

$$X = (X_1, \dots, X_u, \dots, X_U) \quad (5.14)$$

$$H = (H_1, \dots, H_u, \dots, H_U) \quad (5.15)$$

R_T , Eş. 5.13, Eş. 5.14 ve Eş. 5.15'e göre tekrar düzenlenirse,

$$R_T \leq I(Y; X|H) = \mathbb{H}(Y|H) - \mathbb{H}(Y|X, H) \quad (5.16)$$

elde edilmektedir.

$$\mathbb{H}(Y|X, H) = K \log_2 \pi e N_o \quad (5.17)$$

$$\begin{aligned}
R_T &\leq I(Y; X|H) = \mathbb{H}(Y|H) - \mathbb{H}(Y|X, H) \\
&= \mathbb{H}(Y|H) - K \log_2 \pi e N_o
\end{aligned} \tag{5.18}$$

Burada $\mathbb{H}(\cdot)$, koşullu diferansiyel entropi fonksiyonu ve N_o , iletilen sembolün gücüdür. R_T toplam hızın üst sınırı sadece kanal modeli tarafından belirlenmez. Aynı zamanda kanal girişi X 'in dağılımından da etkilenir.

$$\mathbb{H}(Y|H) = \log_2((\pi e)^K \det(R_Y)) \tag{5.19}$$

Bilgi teorisinde, kanal kapasitesi maksimize edilmiş ortalama ortak bilgi olarak tanımlanmaktadır. Buna göre, kanal kapasitesi C şu şekilde hesaplanabilmektedir:

$$\begin{aligned}
C &= I(Y; X|H) \\
&= \mathbb{H}(Y|H) - \mathbb{H}(Y|X, H) \\
&= \mathbb{H}(Y|H) - K \log_2 \pi e N_o \\
&= \mathbb{E}_H(\mathbb{H}(Y|H)) - K \log_2 \pi e N_o \\
&\leq \mathbb{E}_H(\log_2((\pi e)^K \det(R_Y))) - K \log_2 \pi e N_o
\end{aligned} \tag{5.20}$$

Burada $\mathbb{E}_H(\cdot)$, rasgele bir değişken H 'nin beklenti fonksiyonunu belirtmektedir. $R_Y = \mathbb{E}[YY^*]$, Y 'nin korelasyon matrisidir. Eşitlik ancak ve ancak Y , sıfır ortalamalı karmaşık Gauss dağılımına tabi tutulursa sağlanır.

$$Y = \sum_{u=1}^U \text{diag}(H_u) X_u + W \tag{5.21}$$

$$\begin{aligned}
R_Y &= \mathbb{E}[YY^*] = \sum_{u=1}^U \mathbb{E}[\text{diag}(H_u) X_u X_u^* \text{diag}(H_u)^*] + \mathbb{E}[WW^*] \\
&= \sum_{u=1}^U \text{diag}(H_u) \mathbb{E}[X_u X_u^*] \text{diag}(H_u)^* + \mathbb{E}[WW^*]
\end{aligned} \tag{5.22}$$

Eş. 5.20'deki karşılıklı bilgiyi maksimize etmek için R_Y , Hadamard eşitsizliğine göre bir köşegen matris olmalıdır. Başka bir deyişle, karşılıklı bilgiyi en üst düzeye çıkarmak için her kullanıcıdan gelen farklı boyutlardaki sembollerin çapraz korelasyonu sıfır olmalıdır. Buna göre kanal kapasitesi Eş. 5.23'teki gibi yazılır [80].

$$\begin{aligned}
C &= \mathbb{E}_H (\log_2((\pi e)^K \det(R_Y))) - K \log_2 \pi e N_o \\
&= \mathbb{E}_H (\log_2(\prod_{j=1}^K (\mathbb{E}(z_j z_j^*) + \sum_{i=1}^U \mathbb{E}(|x_{i,j} \cdot h_{i,j}|^2)))) \\
&= \mathbb{E}_H (\log_2(\prod_{j=1}^K (1 + \sum_{i=1}^U |h_{i,j}|^2))) \tag{5.23}
\end{aligned}$$

5.4.2. Optimum anten seçim algoritması

Kanal kapasitesi değerlerine göre seçim yapan optimum anten seçim algoritmasının gerçekleşme adımları aşağıdaki gibidir [42]:

Adım-1: Her bir verici ve alıcı anten/antenler arasındaki kanal kapasitesi hesaplanarak maksimum değeri veren anten/antenler verici anten olarak belirlenir.

Adım-2: Her verici anten MIMO sistemden dolayı birden fazla alıcı anten ile eşlendiğinden seçilen verici anten/antenler için en ideal alıcı anten norm hesabı ile belirlenir. Yeni pilot çerçeveye kadar seçilen bu antenler ile iletim gerçekleşir.

Adım-3: Gereken hesaplamalar yapılır ve daha sonra yukarıdaki adımlar her bir SNR değeri için tekrar edilir.

5.4.3. Max-max-max anten seçim algoritması

Kanal katsayısına göre seçilecek anteni/antenleri belirleyen max-max-max anten seçim algoritmasının temel amacı kapasiteyi arttırmaktır. Bunun için algorithmada kullanıcı kanalları karşılaştırılarak maksimum değere sahip kullanıcının anteni belirlenir. Bu kullanıcı ile dizi oluşturan diğer kullanıcıların kanal değerlerini veren indeksler yardımıyla diğer kullanıcı antenleri seçilir. Daha sonra istenilen hesaplamalar yapılır. Aşağıda çok kullanıcı için adımları yer alan max-max-max anten seçim algoritması Çizelge 5.1.'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Adım-1: Kullanıcıların her bir anteni ile baz istasyonunun her bir anteni arasındaki kanal katsayıları hesaplanır ve kullanıcı kanal matrisleri h^u elde edilir.

$$h^u = [h_{11}^u \cdots h_{1L}^u; \cdots; h_{n1}^u \cdots h_{nL}^u; \cdots; h_{N1}^u \cdots h_{NL}^u], \quad u \in \{1, U\} \tag{5.24}$$

burada U kullanıcı sayısıdır. L ve N sırasıyla kullanıcı ve BS anten sayısıdır.

Adım-2: Elde edilen matrislerin her satırında maksimum değeri veren kanal katsayıları belirlenir ve ρ matrisi oluşturulur.

$$h_n^{u^{max}} = \max(h_{n1}^u, \dots, h_{nL}^u), \quad n \in \{1, N\} \quad (5.25)$$

$$\rho = [(h_1^{1^{max}}, \dots, h_1^{U^{max}}); (h_2^{1^{max}}, \dots, h_2^{U^{max}}), \dots; (h_N^{1^{max}}, \dots, h_N^{U^{max}})] \quad (5.26)$$

Adım-3: ρ matrisinin her satırının maksimum değeri bulunarak bu değerlerle τ dizisi oluşturulur.

$$\tau = \{\max(h_1^{1^{max}}, \dots, h_1^{U^{max}}), \max(h_2^{1^{max}}, \dots, h_2^{U^{max}}), \dots, \max(h_N^{1^{max}}, \dots, h_N^{U^{max}})\} \quad (5.27)$$

Adım-4: τ dizisinin maksimum değerini veren i indisi bulunur.

$$\mu = \max(\tau) \quad (5.28)$$

μ değerini veren τ dizisinin indeksi (i) baz istasyonunun hangi anten ile veri ileteceğini ifade etmektedir. τ_i değeri ρ matrisinde aranmaktadır. ρ matrisinde bulunduğu satırdaki tüm değerler tek tek h^u değerleri arasında taranmakta ve ulaşılan sütunlar kullanıcılar için seçilecek olan antenleri vermektedir.

Çizelge 5.1. Max-max-max anten seçim algoritması (çok kullanıcı için)

Girdi: Kullanıcı sayısı: U BS ve kullanıcı anten sayısı: N, L
Adım 1: Eş. 5.24 ile her bir kullanıcı için h^u matrisi elde edilir. $h^u = [h_{11}^u \dots h_{1L}^u; \dots; h_{n1}^u \dots h_{nL}^u; \dots; h_{N1}^u \dots h_{NL}^u]$
Adım 2: $h_n^{u^{max}} = \max(h_{n1}^u, \dots, h_{nL}^u)$, $\rho = [(h_1^{1^{max}}, \dots, h_1^{U^{max}}); (h_2^{1^{max}}, \dots, h_2^{U^{max}}), \dots; (h_N^{1^{max}}, \dots, h_N^{U^{max}})]$.
Adım 3: $\tau = \{\max(h_1^{1^{max}}, \dots, h_1^{U^{max}}), \dots, \max(h_N^{1^{max}}, \dots, h_N^{U^{max}})\}$.
Adım 4: $\mu = \max(\tau)$, Ara $\rho_i = \mu$, $n_{BS} = i$, Ara $h_{i1}^u = \rho_i(1)$ $n_{u1} = l_1$ $h_{i2}^u = \rho_i(2)$ $n_{u2} = l_2$ $\vdots$ $h_{iU}^u = \rho_i(U)$ $n_{uU} = l_U$
Tekrar $n_{BS}, n_{u1}, n_{u2}, \dots, n_{uU}$.

5.4.4. Max-min-max anten seçim algoritması

Max-min-max anten seçim algoritması, max-max-max AS algoritmasıyla hemen hemen aynı adımlara sahiptir. Farkı üçüncü adımda yer almakta olup max-max-max AS algoritması maksimum değere sahip elemanı seçerken, max-min-max AS algoritması minimum değere sahip elemanı seçmektedir. Aşağıda çok kullanıcı için adımları yer alan max-min-max anten seçim algoritması Çizelge 5.2.'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Adım-1: Kullanıcıların her bir anteni ile baz istasyonunun her bir anteni arasındaki kanal katsayıları hesaplanır ve kullanıcı kanal matrisleri h^u elde edilir.

$$h^u = [h_{11}^u \cdots h_{1L}^u; \cdots; h_{n1}^u \cdots h_{nL}^u; \cdots; h_{N1}^u \cdots h_{NL}^u], \quad u \in \{1, U\} \quad (5.29)$$

burada U kullanıcı sayısıdır. L ve N sırasıyla kullanıcı ve BS anten sayısıdır.

Adım-2: Elde edilen matrislerin her satırında maksimum değeri veren kanal katsayıları belirlenir ve ρ' matrisi oluşturulur.

$$h_n^{u^{max}} = \max (h_{n1}^u, \cdots, h_{nL}^u), \quad n \in \{1, N\} \quad (5.30)$$

$$\rho' = [(h_1^{1^{max}}, \dots, h_1^{U^{max}}); (h_2^{1^{max}}, \dots, h_2^{U^{max}}), \dots; (h_N^{1^{max}}, \dots, h_N^{U^{max}})] \quad (5.31)$$

Adım-3: ρ' matrisinin her satırının minimum değeri bulunarak bu değerlerle τ' dizisi oluşturulur.

$$\tau' = \{\min(h_1^{1^{max}}, \dots, h_1^{U^{max}}), \min(h_2^{1^{max}}, \dots, h_2^{U^{max}}), \dots, \min(h_N^{1^{max}}, \dots, h_N^{U^{max}})\} \quad (5.32)$$

Adım-4: τ' dizisinin maksimum değerini veren i indisi bulunur.

$$\mu' = \max(\tau') \quad (5.33)$$

μ' değerini veren τ' dizisinin indeksi (i) baz istasyonunun hangi anten ile veri ileteceğini ifade etmektedir. τ'_i değeri ρ' matrisinde aranmaktadır. ρ' matrisinde bulunduğu satırdaki

tüm değerler tek tek h^u değerleri arasında taranmakta ve ulaşılan sütunlar kullanıcılar için seçilecek olan antenleri vermektedir.

Çizelge 5.2. Max-min-max anten seçim algoritması (çok kullanıcı için)

Girdi: Kullanıcı sayısı: U BS ve kullanıcı anten sayısı: N, L
Adım 1: Eş. 5.29 ile her bir kullanıcı için h^u matrisi elde edilir. $h^u = [h_{11}^u \dots h_{1L}^u; \dots; h_{n1}^u \dots h_{nL}^u; \dots; h_{N1}^u \dots h_{NL}^u]$
Adım 2: $h_n^{u^{max}} = \max(h_{n1}^u, \dots, h_{nL}^u)$, $\rho' = [(h_1^{1^{max}}, \dots, h_1^{U^{max}}); (h_2^{1^{max}}, \dots, h_2^{U^{max}}), \dots; (h_N^{1^{max}}, \dots, h_N^{U^{max}})]$
Adım 3: $\tau' = \{\min(h_1^{1^{max}}, \dots, h_1^{U^{max}}), \dots, \min(h_N^{1^{max}}, \dots, h_N^{U^{max}})\}$
Adım 4: $\mu' = \max(\tau')$, Ara $\rho_i' = \mu'$, $n_{BS} = i$, Ara $h_{i l_1}^1 = \rho_i'(1)$ $n_{U_1} = l_1$ $h_{i l_2}^2 = \rho_i'(2)$ $n_{U_2} = l_2$ $\vdots$ $h_{i l_U}^U = \rho_i'(U)$ $n_{U_U} = l_U$ Tekrar $n_{BS}, n_{U_1}, n_{U_2}, \dots, n_{U_U}$.

5.4.5. Benzetim çalışmaları

Bu bölümde çok kullanıcıli aşağı-hat MIMO-SCMA için geliştiren max-max-max ve max-min-max anten seçim algoritmalarının performansı analiz edilmiştir. Bu AS algoritmalara ek olarak optimum ve rasgele AS algoritması da uygulanmış ve simülasyon için Matlab/Simulink programından yararlanılmıştır. Algoritmalar BER, ergodik kapasite ve kesinti olasılığı analizleri için ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçlarının net olması için Monte Carlo uygulanmıştır. Kanal olarak Rayleigh sönümleme kanal ve gürültü olarak AWGN tercih edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarında aksi belirtilmedikçe kullanılan parametreler Çizelge 5.3.'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Simülasyon parametreleri

Gönderici Anten Sayısı (N_t)	2,4
Alıcı Anten Sayısı (N_r)	2,4
Seçilen Anten Sayısı (N_q)	1,2,3,4
Kullanıcı Sayısı (Kod kitabı katmanı) (V)	6
Kod Uzunluğu (M)	4
Kaynak Sayısı (K)	4
Sinyal Gürültü Oranı (SNR)	$E_b/N_0 + 10 \log \left(\frac{(\log_2 MV)}{K} \right)$
Bit Enerji Gürültü Oranı (E_b/N_0)	0:20 dB

SCMA yönteminin temelini oluşturan kod kitabı tasarımında kod kitaplarının dikgen olması, tekniğin performansı açısından oldukça önemlidir. Tez kapsamında Eş. 5.34'ten Eş. 5.39'a kadar kullanılan kod kitabı matrisleri verilmiştir. Buna göre, tasarlanan sistemde 6 kullanıcı (kod kitabı katmanı), 4 kaynak eleman ve kod dizini uzunluğu olduğu varsayılmış ve her kullanıcıya farklı kod sözcükleri içeren kod kitapları atanmıştır.

Kod kitabı 1=

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,181 - 0,131j & -0,635 - 0,461j & 0,635 + 0,461j & 0,181 + 0,131j \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,785 + 0j & -0,224 + 0j & 0,224 + 0j & -0,785 + 0j \end{bmatrix} \quad (5.34)$$

Kod kitabı 2=

$$\begin{bmatrix} 0,785 + 0j & -0,224 + 0j & 0,224 + 0j & -0,785 + 0j \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,181 - 0,131j & -0,635 - 0,461j & 0,635 + 0,461j & 0,181 + 0,131j \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.35)$$

Kod kitabı 3=

$$\begin{bmatrix} -0,635 + 0,461j & 0,181 - 0,131j & -0,181 + 0,131j & 0,635 - 0,461j \\ 0,139 - 0,175j & 0,487 - 0,615j & -0,487 + 0,615j & -0,139 + 0,175j \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.36)$$

Kod Kitabı 4=

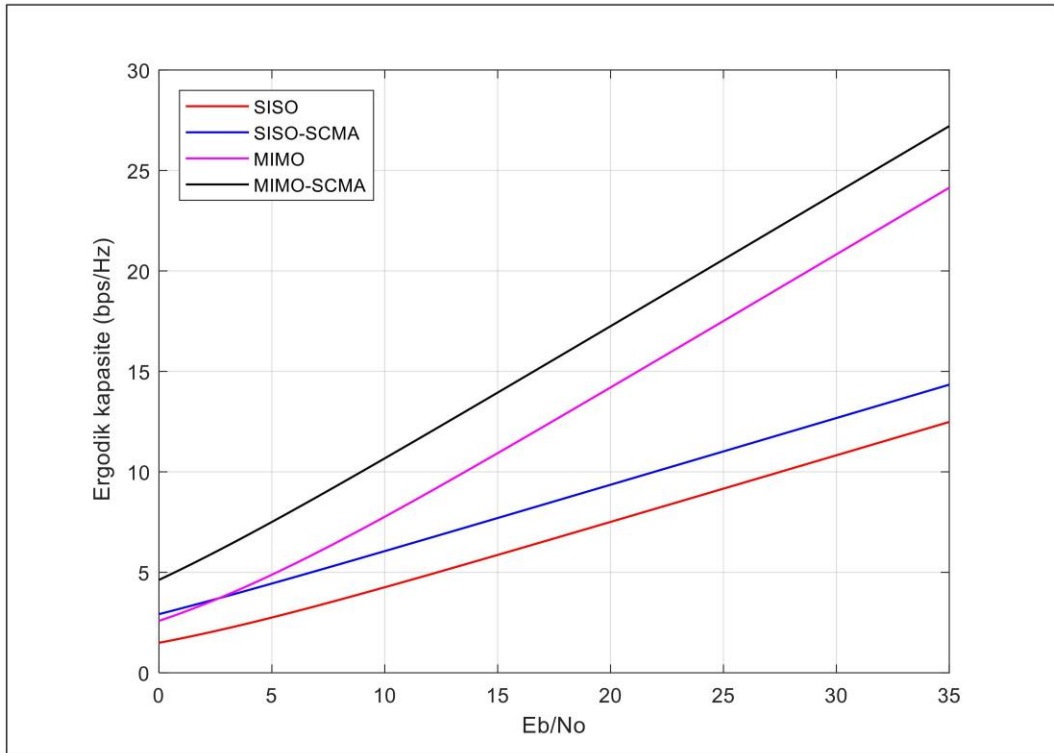
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,785 + 0j & -0,224 + 0j & 0,224 + 0j & -0,785 + 0j \\ -0,005 - 0,224j & -0,01 - 0,784j & 0,01 + 0,78j & 0,005 + 0,224j \end{bmatrix} \quad (5.37)$$

Kod Kitabı 5=

$$\begin{bmatrix} -0,005 - 0,224j & -0,019 - 0,784j & 0,019 + 0,784j & 0,005 + 0,224j \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,635 + 0,461j & 0,181 - 0,131j & -0,181 + 0,131j & 0,635 - 0,461j \end{bmatrix} \quad (5.38)$$

Kod Kitabı 6=

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,785 + 0j & -0,224 + 0j & 0,224 + 0j & -0,785 + 0j \\ 0,139 - 0,175j & 0,487 - 0,615j & -0,487 + 0,615j & -0,139 + 0,175j \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.39)$$

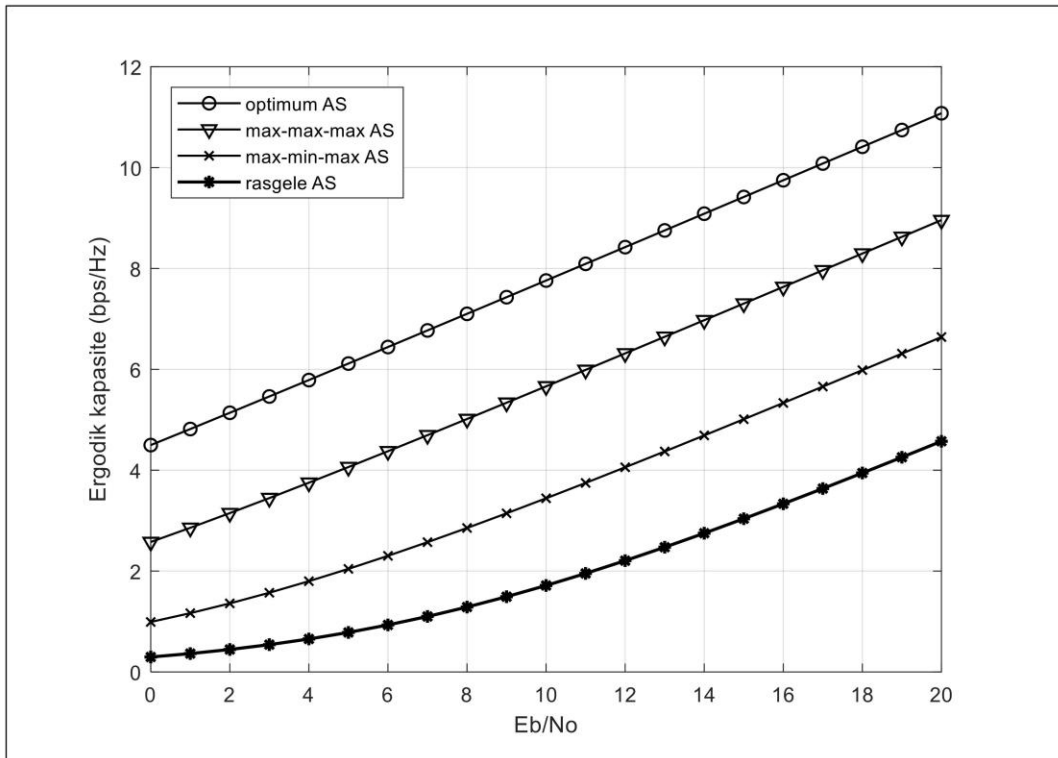


Şekil 5.6. SISO-MIMO sistemlerin ergodik kapasite performansı

SCMA tekniğinin en önemli özelliği, seyrek yapısının sağladığı aşırı yük ile sistem kapasitesini artırmasıdır. MIMO tekniği ile birleştirildiğinde anten sayısından dolayı maliyet, hesaplama karmaşıklığı ve güç tüketimi gibi dezavantajlar anten seçimini gerekli kılrsa da bu iki tekniğin birleştirilmesinin kapasite artışında büyük katkısı vardır. Bunu ortaya çıkarmak için Şekil 5.6.'da belirtilen tek giriş tek çıkış (single input single output-SISO) ve

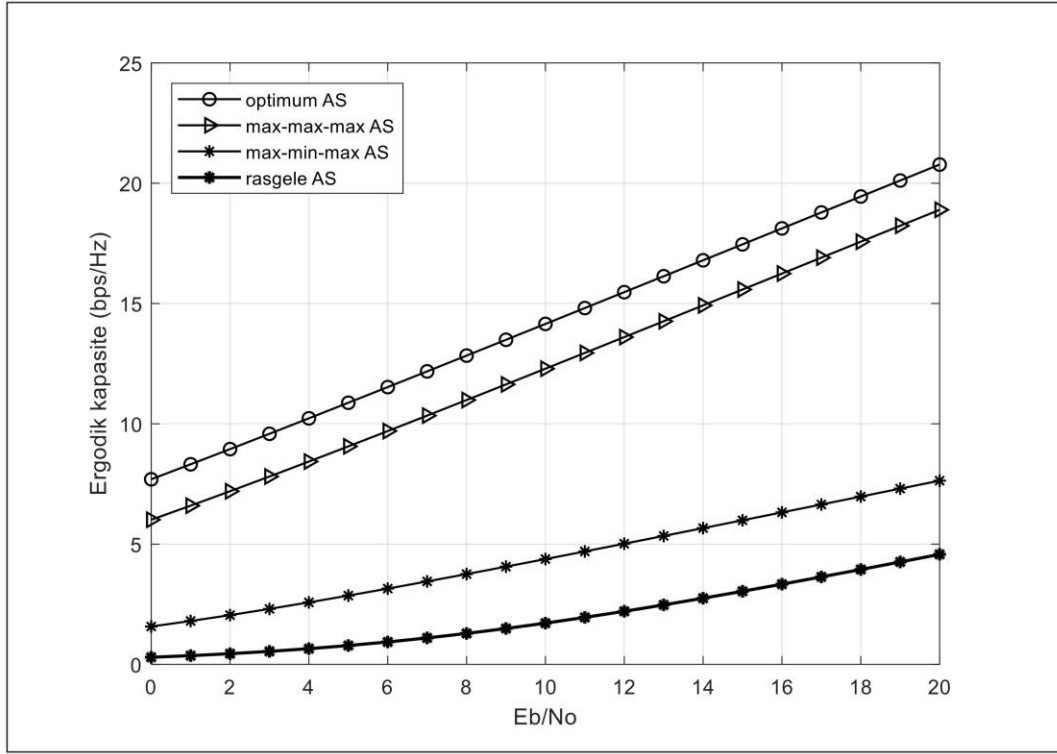
MIMO sistemlerin ve bu sistemlerin SCMA ile kombinasyonunun kapasiteye etkisi gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere kapasite anlamında en iyi sonuca MIMO-SCMA ile ulaşılmaktadır.

6 kullanıcı MIMO-SCMA sistemi için oluşturulan optimum, max-max-max, max-min-max ve rasgele AS algoritmalarının 2x2 ve 4x4 anten sistemi için ergodik kapasite, BER ve kesinti olasılığı performansları incelenmiştir.



Şekil 5.7. Anten seçim algoritmalarının ergodik kapasite performansları, 2x2 $N_q=1$

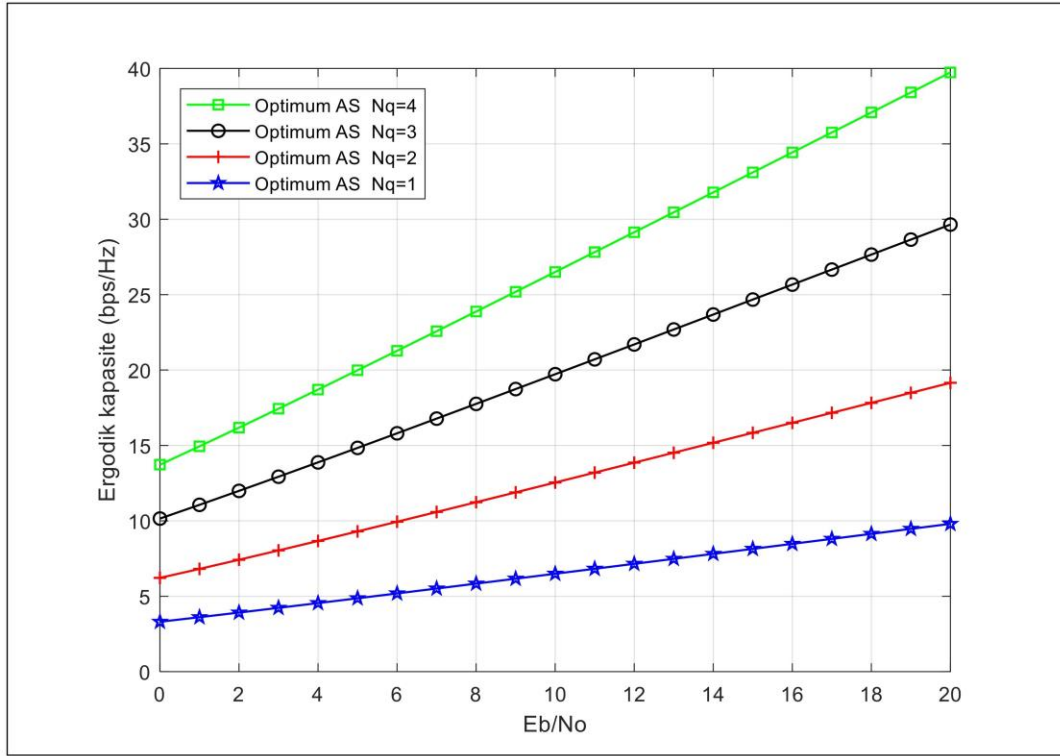
Şekil 5.7.'de 2x2 anten grubundan oluşan MIMO-SCMA sistemde uygulanan anten seçim algoritmalarının kapasite performansları gösterilmektedir. Uygulanan algoritmalarda hem alıcı hem de verici tarafta ayrı ayrı anten seçim işlemi yapılmıştır. $N_q=1$ olacak şekilde, yani verici ve alıcı tarafta birer anten seçildiğinde optimum AS algoritmasının kapasite sonuçları max-max-max algoritmasına göre, max-max-max algoritmasının kapasite sonuçları ise max-min-max algoritmasına göre daha iyi sonuç vermiştir. Buna ek olarak anten seçim algoritmalarının, anten seçimi yapılmayan sisteme göre kapasiteye etkisi belirgin şekilde görülmektedir.



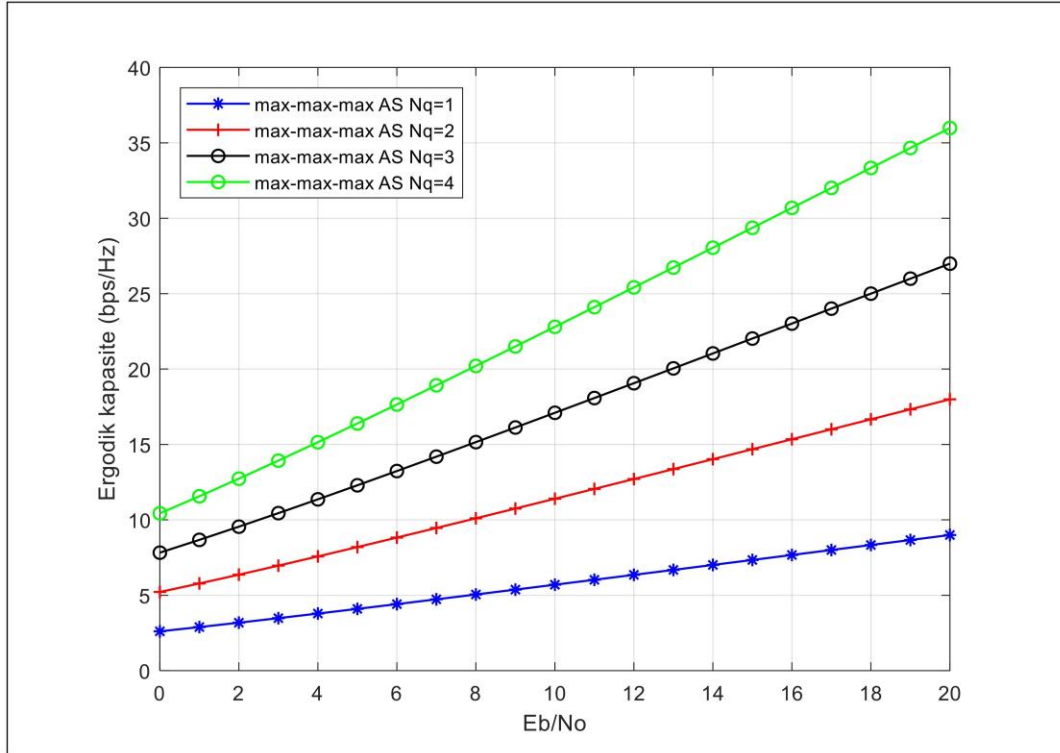
Şekil 5.8. Anten seçim algoritmalarının ergodik kapasite performansları, 2×2 $N_q=2$

Şekil 5.8.'de 2×2 sistemde $N_q=2$ olacak şekilde anten seçildiğinde optimum AS algoritmasının kapasite sonuçları max-max-max algoritmasına göre, max-max-max algoritmasının kapasite sonuçları ise max-min-max algoritmasına göre daha iyi sonuç vermiştir. Yine anten seçim algoritmalarının anten seçimi yapılmayan sistemlere göre kapasiteyi artırmada etkisinin büyük olduğu görülmektedir.

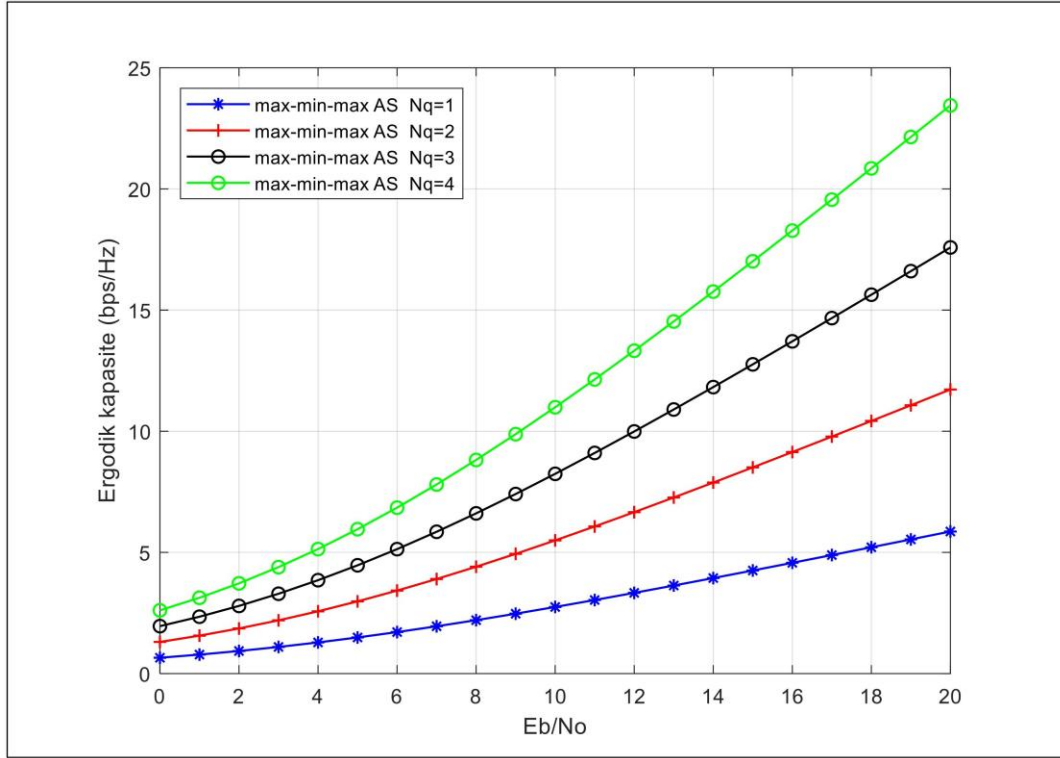
Seçilecek anten sayısının spektral verimlilik üzerinde etkisini incelemek için 4×4 donanımlı sistemde optimum anten seçim algoritmasıyla farklı sayıda antenler seçilmiş ve sonucu Şekil 5.9.'da verilmiştir. Buna göre seçilen anten sayısı arttıkça ergodik kapasitede artış gözlenmektedir. Aynı şekilde max-max-max ve max-min-max AS algoritmalarıyla da farklı sayıda antenler seçilmiş ve katkıları şekiller ile sunulmuştur. Max-max-max anten seçimi ile yapılan benzetim çalışması Şekil 5.10.'da max-min-max algoritmasıyla yapılan Şekil 5.11.'de verilmiştir. Her iki şekilde de anten sayısının artırılmasının kapasiteye önemli ölçüde katkı sağladığı gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Optimum anten seçim algoritması ergodik kapasite performansı



Şekil 5.10. Max-max-max anten seçim algoritması ergodik kapasite performansı

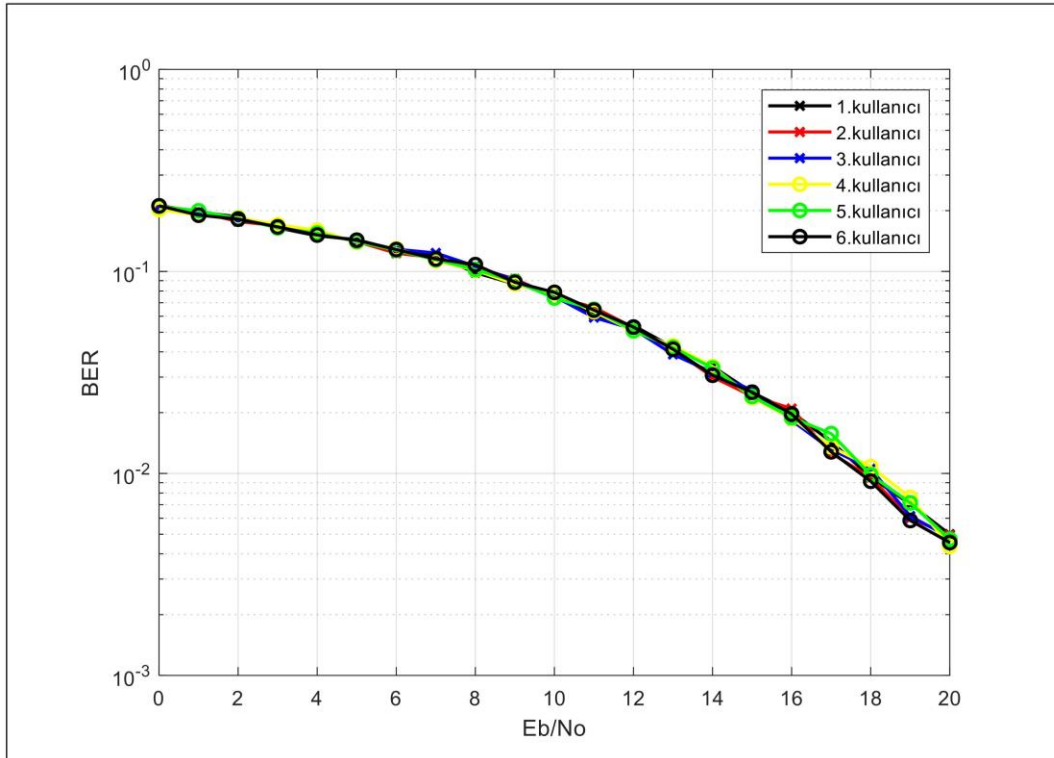


Şekil 5.11. Max -min-max anten seçim algoritması ergodik kapasite performansı

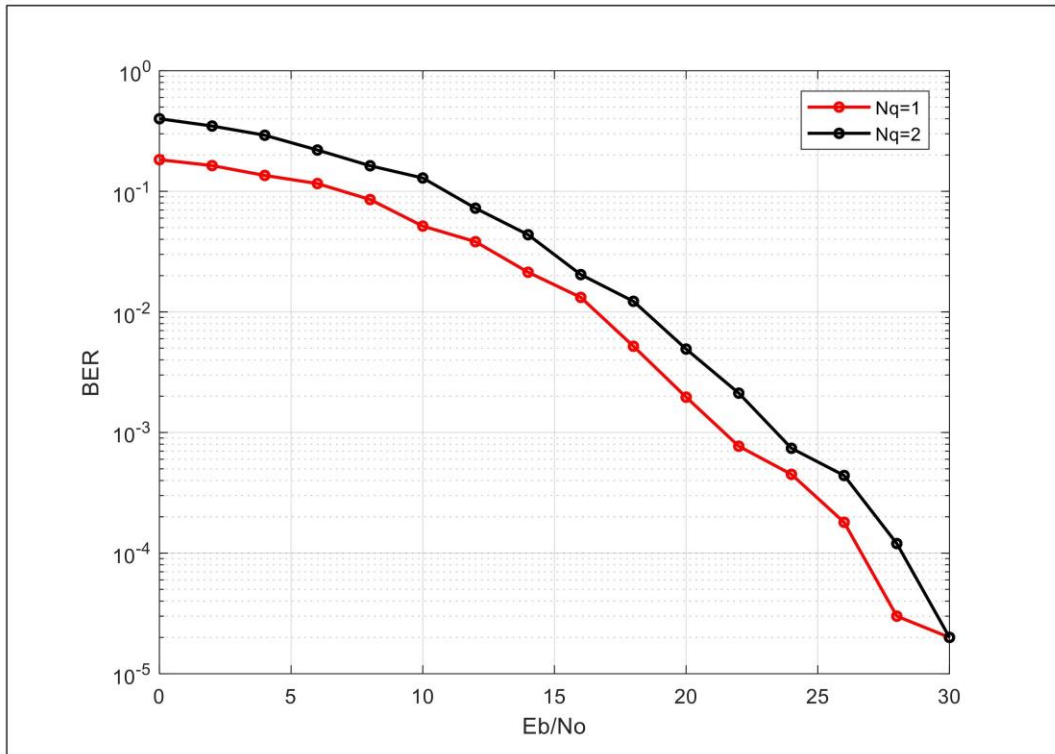
Şekil 5.12.'de 6 kullanıcıdan oluşan 4x4 donanımlı MIMO-SCMA sistemde anten seçimi yapılmadan kullanıcıların BER grafiği verilmiştir. Tüm kullanıcıların BER açısından değerleri yaklaşık olarak aynıdır.

Şekil 5.13. ve Şekil 5.14.'te optimum AS için sırasıyla 2x2 ve 4x4 için BER performansları sunulmuştur. Her iki şekilden de anlaşılacağı üzere seçilen anten sayısı arttıkça BER grafiklerinde hata oranları yükselmektedir.

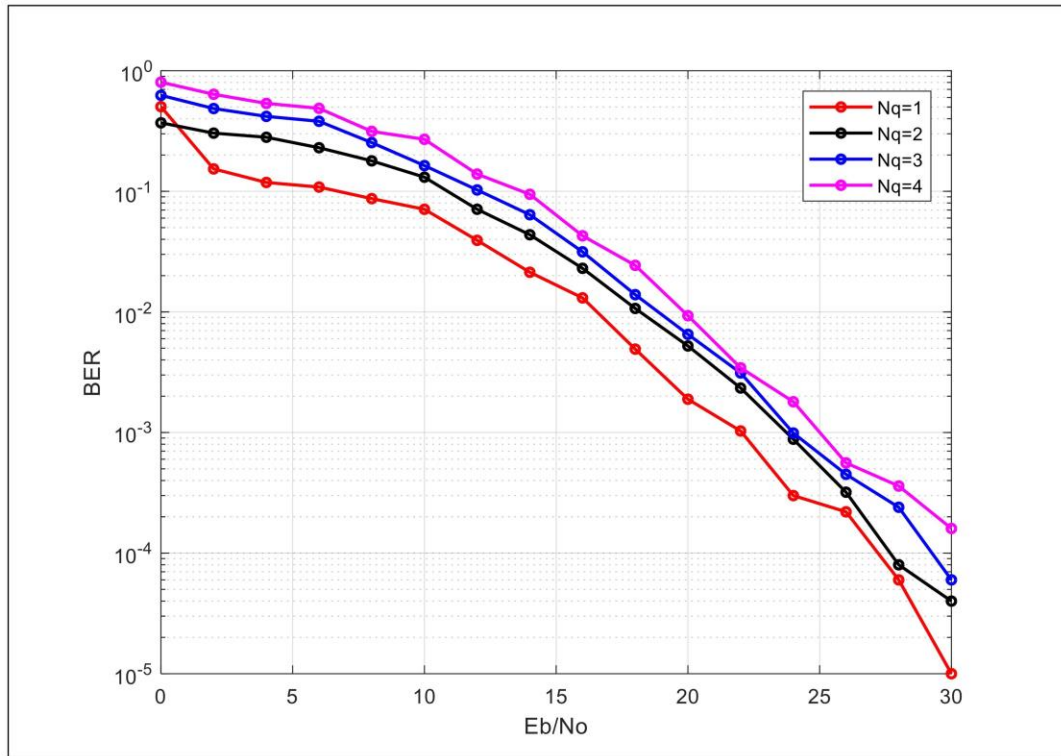
Şekil 5.15. verici ve alıcı tarafta anten sayısı 2 iken max-max-max AS algoritması ile yapılan anten seçimi sonucunda elde edilen BER değerlerini göstermektedir. Şekil 5.16. ise anten sayısının 4 olduğu durumda elde edilen sonuçlardır. Her iki şekilde de seçilen anten sayısının BER değerini etkilediği açıkça görülmektedir.



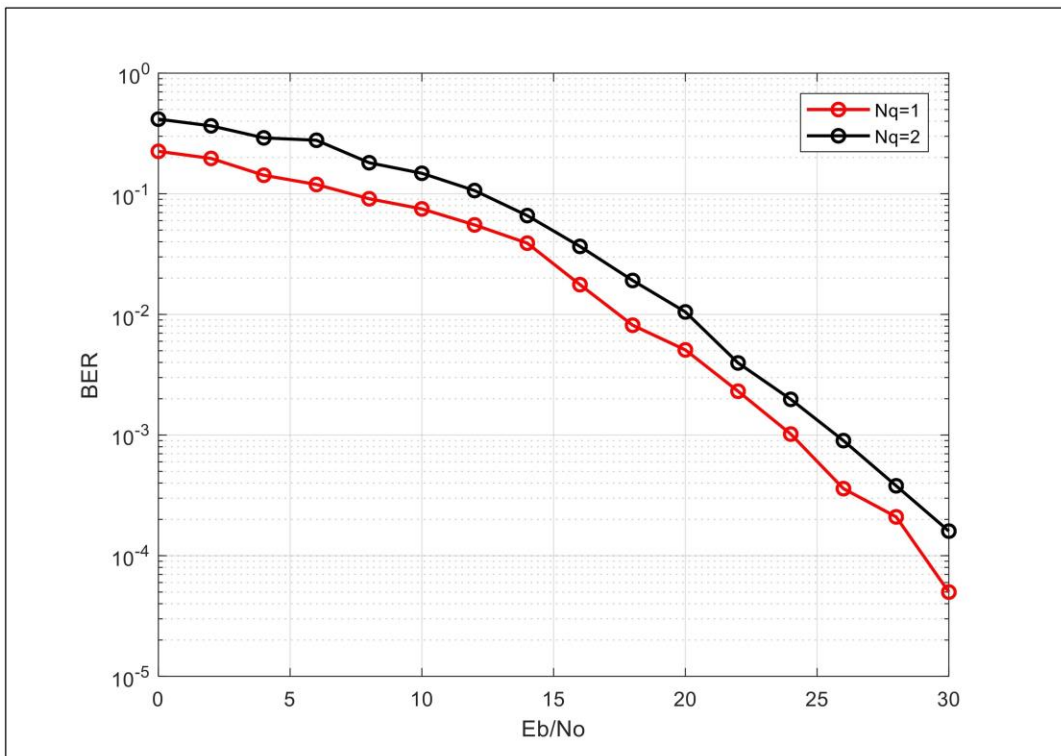
Şekil 5.12. MIMO-SCMA’de kullanıcıların BER performansı



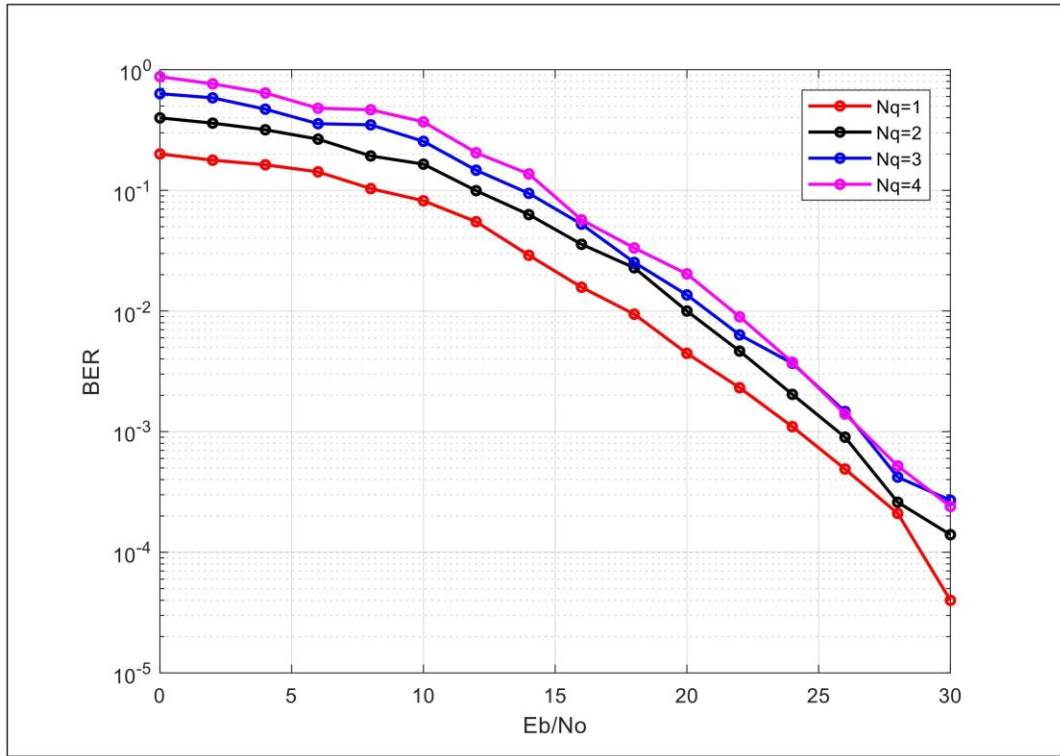
Şekil 5.13. Optimum AS BER performansı, 2x2



Şekil 5.14. Optimum AS BER performansı, 4x4



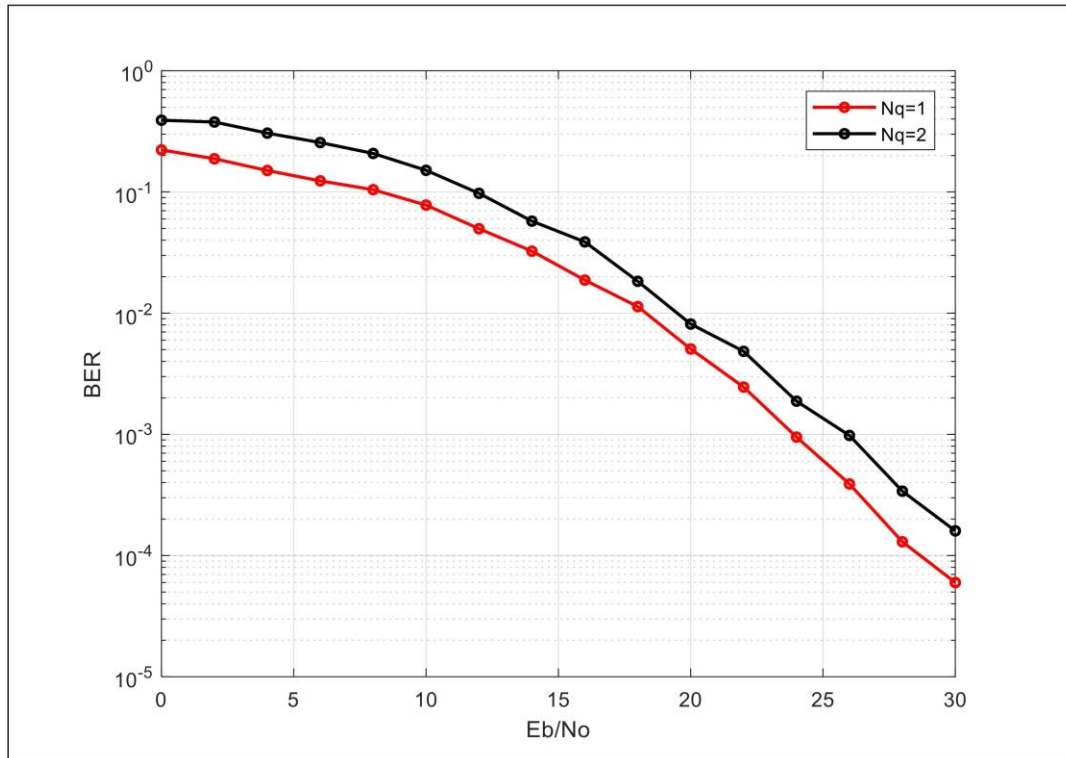
Şekil 5.15. Max-max-max AS BER performansı, 2x2



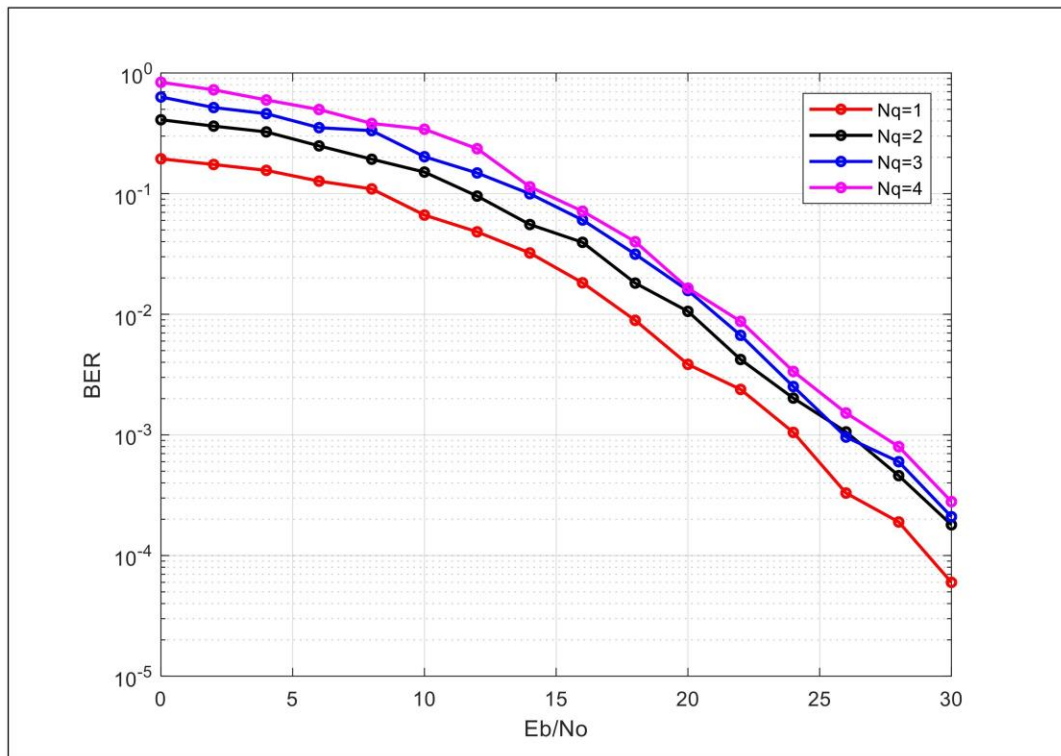
Şekil 5.16. Max-max-max AS BER performansı, 4x4

Max-min-max algoritması ile yapılan BER performans analizi Şekil 5.17. ve Şekil 5.18.'de verilmiştir. Şekil 5.17.'de sistem 2x2 anten donanımına sahipken sırasıyla bir anten seçilmiş, daha sonra iki anten seçilerek her iki durum için performans gösterilmiştir. Şekil 5.18.'de aynı durum 4x4 için yapılmıştır. Şekillerden de anlaşılabileceği üzere seçilen anten sayısı azaldıkça BER performansında iyileşme söz konusu olmuştur.

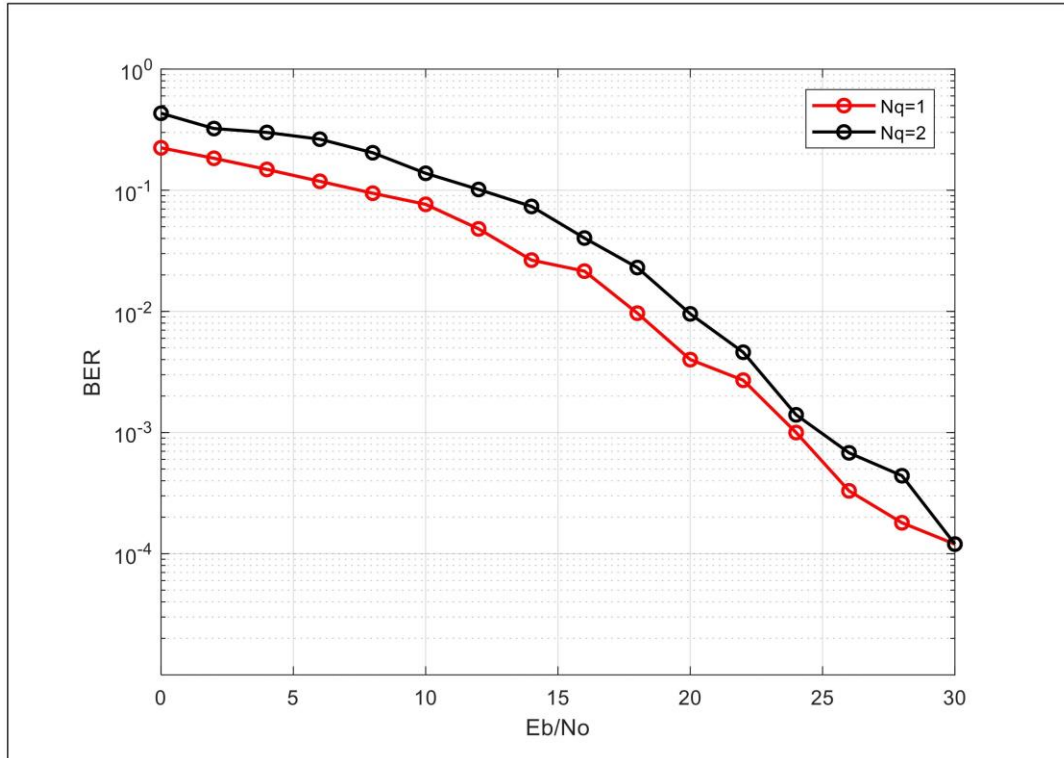
Şekil 5.19. ve Şekil 5.20.'de rasgele AS için farklı sayıda anten seçildiğinde oluşan BER performansları verilmiştir. Şekiller diğer algoritma performanslarında olduğu gibi anten sayısındaki artışın BER değerlerini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Algoritmaları kendi içinde karşılaştırmanın yanında birbirleriyle karşılaştırdığımızda hata oranı en az olan algoritma optimum AS iken en fazla hatayı rasgele AS vermektedir. Max-max-max ve max-min-max algoritmaları ise BER performansında optimum AS'den sonra gelmektedir.



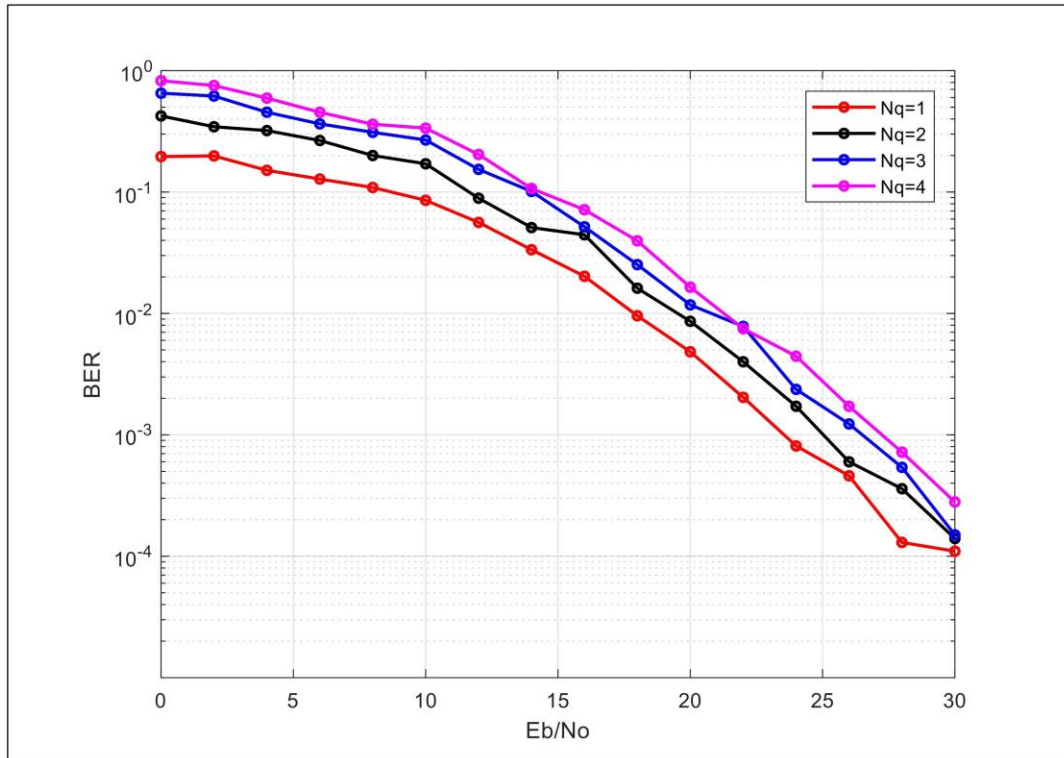
Şekil 5.17. Max-min-max AS BER performansı, 2x2



Şekil 5.18. Max-min-max AS BER performansı, 4x4

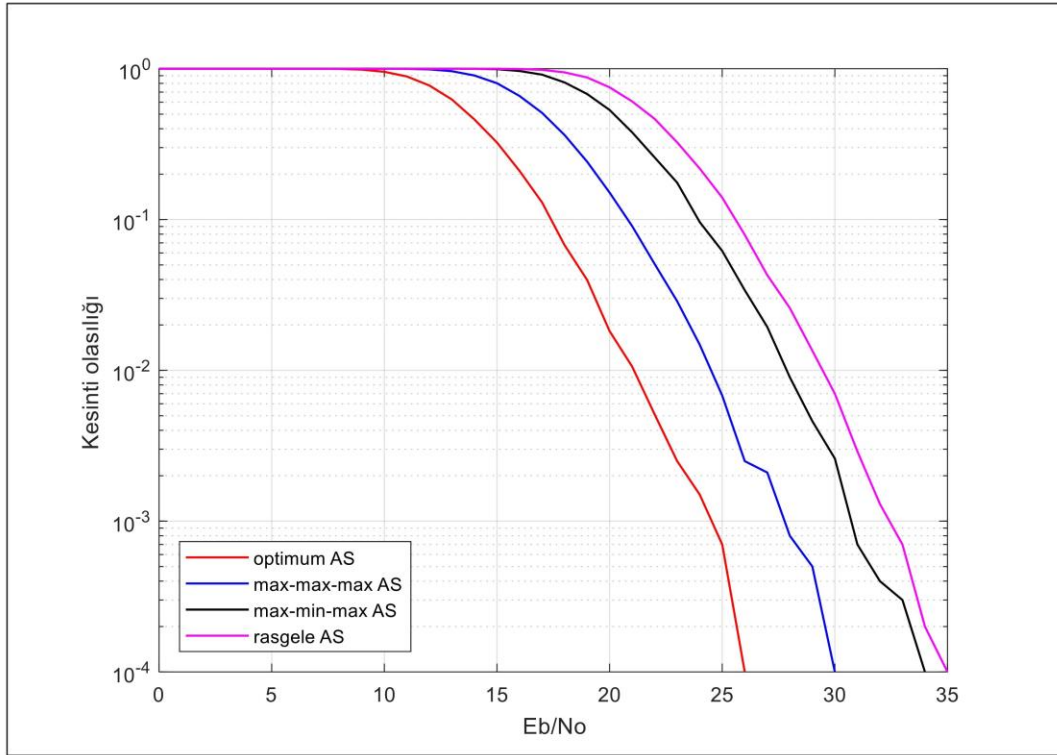


Şekil 5.19. Rasgele AS BER performansı, 2x2

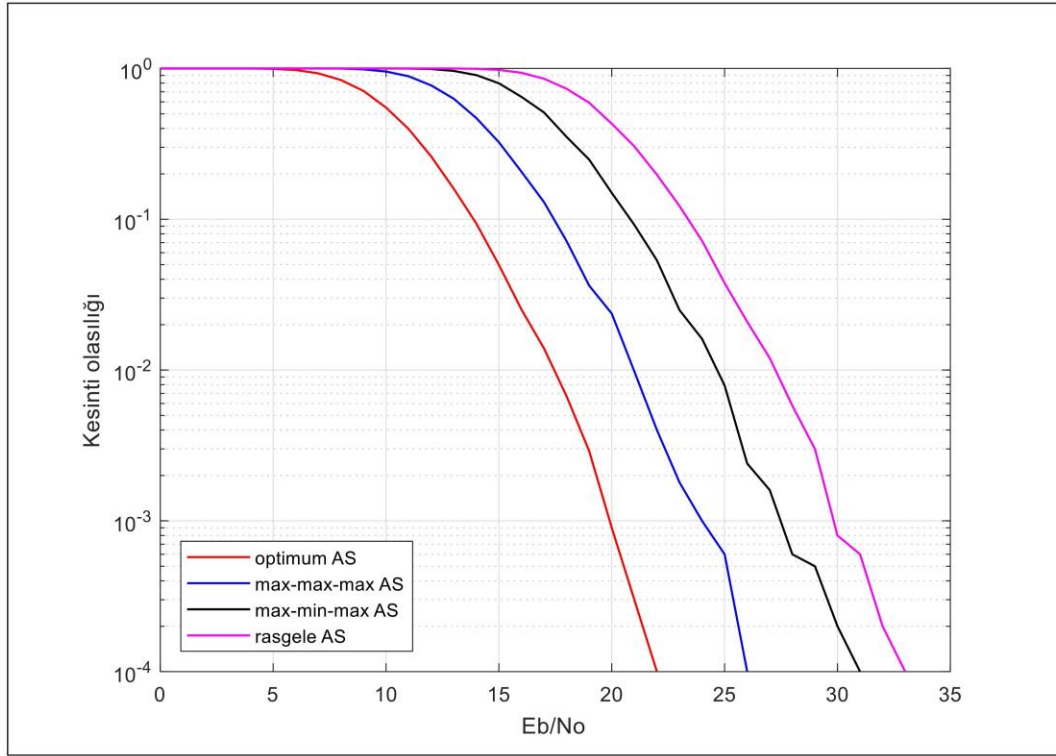


Şekil 5.20. Rasgele AS BER performansı, 4x4

Şekil 5.21.'de sistem 2x2 anten ile, Şekil 5.22.'de 4 anten ile donatıldığında algoritmaların kesinti olasılığı performansları karşılaştırılmıştır. Her iki şekilde de performans sırası iyiden kötüye doğru optimum, max-max-max, max-min-max ve rasgele AS şeklindedir. Ayrıca Şekil 5.21. ve Şekil 5.22. karşılaştırıldığında, anten sayısının artması kesinti olasılığında iyileşme sağladığı sonucuna ulaştırmaktadır. Örneğin, 20 dBm'de max-max-max AS için 2x2 sistemde yaklaşık olarak 0,15 değeri elde edilirken 4x4 sistemde 0,025 değerine ulaşılmaktadır.



Şekil 5.21. Kesinti Olasılığı, 2x2



Şekil 5.22. Kesinti Olasılığı, 4x4

5.4.6. Sonuç

Aşağı-hat MIMO SCMA sistemde altı kullanıcının bulunduğu varsayılarak aynı anda hem verici hem de alıcı tarafta anten seçimi yapılmasına bağlı BER, ergodik kapasite ve kesinti olasılığı performansları incelenmiştir. İki kullanıcı PD-NOMA için literatürde önerilmiş olan max-max-max ve max-min-max AS algoritmaları daha fazla kullanıcı için seçim yapacak şekilde geliştirilmiş ve MIMO SCMA sisteme uygulanarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Bu algoritmalara ek olarak optimum ve rasgele AS algoritmaları kullanılmıştır.

2x2 ve 4x4 anten ile donatılmış sistemlerde farklı sayıda anten seçimi yapılmış ve algoritmalar performans değerlendirmesine tabi tutulmuştur. Seçilen anten sayısı arttıkça BER ve ergodik kapasite değerleri artmaktadır. Ayrıca sistemin donatıldığı anten sayısı arttıkça kesinti olasılığı azalmaktadır. BER, ergodik kapasite ve kesinti olasılığı değerlendirmelerinde, max-max-max AS algoritması en iyi sonuçları veren optimum AS algoritmasına benzer başarı göstermektedir. Bu başarıyı max-min-max AS takip ederken tüm algoritmalar rasgele AS algoritmasına göre sisteme daha fazla katkı sağlamaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeni nesil 5G haberleşme ağlarının gereksinimlerine yönelik ortaya atılan NOMA teknolojisine, yüksek veri hızı ve spektral verimlilik sağlayan MIMO teknolojisi kolaylıkla entegre edilebilmektedir. Her iki teknolojinin sağladığı avantajların toplandığı sistemde birden fazla anten sayısının getirmiş olduğu karmaşıklık, güç tüketimi ve maliyet dikkat çekmektedir. Bu sorundan yola çıkarak tez kapsamında anten sayısını minimize eden ve 5G ile hedeflenen beklentileri gerçekleştirecek anten seçim algoritmaları geliştirilmiştir.

Tezin ilk bölümünde kullanıcıların kanal durumlarına göre güç tahsisi uygulayan ve NOMA çeşitlerinden biri olan PD-NOMA ve MIMO'dan oluşan sistem ele alınmıştır. Bu sistem için literatürde yer alan max-max-max ve max-min-max AS algoritmaları kullanılmıştır. Araştırmalarda eksik kalan BER, ulaşılabilir kapasite ve kesinti olasılığı performansları ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre BS'ye olan mesafe, BER performansında belirleyici bir faktördür. BS'ye olan mesafe arttıkça BER performansı kötüye giderken, mesafe azaldıkça performansta iyileşme gerçekleşmektedir. Ayrıca her iki algoritmanın da adımları genel olarak aynı olduğu için BER değerleri de benzerdir. Bunun dışında kullanıcı mesafeleri ve bir kullanıcıya atanan güç değeri sabit iken diğer kullanıcı gücü arttıkça BER değerleri de bu durumdan olumlu etkilenmektedir. Ulaşılabilir kapasite, BER performansında olduğu gibi uzaklığa bağlı olarak değişmekte olup mesafe azaldıkça kapasitede artış yaşanmaktadır. Kesinti olasılığı başarımında ise QoS değerlerinin yüksek oranda seçilmesi veya uzaklığın fazla olması kesinti olasılığını artırmaktadır.

Tezin ikinci bölümünde ise iki kullanıcılı PD-NOMA için önerilen max-max-max ve max-min-max AS algoritmaları altı kullanıcılı MIMO SCMA sistem için geliştirilmiştir. Kullanıcı kanallarını karşılaştırmaya dayalı olan bu iki algoritma optimuma yakın sonuç verecek şekilde düzenlenmiştir. Burada, her iki algoritmaya ek optimum ve rasgele AS algoritmaları da kullanılmış ve BER, ergodik kapasite, kesinti olasılığı başarımları elde edilmiştir.

Sistemin önce 2x2 daha sonra 4x4 antenlerle donatıldığı varsayılarak, her iki durum içinde algoritmaların farklı sayıda anten seçimi sonucundaki BER performansları incelenmiştir. Tüm AS algoritmalarında seçilen anten sayısı arttıkça BER değerleri artmaktadır. Yine aynı anten sayıları için ayrı ayrı olacak şekilde ergodik kapasite başarımları elde edilmiştir. Elde

edilen sonuca göre seçilen anten sayısının artışı ergodik kapasitede olumlu rol oynarken en iyi değerleri optimum AS algoritması vermektedir. Bu algoritmayı sırasıyla max-max-max, max-min-max ve rasgele AS algoritmaları izlemektedir. Kesinti olasılığı değerlendirmesinde ise 2x2 antene sahip olan sistemde 4x4 antenli sisteme göre daha fazla kesintiye rastlanılmaktadır. Ayrıca kesinti olasılığı bakımından en iyi sonucu veren optimum AS algoritmasına max-max-max AS algoritması yaklaşırken, max-max-max AS algoritmasına ise max-min-max AS algoritması yaklaşmaktadır.

Özet olarak, daha fazla kullanıcı ve farklı bir teknik için yeniden geliştirilen max-max-max ve max-min-max AS algoritmaları her durumda rasgele AS algoritmasından daha iyi performans göstermektedir. Ayrıca hedeflenen optimum AS algoritması sonuçlarına en yakın sonuç veren max-max-max AS algoritmasıdır. Bu algoritma, adımları hemen hemen aynı olan max-min-max AS algoritmasına göre daha başarılıdır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde geliştirilen max-max-max ve max-min-max AS algoritmaları ileride temel yapısı aynı kalacak şekilde diğer NOMA tekniklerine veya teknolojinin ilerlemesiyle beraber önerilecek yeni tekniklere uyarlanabilir. Ayrıca iletim için seçilen kanal katsayısını veren BS ve kullanıcı antenleri algoritmalarda belirlenirken uzun sürecek kapsamlı tarama yapılmaktadır. Zamandan tasarruf etmek amacıyla daha hızlı tarama yapacak yöntemler bu algoritmalara entegre edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Gamal, S., Rihan, M., Hussin, S., Zaghloul, A. and Salem, A. A. (2021). Multiple access in cognitive radio networks: From orthogonal and non-orthogonal to rate-splitting. *IEEE Access*, 9, 95569-95584.
2. Chen, H., Abbas, R., Cheng, P., Shirvanimoghaddam, M., Hardjawana, W., Bao, W., Li, Y. and Vucetic, B. (2018). Ultra-reliable low latency cellular networks: Use cases, challenges and approaches. *IEEE Communications Magazine*, 56(12), 119-125.
3. Turer, B. and Yilmaz, M. (2022). Emerging technologies in 5G cellular communication systems. *European Journal of Science and Technology*, 36, 128-133.
4. Navarro-Ortiz, J., Romero-Diaz, P., Sendra, S., Ameigeiras, P., Ramos-Munoz, J. J. and Lopez-Soler, J. M. (2020). A survey on 5G usage scenarios and traffic models. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(2), 905-929.
5. Al-Ali, M., Yaacoub, E. and Mohamed, A. (2020, December). *Dynamic resource allocation of eMBB-uRLLC traffic in 5G new radio*. IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), New Delhi, India, 1-6.
6. Chen, W. E., Fan, X. Y. and Chen, L. X. (2019, August). *A CNN-based packet classification of eMBB, mMTC and URLLC applications for 5G*. International Conference on Intelligent Computing and its Emerging Applications (ICEA), Tainan, Taiwan, 1-6.
7. Beaubrun, R. (2022, July). *Technical challenges and categorization of 5G mobile services*. Thirteenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Barcelona, Spain, 1-6.
8. Luo, Q., Gao, P., Liu, Z., Xiao, L., Mheich, Z., Xiao, P. and Maaref, A. (2021). An error rate comparison of power domain non-orthogonal multiple access and sparse code multiple access. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 500-511.
9. Kebede, T., Wondie, Y., Steinbrunn, J., Kassa, H. B. and Kornegay, K. T. (2022). Multi-carrier waveforms and multiple access strategies in wireless networks: Performance, applications, and challenges. *IEEE Access*, 10, 21120-21140.
10. Dai, L., Wang, B., Yuan, Y., Han, S., Chih-Lin, I. and Wang, Z. (2015). Nonorthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends. *IEEE Communications Magazine*, 53(9), 74-81.
11. Abebe, A. T. and Kang, C. G. (2020). Multiple codebook-based non-orthogonal multiple access. *IEEE Wireless Communications Letters*, 9(5), 683-687.
12. Hoshyar, R., Wathan, F. P. and Tafazolli, R. (2008). Novel low-density signature for synchronous CDMA systems over AWGN channel. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 56(4), 1616-1626.

13. Yuan, Z., Yu, G., Li, W., Yuan, Y., Wang, X. and Xu, J. (2016). *Multi-user shared access for internet of things*. IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Nanjing, China, 1-5.
14. Ping, L., Liu, L., Wu, K. Y. and Leung, W. K. (2006). Interleave division multiple-access. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 5(4), 938-947.
15. Chen, S., Ren, B., Gao, Q., Kang, S., Sun, S. and Niu, K. (2017). Pattern division multiple access-a novel nonorthogonal multiple access for fifth-generation radio networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(4), 3185-3196.
16. Nikopour, H. and Baligh, H. (2013). *Sparse code multiple access*. IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), London, UK, 332-336.
17. Ismail, S., D'Andreagiovanni, F., Lakhlef, H. and Imine, Y. (2020). *Recent advances on 5G resource allocation problem using PD-NOMA*. International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), Montreal, QC, Canada, 1-7.
18. Jehan, A. and Zeeshan, M. (2022). *Comparative performance analysis of code-domain NOMA and power-domain NOMA*. 16th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM), Seoul, Korea, 1-6.
19. Shukla, A., Kumar, M and Deolia, V. K. (2022). Code domain non-orthogonal multiple access schemes for 5G and beyond communication networks: A review. *Journal of Engineering Research*, 40(4A), 132-152.
20. Molisch, A. F. and Win M. Z. (2004). MIMO systems with antenna selection. *IEEE Microwave Magazine*, 5(1), 46-56.
21. Ilgin, F. Y. (2021). Antenna selection and detection performance on correlation based detection systems. *Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering*, 9(1), 48-52.
22. Sanayei, S. and Nosratinia, A. (2004). Antenna selection in MIMO systems. *IEEE Communications Magazine*, 42(10), 68-73.
23. Shrestha, A. P., Han, T., Bai, Z., Kim, J. M. and Kwak K. S. (2016). *Performance of transmit antenna selection in non-orthogonal multiple access for 5G systems*. 8th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Vienna, Austria, 1031-1034.
24. Do, N. T., Costa, D. B., Duong, T. Q. and An B. (2017). *Transmit antenna selection schemes for MISO-NOMA cooperative downlink transmissions with hybrid swipt protocol*. IEEE International Conference on Communications in China (ICC), Paris-France, 1-6.
25. Liu, X. and Wang, X. (2016). *Efficient antenna selection and user scheduling in 5G massive MIMO-NOMA System*. IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Nanjing, China, 1-5.

26. Guowei, L. and Sunqing, S. (2020). *Antenna Selection for non-orthogonal multiple access with space time block codes*. 8th International Conference on Information, Communication and Networks (ICICN), Xi'an, China, 141-145.
27. Al-Hussaibi, W. A. and Ali F. H. (2019). Efficient user clustering, receive antenna selection, and power allocation algorithms for massive MIMO-NOMA systems. *IEEE Access*, 7, 31865-31882.
28. Aldababsa M. and Kucur O. (2017). *Outage performance of NOMA with TAS/MRC in dual hop AF relaying networks*. Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO), Riga, Latvia, 137-141.
29. Tran, D. D., Tran, H. V., Ha, D. B. and Kaddoum G. (2020). Secure transmit antenna selection protocol for MIMO NOMA networks over Nakagami-m channels. *IEEE Systems Journal*, 14(1), 253-264.
30. Yu, Y., Chen, H., Li, Y., Ding, Z., Song, L. and Vucetic B. (2018). Antenna Selection for MIMO nonorthogonal multiple access systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(4), 3158-3171.
31. Li, Q., Ge, J., Wang, Q. and Bu, Q. (2017). *Joint antenna selection for MIMO-NOMA networks over Nakagami-m fading channels*. IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Qingdao, China, 1-6.
32. Taherzadeh, M., Nikopour, H., Bayesteh, A. and Baligh, H. (2014). *SCMA codebook design*. IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall), Vancouver, Canada, 1-5.
33. Hussain, S. A., Ahmad, N., Shayea, I., Kaidi, H. M., Latiff, L. A., Mohamed, N. and Sam S. M. (2021). A review of codebook design methods for sparse code multiple access. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 22(2), 927-935.
34. Moltafet, M., Yamchi, N. M., Javan, M. R. and Azmi, P. (2018). Comparison study between PD-NOMA and SCMA. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(2), 1830-1834.
35. Zhang, J., Zhang, M., Li, D., Yang, Y. and Zhao, Y. (2018). *Resource allocation for downlink SCMA system based on coalitional game*. IEEE 4th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, 726-731.
36. Luo, Q., Liu, Z., Chen, G., Ma, Y. and Xiao, P. (2022). A novel multi-task learning empowered codebook design for downlink SCMA networks. *IEEE Wireless Communications Letters*, 11(6), 1268-1272.
37. Tang, S., Hao, L. and Ma, Z. (2016). *Low complexity joint MPA detection for downlink MIMO-SCMA*. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Washington, USA, 1-4.
38. Kurniawan, D., Arifianto, M. S. and Kurniawan, A. (2019). *Low complexity MIMO-SCMA detector*. IEEE 5th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Yogyakarta, Indonesia, 1-5.

39. Kim, J., Hong, D. and Kurniawan, A. (2018). *Multi-user detections for sparse code multiple access system*. IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall). Chicago, USA, 1-5.
40. Silva, B. F., Inacio, J. C., Scharf, A. L. and Uchoa Filho, B. F. (2021). *Design of a low-complexity receiver for uplink scma with multiple receive antennas*. IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP), Rio de Janeiro, Brazil, 1-5.
41. Gao, P., Du, Y., Dong, B., Zhu, W., Chen, Z. and Wang X. (2018). Low complexity CS-aided MPA detector for SCMA systems. *IEEE Communications Letters*, 22(4), 784-787.
42. Civil, M. and Ertuğ, O. (2019). *A New Algorithm with adaptive power allocation (APA) for variable transmit antenna selection under MISO SCMA systems*. International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM). Split, Croatia, 1-5.
43. Stallings, W. (2009). *Wireless Communications & Networks*. (Second edition). Chennai, India: Pearson, 149-191.
44. Al-Eryani, Y. and Hossain, E. (2019). The D-OMA method for massive multiple access in 6G: Performance, security, and challenges. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14(3), 92-99.
45. Shah, A. F. M. S., Qasim, A. N., Karabulut, M. A., İlhan, H. and Islam Md. B. (2021). Survey and performance evaluation of multiple access schemes for next-generation wireless communication systems. *IEEE Access*, 9, 113428-113442.
46. Garg, V. K. and Wang, Y. C. (2004). *The Electrical Engineering Handbook: Data Communication Concepts*. (1st edition). USA: Academic Press, 1005-1009.
47. Wilson, S. K., Wilson, S. and Biglieri, E. (2016). *Academic Press Library in Mobile and Wireless Communications: Transmission Techniques for Digital Communications*. (1st edition). London: Academic Press, 435-465.
48. Perez, R. (1998). *Wireless Communications Design Handbook: Space Interference*. (1st edition). San Diego: Academic Press, 1-302.
49. White, C. M. (2003). *Encyclopedia of Information Systems*. (1st edition). Amsterdam: Academic Press, 213-224.
50. Navita and Amandeep. (2016, January). *Performance analysis of OFDMA, MIMO & SC-OFDMA technology in 4G LTE*. 6th International Conference-Cloud System and Big Data Engineering (Confluence), Noida, India, 1-5.
51. Demirdögen, İ., Birol, A., Aldirmaz, S., Arslan, H. and Durak, L. (2010, January). *Cognitive OFDMA: Exploring a new FFT based detection technique for opportunistic usage*. IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), New Orleans, LA, USA, 1-4.
52. Ghafoor, U., Ali M., Khan, H. Z., Siddiqui, A. M. and Naeem, M. (2022). NOMA and future 5G & B5G wireless networks: A paradigm. *Journal of Network and Computer Applications*, 204, 103413.

53. Iswarya, N. and Jayashree, L. S. (2021). A survey on successive interference cancellation schemes in non-orthogonal multiple access for future radio access. *Wireless Personal Communication*. 120, 1057-1078.
54. Zheng, B., Wu, Q. and Zhang R. (2020). Intelligent reflecting surface-assisted multiple access with user pairing: NOMA or OMA?. *IEEE Communications Letters*, 24(4), 753 – 757.
55. Liaqat, M., Noordin, K. A., Latef, T. A. and Dimyati, K. (2020). Power-domain non orthogonal multiple access (PD-NOMA) in cooperative networks: an overview. *Wireless Networks*, 26(1), 181-203.
56. Dai, J., Niu, K. and Lin, J. (2018, December). *Code-domain non-orthogonal multiple access for vVisible light communications*. IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 1-6.
57. Liu, Z. and Yang, L. L. (2021). Sparse or Dense: A Comparative Study of Code-Domain NOMA Systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20(8), 4768 – 4780.
58. Razavi, R., Hoshyar, R., Imran, M. A. and Wang, Y. (2011). Information theoretic analysis of LDS scheme. *IEEE Communications Letters*, 15(8), 798-800.
59. Du, Y., Dong, B., Gao, P., Chen, Z., Fang, J. and Wang, S. (2016, December). *Low-complexity LDS-CDMA detection based on dynamic factor graph*. IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Washington, DC, USA, 1-6.
60. Masmoudi, A., Bellili, F., Affes, S. and Ghayeb, A. (2017). Maximum likelihood time delay estimation from single- and multi-carrier DSSS multipath MIMO transmissions for future 5G networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16(8), 4851-4865.
61. Huang, T., Yuan, J., Cheng, X. and Lei, W. (2015, December). *Design of degrees of distribution of LDS-OFDM*. 9th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS), Cairns, QLD, Australia, 1-6.
62. Hoshyar, R., Razavi, R. and Al-Imari, M. (2010, May). *LDS-OFDM an efficient multiple access technique*. IEEE 71st Vehicular Technology Conference, Taipei, Taiwan, 1-5.
63. Cai, Y., Qin, Z., Cui, F., Li, G.Y. and McCann, J.A. (2018). Modulation and multiple access for 5G networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1), 629-646.
64. Wen, L., Razavi, R., Xiao, P. and Imran, M. A. (2014, September). *Fast convergence and reduced complexity receiver design for LDS-OFDM system*. IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC), Washington, DC, USA, 1-5.
65. Yuan, Z., Yu, G., Li, W., Yuan, Y., Wang, X. and Xu J. (2016, May). *Multi-user shared access for internet of things*. IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Nanjing, China, 1-5.

66. Mhedhbi, M., Boukour, F. E. (2019). Analysis and evaluation of pattern division multiple access scheme jointed with 5G waveforms. *IEEE Access*, 7, 21826-21833.
67. Li, S., Su, B. and Jin, L. (2020). Research on PDMA communication system based on complete complementary sequence. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 1-18.
68. Yonis, A. Z. and Mohammed K. K. (2022). Investigation of pattern division multiple access technique in wireless communication networks. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 26(1), 296-303.
69. Zeng, J., Lv, T., Liu R. P., Su, X., Peng, M., Wang, C. and Mei, J. (2017). Investigation on evolving single-carrier NOMA into multi-carrier NOMA in 5G. *IEEE Access*, 6, 48268- 48288.
70. Yin, Y., Peng, Y., Liu, M., Yang, J. and Gui, G. (2019). Dynamic user grouping-based NOMA over rayleigh fading channels. *IEEE Access*, 7, 110964 – 110971
71. Preethi, J. and Kirthiga, S. (2020, August). *Study and analysis of PD-NOMA in downlink land mobile satellite systems*. Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT), Tirunelveli, India, 1-5.
72. Zhang, H., Dai, H., Zhou, Q and Hughes, B. L. (2006). On the diversity order of spatial multiplexing systems with transmit antenna selection: A geometrical approach. *IEEE Transactions on Information Theory*, 52(12), 5297-5311.
73. Demiral, B. and Ertuğ, Ö. (2023). Performance analysis of downlink MIMO-NOMA systems in Rayleigh channels with max-max-max and max-min-max antenna selection algorithms. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(3), 1675-1687.
74. Demiral, B. and Ertuğ, Ö. (2021). *Transmitter receiver antenna selection for MIMO-NOMA system*. International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), Hvar, Croatia, 1-4.
75. Demiral, B. and Ertuğ, Ö. (2022). *Capacity and rate performance of antenna selection algorithms in MIMO-NOMA systems*. ISPEC 14. Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Sivas, Türkiye, 640-641.
76. Oyman, O. and Xue, F. (2007, November). *Antenna selection, diversity coding and spatial multiplexing in cooperative wireless networks*. Conference Record of the Forty-First Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA, 1-5.
77. Nikopour, H., Yi, E., Bayesteh, A., Au, K., Hawryluck, M., Baligh, H. and Ma J. (2014, December). *SCMA for Downlink Multiple Access of 5G Wireless Networks*. IEEE Global Communications Conference, Austin, USA, 1-6.
78. Tao, Y., Liu, L., Liu, S. and Zhang, Z. (2015). A survey: Several technologies of non-orthogonal transmission for 5G. *China communications*, 12(10), 1-15.

79. Balasubramanya, N. M., Gupta, A. and Sellathura, M. (2018, December). *Combining code-domain and power-domain NOMA for supporting higher number of users*. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Abu Dhabi, United Arab Emirates,1-6.
80. Chen, S., Peng, K., Zhang, Y. and Song, J. (2018, June). *A comparative study on the capacity of SCMA and LDSMA*. 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), Limassol, Cyprus,1-5.
81. Cheng, H., Zhang, C., Huang, Y. and Yang, L. (2022). Efficient message passing receivers for downlink MIMO-SCMA systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71(5), 5073-5086.
82. Ghaffari, A., Leonardon, M., Savaria, Y., Jegu, C. And Leroux, C. (2017, June). *Improving performance of SCMA MPA decoders using estimation of conditional probabilities*. 15th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), Strasbourg, France, 21-24.



Gazili olmak ayrıcalıktır