

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİKGEN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİMDE KAYNAK TAHSİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Müh. Caner KÜÇÜKYILMAZ

HAZİRAN 2022
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİKGİN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİMDE KAYNAK TAHSİSİ

Elektrik Elektronik Müh. Caner KÜÇÜKYILMAZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
“ELEKTRONİK YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27/05/2022
Tezin Savunma Tarihi : 21/06/2022**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasının hazırlanarak amacına ulaşması süreci boyunca bana yol gösteren, her zaman anlayış, sabır ve hoşgörüyle yaklaşan, değerli bilgi ve görüşlerini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU'na, tüm bu süreç boyunca yanımda olan, beni destekleyen her zaman motive eden sevgili aileme teşekkürlerimi saygı ve minnetle sunarım.

Caner KÜÇÜKYILMAZ
Trabzon, 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Dikgen Olmayan Çoklu Erişimde Kaynak Tahsisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 21/06/2022

Caner KÜÇÜKYILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Araştırması.....	3
1.3. Telsiz Haberleşmede Temel Kavramlar ve Başlıca Kanal Modelleri	6
1.3.1. Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsünden (AWGN).....	6
1.3.2. Path Loss (Yol Kaybı) Modeli.....	7
1.3.3. Sönümleme ve Sönümlemeli Kanalların Sınıflandırılması	7
1.3.4. Rayleigh Sönümlemeli Kanal Modeli	9
1.3.5. Nakagami- m Sönümlemeli Kanal Modeli	9
1.3.6. Rician Sönümlemeli Kanal Modeli	9
1.4. Optimizasyon ve Optimizasyon Algoritmaları	10
1.4.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO).....	11
1.4.1.1. Atalet Sabiti (W).....	12
1.4.1.2. K Sabiti (K).....	12
1.4.1.3. Hız Kısıtı.....	13
1.4.1.4. Konum Kısıtı	14
1.4.1.5. Penaltı Fonksiyonu (Ceza).....	14
1.5. Dikgen Olmayan Çoklu Erişim (Non-Orthogonal Multiple Access)	15
1.5.1. Güç Domeni (Power Domain) NOMA.....	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	20
2.1. Giriş	20
2.2. Kaynak Tahsisi	20
2.3. Kullanıcı Eşleme (User Pairing, UP).....	21
2.3.1. Rastgele Eşleme (Random Pairing) Algoritması	22
2.3.2. Kapsamlı Arama (Exhaustive Search) Algoritması.....	22

2.3.3.	Sezgisel (Heuristic) Algoritma	22
2.3.4.	Bir Sonraki En Büyük Fark Temelli Kullanıcı Eşleme (Next Largest-Difference Based User Pairing Algorithm) Algoritması	23
2.3.5.	Dinamik Kullanıcı Kümeleme (Dynamic User Clustering) Algoritması	23
2.3.6.	Eşleştirme Teorisi (Matching Theory) Algoritması	24
2.3.7.	Optimal Kullanıcı Eşleme (Optimal User Pairing).....	24
2.3.8.	HNG Algoritması (HNG Algorithm).....	25
2.3.9.	Optimal Adil Kaynak Tahsisi (Optimal Fair Resource Allocation)	25
2.3.10.	Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme (Adaptive User Pairing)	26
2.4.	Güç Tahsisi	27
2.4.1.	Sabit Güç Tahsisi (Fixed Power Allocation)	28
2.4.2.	Kesirli İletim Güç Tahsisi (Fractional Transmit Power Allocation)	29
2.4.3.	Tam Arama Güç Tahsisi (Full Search Power Allocation).....	29
2.4.4.	CSI Tabanlı Güç Tahsisi (CSI Based Power Allocation)	30
2.4.5.	QoS Tabanlı Güç Tahsisi (QoS Based Power Allocation)	30
2.5.	Benzetim Metodu ve Sistem Modeli	30
3.	BULGULAR.....	37
3.1.	Sekiz Kullanıcılı Durum	38
3.1.1.	Sekiz Kullanıcılı Durumda Toplam Hızların Karşılaştırılması	38
3.1.2.	Sekiz Kullanıcılı Durumda OMA'ya Karşı Kazançlar Karşılaştırılması	40
3.2.	On Altı Kullanıcılı Durum.....	41
3.2.1.	On Altı Kullanıcılı Durumda Toplam Hızların Karşılaştırılması	41
3.2.2.	On Altı Kullanıcılı Durumda OMA'ya Karşı Kazançların Karşılaştırılması.....	43
3.3.	Otuz İki Kullanıcılı Durum.....	43
3.3.1.	Otuz İki Kullanıcılı Durumda Toplam Hızların Karşılaştırılması.....	44
3.3.2.	Otuz İki Kullanıcılı Durumda OMA'ya Karşı Kazançlar Karşılaştırılması.....	46
3.4.	Altmış Dört Kullanıcılı Durum.....	47
3.4.1.	Altmış Dört Kullanıcılı Durumda Toplam Hızların Karşılaştırılması	47
3.4.2.	Altmış Dört Kullanıcılı Durumda OMA'ya Karşı Kazançlar Karşılaştırılması.....	49
4.	SONUÇLAR.....	50
5.	KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DİKGİN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİMDE KAYNAK TAHSİSİ

Caner KÜÇÜKYILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU
2022, 54 Sayfa

Dikgen Olmayan Çoklu Erişim (NOMA) sisteminde Kaynak Tahsisi (RA), Kullanıcı Eşleştirme (UP) ve Güç Tahsisi (PA) olmak üzere iki başlık altında incelenir. Kaynak tahsisi, UP ve PA'nın birlikte uygulanması ile gerçekleştirilir. UP ile hücredeki kullanıcılar birden fazla gruba ayrılır ve her grup için ayrı ayrı NOMA uygulanır. Bu çalışmada, her biri iki kullanıcıdan oluşan gruplar için güç alanında kaynak tahsisi yapılmıştır. Kullanıcıları eşleştirmek için Rastgele Eşleştirme, Optimal Kullanıcı Eşleştirme ve Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleştirme algoritmaları ayrı ayrı uygulanmıştır. Uygulanan tüm bu eşleştirme algoritmaları için yine ayrı ayrı olmak üzere her bir algoritmadaki gruplar içerisinde güç tahsisi yapılmıştır. Güç tahsisi, sezgisel optimizasyon algoritmalarından biri olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak yapılmıştır. Algoritma, her bir grup içerisindeki kullanıcıların veri hızının OMA sistemindeki veri hızlarından düşük olmaması ve kullanıcılara atanan güç katsayılarının toplamının bire eşit olması kriterlerine göre çalıştırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanıcıların optimal bir eşleşme ile gruplandırılması ve sistemin toplam veri hızının artırılması hedeflenmiştir. Sonuçlar MATLAB programı kullanılarak grafikler üzerinden karşılaştırmalar yapılarak gösterilmiştir. Kullanılan eşleştirme algoritmaları ile beraber yapılan güç tahsisi sonucu elde edilen kullanıcı veri hızları ve sistemin toplam veri hızının OMA kullanıcı veri hızları ve sistemin toplam veri hızı ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca kullanıcıların NOMA ve OMA hızları kullanılarak sistemin kazancı hesaplanmıştır ve grafik ile gösterilmiştir. PSO algoritmasının güç tahsisi üzerindeki performansının anlaşılabilmesi için literatürde sıkça kullanılan Channel State Information (CSI) tabanlı güç tahsisi yönteminden faydalanılmıştır. Bu iki yöntem karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dikgen Olmayan Çoklu Erişim, Kullanıcı Eşleştirme, Güç Tahsisi, Kaynak Tahsisi, Parçacık Sürü Optimizasyonu

Master Thesis

SUMMARY

RESOURCE ALLOCATION IN NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS

Caner KÜÇÜKYILMAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical-Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökçe HACIOĞLU
2022, 54 Pages

In the Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) system, Resource Allocation (RA) is examined under two headings as User Pairing (UP) and Power Allocation (PA). Resource allocation is accomplished by co-implementation of UP and PA. With UP, the users in the cell are divided into more than one group and NOMA is applied separately for each group. In this study, resources are allocated in the power domain for groups of two users each. Random Pairing, Optimal User Pairing and Adaptive User Pairing algorithms were applied separately to match users. For all these pairing algorithms applied power allocation was made separately within the groups in each algorithm. Power allocation, has been made using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, which is one of the heuristic optimization algorithms. The algorithm was run according to the criteria that the data rate of the users in each group should not be lower than the data rates in the OMA system and the sum of the power coefficients assigned to the users should be equal to one. Within the scope of the study, it is aimed to group the users with an optimal match and to increase the total data rate of the system. The results are shown by making comparisons over graphics using the MATLAB program. The user data rates obtained as a result of the power allocation made with the pairing algorithms used and the total data rate of the system were compared with the OMA user data rates and the total data rate of the system. In addition, the system's gain was calculated using the NOMA and OMA speeds of the users and it was shown with a graph. In order to understand the performance of the PSO algorithm on power allocation, the Channel State Information (CSI) based power allocation method, which is frequently used in the literature, has been used. These two methods were compared and the results were interpreted.

Key Words: Non-Orthogonal Multiple Access, User Pairing, Power Allocation, Resource Allocation, Particle Swarm Optimization

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Parçacık Sürü Optimizasyonu akış diyagramı 15
Şekil 2.	OMA ve NOMA temsili kullanıcı atama şeması 16
Şekil 3.	Süperpozisyon kodlama tekniği örneği 17
Şekil 4.	Ardışık girişim giderme tekniği örneği 19
Şekil 5.	Rastgele oluşturulmuş kullanıcı kümesinin temsili gösterimi..... 31
Şekil 6.	Optimal Kullanıcı Eşleme Algoritması Temsili Şeması 33
Şekil 7.	Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme Algoritması Temsili Şeması 34
Şekil 8.	Enerji etkinliği kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması 38
Şekil 9.	Adillik kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması 39
Şekil 10.	Enerji etkinliği kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması 40
Şekil 11.	Adillik kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması..... 40
Şekil 12.	Enerji etkinliği kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması 41
Şekil 13.	Adillik kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması 42
Şekil 14.	Enerji etkinliği kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması 43
Şekil 15.	Adillik kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması..... 43
Şekil 16.	Enerji etkinliği kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması 44
Şekil 17.	Adillik kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması 45
Şekil 18.	Enerji etkinliği kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması 46
Şekil 19.	Adillik kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması..... 46
Şekil 20.	Enerji etkinliği kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması 47
Şekil 21.	Adillik kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması 48
Şekil 22.	Enerji etkinliği kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması 49
Şekil 23.	Adillik kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması..... 49

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Sekiz kullanıcılı durum için Matlab programı benzetim parametreleri	38
Tablo 2. On altı kullanıcılı durum için Matlab programı simülasyon parametreleri.....	41
Tablo 3. Otuz iki kullanıcılı durum için Matlab programı simülasyon parametreleri.....	44
Tablo 4. Altmış dört kullanıcılı durum için Matlab programı simülasyon parametreleri.....	47



SEMBOLLER DİZİNİ

1G	: First Generation (Birinci Nesil)
2G	: Second Generation (İkinci Nesil)
3G	: Third Generation (Üçüncü Nesil)
4G	: Fourth Generation (Dördüncü Nesil)
5G	: Fifth Generation (Beşinci Nesil)
KBPS	: Kilobit per Second (Saniyede Kilobit)
MBPS	: Megabit per Second (Saniyede Megabit)
GBPS	: Gigabit per Second (Saniyede Gigabit)
KHz	: Kilo Hertz
MHz	: Mega Hertz
IP	: Internet Protocol (İnternet Protokolü)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
MIMO	: Multi Input Multi Output (Çok Girişli Çok Çıkışlı)
NOMA	: Non-Orthogonal Multiple Access (Dikgen Olmayan Çoklu Erişim)
OMA	: Orthogonal Multiple Access (Dikgen Çoklu Erişim)
PD-NOMA	: Power Domain NOMA (Güç Domeni NOMA)
TD-NOMA	: Time Domain NOMA (Zaman Domeni NOMA)
CD-NOMA	: Code Domain NOMA (Kod Domeni NOMA)
FD-NOMA	: Frequency Domain NOMA (Frekans Domeni NOMA)
SC	: Successive Cancellation (Ardışık Yoketme)
SIC	: Successive Interference Cancellation (Ardışık Girişim Yok Etme)
BS	: Bas Station (Baz İstasyonu)
CDMA	: Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
SCMA	: Sparse Code Multiple Access (Seyrek Kod Çoklu Erişim)
MUSA	: Multi User Shared Access (Çok Kullanıcı Paylaşımlı Erişim)
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama)
LDS	: Low Density Spreading (Düşük Yoğunluklu Yayma)
AWGN	: Additive White Gaussian Noise (Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü)
PL	: Path Loss (Yol Kaybı)
PDF	: Probability Density Function (Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu)

LoS	: Line of Sight (Doğrudan Görüş Hattı)
PSO	: Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu)
UP	: User Pairing (Kullanıcı Eşleme)
PA	: Power Allocation (Güç Tahsisi)
RA	: Resource Allocation (Kaynak Tahsisi)
CSI	: Channel State Information (Kanal Durum Bilgisi)
QoS	: Quality of Service (Ağ İletişimi Hizmet Kalitesi)
X_s	: İletilen sinyal
P	: Vericinin toplam gücü
s	: Kullanıcılara ait sinyal
a	: Kullanıcılara tahsis edilen güç katsayısı
π	: Pi sayısı
σ^2	: Gürültünün varyansı
μ	: Gürültü ortalaması
d	: Mesafe
d_0	: 1 km'deki referans noktası
n	: Yol kaybı
$ h $	: Sönümlenme değişkeninin zarfı
x	: Değişken değer
Ω	: Sönümlemeli kanalın ortalama gücü
Γ	: Gamma fonksiyonu
I_0	: Birinci tür, sıfırıncı dereceden Bessel fonksiyonu
k	: Rician faktörü
e	: Euler sayısı
V	: Parçacığın değişim hızı
C	: Ölçeklendirme için sabit bir değer
$Rand$	: Rastgele üretilen değer
P_{best}	: Personel best değeri
G_{best}	: Global best değeri
W	: Atalet sabiti
t	: İterasyon sayısı
K	: Kullanıcı sayısı
f	: Amaç fonksiyonu
h	: Penaltı fonksiyonu

$O(K)$	: Hesaplama karmaşıklığı
g	: Kanal kazancı
σ	: Bozunma faktörü
R_{NOMA}	: Kullanıcının NOMA hızı
R_{OMA}	: Kullanıcının OMA hızı
w	: Bant genişliği
B_i	: i . kullanıcının güç katsayısını
h_i	: i . kullanıcının kanal kazancı
d_i	: i . kullanıcının baz istasyonuna mesafesi
k_s	: Kullanıcı sayısı
h	: Kanal kazancı
F	: Adalet endeksi
EE	: Enerji verimliliği
x_n	: Rastgele üretilen karmaşık sayı değişkenidir
γ_s	: Güçlü kullanıcının SNR değerini
γ_w	: Zayıf kullanıcının SNR değerini

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Her ne kadar günümüz teknolojilerinden uzak gözüksede telekomünikasyon kavramı, insanların kablosuz iletişim kurmak için duman ve meşale sinyalleri, işaret fişekleri, parlayan aynalar ve taşıyıcı güvercinler gibi ilkel teknikler kullandığı geçmiş zamanlara dayanır. Bu teknikler, kablosuz iletişimin en basit gözükene, en eski şekilleridir. Geçmişten günümüze değişen ihtiyaçlar, yapılan çalışmalar ve gelişen teknoloji kablosuz iletişimin evrilmesine sebep olmuştur. Modern dünyada kablosuz iletişim, verici ile alıcı arasında gönderilen bilginin elektromanyetik dalgalar sayesinde iletilmesi şeklinde tanımlanabilir.

Birinci nesil kablosuz mobil iletişim sistemi olan 1G, 1980'li yılların başında ortaya çıkan günümüzdeki gibi dijital olmayan ve 2.4 kbps'ye kadar hız ile ses iletimi hizmeti sağlamak için kullanılan analog yapılu hücresel bir ağ sistemiydi [1,2]. Birinci nesil sistemin bant genişliği 30 KHz seviyesinde oldukça dardı. Üstelik bir kullanıcının kullandığı frekans bandı diğer kullanıcılar tarafından kullanılamıyordu. Bu dezavantaj sistemdeki kullanıcı sayısını sınırlıyordu. Ayrıca sistemin analog yapıda olması veri iletiminin güvenli ve kaliteli olmasının önünde bir engeldi [3]. Karşılanamayan bu talepler 1990'lı yılların hemen başında ikinci nesil mobil iletişim sistemi olan 2G'nin hayata geçirilmesini kaçınılmaz kılmıştı. 2G sisteminin, 1G'ye göre en büyük farkı analog yapılu olmayıp, sayısal yapılu olmasıydı. Sayısal yapısı sayesinde daha yüksek kapasite ve ses kalitesi gibi gereksinimleri karşılayabilmişti. İkinci nesil mobil sistemlerde bant genişliği 30-200 KHz arasındaydı ve 64 kbps hızında veri aktarımı yapılabilmekteydi [3,4]. İkinci nesil mobil sistemin dezavantajı, veri gönderimi yapılmadığı zamanlarda hattın kullanılamıyor olmasıydı. Bu durum sistem kapasitesini ve kullanıcı sayısını sınırlıyordu. Bu yüzden veri iletimi olmadığı zamanlarda hattın kullanılabilmesine izin veren yeni bir sistem geliştirmek önemli bir hal almıştı. 2000'li yıllarda tanıtılan üçüncü nesil mobil ağ olan 3G sistemi ile bu problem çözülmüş oldu. 3G sistemlerin amacı, geniş kapsama alanlarında 144 kbps'den 384 kbps'ye, yerel kapsama alanlarında ise 2 Mbps'ye kadar veri hızları ile kablosuz veri hizmeti sunmaktır [2]. 3G ve 2G sistemleri arasındaki temel farklılık, veri iletimi için devre anahtarlama yerine paket anahtarlama tekniğinin kullanılmasıydı. 3G sistemin daha hızlı iletişim, güvenliliği ve hızlı yüksek web hizmeti, video konferansa olanak sağlaması, 3D oyunlara müsaade etmesi,

TV yayını ve Mobil TV hizmeti vermesi gibi avantajları vardı. Ancak 3G hizmet lisanslarının giriş ücretlerinin yüksek olması, bazı bölgelerde oluşan kapsama alanı problemleri, ülkeler arasındaki lisanslama farklılıkları ve yüksek bant genişliği gereksinimleri gibi dezavantajlarının olması dördüncü nesil mobil sistemlerin (4G) oluşumunu tetikledi. 2012 yılında kullanımına başlanan 4G sistemlerde, mevcut sistemlerden daha ileri seviye kodlama ve modülasyon teknikleri, geniş frekans kanalları ve çoklu anten sistemleri kullanılmaya başlanmıştı. IP tabanlı olan 4G sistemler 100 Mbps ile 1 Gbps arası veri hızı sağlayabiliyordu. Bunun yanı sıra, daha yüksek veri hızı ve haberleşme kapasitesi ile beraber daha fazla hareketlilik, servis kalitesi, güvenlik imkânı ve düşük gecikme süresi gibi avantajlar sunuyordu [5]. Ayrıca 4G sistemler kendinden önceki sistemler ve geniş bant uydu sistemleri ile entegre bir yapıda çalışabiliyordu. Zaman içerisinde, kapsama alanı problemleri, bataryanın hızlı tükenmesi, kotanın çabuk dolması ve sistemin pahalı ekipman gerektirmesi gibi başlıca dezavantajlar ortaya çıkmaya başladı. Son yıllarda görülen toplumsal ve teknolojik gelişmelerin mobil iletişime yansımaları kaçınılmazdı. Günümüz şartlarında neredeyse elektronik olan tüm aygıtların internet bağlantısına ihtiyaç duyması, birbiriyle haberleşen nesneler yani nesnelerin interneti (IoT), akıllı evler ve şehirler gibi etkenlerle mobil veri trafiğinin artması sonucu kullanıcı sayısında da artış olmuştur. Bu artan kullanıcıların yüksek hız ve kapasite ihtiyacını karşılayabilmek adına beşinci nesil mobil iletişim sistemi (5G) oluşturuldu. 5G sistemi 4G sisteminin aksine daha ucuz ekipman, düşük batarya tüketimi ve daha düşük gecikme süresi gibi yenilikler vaat ediyor. Şu an birçok ülke 5G yatırımlarını tamamlamış olup aşamalı olarak geçiş süreci içerisinde yer almaktadır.

Modern dünyada, genç yaşlı fark etmeksizin bireylerin eğitim, alışveriş, sosyal platform kullanımları gibi gerekçelerle internete duyduğu ihtiyacın ve buna bağlı olarak internet kullanımlarının hızla artmasıyla, internetin günlük yaşantıda kapladığı yerin hızlı bir şekilde büyüdüğü gözlemlenmektedir. Bununla birlikte akıllı şehirler, akıllı evler ve akıllı cihazlar gibi birbiriyle haberleşen nesnelerinde (Internet Of Things, IoT) interneti kullanıyor olması sebebiyle 5G sistemine eklenecek cihazların sayısı günden güne artmaktadır. Cihaz ve kullanıcı sayısındaki bu artış ile birlikte bağlantılarda büyük bir artış olacağı da aşîkardır. Bağlantı talebindeki artışın mevcut olarak kullanılan çoklu erişim yöntemleriyle çözümlenmesi ve giderilmesi mümkün değildir. Ayrıca mevcut çoklu erişim yöntemlerinin 5G sisteminin gerektirdiği diğer gereksinimler olan yoğun sistem kapasitesi, yüksek veri hızları, düşük gecikme süreleri, yüksek güvenilirlik ve erişilebilirlik, düşük cihaz maliyeti

ve enerji verimli ağılar gibi talepleri de karşılayamadığı bilinmektedir. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için gelişmiş teknolojiler gereklidir. Bunlar, Çok Girişli Çok Çıkışlı (MIMO) sistemler, Milimetre Dalga İletişimi, Ultra Yoğun Ağ ve Dikgen Olmayan Çoklu Erişim (NOMA) gibi bazı potansiyel adaylardır. Spektral verimliliği, düşük gecikme süresi ve daha fazla bağlantıya imkân vermesi ile NOMA bu adaylar arasında en potansiyellisi olarak öne çıkmaktadır.

1.2. Literatür Araştırması

Beşinci nesil (5G) ve ötesi hücresel ağılar için kilit teknolojilerden biri ortogonal olmayan çoklu erişimdir (NOMA). NOMA'da, birden fazla kullanıcıya yönelik semboller, aynı uzay-zaman-frekans kaynağındaki vericideki güç alanında çoğullanır [27]. NOMA temel olarak 2 başlık altında incelenmektedir. Bunlar; Power Domain (Güç Domeni) NOMA (PD-NOMA) ve Code Domain (Kod Domeni) NOMA (CD-NOMA)'dır.

NOMA'nın tüm potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için eşleştirilmiş kullanıcılar arasında optimum kullanıcı eşleştirmesi ve güç tahsisi esastır [27]. Literatüre bakıldığında Güç Domeni NOMA adına en çok odaklanılan problemlerin başında kullanıcı eşlemesi ve güç tahsisinin olduğu görülmektedir. Bu iki problemin bir arada çözümlenmesi ise kaynak tahsisi olarak belirtilmektedir. Kaynak tahsisi yapılırken, güç tahsisi aşaması genellikle, kullanıcı eşleştirme aşamasından sonra veya kullanıcı eşleştirme algoritması içerisinde bir alt-aşama olarak bağımsız bir problem gibi ele alınmaktadır [6].

Kullanıcı eşleme algoritmalarından en basiti Rastgele Eşleme (Random Pairing) algoritmasıdır. Düşük bir karmaşıklığa sahip olan bu algorithmada kullanıcılar hiçbir dayanak olmadan rastgele bir biçimde eşlenir. Algoritmanın performansı oldukça düşüktür [7,8]. Kapsamlı Arama (Exhaustive Search) algoritması, kullanıcılar arasında mümkün olan tüm kombinasyonları deneyerek en uygun eşleşmeye karar verir. Karmaşıklık derecesi oldukça yüksek bir algorithmadır [9]. Bu hesaplama karmaşıklığını azaltmak adına Sezgisel (Heuristic) algoritma önerilmiştir. Burada kanal kazancı en yüksek kullanıcı ile kalan kullanıcılar arasındaki tüm kombinasyonlar denenerek en uygun eşleşmeye karar verilir [9]. Bir Sonraki En Büyük Fark Temelli Kullanıcı Eşleme (Next Largest-Difference Based User Pairing) Algoritmasında ise kullanıcıların kanal kazançları dikkate alınır. En yüksek kanal kazançlı kullanıcı ile en düşük kanal kazançlı kullanıcıyı eşleştirerek ilerleyen algoritma en iyi performans kazancına ulaşmayı hedefler [7]. Bu algoritma yalnızca 2 kullanıcıdan oluşan

eşlemeler yapmak üzere tasarlanmıştır. Dinamik Kullanıcı Kümeleme (Dynamic User Clustering) Algoritması ise 3 ve daha fazla kullanıcının aynı kümede bulunduğu durumlar için kullanılmaktadır. Kullanıcıların kanal kazançlarının dikkate alındığı algorithmada, yüksek kanal kazançlı kullanıcılar ile düşük kanal kazançlı kullanıcıyı eşleştirmek esas alınmıştır [10]. Eşleştirme Teorisi (Matching Theory) ise sunduğu düşük karmaşıklık sayesinde yaygın bir şekilde kullanılan algorithmadır [11]. Optimal Kullanıcı Eşleme (Optimal User Pairing) algorithmasında bir grupta 2 kullanıcı olması şartıyla kanal kazanç farkı en yüksek kullanıcıların eşlenmesinin en verimli eşlenme olduğu gösterilmiştir [12]. HNG Algoritması (HNG Algorithm) güçlü ve zayıf kullanıcıların eşlendiği atama problemlerini çözmesiyle ünlü bir algorithmadır. Hesaplama karmaşıklığı kullanıcı sayısı arttıkça artar. Karmaşıklık yüksek olmasında rağmen optimum eşleşmeyi garanti eder [13]. Kanal kazançlarının baz alındığı çalışma [14]'de en güçlü kanal şartına sahip kullanıcı ile en kötü kanal şartlarına sahip kullanıcılar eşlenmiştir. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme (Adaptive User Pairing) algorithmasında ise temel olarak en zayıf ve en güçlü kullanıcının eşlenmesi üzerinde durulmuştur. Bu algorithmada standart olarak gruplanan kullanıcıların eşleşebilmesi için gerekli olan minimum bir eşlenme katsayısı olarak tanımlanan değere sahip olup olmadıkları göz önüne alınmıştır. İki kullanıcı bu değer farkına sahipse gruplanıyor, ancak söz konusu bu değer farkına sahip değillerse gruplama olmadan OMA da sahip oldukları koşullarda kalıyorlar [27].

Güç tahsisi NOMA için kritik bir öneme sahiptir. Kullanıcılara yapılacak veri iletiminin hangi güç değerleriyle yapılması gerektiğini belirlemek için üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan en basiti Sabit Güç (Fixed Power Allocation) tahsisidir. Adından da anlaşılacağı gibi kullanıcılara, önceden belirlenmiş sabit oranlarda güç tahsis edilir. Hesaplama karmaşıklığı oldukça düşüktür. Ancak kanal koşullarının dikkate alınmadığı bu yöntem kullanıcılar arasında adaletsizliğe yol açtığı aynı zamanda yeterli performansı da veremediği için genellikle tercih edilmez [15,16]. Kesirli İletim Güç Tahsisi (Fractional Transmit Power Allocation) yönteminde ise kullanıcıların kanal koşulları dikkate alınarak dinamik (değişken) bir şekilde güç tahsisi yapılır. Hesaplama karmaşıklığı düşük olan bu yöntem optimal bir çözüm değildir, bu yüzden fazla tercih edilmez [9,15]. Tam Arama Güç Tahsisi (Full Search Power Allocation) yönteminde ise kullanıcılara atanabilecek tüm güç tahsisi kombinasyonları denenerek optimal bir çözüm sağlanır. Fakat hesaplama karmaşıklığı çok yüksektir [17]. Alternatif olarak sunulan başka bir güç tahsisi yönteminde [12] kullanıcıların her birine en az OMA yönteminde elde edecekleri veri hızına

ulaşmaları garanti edilmiştir. Sistemin toplam hızının maksimum yapılması amaçlanan bu yöntem yalnızca 2 kullanıcının gruplandığı durumlarda geçerlidir. [14]'te ise 2 veya daha fazla kullanıcının aynı grupta yer alması durumunda geçerli olan, yine her kullanıcıya en az OMA yöntemiyle elde edeceği veri hızını garanti eden bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem ile her kullanıcıya en az OMA yönteminde elde edeceği şekilde güç tahsisi yapıldığında, kalan güç kanal şartları en iyi olan kullanıcıya verilerek sistemin toplam hızı maksimize edilir.

Kod domeni NOMA kavramı, birden çok sayıda kullanıcının aynı zaman ve frekans kaynaklarını paylaşarak kullandığı, ancak benzersiz kullanıcıya özel yayılma dizilerini benimsediği klasik CDMA sistemlerinden esinlenmiştir. Bununla birlikte, CDMA ile karşılaştırıldığında görölen temel farklılık, yayılma dizilerinin, NOMA'daki seyrek diziler veya dikgen olmayan düşük çapraz korelasyon dizileriyle sınırlı olmasıdır [11,23]. Kod domeni NOMA için önerilen temel özömler aşağıda verilmiştir [28].

- Düşük yoğunluklu yayma CDMA (Low Density Spreading, LDS-CDMA),
- Düşük yoğunluklu yayma dik frekans bölmeli oğullama (Low Density Spreading Orthogonal Frequency Division Multiplexing, LDS-OFDM),
- Seyrek kod çoklu erişim (Sparse Code Multiple Access, SCMA)
- Çok kullanıcılı paylaşımlı erişim (Multi-User Shared Access, MUSA)

LDS-CDMA'nın arkasındaki fikir, her bir ipteki girişimi azaltmak için geleneksel CDMA'daki yoğun yayılma dizileri yerine seyrek yayılma dizileri kullanmaktır. Bu nedenle, LDS-CDMA, geleneksel CDMA ve LDS-CDMA'yı ayıran temel özellik olan CDMA'daki LDS dizilerinden yararlanarak sistem performansını iyileştirebilir. Bu şekilde, uygun yayılma dizisi tasarımı ile birden fazla kullanıcı arasında parazit etkin bir şekilde azaltılacak ve aşırı yükleme elde edilebilecektir [23]. LDS-OFDM'de, iletilen semboller önce belirli LDS dizilerine eşlenir ve daha sonra farklı OFDM alt taşıyıcılarında iletilir. Sembollerin sayısı alt taşıyıcıların sayısından daha fazla olabilir, yani spektral verimliliği artırmak için aşırı yüklemeye izin verilir [23]. SCMA, LDS-CDMA'nın geliştirilmiş bir sürümüdür. LDS-CDMA'dan farklı olarak SCMA, farklı bit akışlarını, her kullanıcının önceden tanımlanmış bir kod çizelgesine sahip olduğu farklı seyrek kod sözcüklerine doğrudan eşler. Aynı kod kitabındaki tüm kod sözcükleri, aynı iki boyutta sıfırlar içerir ve farklı kod kitaplarındaki sıfırların konumları, herhangi iki kullanıcının çarpışmadan kaçınmasını kolaylaştırmak için farklıdır. Her kullanıcı için iki bit, karmaşık bir kod sözcüğüne eşlenir. Tüm kullanıcılar için kod sözcükleri, paylaşılan dört ortogonal kaynak (örneğin, OFDM alt taşıyıcıları) üzerinden

çoğullanır. LDS-CDMA ve SCMA arasındaki temel fark, SCMA için çok boyutlu bir takımyıldızın, LDS için mümkün olmayan “şekillendirme kazancını” getiren kod çizelgeleri oluşturmak üzere tasarlanmış olmasıdır [23]. MUSA, geliştirilmiş bir CDMA tarzı şema olarak kabul edilebilecek, kod alanı çoğullamasına dayanan başka bir NOMA şemasıdır. MUSA'da, alıcıda mükemmele yakın girişim iptalini kolaylaştırmak için yayılma dizileri düşük çapraz korelasyona sahip olmalıdır [11].

1.3. Telsiz Haberleşmede Temel Kavramlar ve Başlıca Kanal Modelleri

Bu başlık altında, tez içerisinde incelenen NOMA yöntemi uygulanırken işaret iletimini olumsuz yönde etkilediği kabul edilen bozucu etkenlerden olan Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü (Additive White Gaussian Noise, AWGN) ve yol kaybını temsil eden Path Loss modeli incelenmiştir.

1.3.1. Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsünden (AWGN)

Toplamsal beyaz Gauss gürültülü kanal, bir haberleşme sisteminin en basit modellerinden biridir. Toplamsal beyaz Gauss gürültüsü (AWGN), doğada meydana gelen birçok rastgele sürecin etkisini incelemek ve teşhis etmek için öne çıkan temel gürültü modellerinden biridir. Açılımını tek tek irdeleyecek olursak; 'Toplamsal' olarak ifade edilmesi, bilgi sistemine veya görüntüye özgü olabilecek herhangi bir gürültüye eklenmesinden dolayıdır. 'Beyaz' olarak ifade edilmesi, bilgi sistemi için frekans bandı boyunca tek tip güce sahip olduğunu belirtmek içindir. Bu görünür spektrumdaki tüm frekanslarda tek tip emisyonlara sahip olan beyaz renge bir benzetmedir. 'Gaussian' ifadesi ise zaman alanında ortalama zaman alanı değeri sıfır olan normal bir dağılıma sahip olduğunu ifade eder [18].

Gauss dağılımına ait Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Probability Density Function-PDF), aşağıda ifade edilmektedir. Burada σ^2 gürültünün varyansını, μ gürültü ortalamasını ifade etmektedir.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad , \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (1)$$

1.3.2. Path Loss (Yol Kaybı) Modeli

Kablosuz iletişim sisteminde verici ve alıcı arasında meydana gelen kayıplar, yayılma yolu kaybı olarak bilinir. Yol kaybı, kablosuz iletişim sisteminin analizi ve tasarımında önemli bir faktördür. Ayrıca, yol kaybı normal olarak radyo dalgası yayılımının boş uzayda doğal genişlemesinden kaynaklanan yayılma kayıplarını içerir. Elektromanyetik dalgalar, görüş hattını kapatan birçok engel nedeniyle genellikle alıcıya doğrudan ulaşamaz. İletilen sinyalin yol boyunca, engellerden dolayı birçok kopyası, fazında ve genliğinde dalgalanmalara uğrayarak alıcıya ulaşır [19]. Bu olaya çok yollu yayılma denir, sinyal yayılımını etkileyen ana etkenler aşağıdaki gibidir;

- Yansıma (reflection)
- Kırınım (diffraction)
- Saçılma (scattering)
- Doppler etkisi (doppler effect)

Yayılma modelleri, belirli bir konumdaki sinyal gücü veya kapsama kaybını tahmin etmek için geliştirilmiştir. Bu nedenle, mühendisler ve bilim adamları tarafından kablosuz iletişim sistemlerini planlamak ve optimize etmek için kullanılan matematiksel araçlardır. Ayrıca yol kaybı, iletilen gücün alınan güce oranı olarak tanımlanabilir ve genellikle desibel cinsinden aşağıdaki biçimde ifade edilir [19].

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log_{10}(d/d_0) \quad (2)$$

Burada d mesafedir, d_0 1 km'deki referans noktasıdır ve n yol kaybını ifade eder.

1.3.3. Sönümlenme ve Sönümlemeli Kanalların Sınıflandırılması

Kablosuz haberleşme sistemlerinde, iletilmek istenen işaret vericiden alıcıya doğru giderken farklı yollar ve engellerle karşılaşabilir. Bu iletilen işaret kanalın bulunduğu ortama göre yansıma (reflection), saçılma (scattering) ve kırılmaya (diffraction) gibi bozucu etkilere uğrayabilir. Bu gibi bozucu etkiler sonucunda iletilen işaretin, alıcıda birden çok kopyası oluşur. Buna çok yollu saçınım adı verilir. Yansıma, kırılma ve saçılma gibi bozucu etkiler sonucunda, iletilen işaretin genliğinde ve fazında değişimler olur. Alınan işaretin genliğindeki bu değişimler işaret sönümlenmesi olarak adlandırılırken, bu etkilere sebep olan

kanallara ise sönümlemeli kanallar adı verilir. Kanallarda oluşan sönümlemeler sınıflandırılırken, küçük ölçekli sönümleme (small-scale fading) ve büyük ölçekli sönümleme (large-scale fading) olarak iki başlık altında incelenir [20].

Küçük ölçekli sönümleme, küçük bir iletim mesafesi veya zaman aralığında sinyal gücündeki hızlı dalgalanmadır. Kısaca ifade edilirse, kısa mesafede işaretin genliğinin ani değişimi sonucu meydana gelen sönümlemedir. Küçük ölçekli sönümleme, işaretin zaman yayılımı (time-spreading) ve kanalın zamanla değişim özelliğinden meydana gelir. Küçük ölçekli sönümlemeyi etkileyen faktörler ise çok yollu yayılma, verici ve alıcı arasındaki nispi hız, çevredeki nesnelerin hızı ve sinyalin iletim bant genişliğidir. Küçük ölçekli sönümleme çok yollu zaman gecikmesi bakımından frekans seçici olmayan (düz) ve frekans seçici olarak, Doppler yayılması açısından da yavaş ve hızlı sönümlemeli olarak sınıflandırılır [20]. Bu sönümleme çeşitleri kanalın uyumluluk bant genişliğine, Doppler frekansına ve uyumluluk zamanına bağlı olarak değişir.

- Frekans seçici olmayan yavaş sönümlemeli kanal: İşaretin bant genişliği kanalın uyumluluk bant genişliğinden küçük ve işaretin süresi kanalın uyumluluk zamanından küçüktür.
- Frekans seçici olmayan hızlı sönümlemeli kanal: İşaretin bant genişliği kanalın uyumluluk bant genişliğinden küçük ve işaretin süresi kanalın uyumluluk zamanından büyüktür.
- Frekans seçici yavaş sönümlemeli kanal: İşaretin bant genişliği kanalın uyumluluk bant genişliğinden büyük ve işaretin süresi kanalın uyumluluk zamanından küçüktür.
- Frekans seçici hızlı sönümlemeli kanal: İşaretin bant genişliği kanalın uyumluluk bant genişliğinden büyük ve işaretin süresi kanalın uyumluluk zamanından büyüktür.

Büyük ölçekli sönümleme, yayılma kanalının etkileri nedeniyle nispeten büyük mesafelerde meydana gelen, alınan güçteki değişikliklerdir. Büyük ölçekli sönümleme yol kaybı ve gölgeleme olarak sınıflandırılan iki farklı etkiye sahiptir. Yol kaybı, verici ile alıcı arasındaki mesafe nedeniyle verici tarafından yayılan gücün dağılmasından kaynaklanır. Gölgeleme, verici ve alıcı arasındaki, soğurma, yansıma, saçılma ve kırınım yoluyla sinyal gücünü azaltan engellerden kaynaklanır.

1.3.4. Rayleigh Sönümlmeli Kanal Modeli

Rayleigh sönümlmeli kanal modeli kablosuz haberleşmede, verici ile alıcı arasında doğrudan görüş hattının (line-of-sight, LoS) olmadığı ve alınan işaretin sadece çevreden yansıyan bileşenlerden oluştuğu durumlarda, iletilen işaretlerin maruz kaldığı sönümleme etkisini ifade etmek için kullanılan istatistiksel modellerden biridir ve Rayleigh dağılımı ile modellenir. Eğer yansıyan bileşenlerin sayısı yeterince çoksa, merkezi limit teoremine göre alınan işaretin dik bileşenleri ortalaması 0, varyansı σ^2 olan bağımsız Gauss değişkenleridir. Bu durumda sönümleme değişkeninin normu Rayleigh dağılımı ile modellenir. Rayleigh dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$f_{(h)}(x) = \frac{2x}{\Omega} e^{-\frac{x^2}{\Omega}} \quad , \quad 0 \leq x \leq \infty \quad (3)$$

Burada (h) sönümleme değişkeninin zarfını, x Rayleigh rastlantısal değişkenini ve Ω sönümlmeli kanalın ortalama gücünü ifade etmektedir. ($\Omega = E[|h|^2]$)

1.3.5. Nakagami- m Sönümlmeli Kanal Modeli

Nakagami- m dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) aşağıda verilmiştir.

$$f_{(h)}(x) = \frac{2m^m x^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} e^{-\frac{mx^2}{\Omega}} \quad , \quad x \geq 0 \quad (4)$$

Burada, Γ ifadesi Gamma fonksiyonunu ve Ω ise ortalama gücü temsil eder. Nakagami- m dağılımı için, $m=1/2$ değeri tek yönlü Gauss dağılımına, $m=1$ değeri Rayleigh dağılımına, $m \rightarrow \infty$ ise kanalda sönümlemenin olmadığı AWGN kanal durumuna yakınsar.

1.3.6. Rician Sönümlmeli Kanal Modeli

İletim ortamında, direkt görüş yolunda herhangi bir engel yok ise alınan işaret, doğrudan ve birçok yansıyan bileşenin toplamıdır. Doğrudan bileşen sabit genlikli, durağan ve sönümlemesiz işarettir. Yansıyan bileşenler ise bağımsız rastgele işaretlerdir. Yansıyan

bileşenlerin zarfı Rayleigh dağılım gösterir. Bir adet kuvvetli doğrudan görüş hattının (line-of-sight, LoS) bileşeni ve birçok rastgele zayıf bileşen içeren yolları modellemek için kullanılan Rician dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) aşağıda verilmiştir.

$$f_{(h)}(x) = \frac{2x(k+1)}{\Omega} e^{-k-\frac{(k+1)x^2}{\Omega}} I_0 \{2x\sqrt{k \cdot (k+1)} / \Omega\} \quad (5)$$

Burada I_0 birinci tür, sıfırıncı dereceden değiştirilmiş Bessel fonksiyonunu ifade eder.

Rician faktörü k değerinin artması ile baskın yolun ortalama gücü artmaktadır. Bu da telsiz sistemin hata performansı üzerinde olumlu etki yapmaktadır. Rician dağılımı, $k=0$ değeri için Rayleigh dağılımına, $k \rightarrow \infty$ için kanalda sönmlemenin olmadığı AWGN kanal durumuna yakınsar.

1.4. Optimizasyon ve Optimizasyon Algoritmaları

Mühendislik tasarımı ve iş planlamasından veri madenciliği ve makine öğrenimine kadar birçok uygulamada optimizasyon çok önemlidir. Optimizasyonun birçok amacı olabilir. Örneğin; enerji tüketimini, maliyetleri, israfı, seyahat süresini ve çevresel etkiyi en aza indirmek veya karı, çıktıları, performansı, verimliliği ve sürdürülebilirliği en üst düzeye çıkarmak. Açıkçası, gerçek dünya uygulamalarında kaynaklar, zaman ve para her zaman sınırlıdır ve çeşitli tasarım sorunlarına en uygun çözümleri bulmamız gerekir. Bu çözümleri bulmak için öncelikle problemleri formüle etmemiz gerekir. Maksimize edilecek veya minimize edilecek bir şey olduğu sürece, kısıtlamalara tabi olarak, uygun bir optimizasyon problemi formüle edilebilir. Optimizasyon problemlerini çözmenin temel amacı, amaç fonksiyonunun minimize veya maksimize edilebileceği şekilde optimal çözümü veya bir dizi optimal çözümü bulmaktır. Optimizasyon problemlerini çözmek için optimizasyon algoritmalarına ve tekniklerine ihtiyaç vardır. Optimizasyon algoritmalarını iki ana başlıkta incelemek mümkündür. Bunlar; Kesin Metotlar (Exact Methods) ve Yaklaşık Metotlar (Approximation Methods)dır [21].

Kesin Metotlar, problemin global optimum cevabına kesin olarak ulaşan metot veya algoritmalarıdır. Örnek olarak Doğrusal Programlama ve Dinamik Programlama algoritmaları verilebilir.

Yaklaşık Metotlar, problemin global optimum cevabına kesin olarak ulaşamayarak mümkün oldukça optimum cevaba yakın bir değere ulaşır. Hızlı çözümler üretebildiği için, işlem sayısı fazla ve çözümü karmaşık olan problemlerde yaklaşık metotlar tercih edilir. Yaklaşık metotlar iki başlıkta incelenir. Bunlar Sezgisel ve Metasezgisel Algoritmalarıdır. Sezgisel algoritmalar problem odaklıdır, tek bir problem için çözüm oluşturur. Metasezgisel algoritmalar ise genel olarak problemlere çözüm üretmek için oluşturulmuştur. Yüksek kaliteli çözümlerin veya potansiyel olarak optimal çözümlerin pratikte oldukça hızlı bir şekilde bulunabilmesiyle Metasezgisel algoritmalar öne çıkmaktadırlar [21].

Bu tez çalışması sırasında bir Metasezgisel algoritma örneği olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) algoritması kullanılmıştır. PSO algoritmasının seçilme sebebi klasik optimizasyon tekniklerinden farklı olarak türev bilgisine ihtiyaç duymamasıdır. PSO algoritmasında ayarlanması gereken parametre sayısının az olması sebebiyle uygulamak oldukça basittir.

1.4.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO)

Dr. Kenedy ve Dr. Eberhart tarafından geliştirilen Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasının oluşumunda, sürü halinde hareket eden balıklar ve kuşların davranışlarından ilham alınmıştır. PSO ana fikir olarak sürü zekasına dayanan bir algoritmadır. Sürü şeklinde hareket eden hayvanların beslenme ve korunma gibi durumlarda, genellikle rasgele olarak gösterdiği davranışların, hedeflerine daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. PSO, temel olarak sürüde bulunan bireylerin pozisyonunun, sürünün en iyi pozisyona sahip olan bireyine yaklaştırılmasına dayanır. Her bir parçacık kendi pozisyonunu, bir önceki tecrübesinden faydalanarak sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlar. Burada, çözümü bulmak için arama yapan her bir birey parçacık olarak adlandırılırken, parçacıkların bulunduğu topluluk ise sürü olarak adlandırılmıştır. Bir parçacığın çözümü aradığı süre zarfında kendisinin çözüme en çok yaklaştığı andaki en iyi durumu personalbest olarak, sürünün tamamında ve tüm arama boyunca çözüme en çok yaklaşan parçacığın o andaki durumu ise globalbest olarak adlandırılır. Bir bireyin çözüme olan yakınlığını anlamak için uygunluk fonksiyonu kullanılır. Uygunluk fonksiyonunun asıl amacı, gerçek çözüme ne kadar yaklaşıldığını tespit etmektir. Uygunluk fonksiyonuna göre personalbest ve globalbest değerleri güncellenir. İstenilen sonuç elde edilene kadar güncelleme devam eder [22].

PSO algoritması aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

1. Rasgele üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
2. Sürü içerisindeki tüm parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır.
3. Her bir parçacık için mevcut jenerasyondan yerel en iyi (*pbest*) bulunur. Sürü içerisinde en iyilerin sayısı parçacık sayısı kadardır.
4. Mevcut jenerasyondaki yerel eniyiler içerisinde küresel en iyi (*gbest*) seçilir.
5. Pozisyon ve hızlar aşağıdaki gibi yenilenir.

$$V_{t+1} = V_t + C_1 \times rand_1 \times (pbest_t - x_i) + C_2 \times rand_2 \times (gbest - x_i) \quad (6)$$

Burada; x değişken parçacık değeri, t değeri iterasyon sayısını V parçacığın değişim hızı, C ölçeklendirme için sabit değer, *pbest* kişisel en iyi değer, *gbest* global en iyi değer ve *rand* rastgele üretilen değerdir.

6. Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar 2,3,4,5 adımları tekrar edilir.

Yöntemin uygulanışına bakıldığında, temel olarak yukarıda yer alan adımlar izlenir. Ancak optimizasyon problemlerinin ideale daha yakın sonuçlar vermesini sağlamak için bazı eklemeler yapılabilir. Bu eklemeler atalet sabiti (W), K sabiti (K), hız kısıtı, konum kısıtı ve penaltı fonksiyonu (ceza) kavramlarıdır.

1.4.1.1. Atalet Sabiti (W)

Çözümün en ideal şekilde bulunmasına yardımcı olması amacıyla hız fonksiyonuna eklenir.

$$W(t) = W_{up} - (W_{up} - W_{low}) \frac{t}{T_{max}} \quad (7)$$

Burada yer alan t değişkeni iterasyon sayısını göstermektedir.

1.4.1.2. K Sabiti (K)

Bazı çok karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde atalet sabiti (W) atamak tek başına yeterli olmayabilir. Bu yüzden K sabitine başvurulur. Belirtilen bu sabit, doğru

sonuca ulaşmak amacıyla sapma sayısının azaltılmasına yardımcı olur. K sabiti eklenen denklem aşağıdaki şekilde oluşur.

$$V_{t+1} = K[V_t + C_1 \times rand_1 \times (pbest_t - x_i) + C_2 \times rand_2 \times (gbest - x_i)] \quad (8)$$

Kappa sabiti belirlenirken, C_1 ve C_2 değerleri 2'den büyük alınmalıdır.

$$\varphi = C_1 + C_2 > 2 \quad (9)$$

$$K = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|} \quad (10)$$

1.4.1.3. Hız Kısıtı

Sürüde yer alan parçacıkların hız değerleri kontrol edilmediği takdirde ve aşırı arttığı zaman sürü içerisinde kopmalar olmaktadır. Olası bu kopmalar, özellikle çözümün karmaşık olduğu durumlarda algoritmanın performansını olumsuz yönde etkileyerek sonuca yansır. Bu durumu engellemek için hız vektörüne sınırlamalar tanımlanmıştır. Öncelikle tüm iterasyonlarda geçerli olmak üzere V_{max} ve V_{min} değerleri aşağıda belirtilen şekilde tanımlanır.

$$Vmax = \frac{\min_i\{b_i - a_i\}}{k} \quad (11)$$

Burada yer alan a ve b değişkenleri konum kısıtının başlangıç ve bitiş değerleridir. Geride kalan iterasyonlardaki hız değeri, tanımlanan V_{max} ve V_{min} değerleri arasında olmalıdır.

$$V_{t+1} = Vmax \quad (12)$$

$$\begin{aligned} V_{t+1} &= Vmax, \text{ eğer } V_{t+1} > Vmax \\ &= -Vmax, \text{ eğer } V_{t+1} < -Vmax \end{aligned} \quad (13)$$

1.4.1.4. Konum Kısıtı

Optimizasyona başlarken öncelikle her bir parçacık için konum kısıtlarına uygun değerler seçilmelidir. İlk iterasyon seçilen bu değerlerle ve bunlara bağlı diğer değişkenlerle yapılmalıdır. Parçacıkların sürü içerisinde kalması, optimizasyon probleminin daha optimal bir çözüme kavuşturabilmesi için önemlidir. Bu nedenle sürüdeki her bir parçacığın yenilenen konumunun da belirli kısıtlar içinde olması gerekmektedir. Bu gerekliliği sağlayabilmek için konum kısıtı kullanılır ve kısıt dışına çıkan parçacık yok sayılarak yerine yeni parçacık üretilir. Bu durum sapmayı tamamen ortadan kaldırılmasına ve ideal çözüme ulaşılmasında önemli bir rol oynar.

1.4.1.5. Penaltı Fonksiyonu (Ceza)

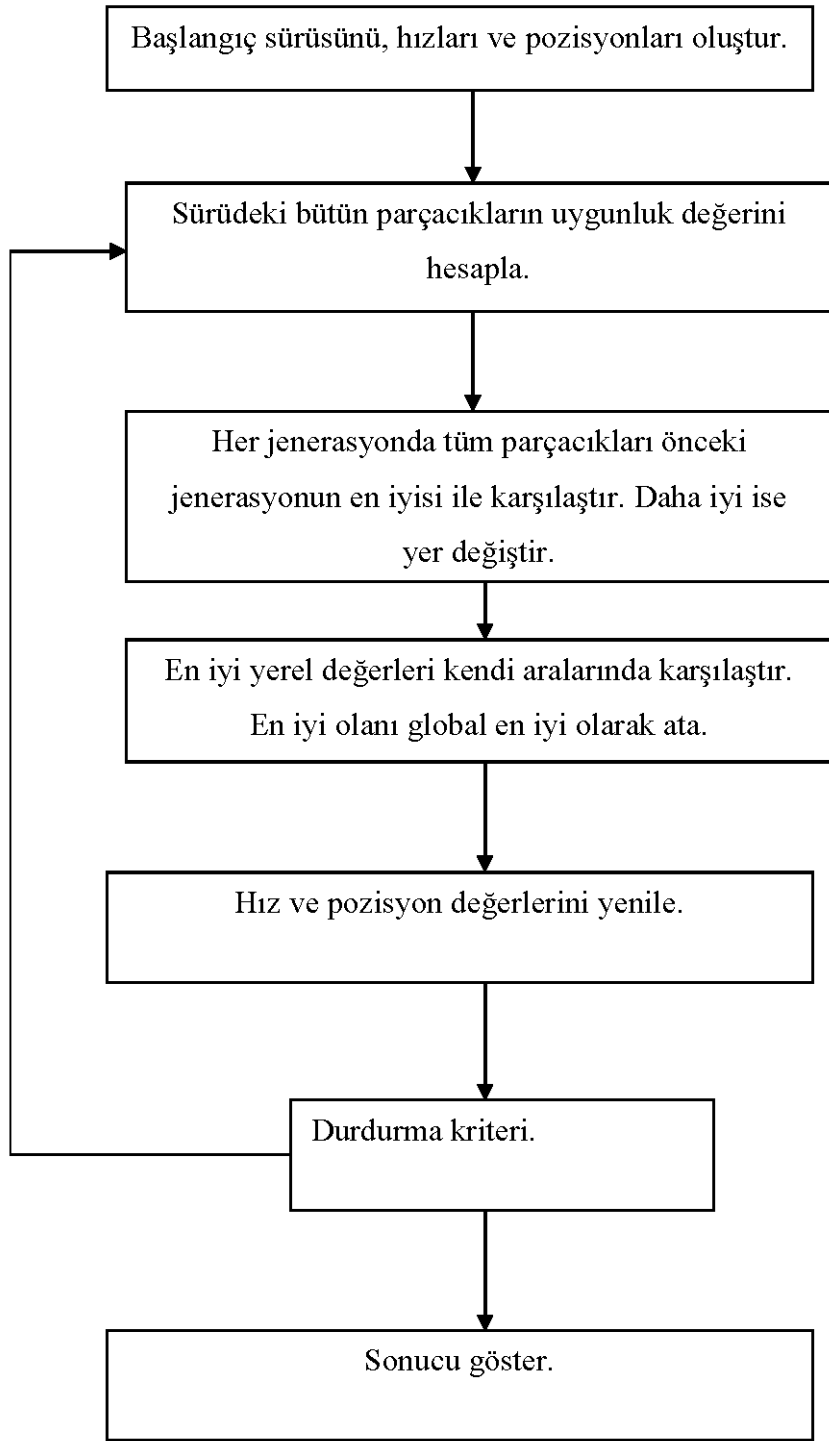
Penaltı fonksiyonundaki temel mantık kısıtların dışına çıkan parçacıkların amaç fonksiyonunun büyütülerek, optimizasyon probleminin ideal çözüme ulaşmasına yardımcı olmaktır. Ancak bu ceza fonksiyonu yöntemi tek başına etkili olmaz. Penaltı fonksiyonu diğer kısıtlarla beraber kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar.

Penaltı fonksiyonunun işleyişine baktığımızda öncelikle belirlenen kısıtlar kontrol edilir. Parçacık bu kısıtların dışında ise algoritma içerisinde belirlenmiş bir değişkene (toplam) bu değer atanır. Parçacığın her bir boyutu için bu işlem yinelenir. Bir sayaç değişkeni (sayaç) yardımıyla bu işlemin kaç defa yapıldığı sayılır. Her parçacık için uygulanan bu fonksiyon (h) her iterasyonda yinelenir. Algoritma sonunda geri döndürülecek fonksiyon, penaltı fonksiyonu algoritması içerisinde oluşturulan ve kullanılan değişkenleri içermektedir. Bir penaltı fonksiyonu aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$h = 100 \times \text{sayaç} + 100 \times \text{toplam} \quad (14)$$

Amaç fonksiyonu (f) ve penaltı fonksiyonu (h) toplanarak işleme girmek üzere geri döndürülür. Penaltı fonksiyonu uygulandıktan sonra ortaya çıkan cevabı penaltı fonksiyonunun matematiksel yapısı çok fazla etkilemektedir. Eğer penaltı fonksiyonu azalarak artan bir fonksiyon ise sonuç ideale daha çok yaklaşacaktır.

$$h = 100000 (\text{sayaç} + \text{toplam})^2 \quad (15)$$



Şekil 1. Parçacık Sürü Optimizasyonu akış diyagramı

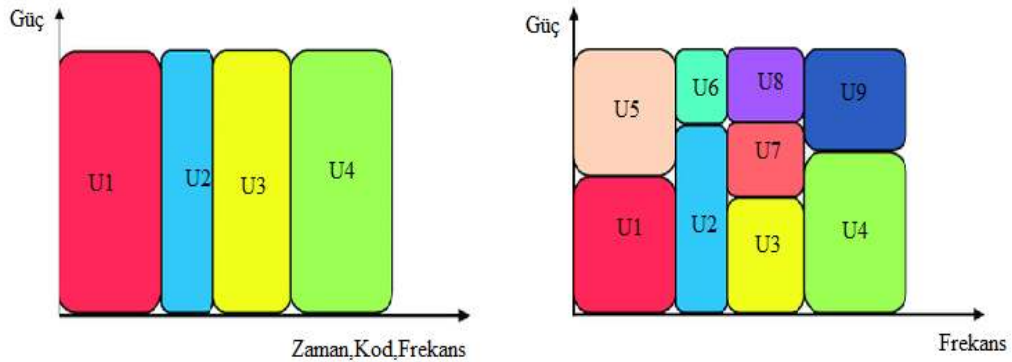
1.5. Dikgen Olmayan Çoklu Erişim (Non-Orthogonal Multiple Access)

Bir kaynağa, geleneksel dikgen çoklu erişim (OMA) sistemlerinde sadece bir adet kullanıcı yerleştirilebilirken, dikgen olmayan çoklu erişim (NOMA) yöntemiyle birlikte

daha fazla kullanıcı yerleştirmek mümkün olacaktır. Bir kaynağa yerleştirilen kullanıcısı sayısının artmasıyla spektral verimlilikte arttırılır. Ayrıca bu sayede sistemin toplam veri hızı da arttırılmış olur. Geleneksel dikgen çoklu erişim (OMA) yöntemlerinde kullanıcının bir kaynağa erişmesi için uzun bir süre beklemesi gerekebilir. Ancak dikgen olmayan çoklu erişim (NOMA) yönteminde her bir kaynak bloğuna iki veya daha fazla kullanıcı yerleştirilerek, kullanıcının kaynağa erişim için beklemesi gereken süre azaltılır. Dikgen olmayan çoklu erişim (NOMA), kullanıcının ihtiyaçlarını karşılayacak biçimde en uygun düzenlemeyi cihazı ya da kullanıcıyı uzun süre bekletmeden gerçekleştirir. Böylece 5G teknolojisindeki problemlerden biri olan gecikme süresinin azaltılmasına imkân verir [23].

Dikgen olmayan çokgen erişimin (NOMA) temel avantajları [24];

- Yüksek bant verimliliği; aynı zaman ve frekans bölmesini birden fazla sayıda kullanıcı kullandığı için bant verimliliği artar.
- Kullanıcı adaleti; geleneksel çoklu erişim yöntemlerinde kanal şartları daha iyi olan kullanıcı daha avantajlıdır. NOMA’da ise kanal şartları kötü olan kullanıcıya daha yüksek güç sağlanarak adalet sağlanmış olur.
- Yüksek bağlantıya imkân vermesi; özellikle nesnelerin internetinin (IoT) 5G’nin içerisine dahil olmasıyla beraber milyarlarca akıllı cihazın bağlantısının karşılanması gerekmektedir. Noma kaynağa daha çok kullanıcı yerleştirerek buna imkân verir.
- Uyumluluk; NOMA mevcut çoklu erişim yöntemlerine rahatlıkla uygulanabilir.
- Düşük gecikme; kullanıcılara özel tahsis edilmiş zaman bölmesi yerine eş zamanlı olacak şekilde aynı zaman bölmesinde hizmet verdiği için gecikme azalır.



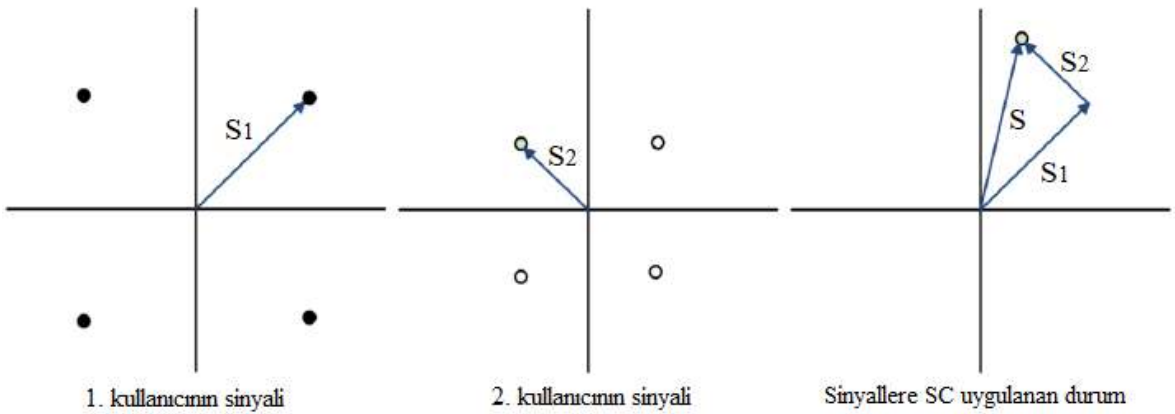
Şekil 2. OMA ve NOMA temsili kullanıcı atama şeması

1.5.1. Güç Domeni (Power Domain) NOMA

Güç domeni NOMA konsepti ilk olarak, birden fazla kullanıcının hem zaman hem de frekans kaynaklarını aynı anda paylaşmasına izin vererek kablosuz ağların spektral verimliliğini artırmak için tanıtıldı. NOMA yöntemindeki ana fikir, kullanıcıların sinyallerinin aynı zaman ve frekans bölgesinde farklı güç katsayıları ile iletilmesidir. Verici kısmında, kullanıcıların sinyalleri farklı güçlerle üst üste bindirilerek süperpozisyon kodlama (superposition coding, SC) yöntemi ile iletilir. Alıcı kısmında ise ardışık girişim giderme (successive interference cancellation, SIC) yöntemi uygulanarak sinyaller birbirinden ayrıştırılır [24].

Güç domeni NOMA'da kullanıcılar arasında yapılacak olan güç tahsisi çok büyük bir öneme sahiptir. Güç tahsisi, kullanıcılar ile verici arasındaki kanal durumuna göre yapılır. Bu nedenle kanal bilgi teorisine göre kanal kapasitesinin maksimizasyonu açısından daha iyi kanala sahip kullanıcıya daha düşük güç tahsisi yapılırken, kanal şartları daha kötü olan kullanıcıya daha yüksek güç tahsisi yapılır [25].

SC, bilgileri tek bir kaynaktan birkaç alıcıya aynı anda iletme tekniğidir. Başka bir deyişle, vericinin aynı anda birden fazla kullanıcının bilgilerini iletmesine izin verir. SC'de verici, her bir kullanıcının sinyalini o kullanıcı için belirlenen güç katsayısı ile çarparak tüm kullanıcıların sinyallerini üst üste bindirerek iletim yapar.



Şekil 3. Süperpozisyon kodlama tekniği örneği

$$S_1 = h_1\sqrt{a_1P}s_1 + h_1\sqrt{a_2P}s_2 + N_1 \quad (16)$$

$$S_2 = h_2\sqrt{a_1P}s_1 + h_2\sqrt{a_2P}s_2 + N_2 \quad (17)$$

Burada; S iletilen sinyali, s_1, s_2 kullanıcılara ait sinyalleri, a_1, a_2 kullanıcılara tahsis edilen güç katsayısını (a 'ların toplamı 1'e eşit olmak zorundadır. Çünkü toplam güç sabit kalmaktadır.), h kullanıcılara ait kanal katsayısını, N Gauss gürültüsünü ve P ise vericinin toplam gücünü temsil eder. Bu eşitlik, iki kullanıcı olan sistemde yapılan SC için verilmiştir [26].

NOMA'da da alıcıda işaretlerin çözülmesi sırasında SC yöntemi ile bilinçli olarak oluşturulan girişimi gidermek için SIC yöntemi uygulanır. Burada temel mantık kullanıcıların sinyallerinin sırayla çözülmesidir. Bu çözülmenin gerçekleşmesi için kullanıcılara tahsis edilen güç katsayılarının bilinmesi gerekir.

SIC uygulanırken, kanalı en güçlü olan kullanıcı kanalı en zayıf olan kullanıcının sinyalini çözer, ardından bu sinyali toplam sinyalden çıkartır. Sadece kendi sinyali kalana kadar kanalı en zayıf olan kullanıcıdan güçlü olana doğru tüm kullanıcıların sinyallerini sıra ile çözerek, her seferinde elinde kalan sinyalden çıkartır. Bu şekilde en son olarak elde edeceği sinyal kendi sinyali olacaktır. Bu sayede sinyal tüm girişimlerden kurtarılmış olacaktır.

Kanal gücü daha az olan kullanıcının ise kanalı kendisinden daha zayıf olan kullanıcıların sinyallerini en zayıftan güçlüye doğru olacak şekilde sırayla çözerek elinde kalan sinyalden çıkarması gerekir. En zayıf kullanıcının ise SIC uygulamasına gerek yoktur. Zaten kanalı en zayıf kullanıcı en yüksek güç katsayısına sahip olduğu için diğer kullanıcıların sinyallerini gürültü olarak kabul eder ve SIC yöntemi uygulamasına gerek kalmadan gelen sinyali çözmüş olur [26].

Özetle, üst üste binen mesajların kodunun çözülmesiyle ilgili belirli süreç aşağıdaki gibi matematiksel olarak ifade edilebilir:

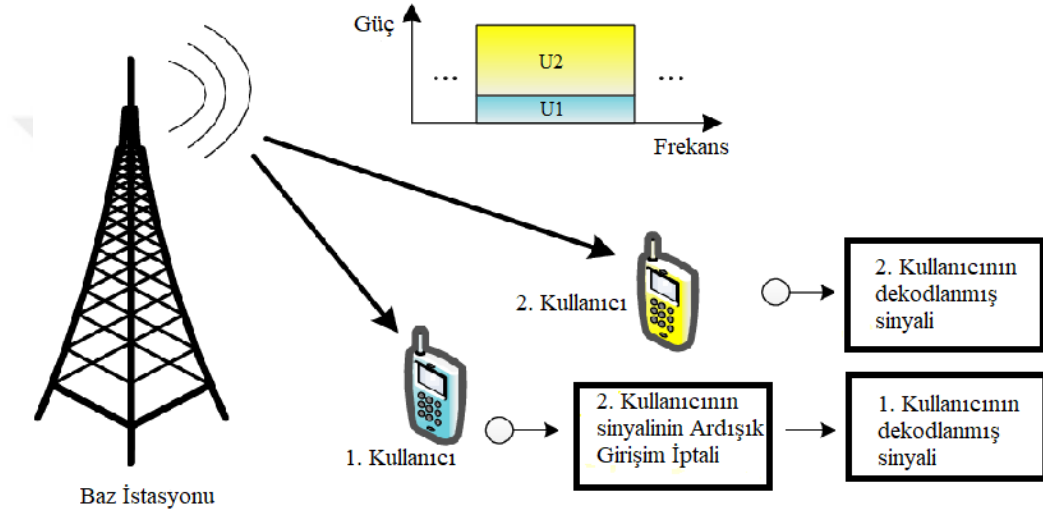
$$\tilde{s}_2 = \arg_{\min} |S_1 - h_1\sqrt{a_2P}s_i|; i = 0, 1, \dots, M-1 \quad (18)$$

$$\tilde{s}_1 = \arg_{\min} |S_1 - h_1\sqrt{a_2P}\tilde{s}_2 - h_1\sqrt{a_1P}s_i|; i = 0, 1, \dots, M-1 \quad (19)$$

$$\tilde{s}_2 = \arg_{\min} |S_2 - h_2\sqrt{a_2P}s_i|; i = 0, 1, \dots, M-1 \quad (20)$$

Burada; $\tilde{s}_1$ ve $\tilde{s}_2$ 1. ve 2. kullanıcıların aldığı sinyalleri ifade eder.

Burada kanalı güçlü kullanıcı, yani güç katsayısı düşük olan kullanıcı sinyali çözümlmek için önce denklem (18) ile verilen işlemi yapar. Ardından ise denklem (19)'da verilen işlemi yaparak kendi sinyaline ulaşır. Kanalı zayıf olan kullanıcı, yani güç katsayısı yüksek olan kullanıcı ise denklem (20)'de verilen eşitliği kullanarak doğrudan kendi sinyaline ulaşır.



Şekil 4. Ardışık girişim giderme tekniği örneği

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu bölümde, Dikgen Olmayan Çoklu Erişim’de kaynak tahsisinin ne anlam ifade ettiği ve bu işlemin yapılabilmesi için kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Bu yöntemler açıklanırken literatürde yer alan ilgili çalışmalardan yararlanılmıştır.

2.2. Kaynak Tahsisi

Dikgen olmayan çoklu erişim (NOMA) sisteminde birden fazla kullanıcıya eş zamanlı olarak hizmet verebilmek için kullanıcı çoğullama yapılır. Bu işlem güç bölgesinde yapıldığı için, kullanıcıların aynı radyo, zaman veya frekans kaynağında iletim ve alım yapabilmeleri mümkündür. Daha önceki başlıklarda da anlatıldığı gibi Aşağı yönlü (Downlink) NOMA sistemlerinde, baz istasyonunda farklı kullanıcıların sinyalleri uygun bir güç paylaşımıyla üst üste bindirilir (SC). Alıcıda ise üst üste bindirilen bu sinyal ardışık girişim giderme (successive interference cancellation, SIC) yöntemi kullanılarak ayrıştırılır. Kullanıcı adaletini sağlamak amacıyla zayıf kanala sahip olan kullanıcıya daha çok güç tahsisi yapılırken, güçlü kanala sahip kullanıcıya daha az güç tahsisi yapılır [6,7]. NOMA’nın aşağı yönlü haberleşmede, geleneksel dikgen çoklu erişim (Orthogonal Multiple Access, OMA) yöntemlerine göre yaklaşık %30 daha fazla spektral verimlilik elde ettiği ifade edilmiştir [29].

Kanal geri besleme koordinasyonu ve hata yayılımı için gereken ekstra sistem yükü nedeniyle, NOMA'nın tüm kullanıcılara ortak bir şekilde uygulanması mümkün değildir. Bu gereklilik göz önüne alınarak, sistem içerisindeki kullanıcıların çoklu kümelere ayrılması ve her küme içerisinde NOMA'nın uygulanması fikri üzerinde durulmuştur [7]. Kullanıcıların bu şekilde kümelere ayrılması ‘Kullanıcı Eşleme (User Pairing, UP)’ olarak adlandırılırken, mevcut gücün kullanıcılar arasında paylaştırılmasına ise ‘Güç Tahsisi (Power Allocation, PA)’ adı verilmiştir. Toparlamak gerekirse, Aşağı yönlü (Downlink) NOMA sistemlerinde Kullanıcı Eşleme (UP) ve Güç Tahsisi (PA) yapılarak, sistem içerisinde bulunan

kullanıcıların hangilerinin eşleneceği ve her bir küme içerisinde bulunan her kullanıcıya atanacak güç belirlenmiş olur [6].

NOMA sisteminde Kullanıcı Eşleme (UP) ve Güç Tahsisinin (PA) beraber uygulanmasıyla oluşan bütüne ‘Kaynak Tahsisi (Resource Allocation, RA) adı verilir. NOMA sisteminde kaynak tahsisinin optimal performansı, tüm muhtemel kullanıcı çiftlerinin ve iletim gücü tahsislerinin detaylı bir şekilde aranmasıyla elde edilebilir [7]. Kaynak tahsisi yapılırken, güç tahsisi aşaması genellikle, kullanıcı eşleştirme aşamasından sonra veya kullanıcı eşleştirme algoritması içerisinde bir alt-aşama olarak bağımsız bir problem gibi ele alınmaktadır [6].

2.3. Kullanıcı Eşleme (User Pairing, UP)

Kullanıcı eşleme (UP), ideal olarak, kullanıcı adaletini korurken en az düzeyde hesaplama karmaşıklığı oluşturmalıdır. Ayrıca, yüksek verim sağlamak için güç tahsisi (PA) stratejisiyle uyumlu olmalıdır. İstenen performans, dağıtım ortamına ve uygulama karmaşıklığına bağlı olarak, bir dizi kullanıcı eşleme (UP) algoritması vardır [7]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde NOMA’da kullanılan bazı kullanıcı eşleştirme (UP) algoritmaları aşağıdaki gibidir:

- Rastgele Eşleme (Random Pairing) Algoritması
- Kapsamlı Arama (Exhaustive Search) Algoritması
- Sezgisel (Heuristic) Algoritma
- Bir Sonraki En Büyük Fark Temelli Kullanıcı Eşleme (Next Largest-Difference Based User Pairing Algorithm) Algoritması
- Dinamik Kullanıcı Kümeleme (Dynamic User Clustering) Algoritması
- Eşleştirme Teorisi (Matching Theory) Algoritması
- Optimal Kullanıcı Eşleme (Optimal User Pairing)
- HNG algoritması (HNG Algorithm)
- Optimal Adil Kaynak Tahsisi (Optimal Fair Resource Allocation,)
- Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme (Adaptive User Pairing)

2.3.1. Rastgele Eşleme (Random Pairing) Algoritması

Rastgele eşleştirme algoritması, vericinin (baz istasyonu) kullanıcıları eşleştirmek için mevcut kullanıcılar arasından rastgele seçim yaptığı en kolay kullanıcı eşleştirme yöntemidir. Rastgele eşleştirme algoritması en düşük karmaşıklığa sahip olmasına rağmen kullanıcının kanal durumlarının bilgisini kullanılmadığı için düşük bir performans sergiler. Bu performans optimalin altında bir toplam oran performansıdır. Rastgele eşleştirme algoritması en düşük karmaşıklığa sahip olduğundan, performansı diğer eşleştirme algoritmaları üzerinde çalışmak için referans olarak alınabilir [7,8].

2.3.2. Kapsamlı Arama (Exhaustive Search) Algoritması

Kapsamlı arama algoritması, sistemindeki kullanıcıların eşlerinin oluşturulması tüm kullanıcı kombinasyonları üzerinde araştırma yapar. Algoritma, tek bir kaynak bloğu için olasılık dahilindeki tüm kombinasyonları deneyerek en uygun kullanıcı grubuna karar verir [9]. Kapsamlı arama algoritma kullanıcı sayısı az olan sistemler için bir problem teşkil etmez çünkü hesaplama karmaşıklığı düşüktür. Fakat kullanıcı sayısı arttıkça hesaplama karmaşıklığı ortaya çıkar. Bu karmaşıklık aynı zamanda algoritmanın problemi çözme süresinde uzatır. Toplam kullanıcı sayısı K adet olan bir sistemde, her bir grupta k adet kullanıcı olacak şekilde eşleme yapıldığında algoritmanın üzerinde çalışması gereken $\binom{K}{k} + \binom{K}{k-1} + \dots + \binom{K}{1}$ adet kombinasyon oluşur. Bu nedenle sistemin hesaplama karmaşıklığı $O(2^K)$ şeklinde ifade edilir [9].

2.3.3. Sezgisel (Heuristic) Algoritma

Kapsamlı arama algoritmasında karşılaşılan hesaplama karmaşıklığını azaltmak için sezgisel algoritma önerilmiştir. Bu algoritmada, K adet kullanıcı arasından kanal kazancı en yüksek olan kullanıcı seçilir. Kalan $K - 1$ kullanıcı arasından yapılacak seçim için ise her bir kombinasyonun denenmesiyle en uygun olan kullanıcı seçilir. Algoritma işlemi bu şekilde uygulamaya devam eder ve diğer kaynak blokları için de seçim bu şekilde yapılır. Bu şekilde olan ve kaynak blok sayısının M olduğu kabul edilen bir sistemde hesaplama karmaşıklığı $O(MK)$ olarak ifade edilir [9]. Sezgisel algoritmanın hesaplama karmaşıklığı,

kapsamlı arama yöntemine göre daha azdır. Ancak buna rağmen optimal bir çözüm üretmekte yeterli değildir.

2.3.4. Bir Sonraki En Büyük Fark Temelli Kullanıcı Eşleme (Next Largest-Difference Based User Pairing Algorithm) Algoritması

Kullanıcı eşlemenin matematiksel incelemesi yapıldığında, NOMA'nın geleneksel OMA'ya göre performans kazancının, eşleme yapılacak kullanıcıların kanal kazançları arasındaki farkın artmasıyla arttığını görülmektedir. Bu incelemeye dayanarak, kullanıcı eşleme yapılırken, en yüksek kanal kazancına sahip kullanıcı ile en düşük kanal kazancına sahip kullanıcıyı eşleştirmek en iyi performans kazancına elde edilir. İkinci en yüksek kanal kazancına sahip kullanıcı ile en küçük ikinci kanal kazancına sahip kullanıcı eşlenerek, ikinci en iyi performans kazancını elde edilir. İşlem bu şekilde son kullanıcılar eşlenene kadar devam eder. Bu algoritma, bir sonraki en büyük fark tabanlı kullanıcı eşleme algoritması (NLUPA) olarak adlandırılır. En iyi performans gösteren ve en yaygın kullanıcı eşleme tekniklerden biridir [7]. Bahsedilen bu algoritma yalnızca 2 kullanıcının eşlendiği durumlar için kullanılabilir. 3 ve daha fazla kullanıcının eşlenmesi gereken durumlarda çözüm üretemez. Bu durum göz önüne alındığında optimal bir çözüm olmadığı anlaşılmaktadır.

2.3.5. Dinamik Kullanıcı Kümeleme (Dynamic User Clustering) Algoritması

Bir Sonraki En Büyük Fark Temelli Kullanıcı Eşleme algoritmasının çözüm getiremediği bir kaynak blogunda 3 ve daha fazla kullanıcının eşlenmesi duruma çözüm olarak Dinamik Kullanıcı Kümeleme algoritması önerilmiştir. Bu algoritma oluşturulurken kullanıcıların kanal kazançları dikkate alınmıştır. Literatürde yer alan [10]'da Dinamik Kullanıcı Kümeleme algoritması detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu yöntem, düşük kanal kazançlı kullanıcıların verimini artırmak için, onları yüksek kanal kazançlı kullanıcılarla eşleştirmenin faydalı olduğunu savunur. Bunun nedeni olarak, yüksek kanal kazançlı kullanıcıların düşük güç seviyelerinde bile daha yüksek bir hız elde edebilmeleri ve zayıf kanala sahip kullanıcılar için büyük bir güç payını kullanılabilir hale getirmelerini gösterir. Algoritma, öncelikle kullanıcıları M adet gruba ayırır (bu grupların $C_1, C_2, \dots, C_M$ şeklinde olduğu varsayalım). Ardından her kümeden 1 adet kullanıcı seçerek eşleştirme yaparken $C_1, C_2, \dots, C_{M-1}$ kümesinin en iyi kanal şartlarına sahip kullanıcıları ile, C_M kümesinin en kötü

kanal şartlarına sahip kullanıcılarını eşler. Tüm kullanıcılar eşlendiğinde kullanıcı eşleştirme sona erer.

2.3.6. Eşleştirme Teorisi (Matching Theory) Algoritması

Eşleştirme teorisi, kullanıcıların bireysel bilgilerine ve tercihlerine göre iki farklı kümeden kullanıcıları eşleştirmenin tümleşik, kombinasyonel problemini verimli bir şekilde çözmek için kullanılabilir. Sunduğu düşük karmaşıklık sebebiyle, NOMA kablosuz ağlarındaki kaynak optimizasyon problemlerine çözüm getirebilmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. NOMA sistemlerinde kullanıcı gruplaması ve alt kanal tahsisi gibi kaynak tahsisi, klasik eşleştirme yapıları, bire bir eşleştirme, çoktan bire eşleştirme ve çoktan çoğa eşleştirmedir [11]. Bire bir eşleştirme probleminde, her kullanıcı karşı kümeden en fazla bir kullanıcı ile eşleştirilebilir. Bire bir eşleştirmenin aksine, çoktan bire eşleştirme probleminde en az bir kullanıcı, karşı takımdaki birden fazla kullanıcı ile eşleştirilebilir. Çoktan çoğa eşleştirme probleminde ise iki kümenin her birindeki en az bir kullanıcı, diğer kümeden birden fazla kullanıcı ile eşleştirilebilir.

2.3.7. Optimal Kullanıcı Eşleme (Optimal User Pairing)

Aslında bu başlık bir yöntem adı değil literatürde bulunan bir çalışmanın adıdır. Bu çalışma [12]'de tam haliyle görülebilir. Burada kullanılan kullanıcı eşleme algoritması da kullanıcılar arasındaki kanal kazancı farkından hareketle ortaya çıkmıştır. Çalışmada yer alan kullanıcı eşleme algoritmasını özetleyecek olursak; öncelikle 4 kullanıcıdan oluşan bir NOMA sistemi düşünülmüş ve bu kullanıcıların toplam 2 farklı kaynak bloğuna yerleştirileceği varsayılmıştır. Çalışmada kullanıcıların kanal kazançları $g_1 \geq g_2 \geq g_3 \geq g_4$ olacak şekilde kabul edilmiştir. Tüm kullanıcıların birbiriyle eşleşebileceği kombinasyonlar denenmiş ve ortaya 3 farklı durum çıkmıştır. Oluşan bu 3 durum incelendiğinde, kullanıcıların (U_1, U_4) ve (U_2, U_3) şeklinde gruplanması halinde sistemin kazancının maksimum yapılacağı kanıtlanmıştır. Yani kanal kazanç farkları en büyük olan kullanıcılar eşlenerek, sistemin toplam maksimum hıza ulaşacağı gösterilmiştir. Ardından önerilen teorem sistemde 2k kullanıcı olması durumu için incelenmiş ve kanıtlanmıştır. Bu çalışmada önerilen yöntem her bir kaynak bloğunda toplam 2 adet kullanıcı olması durumu için

geçerlidir. Her bir kaynak bloğuna 3 veya daha fazla kullanıcı yerleştirilmesi için uygun değildir.

2.3.8. HNG Algoritması (HNG Algorithm)

HNG algoritması, atama problemlerini çözmesiyle ünlü bir algoritmadır. Belirli bir alt kanalda çoğullanmış kullanıcıları en uygun şekilde eşleşmek için kullanılan en kombinatorial optimizasyon algoritmalarından biri olarak kabul edilir. Mevcut maksimum verici iletim gücüne ve minimum kullanıcının veri hızı ihtiyaçlarına göre, ilgili toplam oranlarını en üst seviyeye çıkarmak için güçlü ve zayıf kullanıcıları eşleştirmek için HNG algoritması kullanılır. HNG algoritmasının zaman karmaşıklığı, büyük durum senaryolarında daha yüksek karmaşıklıkta $O(K^3)$ olmasına rağmen, optimum performansı garanti eder [13]. Kullanıcı eşleme için kullanılan HNG algoritmasına adım adım detaylı bir şekilde [13] çalışmasında anlatılmıştır.

2.3.9. Optimal Adil Kaynak Tahsisi (Optimal Fair Resource Allocation)

Optimal adil kaynak tahsisi olarak isimlendirilen bu yöntem [14]'de önerilmiştir. Bu yöntem kullanıcıların kanal kazanç farklarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Optimal adil kaynak tahsisi, güç tahsisi ve kullanıcı eşleme problemlerini ayrı ayrı ele alarak inceledikten sonra bu iki problemi çözer. Devamında, bu çözümlerin birlikte kullanılması ile kaynak tahsisi problemine çözüm getirir. Optimal Adil Kaynak Tahsisi, yukarıda bahsedilen Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmasından ilham alınarak oluşturulmuştur. Bu yöntemde kullanıcıların normalize edilmiş kanal kazançlarının $g_1 \geq g_2 \geq \dots \geq g_L$ olduğu varsayılmıştır. Sistemin toplam veri hızını maksimize edebilmek için önerilen bu algoritma kullanıcıları M adet kümeye ayırır. Bu kümeler $C_1, C_2, \dots, C_M$ şeklinde oluşturulur. Kullanıcılar eşlenirken, Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmasından farklı olarak C_1 kümesinin en iyi kanal şartlarına sahip kullanıcı ile diğer kümelerde bulunan en kötü kanal şartlarına sahip kullanıcılar eşlenir. Bu işlem tüm kullanıcılar eşlenene kadar devam eder.

2.3.10. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme (Adaptive User Pairing)

Temel olarak, kanal kazancı en güçlü kullanıcı ile kanal kazancı en zayıf olan kullanıcıları eşleştirme üzerine kurulan bu algorithmada kullanıcılar maksimum iki kişilik grup olacak şekilde eşlenir. Kullanıcıların SINR değerleri göz önüne alınarak oluşturulan ve MSD (Minimum SINR Difference) adı verilen sınır değere bakılarak kullanıcıların eşlenip eşlenemeyeceğine karar verilir. Bunun amacı kullanıcıların en az OMA'da sahip olacağı hızda iletim yapmalarını sağlamaktır. Algorithmada kullanıcılar kanal kazançlarına göre en yüksekte en düşüğe sıralanarak iki gruba ayrılır. Ardından en zayıf kanal kazanca sahip olan kullanıcı ile en yüksek kanal kazancına sahip kullanıcı eşlenecek şekilde açıkta kullanıcı kalmayana kadar eşleme yapılır. Daha sonraki aşamada kullanıcıların kanal kazanç farkları $> \text{MSD}$ değeri olacak şekilde bir karşılaştırma yapılır. Bu koşulu sağlayan kullanıcılar eşlenmiş olarak kalırken, bu koşulu sağlamayan kullanıcılar eşlenmez. Eşlenmeyen kullanıcılar yukarıda bahsedilen sıralamada bir üzerinde yer alan kullanıcı ile yer değiştirir ve tekrar eşleme olur. Yeni durumda kullanıcıların kanal kazanç farkları $> \text{MSD}$ değeri olacak şekilde bir karşılaştırma yapılır. Bu koşul sağlanmışsa kullanıcılar eşlenir. Oluşan yeni durumda da bu koşul sağlanmamışsa kullanıcılar eşlenmez ve OMA durumunda iletim yapılacak şekilde eşlenmeden kalırlar [27]. Bu algoritma, sistem içerisinde $2n$ sayıda kullanıcı olması durumu için kurgulanmış ve incelenmiştir.

Güçlü ve zayıf kullanıcıların SNR değerlerini bulmak için aşağıda verilen denklemlerden yararlanılmıştır.

$$\gamma_s = \frac{a_s \gamma_s}{1 + \beta(1 - a_s) \gamma_s} \quad (21)$$

$$\gamma_w = \frac{(1 - a_s) \gamma_w}{1 + a_s \gamma_w} \quad (22)$$

Burada; γ_s güçlü kullanıcının SNR değerini, γ_w zayıf kullanıcının SNR değerini, a_s güçlü kullanıcının güç katsayısı ve $\beta \in [0,1]$ SIC işlemindeki kusuru temsil eder.

Bahsi geçen MSD sınır değerinin hesaplanması için aşağıda verilen denklem kullanılmaktadır.

$$\Delta \text{MSD} = \gamma_s - \frac{(\sqrt{1 + \gamma_w} - 1)(\sqrt{1 + \gamma_s} \sqrt{1 + \gamma_w} + 1)}{\sqrt{1 + \gamma_w}} \quad (23)$$

2.4. Güç Tahsisi

Geleneksel dikgen çoklu erişim (OMA) yönteminden farklı olarak kullanıcılar güç domeninde çoğullandığı için, güç tahsisi (PA) NOMA'da daha kritik bir rol oynar. Genel olarak değerlendirildiğinde, NOMA sistemi için yapılan güç tahsisi (PA), kullanıcıların kanal koşulları, CSI bilgileri, QoS gereksinimleri, toplam güç kısıtlaması ve sistem hedefi göz önüne alınarak belirlenir. Uygun bir şekilde yapılmayan güç tahsisi (PA), kullanıcılar arasında adaletsizliğe yol açarak, doğru olmayan bir oran dağılımına yol açar. Bununla beraber, SIC işleminin başarısız olmasına sebep olarak sistem kesintisine yol açabilir. Bu kriterlere ek olarak farklı güç tahsisi (PA) performans kriterlerinden de söz edilebilir. Örnek vermek gerekirse, bir kaynak bloğu için kabul edilen kullanıcı sayısı, toplam oran, kullanıcı adaleti, kesinti olasılığı ve toplam güç tüketimi gibi kriterler gösterilebilir [7].

Literatürde NOMA sistemi için önerilen farklı güç tahsisi (PA) yöntemleri bulunmaktadır. Önerilen bu yöntemler genel olarak Sabit Güç Tahsisi (Fixed Power Allocation) ve Değişken Güç Tahsisi (Dynamic Power Allocation) olarak iki grupta incelenmektedir.

Literatürde yer alan [30] çalışmasında iki kullanıcıyı aşağı bağlantı (downlink) dikgen olmayan çoklu erişim (NOMA) için orantılı adalet programlamasını (Proportional Fairness Scheduling) ele alınmıştır. Geleneksel çok kullanıcıli çeşitlilik sistemlerinden (Multiuser Diversity Systems) farklı olarak, güç tahsisi, pozitif iletim oranları ile eşzamanlı olarak birden çok sayıda kullanıcıyı destekleyebildiği için NOMA sisteminde PFS'nin önemli bir rol oynadığını söyleyen çalışmada Toplam Oran ve Max-Min Oran Orantısal Adalet Güç Tahsisi yöntemlerinden bahsedilmektedir.

Literatürde yer alan [31] çalışmasında yazarlar farklı performans kriterleri altında kanal tahsisi ile optimal güç tahsisini analitik olarak karakterize etmektedir. Bu performans kriterleri maksimum adalet, ağırlıklı toplam oran maksimizasyonu, hizmet kalitesi (QoS) kısıtlamaları ve toplam oran maksimizasyonu olarak belirtilmektedir. Çalışma içerisinde Maksimin Adalet İçin Optimum Güç Tahsisi, Toplam Oran İçin Optimum Güç Tahsisi ve Enerji Verimliliği İçin Optimum Güç Tahsisi yöntemleri incelenmiştir. Aynı zamanda, NOMA sistemlerinde, optimal güç tahsisi ile kullanıcı eşleştirme algoritmasını birleştirerek, kanal tahsisi ve güç tahsisini beraber optimize edebilmek adına, düşük karmaşıklık üreten verimi yüksek bir yöntem önerilmiştir.

Literatürde yer alan [6] çalışmasında önerilen yinelemeli gradyan çıkış tabanlı güç tahsisi yönteminde, aşağı yönlü (downlink) NOMA sistemi için aynı radyo kaynağını paylaşan kullanıcılar arasında orantısal adaleti sağlayacak ve aynı zamanda kullanıcıların veri hızlarının geometrik ortalamasını en büyütecek şekilde paylaşırma yapılmıştır.

Literatürde yer alan [12] çalışmasında yer alan güç tahsisi yönteminde, eşlenen her bir kullanıcının en az OMA yönteminde elde edeceği veri hızına ulaşması için güç katsayı tahsis etmek amaçlanmıştır. Bu güç tahsisi yöntemi sonucunda sistemin toplam veri hızının maksimum yapılması amaçlanmıştır. Önerilen yöntem yalnızca 2 kullanıcı sistem için geçerlidir.

Literatürde yer alan [14] çalışmasında çalışma [12]'dan ilham alınarak oluşturulan güç tahsisi yönteminde de kullanıcıların en az OMA yönteminde elde edeceği veri hızına ulaşmasını amaçlanmıştır. Önerilen bu yöntemde L adet kullanıcıyı K adet kaynak bloğuna her blokta M adet kullanıcı olacak şekilde yerleştirilir. $M-1$ adet kullanıcıya en az OMA hızına sahip olacak şekilde güç tahsisi yapılarak, kanal şartları en iyi olan kullanıcıya kalan güç tahsis edilir. Bu şekilde sistemin toplam hızının maksimum yapılması sağlanır.

Aşağıda literatürde yer alan diğer bazı güç tahsisi yöntemleri sıralanmıştır, ancak bir grupta söz konusu değildir.

- Sabit Güç Tahsisi (Fixed Power Allocation)
- Kesirli İletim Güç Tahsisi (Fractional Transmit Power Allocation)
- Tam Arama Güç Tahsisi (Full Search Power Allocation)
- CSI Tabanlı Güç Tahsisi (CSI Based Power Allocation)
- QoS Tabanlı Güç Tahsisi (QoS Based Power Allocation)

2.4.1. Sabit Güç Tahsisi (Fixed Power Allocation)

Yöntemin isminden de anlaşılacağı gibi güç, sabit bir orana dayalı olarak alt kanallarda eşleştirilmiş kullanıcılar arasında bölünerek paylaşılır. Alt kanal gücünün bir kısmının tek bir kullanıcıya ve kalan gücün diğer kullanıcıya tahsis edildiği her yerde, bu $(aP_c, (1-aP_c))$ olarak görülebilir. P_c 'ye rağmen, sabit oran tüm alt bantlar için aynı kalır. Sabit güç tahsisinde hesaplama karmaşıklığı düşüktür, ancak güç seviyelerinin belirlenmesinde kullanıcıların kanal koşullarının dikkate alınmaması, kullanıcılar arasında adaletsizliğe

sebebi olur. Bu yüzden sabit güç tahsis, NOMA için istenilen performansı ve verimi karşılayamaz [15,16].

2.4.2. Kesirli İletim Güç Tahsisi (Fractional Transmit Power Allocation)

Kesirli İletim Güç Tahsisi yönteminde gönderme gücü, o alt bant üzerindeki tüm çoğullanmış kullanıcıların kanal kazançlarına göre dinamik olarak tahsis edilir. Sabit güç tahsisinden farklı olarak, güç tahsisinde kullanılan kanal koşulları aşağıdaki şekildedir.

$$P_m^n = \frac{P_n \Gamma_m^n (-\sigma)}{\sum_{j \in U_{opt,n}} \Gamma_j^n (-\sigma)} \quad (24)$$

Buradaki ifadede yer alan σ bozunma faktörüdür. $\sigma = 0$ durumunda tüm kullanıcılar arasında eşit güç paylaşımı olduğu ve bir artış olarak daha kötü kanal koşuluna sahip kullanıcıya daha fazla güç tahsis edildiği görülmektedir. Ancak, kesirli iletim güç tahsisi şeması, çoğullanmış kullanıcılara güç atarken ağırlıklarını dikkate almaz. Bu nedenle, ağırlıklı toplam oran maksimizasyonu kriteri açısından, kesirli iletim güç tahsisi alt optimaldir [9]. Sabit güç tahsisi ile karşılaştırıldığında, kesirli iletim güç tahsisi daha yüksek karmaşıklık üretir [15].

2.4.3. Tam Arama Güç Tahsisi (Full Search Power Allocation)

Tam Arama Güç Tahsisi yönteminde, belirli bir alt kanalı paylaşan kullanıcı çiftlerinin güç seviyeleri, kapsamlı bir arama yapılarak araştırılır. Bu algoritma, optimal bir çözüm sunar ancak hesaplama açısından oldukça karmaşıktır. Tam arama güç tahsisi yönteminde, her bir aday kullanıcı kümesi için tüm olası güç tahsisi kombinasyonları göz önüne alınarak NOMA'nın en iyi performansı, kullanıcı çiftlerinin kapsamlı bir şekilde aranması ve iletim gücü tahsisleri yapılması ile elde edilir [17].

2.4.4. CSI Tabanlı Güç Tahsisi (CSI Based Power Allocation)

CSI tabanlı güç tahsisinde, güç katsayıları her kullanıcının sahip olduğu kanal durumu bilgilerine dayanarak belirlenir. Verici (BS), kontrol kanalları aracılığıyla NOMA

kullanıcıları tarafından gönderilen raporları dikkate alarak güç katsayılarını tahsis eder. Verici (BS), kullanıcıları gruplarken, kanal durumu iyi olan bir kullanıcı ile kanal durumu kötü olan başka bir kullanıcı aynı grupta olacak şekilde gruplandırma yapar. Ardından her kullanıcı grubunu bir frekans bloğuna atar. Kullanıcıların sinyalleri, tahsis edilen güçler kullanılarak beraber çoğullanacak ve kaynak bloğu başına toplam iletilen gücün P 'yi geçmemesi için kullanıcılara iletilecektir [32].

$$P_i = \frac{P}{|h_i|^2 \sum_{k=1}^m \frac{1}{|h_k|^2}} \quad (25)$$

Burada; P toplam gücü, P_i i. kullanıcının gücünü ve h_i i. kullanıcının kanal katsayısını ifade eder.

2.4.5. QoS Tabanlı Güç Tahsisi (QoS Based Power Allocation)

QoS tabanlı güç tahsisinde, güç katsayıları her bir kullanıcı için önceden tanımlanmış QoS gereksinimlerine göre belirlenir. Bu yöntemde, kullanıcıların önem ve önceliklerine bakılarak sınıflama yapıldığı varsayılmaktadır. Bu varsayım üzerine, yüksek önem ve öncelikli kullanıcılar ile düşük önem ve öncelikli kullanıcılar olmak üzere iki tür kullanıcı grubu oluşturulur. Verici (BS), yüksek önem ve öncelikli kullanıcılar için önceden tanımlanmış QoS'yi garanti ederken, daha az önem ve öncelikli kullanıcılar için hiçbir QoS sınırlaması tanımlanmaz. Verici (BS), aynı frekans kaynağı üzerinde bir adet yüksek öncelikli ve bir adet daha az öncelikli kullanıcıyı eşleştirmeye başlar. Ardından ise yüksek öncelikli kullanıcı için gerekli gücü tahsisini yapmaya başlar. Daha az öncelikli kullanıcıya ise kalan güç tahsis edilir. Frekans bloğu başına maksimum iletilen güç P 'yi aşmayacaktır. Kullanıcıların sinyalleri tahsis edilen güçler kullanılarak çoğullanır ve iletim yapılır [32].

2.5. Benzetim Metodu ve Sistem Modeli

NOMA Kaynak Tahsisi sistemi ve Tablo 1'de verilen parametrelerle MATLAB programı kullanılarak benzetim yapılmıştır.

Öncelikle, koordinat düzleminde rastgele kullanıcılar üretilmiştir. Oluşturulan kullanıcılar temsili olarak Şekil 5'te gösterilmiştir. Kullanıcıların baz istasyonuna olan

uzaklıkları dikkate alınarak (26)'da verilen denklem kullanılarak her bir kullanıcı için kanal katsayısı oluşturulmuştur. Daha sonra bu kanal katsayılarına göre küçükten büyüğe doğru sıralanan kullanıcılar Rastgele Eşleme, Optimal Kullanıcı Eşleme ve Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme algoritmalarına göre gruplara ayrılmıştır. Bu üç algortmada da kullanıcılar ikişer kişiden oluşan gruplara ayrılmaktadır. NOMA yöntemi gruplama işlemi yapıldıktan sonra uygulanmıştır. Yani frekans bandı her bir gruba eşit olarak paylaştırılmış olup kullanıcı gruplarının bu frekans bloğu içinde iletim yaptığı düşünülmüştür. Burada kullanıcılara tahsis edilen güç katsayıları ve buna bağlı olarak veri hızları PSO algoritması kullanılarak, optimize edilerek bulunmuştur. Algoritma, her kullanıcının hızının en az OMA'da elde edeceği veri hızı kadar olması ve kullanıcıların güç katsayıları toplamının bire eşit olması kriterlerine göre çalıştırılmıştır. Sonuçlar sırasıyla 8,16,32 ve 64 kullanıcı için incelenmiştir. Aynı zamanda her kullanıcı sayısı için sistemin performansı adillik (fairness) ve enerji etkinliği (energy efficient) kriterlerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Rastgele üretilen kullanıcıların kanal katsayıları aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmiştir [33].

$$h_i = x_n d_i^{-PL} \quad (26)$$

Burada (26); h_i i . kullanıcının kanal katsayısını, d_i i . kullanıcının baz istasyonuna olan mesafesini temsil eder. Yol kaybı (path loss) PL ile gösterilmiştir. x_n ise rastgele üretilen karmaşık sayı değişkenidir ve genliği Rayleigh dağılımlıdır.



Şekil 5. Rastgele oluşturulmuş kullanıcı kümesinin temsili gösterimi

Sistemdeki kullanıcıların OMA ve NOMA veri hızlarını hesaplamak için kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir:

$$R_{NOMA} = w \log 2 \left(1 + \frac{B_i P |h_i|^2}{P |h_i|^2 \sum_{k=i+1}^N + \sigma^2} \right) \quad (27)$$

Burada (27); w bant genişliğini, B_i i . kullanıcının güç katsayısını, P baz istasyonunun toplam gücünü, h_i i . kullanıcının kanal kazancını, σ^2 ise Additive White Gaussian Noise varyansını temsil eder.

$$R_{OMA} = \frac{w}{ks} \log 2 \left(1 + \frac{|h_i|^2 P}{\sigma^2 ks} \right) \quad (28)$$

Burada (28); w bant genişliğini, ks kullanıcı sayısını, h_i i . kullanıcının kanal kazancını, P baz istasyonunun toplam gücünü, σ^2 ise Additive White Gaussian Noise varyansını temsil eder.

Her bir kablosuz iletişim sisteminin performansını değerlendirmek için verimlilik (erişilebilir veri hızı), enerji verimliliği ve adalet endeksi gibi farklı performans ölçütleri kullanılır [33]. Adalet ölçütünü sağlayabilmek için aşağıda verilen denklem kullanıldı.

$$F = \frac{\left(\sum_{i=1}^{ks} RNOMA_i \right)^2}{ks \sum_{i=1}^{ks} RNOMA_i^2} \quad (29)$$

Burada (29); $RNOMA_i$ önerilen NOMA sistemi için i . kullanıcının veri hızını temsil eder. Önerilen NOMA sistemi, eşleştirilmiş kullanıcılara mümkün olduğunca eşit veri hızı tahsis etmeyi amaçlamaktadır. Adillik 0 ile 1 arasında bir değer alabilir ve maksimum bu değerlere eşit olabilir.

Enerji verimliliğini sağlayabilmek için ise aşağıda verilen denklem kullanıldı. Burada yer alan s strong yani güçlü kullanıcıyı ve w ise weak yani zayıf kullanıcıyı temsil eder.

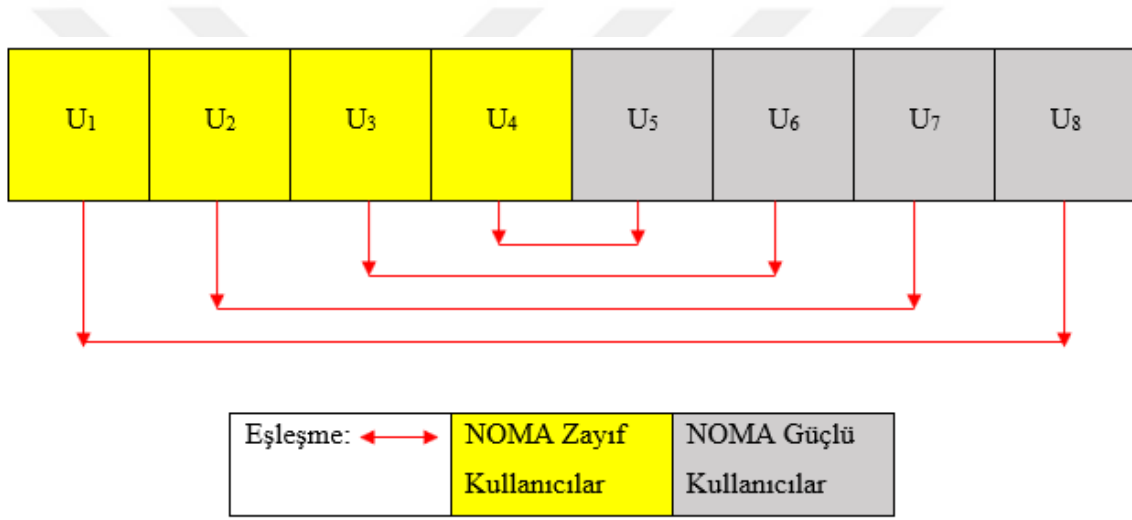
$$EE = \frac{\text{Veri hızı (bps)}}{\text{Toplam güç tüketimi (Joule/s)}} \quad (30)$$

$$EE_{toplam} = \sum_{s=1}^s \sum_{w=1}^w EE_{w,s} \quad (31)$$

Rastgele Eşleme, Optimal Kullanıcı Eşleme ve Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme algoritmaları ile beraber PSO algoritması kullanılarak oluşturulan NOMA hızları, OMA hızları kullanılarak hesaplanan sistem kazancı ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$Kazanç (\%) = \frac{R_{TNOMA} - R_{TOMA}}{R_{TOMA}} \times 100 \quad (32)$$

Rastgele Kullanıcı Eşleme algoritmasında, kullanıcılar herhangi bir kural olmadan eşlendiği için şekilsel bir gösterimi yoktur. Tüm kullanıcı kümesi içerisinde herhangi iki kullanıcının gruplanması ile kullanıcılar eşlenir.



Şekil 6. Optimal Kullanıcı Eşleme Algoritması Temsili Şeması

Şekil 6’da görülen Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmasında, kullanıcılar kanal katsayılarına göre zayıftan güçlüye doğru sıralanır. 2n kullanıcı olması durumu için geçerli olan bu eşleme yönteminde kullanıcılar zayıf ve güçlü olmak üzere iki gruba ayrılır. Ardından en güçlü ile en zayıf kanala sahip kullanıcılar eşlenir. Bu işlem tüm kullanıcılar eşlenene kadar devam eder.

1. <u>Durum</u>		2. <u>Durum</u>		3. <u>Durum</u>	
Eğer; $\gamma_5 - \gamma_4 > \Delta_{\gamma_5, \gamma_4}$		Eğer; $\gamma_5 - \gamma_4 < \Delta_{\gamma_5, \gamma_4}$ İse U ₅ ve U ₆ kullanıcılarını yer değiştir; $\gamma_6 - \gamma_4 > \Delta_{\gamma_6, \gamma_4}$		Eğer; $\gamma_{G2} - \gamma_4 < \Delta_{\gamma_{G2}, \gamma_4}$ İse U ₄ ve U ₅ OMA kullanıcısı olarak kalır; $\gamma_6 - \gamma_3 > \Delta_{\gamma_6, \gamma_3}$	
G ₁	G ₂	G ₁	G ₂	G ₁	G ₂
U ₄ ←→ U ₅		U ₄ ←→ U ₆		U ₄	U ₅
U ₃ ←→ U ₆		U ₃ ←→ U ₅ ↑↓		U ₃ ←→ U ₆	
U ₂ ←→ U ₇		U ₂ ←→ U ₇		U ₂ ←→ U ₇	
U ₁ ←→ U ₈		U ₁ ←→ U ₈		U ₁ ←→ U ₈	

Eşleşme: ←→	NOMA Zayıf Kullanıcılar	NOMA Güçlü Kullanıcılar	Yer değiştiren Kullanıcılar: ↑↓	OMA Kullanıcıları
-------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------------	----------------------

Şekil 7. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme Algoritması Temsili Şeması

Şekil 7’de verilen Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme algoritmasında kullanıcılar kanal katsayılarına göre en zayıftan en güçlüye doğru sıralanarak iki gruba ayrılır. Bu algoritma sistem içerisinde $2n$ sayıda kullanıcı olması durumu için önerilmiştir. Ardından en zayıf kanal kazanca sahip olan kullanıcı ile en yüksek kanal kazancına sahip kullanıcı eşlenecek şekilde açıkta kullanıcı kalmayana kadar eşleme yapılır. Daha sonraki aşamada kullanıcıların kanal kazanç farkları $> \text{MSD}$ değeri olacak şekilde bir karşılaştırma yapılır. Bu koşulu sağlayan kullanıcılar eşlenmiş olarak kalırken, bu koşulu sağlamayan kullanıcılar eşlenmez. Eşlenmeyen kullanıcılar yukarıda bahsedilen sıralamada bir üzerinde yer alan kullanıcı ile yer değiştirir ve tekrar eşleme olur. Yeni durumda kullanıcıların kanal kazanç farkları $> \text{MSD}$ değeri olacak şekilde bir karşılaştırma yapılır. Bu koşul sağlanmışsa kullanıcılar eşlenir. Oluşan yeni durumda da bu koşul sağlanmamışsa kullanıcılar eşlenmez ve OMA durumunda iletim yapılacak şekilde eşlenmeden kalırlar.

Tüm optimizasyon çalışmalarının temel hedefi, amaç fonksiyonunu maksimum ya da minimum yapmaktır. Bu çalışma kapsamında amaç fonksiyonu olarak Enerji Etkinliği ve Adillik kullanılmıştır [33]. PSO programının bu iki performans kriterinden aktif olanı maksimum yapması hedeflenmiştir. Amaç fonksiyonunun maksimize edilmesi kullanıcılara tahsis edilen NOMA hızının da maksimum yapılabilmesine yardımcı olur. Denklem (29)'da Adillik kriteri ve denklem (30)'da Enerji Etkinliği kriteri verilmiştir.

PSO programından, amaç fonksiyonunu maksimum yapmasının yanı sıra, kullanıcılara tahsis edilen güç katsayılarının toplamını da bire eşit yapması beklenmiştir. Birinci kullanıcının güç katsayısı a_1 ve ikinci kullanıcının güç katsayısı a_2 'dir. İdeal bir güç tahsisi işleminde beklenen durum budur [26].

$$a_1 + a_2 = 1 \quad (33)$$

Bu iki kritere ek olarak en önemli beklenti ise kullanıcılara tahsis edilecek veri hızının, her bir kullanıcı için OMA yöntemi kullanılarak ulaşıtları veri hızından az olmamasıdır.

$$R_{NOMA} \geq R_{OMA} \quad (34)$$

(27) ile verilen NOMA hız denkleminde bakıldığında, hızı belirleyebilmek için doğrudan güç katsayılarına ihtiyaç olduğu açıkça görülmektedir. Bu yüzden bu iki kriteri birbirinden ayrı düşünemeyiz. Bu çalışma kapsamında PSO programı, bu iki kriteri aynı anda gözeterek optimize etmiştir.

PSO algoritması sürü halinde hareket eden kuşların davranışlarından ve hareketlerinden esinlenilerek geliştirilmiş bir algoritmadır. Temelde ise, popülasyondaki parçacıkların başlangıçta rastgele dağılmasına ve devam eden süreçteki içgüdüsel hareketlerine dayanmaktadır. Bu çalışmada da başlangıç değerleri rastgele üretilmiş olup devam eden iterasyonlar süresince bu değerlerin en iyi (gbest) değerine ulaştırılması hedeflenmiştir. Burada optimize edilmesi hedeflenen değerler, kullanıcılara atanan güç katsayılarıdır. Sistem içerisindeki kullanıcılar ikişerli gruplandığından dolayı PSO her grup için güç tahsisini ayrı ayrı yapmıştır. 1. Kullanıcıya ait güç katsayısı a_1 ve 2. kullanıcıya ait güç katsayısı a_2 'dir. Program 150 iterasyonda problemi optimize edecek şekilde ayarlanmıştır. Güç katsayıları toplamının 1 yapılamadığı durumlarda veya OMA hızının

NOMA hızından büyük olduğu durumlarda optimizasyona olumlu yönde müdahale etmek adına ceza verme işlemi uygulanmıştır. Ceza, katsayısı 10^{15} olmak üzere aşağıdaki durumlarda, belirtilen denklemlerde uygulanmıştır.

Z , ceza verme işlemi sonrasında oluşan cezanın değeridir. Başlangıçla $Z=0$ olarak tanımlanmıştır.

- Eğer $a_1 + a_2 > 1$ ise ceza aşağıda verilen denklemdeki şekilde uygulanır;

$$Z = Z + (a_1 + a_2)^2 \times 10^{15} \quad (35)$$

- Eğer $a_1 + a_2 < 1$ ise ceza aşağıda verilen denklemdeki şekilde uygulanır;

$$Z = Z + \left(\frac{1}{a_1 + a_2}\right)^2 \times 10^{15} \quad (36)$$

- Eğer $R_{OMA} > R_{NOMA}$ ise ceza aşağıda verilen denklemdeki şekilde uygulanır;

$$Z = Z + (R_{NOMA})^2 \times 10^{15} \quad (37)$$

Ceza verme işlemi, iterasyonlar bitene kadar gerek duyulması halinde devam eder. Her bir ceza işleminin ardından kullanıcıların NOMA hızları aşağıdaki denklem ile verilen işlem yapılarak güncellenir. Bu sayede hız optimize edilir.

$$R_{NOMA}' = R_{NOMA} + Z \quad (38)$$

3. BULGULAR

Bu bölümde, Random Kullanıcı Eşleme, Optimal Kullanıcı Eşleme ve Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme algoritmalarının performansı incelenmiştir. Çalışma sırasında verilen yöntemler ile yapılan kullanıcı eşleme (gruplama) sonrasında PSO algoritması kullanılarak kullanıcılara güç tahsisi yapılmıştır. Bu güç katsayılarına bağlı olarak oluşan kullanıcı NOMA hızları hesaplanmıştır. Algoritma kullanılarak her bir kullanıcının veri hızının en az OMA'daki veri hızı kadar olması sağlanmıştır. Ayrıca PSO algoritmasının güç tahsisi üzerindeki performansını kıyaslayabilmek adına literatürde yer alan ve sıklıkla kullanılan güç tahsis yöntemlerinden biri olan CSI tabanlı güç tahsisi yöntemi de kullanılmıştır. Hesaplanan NOMA hızları ve OMA hızları kullanılarak bulunan sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar 8,16,32 ve 64 kullanıcıli durumlar için Adillik (Fairness) ve Enerji Etkinliği (Energy Efficient) performans kriterlerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm bu durumların benzetimi yapılırken program yeniden çalıştırıldığı için kullanıcılar program tarafından her seferinde rastgele olarak üretilmiştir. Bu yüzden oluşan sonuçların her biri kendi içerisinde değerlendirilmiştir.

Rastgele Kullanıcı Eşleme yönteminin performansı literatüre bakıldığında oldukça düşük gözükmemektedir. Ancak bu yöntem ile beraber PSO algoritması kullanılarak performansının oldukça yükseltilebileceği bu çalışma ile kanıtlanmıştır. Bu, literatürde en verimli kullanıcı eşleme yöntemlerinden biri olarak kabul edilen Optimal Kullanıcı Eşleme yöntemi ile beraber uygulanan PSO algoritmasıyla yapılan güç tahsisi ve dolayısıyla oluşan NOMA veri hızlarına çoğu noktada oldukça yakın olmasıyla anlaşılmaktadır. Ayrıca literatürde önerilen eşleme yöntemlerinden biri olan Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme yönteminin performansı incelenmiştir. Bu yöntem temelde Optimal Kullanıcı Eşleme yöntemine dayanmaktadır ve kullanıcılara en az OMA veri hızını tahsis etmeyi hedef almaktadır. Sonuçlara bakıldığında eşlenme kriteri olan MSD değeri sağlanmadığında yapılan yeni eşlenme MSD değerini sağlıyorsa bu yöntemdeki toplam veri hızı Optimal Kullanıcı Eşleme yöntemindeki toplam veri hızını geçmektedir. Ancak MSD koşulu sağlanmıyorsa ve bu koşulu sağlamayan kullanıcılar OMA hızında iletim yapıyorsa Optimal Kullanıcı Eşleme yöntemi kullanılarak ulaşılan toplam veri hızı Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme yöntemi ile yapılan eşlemede oluşan toplam veri hızından fazla olmaktadır. Bunun sebebi kullanıcıların OMA hızının, NOMA hızlarından oldukça düşük olmasıdır.

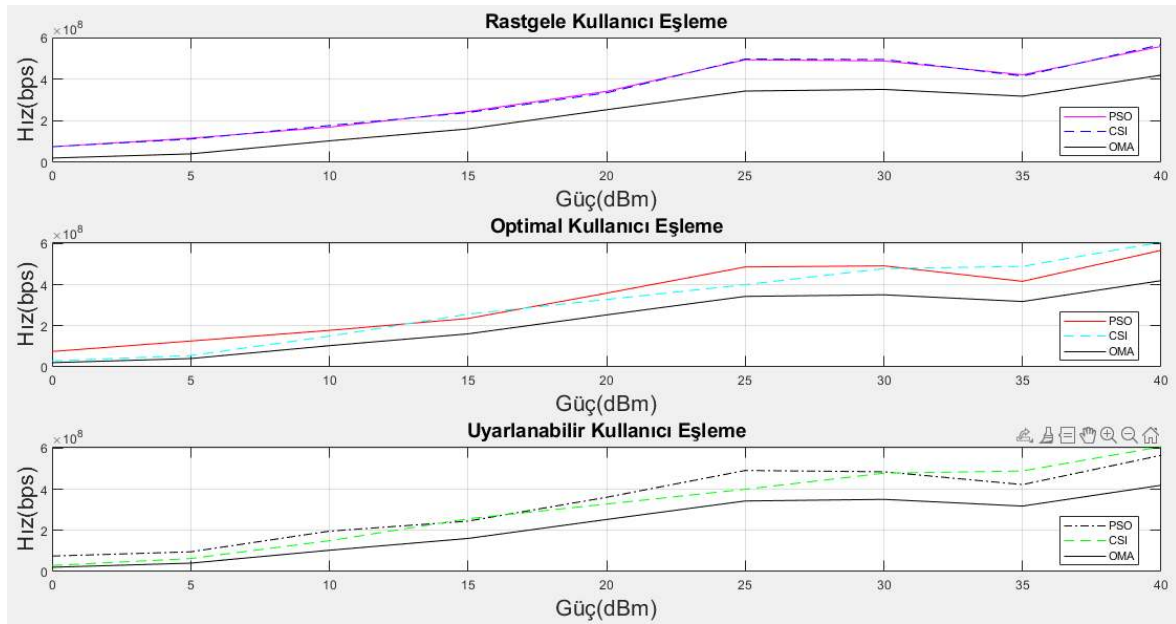
3.1. Sekiz Kullanıcılı Durum

Sekiz kullanıcının yer aldığı senaryonun benzetimi için aşağıdaki tabloda yer alan parametreler ve değerleri kullanılmıştır.

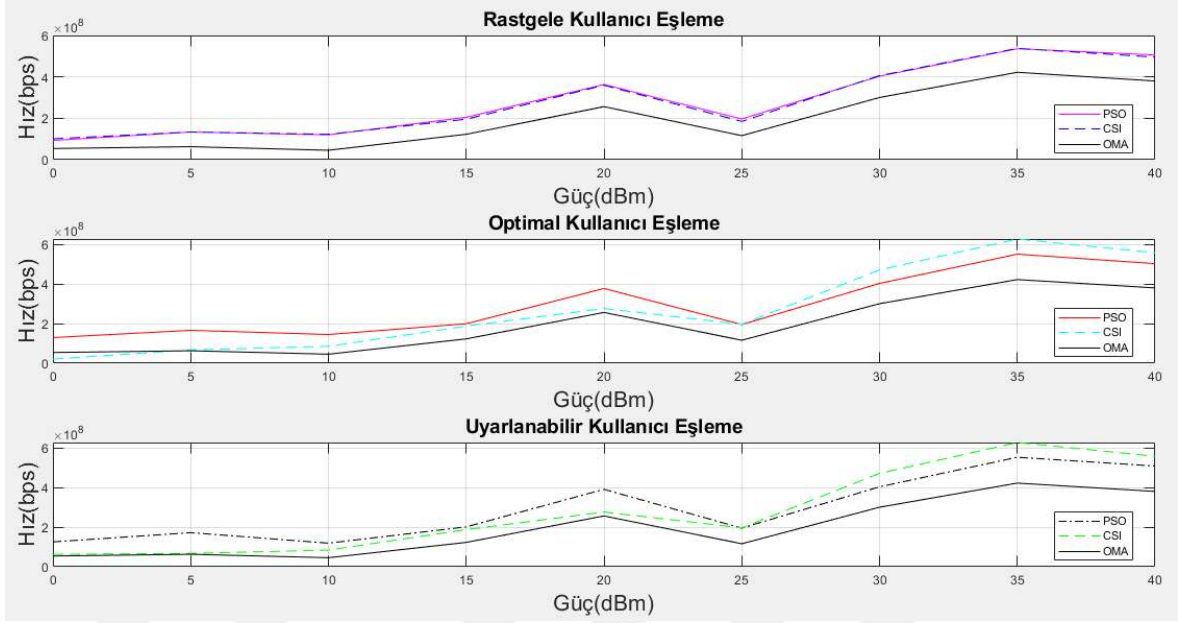
Tablo 1. Sekiz kullanıcılı durum için Matlab programı benzetim parametreleri

Parametre	Değeri
Kullanıcı sayısı	8
Makro baz istasyonu kapsama çapı	1000 m
Kullanıcıların makro baz istasyonuna olan minimum mesafesi	10 m
Tekrar sayısı	100
Bant genişliği	40e6
Gürültü gücü yoğunluğu	-174 dbm/Hz
Path Loss katsayısı (PL)	2
PSO ceza katsayısı	1e15
PSO parçacık sayısı	25
PSO iterasyon sayısı	150

3.1.1. Sekiz Kullanıcılı Durumda Toplam Hızların Karşılaştırılması



Şekil 8. Enerji etkinliği kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması

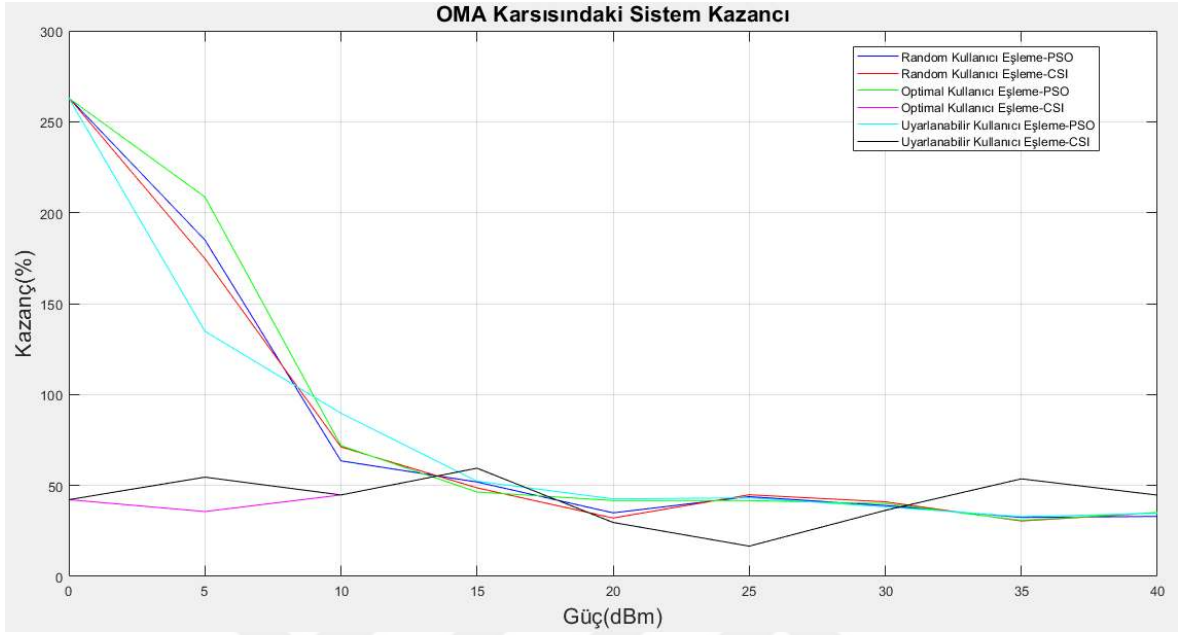


Şekil 9. Adillik kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması

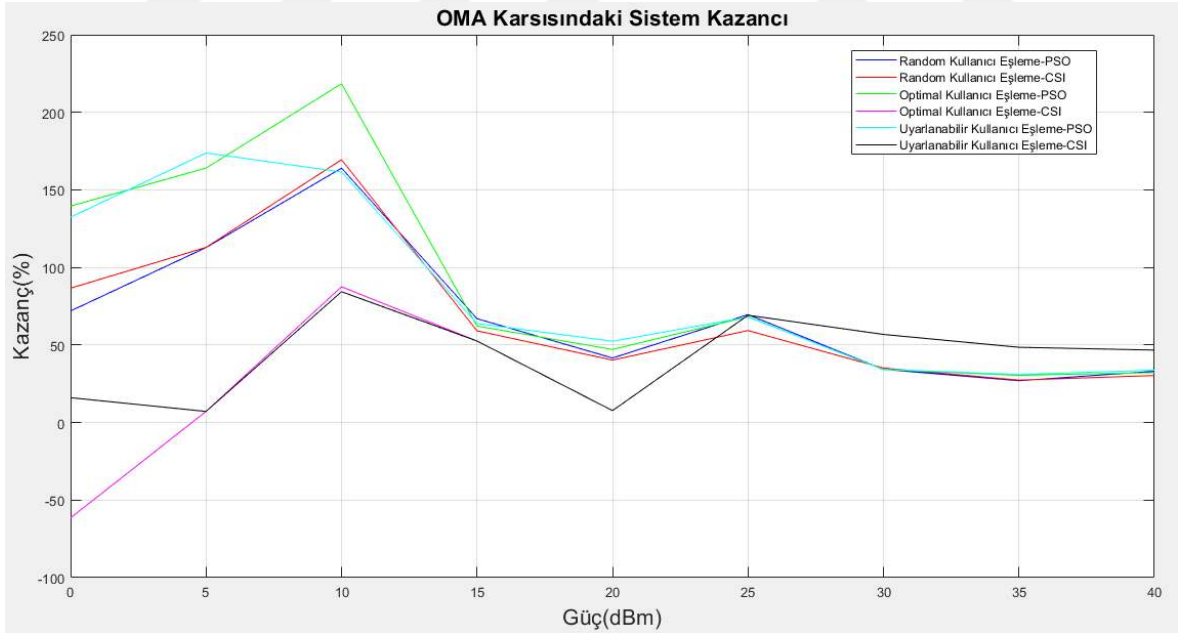
Şekil 8’de oluşan durum incelendiğinde NOMA yöntemi uygulanan üç durumda da klasik OMA yöntemindeki veri hızından daha fazla veri hızı elde edildiği gözlemlenmektedir. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme ve Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmalarının aynı sonucu vermesi, sistemde eşlenmemiş şekilde kalan kullanıcı olmadığını gösterir. 30 dBm’e kadar PSO algoritması CSI yöntemine göre yapılan güç tahsisine üstünlük sağlamıştır. Rastgele Kullanıcı Eşleme algoritmasında ise PSO algoritması CSI yönteminden daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 9’da oluşan durum incelendiğinde NOMA yöntemi uygulanan üç durumda da klasik OMA yöntemindeki veri hızından daha fazla veri hızı elde edildiği gözlemlenmektedir. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme ve Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmalarının aynı sonucu vermesi, sistemde eşlenmemiş şekilde kalan kullanıcı olmadığını gösterir. 25 dBm’e kadar PSO algoritması CSI yöntemine göre yapılan güç tahsisine üstünlük sağlamıştır. Rastgele Kullanıcı Eşleme algoritmasında ise 12 dBm’e kadar CSI yöntemi PSO algoritmasına üstünlük kursada sonrasında PSO algoritması CSI yönteminden daha iyi sonuç vermiştir.

3.1.2. Sekiz Kullanıcı Durumunda OMA'ya Karşı Kazançlar Karşılaştırılması



Şekil 10. Enerji etkinliği kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması



Şekil 11. Adillik kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması

OMA'ya karşı sistem kazançları Şekil 10 ve Şekil 11'de görülmektedir. Enerji etkinliği kriterine göre oluşan sistem kazancının daha yüksek olduğu görülmektedir.

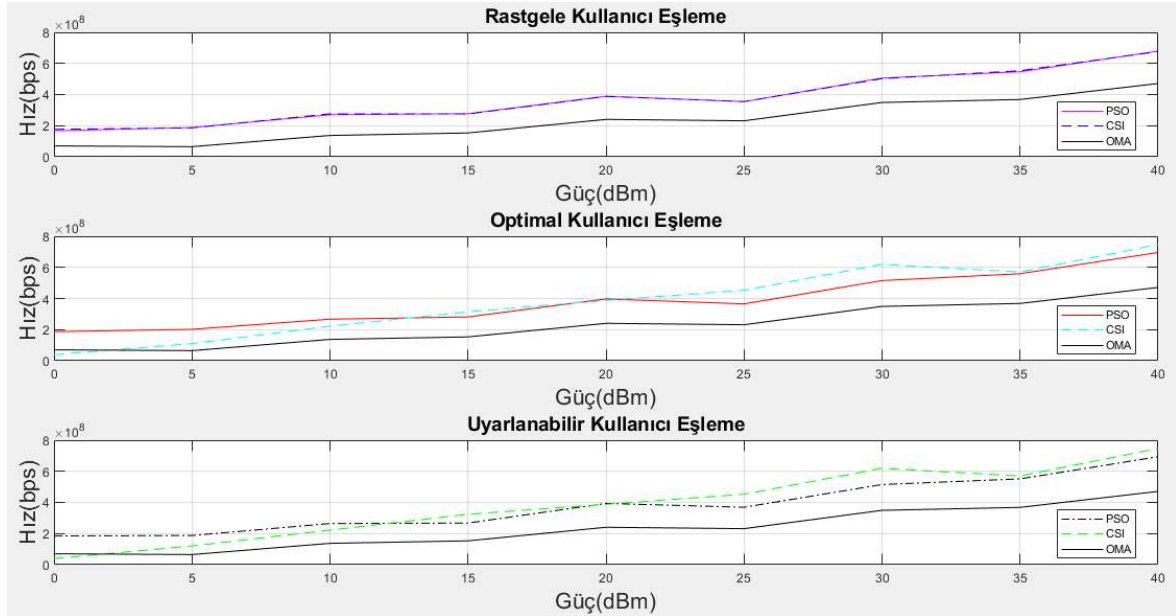
3.2. On Altı Kullanıcılı Durum

On altı kullanıcının yer aldığı senaryonun benzetimi için aşağıdaki tabloda yer alan parametreler ve değerleri kullanılmıştır.

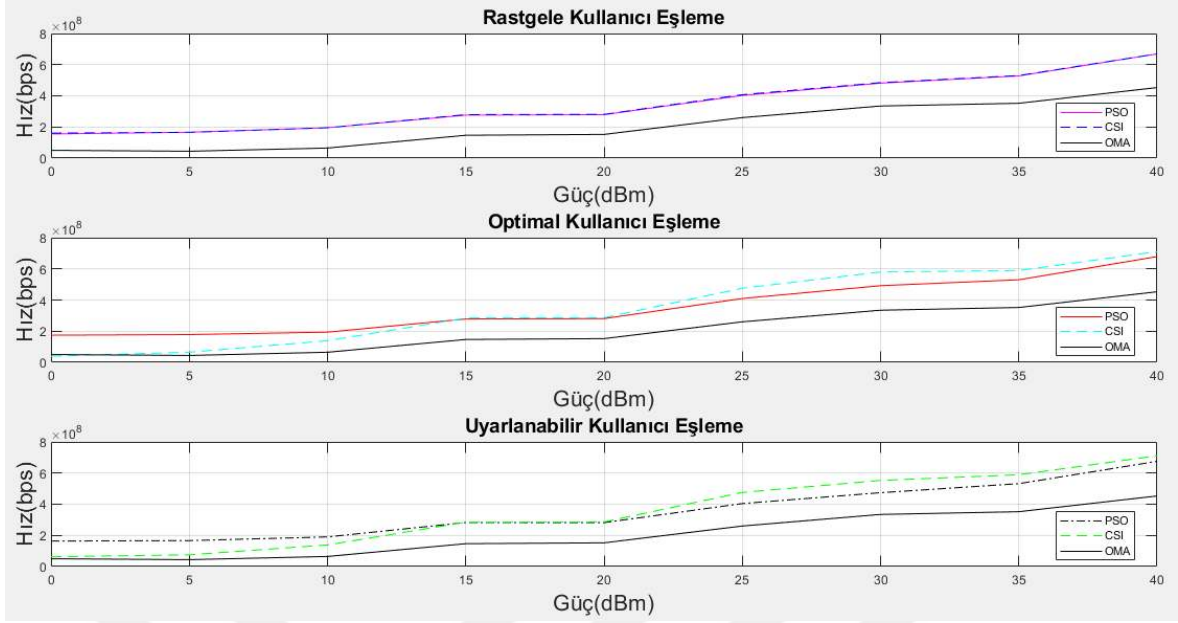
Tablo 2. On altı kullanıcılı durum için Matlab programı simülasyon parametreleri

Parametre	Değeri
Kullanıcı sayısı	16
Makro baz istasyonu kapsama çapı	1000 m
Kullanıcıların makro baz istasyonuna olan minimum mesafesi	10 m
Tekrar sayısı	100
Bant genişliği	40e6
Gürültü gücü yoğunluğu	-174 dbm/Hz
Path Loss katsayısı (PL)	2
PSO ceza katsayısı	1e15
PSO parçacık sayısı	25
PSO iterasyon sayısı	150

3.2.1. On Altı Kullanıcılı Durumda Toplam Hızların Karşılaştırılması



Şekil 12. Enerji etkinliği kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması



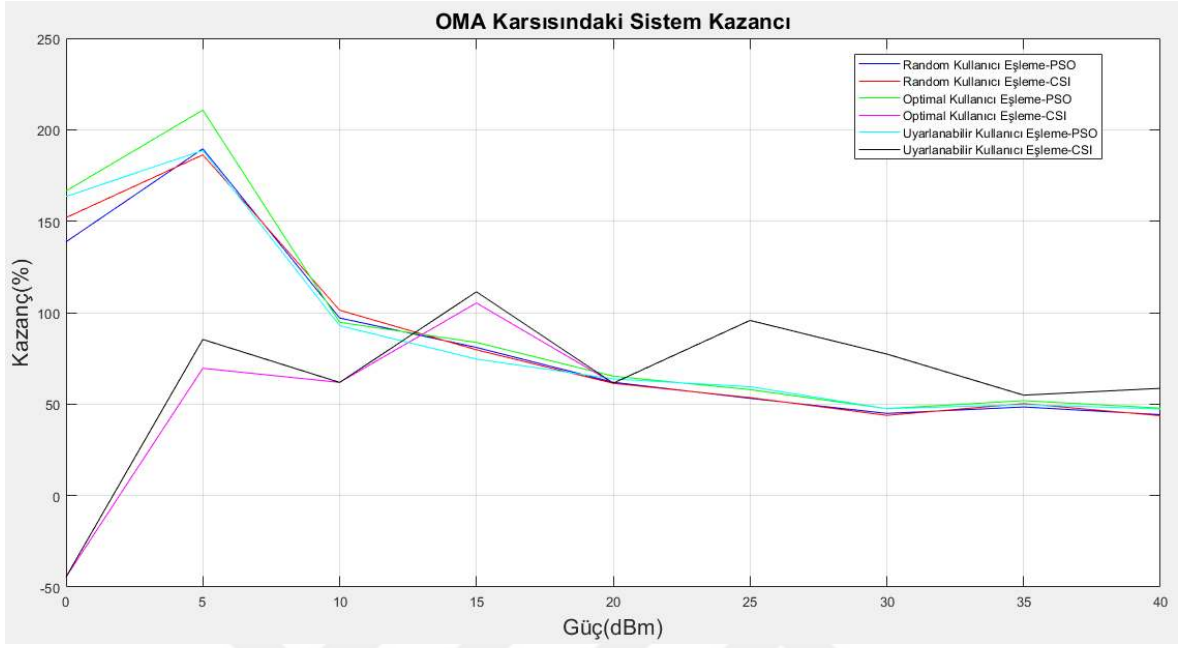
Şekil 13. Adillik kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması

Şekil 12 ve Şekil 13'te oluşan durumlar incelendiğinde NOMA yöntemi uygulanan üç durumda da klasik OMA yöntemindeki veri hızından daha fazla veri hızı elde edildiği gözlemlenmektedir. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme ve Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmalarının aynı sonucu vermesi, sistemde eşlenmemiş şekilde kalan kullanıcı olmadığını gösterir.

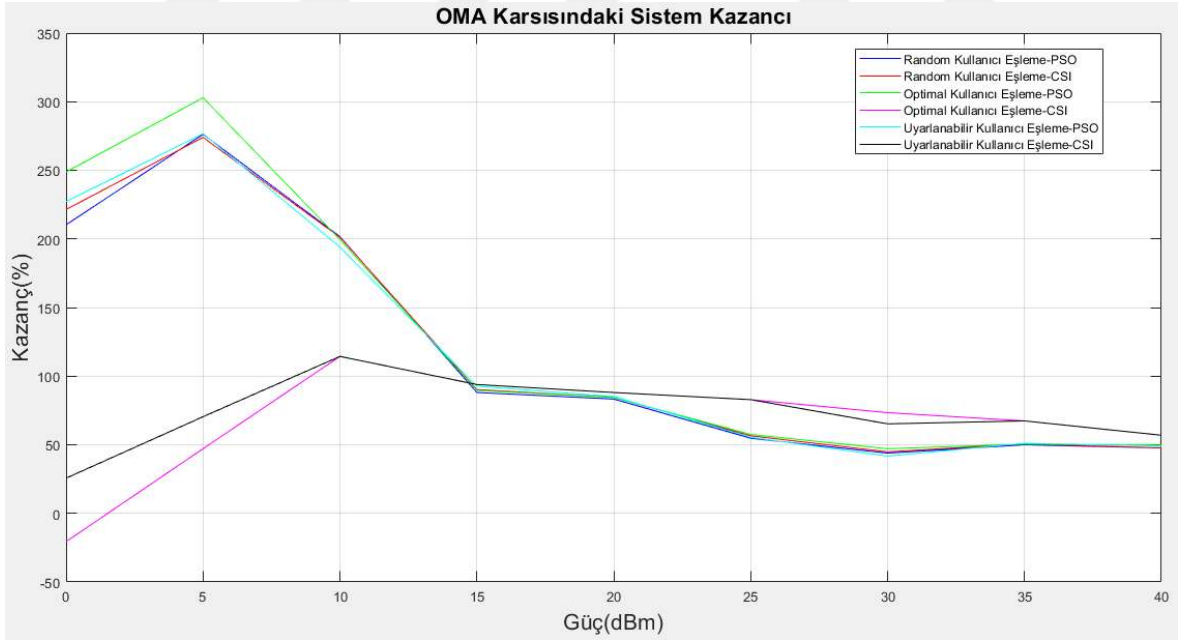
Şekil 12'de Rastgele Kullanıcı Eşleme algoritması ise 4 dBm'den sonra PSO algoritması CSI yöntemine üstünlük kurmuştur. Şekil 13'te ise Rastgele Kullanıcı Eşleme algoritması ise 5 dBm'den sonra PSO algoritması CSI yöntemine üstünlük kurmuştur.

Şekil 12'de Optimal Kullanıcı Eşleme algoritması ve Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme algoritması 12 dBm'e kadar PSO algoritması CSI yöntemine üstünlük kurmuştur. Ancak sonrasında CSI yöntemi daha iyi sonuç vermiştir. Şekil 13'de Optimal Kullanıcı Eşleme algoritması ve Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme algoritması 14 dBm'e kadar PSO algoritması CSI yöntemine üstünlük kurmuştur. Ancak sonrasında CSI yöntemi daha iyi sonuç vermiştir.

3.2.2. On Altı Kullanıcılı Durumda OMA'ya Karşı Kazançların Karşılaştırılması



Şekil 14. Enerji etkinliği kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması



Şekil 15. Adillik kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması

OMA'ya karşı sistem kazançları Şekil 14 ve Şekil 15'de görülmektedir. Adillik kriterine göre oluşan sistem kazancının daha yüksek olduğu görülmektedir.

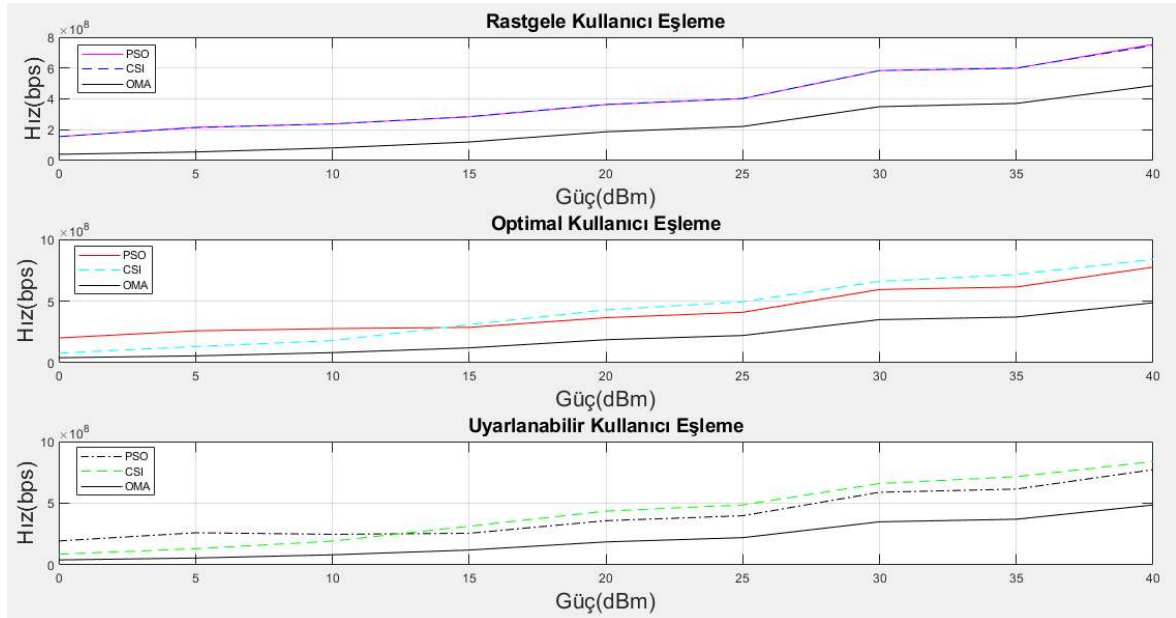
3.3. Otuz İki Kullanıcı Durum

Otuz iki kullanıcının yer aldığı senaryonun benzetimi için aşağıdaki tabloda yer alan parametreler ve değerleri kullanılmıştır.

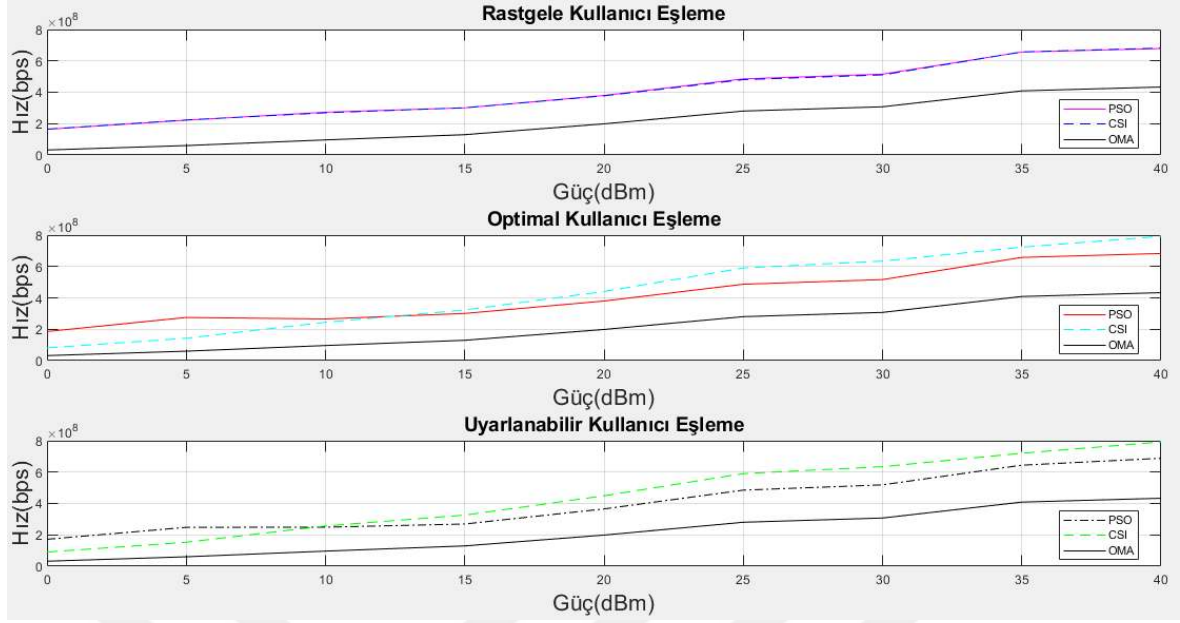
Tablo 3. Otuz iki kullanıcı durum için Matlab programı simülasyon parametreleri

Parametre	Değeri
Kullanıcı sayısı	32
Makro baz istasyonu kapsama çapı	1000 m
Kullanıcıların makro baz istasyonuna olan minimum mesafesi	10 m
Tekrar sayısı	100
Bant genişliği	40e6
Gürültü gücü yoğunluğu	-174 dbm/Hz
Path Loss katsayısı (PL)	2
PSO ceza katsayısı	1e15
PSO parçacık sayısı	25
PSO iterasyon sayısı	150

3.3.1. Otuz İki Kullanıcı Durumda Toplam Hızların Karşılaştırılması



Şekil 16. Enerji etkinliği kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması

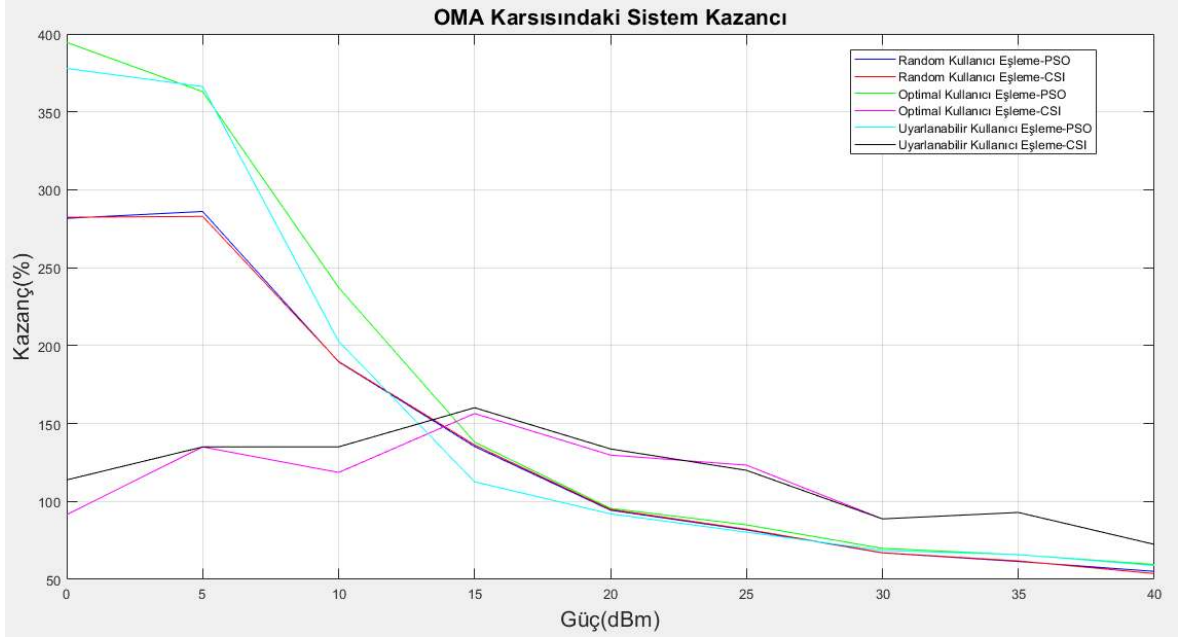


Şekil 17. Adillik kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması

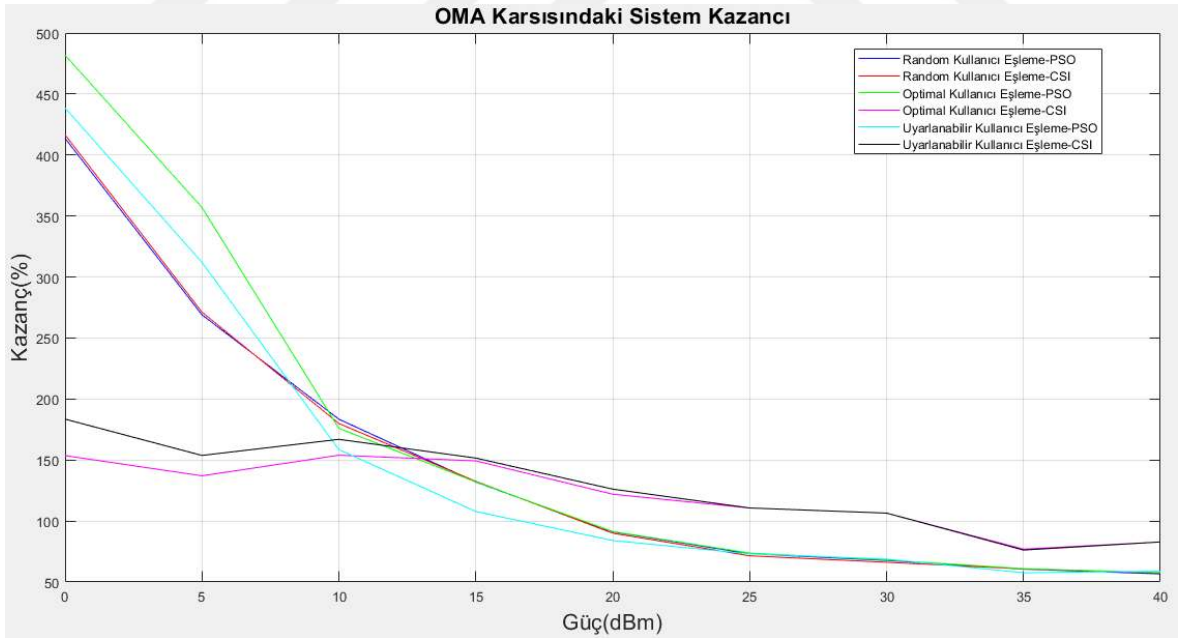
Şekil 16’da oluşan durum incelendiğinde NOMA yöntemi uygulanan üç durumda da klasik OMA yöntemindeki veri hızından daha fazla veri hızı elde edildiği gözlemlenmektedir. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme ve Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmalarının aynı sonucu vermesi, sistemde eşlenmemiş şekilde kalan kullanıcı olmadığını gösterir. 14 dBm’e kadar PSO algoritması CSI yöntemine göre yapılan güç tahsisine üstünlük sağlamıştır. Rastgele Kullanıcı Eşleme algoritmasında ise PSO algoritması CSI yönteminden daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 17’de oluşan durum incelendiğinde NOMA yöntemi uygulanan üç durumda da klasik OMA yöntemindeki veri hızından daha fazla veri hızı elde edildiği gözlemlenmektedir. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme ve Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmalarının aynı sonucu vermesi, sistemde eşlenmemiş şekilde kalan kullanıcı olmadığını gösterir. 10 dBm’e kadar PSO algoritması CSI yöntemine göre yapılan güç tahsisine üstünlük sağlamıştır. Rastgele Kullanıcı Eşleme algoritmasında ise PSO algoritması CSI yönteminden daha iyi sonuç vermiştir.

3.3.2. Otuz İki Kullanıcılı Durumda OMA'ya Karşı Kazançlar Karşılaştırılması



Şekil 18. Enerji etkinliği kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması



Şekil 19. Adillik kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması

OMA'ya karşı sistem kazançları Şekil 18 ve Şekil 19'da görülmektedir. Adillik kriterine göre oluşan sistem kazancının daha yüksek olduğu görülmektedir.

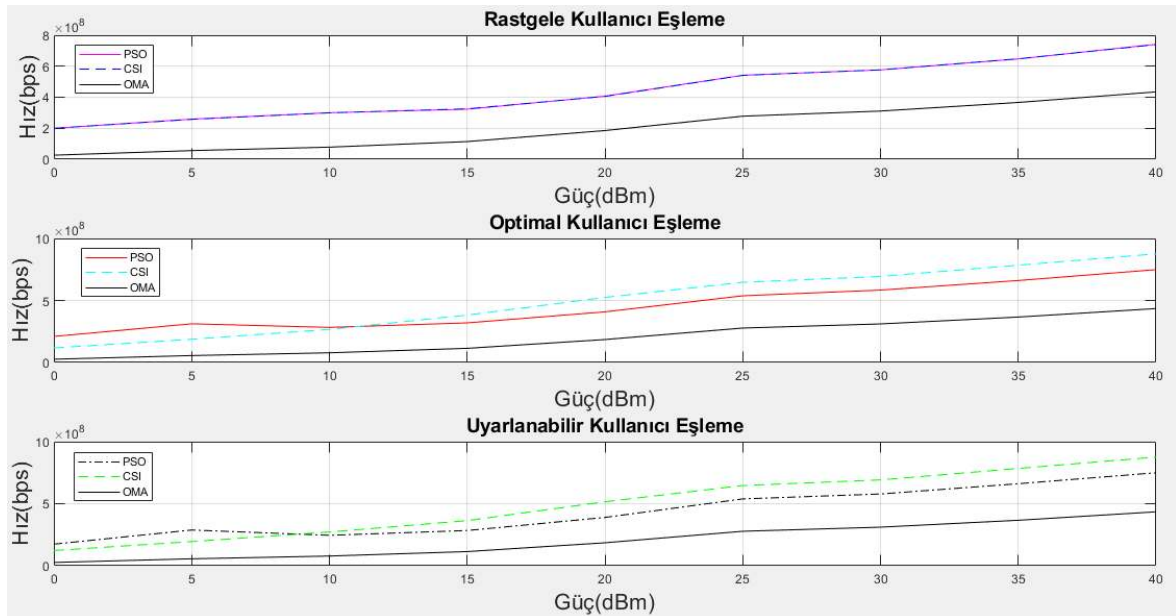
3.4. Altmış Dört Kullanıcı Durum

Altmış Dört kullanıcının yer aldığı senaryonun benzetimi için aşağıdaki tabloda yer alan parametreler ve değerleri kullanılmıştır.

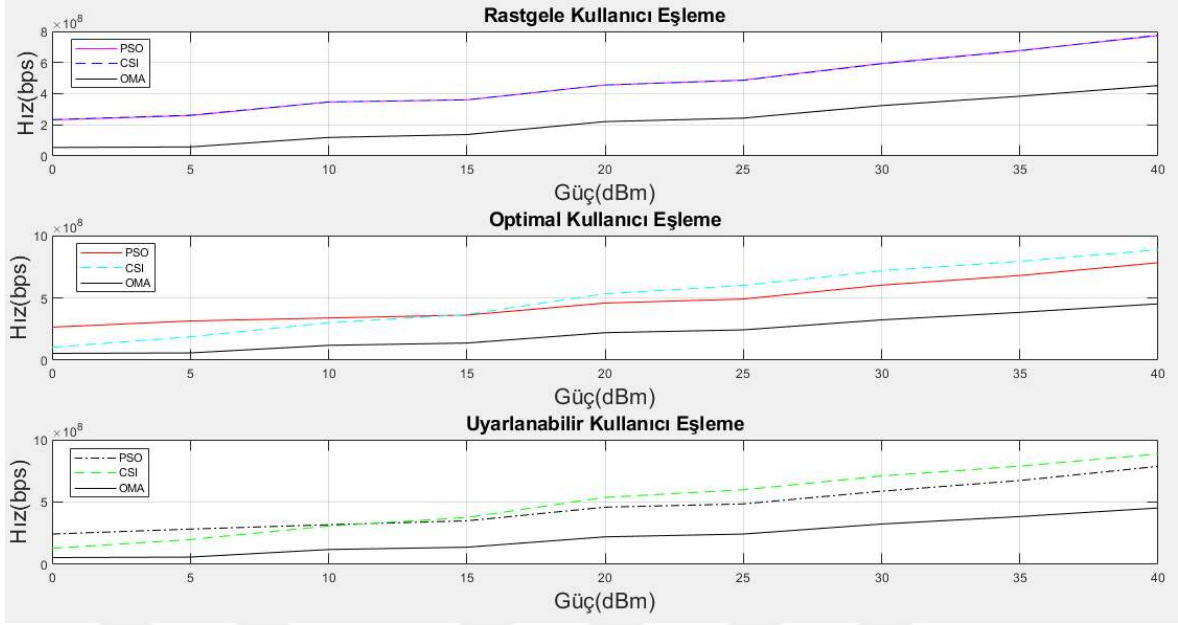
Tablo 4. Altmış dört kullanıcı durumu için Matlab programı simülasyon parametreleri

Parametre	Değeri
Kullanıcı sayısı	64
Makro baz istasyonu kapsama çapı	1000 m
Kullanıcıların makro baz istasyonuna olan minimum mesafesi	10 m
Tekrar sayısı	100
Bant genişliği	40e6
Gürültü gücü yoğunluğu	-174 dbm/Hz
Path Loss katsayısı (PL)	2
PSO ceza katsayısı	1e15
PSO parçacık sayısı	25
PSO iterasyon sayısı	150

3.4.1. Altmış Dört Kullanıcı Durumda Toplam Hızların Karşılaştırılması



Şekil 20. Enerji etkinliği kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması

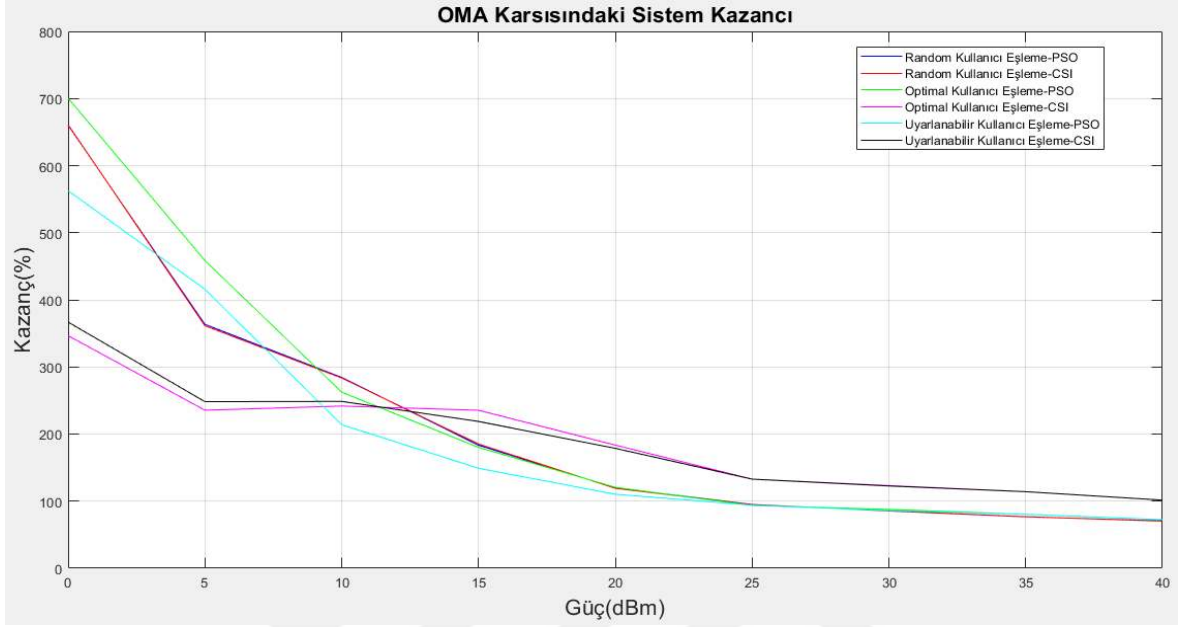


Şekil 21. Adillik kriterine göre toplam hızların karşılaştırılması

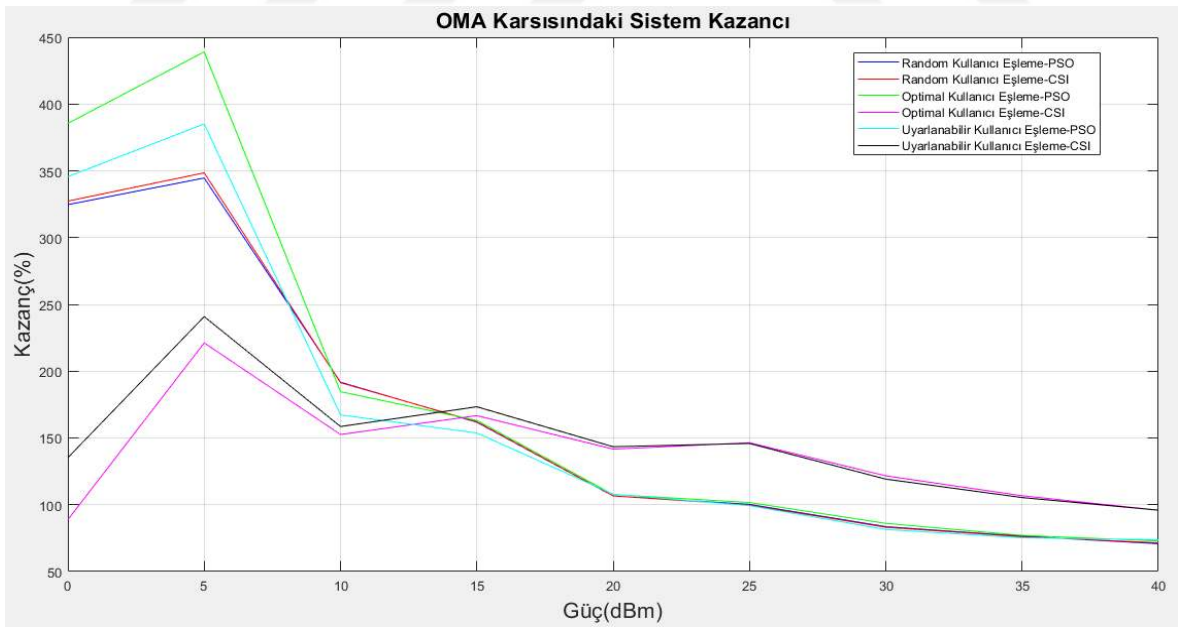
Şekil 20’de oluşan durum incelendiğinde NOMA yöntemi uygulanan üç durumda da klasik OMA yöntemindeki veri hızından daha fazla veri hızı elde edildiği gözlemlenmektedir. Rastgele Kullanıcı Eşleme algoritmasının performansı PSO ve CSI yöntemlerinde oldukça yakın sonuç vermiştir. Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmasında 11 dBm’e kadar PSO algoritması CSI yöntemine göre yapılan güç tahsisine üstünlük sağlamıştır. Sonrasında ise tam tersi bir durum oluşmuştur. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme algoritmasında 11 dBm’e kadar PSO algoritması CSI yöntemine göre yapılan güç tahsisine üstünlük sağlamıştır. Sonrasında ise tam tersi bir durum oluşmuştur. Kullanıcılar Optimal Kullanıcı Eşleme yönteminde daha yüksek hızlara ulaşmıştır.

Şekil 21’de oluşan durum incelendiğinde NOMA yöntemi uygulanan üç durumda da klasik OMA yöntemindeki veri hızından daha fazla veri hızı elde edildiği gözlemlenmektedir. Rastgele Kullanıcı Eşleme algoritmasının performansı 8 dBm’e kadar CSI yönteminde daha iyi sonuç vermiştir. Ancak sonrasında PSO ve CSI yöntemlerinde oldukça yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır. Optimal Kullanıcı Eşleme algoritmasında 14 dBm’e kadar PSO algoritması CSI yöntemine göre yapılan güç tahsisine üstünlük sağlamıştır. Sonrasında ise tam tersi bir durum oluşmuştur. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme algoritmasında 11 dBm’e kadar PSO algoritması CSI yöntemine göre yapılan güç tahsisine üstünlük sağlamıştır. Sonrasında ise tam tersi bir durum oluşmuştur. Kullanıcılar Optimal Kullanıcı Eşleme yönteminde daha yüksek hızlara ulaşmıştır.

3.4.2. Altmış Dört Kullanıcı Durumda OMA'ya Karşı Kazançlar Karşılaştırılması



Şekil 22. Enerji etkinliği kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması



Şekil 23. Adillik kriterine göre OMA'ya karşı kazançların karşılaştırılması

OMA'ya karşı sistem kazançları Şekil 18 ve Şekil 19'da görülmektedir. Enerji Etkinliği kriterine göre oluşan sistem kazancının daha yüksek olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışması ile Dikgen Olmayan Çoklu Erişim (NOMA) ve Dikgen Olmayan Çoklu Erişim’de Kaynak Tahsisi konuları anlatılmıştır. Kaynak Tahsisinin yapılabilmesi için gerekli olan 2 alt aşama yani Kullanıcı Eşleme ve Güç Tahsisinin detaylarıyla anlatılmıştır. Literatürde var olan mevcut yöntemler tanıtılmıştır. Ayrıca güç tahsisi için optimizasyon algoritmalarından biri olan PSO algoritmasının kullanılabileceği anlatılmıştır. PSO algoritmasının hangi kısıtlar ve hangi koşullar altında çalıştırılması gerektiğinden bahsedilmiştir.

Tez kapsamında literatürde yer alan kullanıcı eşleme yöntemlerinden olan Rastgele Kullanıcı Eşleme, Optimal Kullanıcı Eşleme ve Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme yöntemleri kullanılmıştır. Bu üç yöntemde de kullanıcılar ikili gruplara ayrılarak eşleme yapılmaktadır. Ardından Güç tahsisi yapmak için ise PSO algoritması kullanılmıştır. PSO algoritmasının güç tahsisi üzerindeki performansının kıyaslanabilmesi adına literatürde sıkça kullanılan CSI tabanlı güç tahsisi yöntemide kullanılmıştır. Verilen kullanıcı eşleme yöntemleri ile PSO algoritması bir arada kullanılarak Kaynak Tahsisi gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde verilen kullanıcı eşleme yöntemleri ile CSI yöntemi bir arada kullanılarak Kaynak Tahsisi de gerçekleştirilmiştir.

Literatüre bakıldığında kullanıcılara ikiyeşerli gruplama yapıldığında en verimli eşlemenin Optimal Kullanıcı Eşleme yöntemi olduğu belirtilmektedir. Bunun yanı sıra aynı şekilde en verimsiz eşlemenin ise Rastgele Kullanıcı Eşleme olduğu belirtilmektedir. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme yönteminde ise kullanıcılara en az OMA yönteminde elde edeceği veri hızını garanti etmek amaçlanmıştır. Burada kullanıcıların eşlenebilmesi için MSD adında bir kriteri sağlaması ve sağlamayan kullanıcıların, kriteri sağlayacak şekilde yeniden eşlenmesi gerekmektedir. Eşlenme kriteri sağlanmadığı takdirde kullanıcılar OMA hızında iletim yapmaya devam edecektir. Uygulanan PSO algoritmasıyla kullanıcılara güç tahsisi yapılırken, kullanıcılara atanan güç katsayıları toplamını bir yapmak ve kullanıcıların her birinin en az OMA yönteminde elde edeceği veri hızına ulaşmasını sağlamak amaçlanmıştır. PSO algoritması Enerji Etkinliği ve Adillik performans kriterleri açısından ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde; bu üç yöntemin, her iki performans kriterinde de geleneksel OMA yönteminde elde edilen veri hızından daha fazla veri hızı sağladığı görülmüştür.

Bunun sağlanmasının en önemli nedeni PSO algoritmasının doğru ve yüksek performansta çalışmasıdır. NOMA ve OMA hızları arasındaki fark, PSO’da kullanılan performans kriterine göre değişkenlik göstermiştir. 8 ve 64 kullanıcıdan oluşan sistemlerde Enerji Etkinliği kriteri daha yüksek performans gösterirken, 16 ve 32 kullanıcıdan oluşan sistemlerde Adillik performans kriteri daha yüksek performans göstermiştir. Sistemlerin kazançlarına bakarak bunu görmek mümkündür. Bu farklılığın sebebi kullanıcı kümelerinin her sistem için yeniden ve birbirinden bağımsız oluşturuluyor olmasıdır. Yani sistem içerisindeki kullanıcıların kanal katsayıları dolayısıyla ortaya çıkan hızlar bu performansları doğrudan etkilemiştir. Literatürde belirtilenin aksine, Rastgele Kullanıcı Eşleme yönteminin performansını oldukça yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi PSO algoritmasının gösterdiği yüksek performanstır. Beklendiği üzere çoğu noktada en yüksek performansı Optimal Kullanıcı Eşleme yöntemi vermiştir. Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme yöntemi ise eşlenmeden kalan kullanıcıların olduğu durumlarda düşük performans gösterirken, kriter sağlandığı durumlarda Optimal Kullanıcı Eşleme yöntemine yakın ve çoğu noktada aynı performansı göstermiştir. Literatürde, zaten kullanıcılara en az OMA hızını sağlamak üzere önerilen bu yönteme PSO algoritması çok fazla iyileştirme yapamamıştır. Buna rağmen sistemin toplam hızı her defasında OMA hızını geçmiştir. PSO algoritması ve CSI tabanlı güç tahsisi yöntemi kıyaslandığında ise düşük güç seviyelerinde PSO daha iyi sonuçlar versede, güç değeri yükseldikçe CSI tabanlı güç tahsisi yöntemi daha iyi sonuçlar vermiştir.

Unutulmamalıdır ki incelenen bu üç yöntem de sistemde toplam $2n$ sayıda kullanıcı olması durumunu kapsar. Sistemde $2n+1$ sayıda kullanıcı olması durumunda kullanılamazlar. Bu durumu gidermek adına Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme yönteminden yola çıkılarak yeni bir yöntem düşünülebilir. Öncelikle sistemde $2n+1$ sayıda kullanıcı olması durumunda kanal katsayısı en yüksek olan kullanıcı eşlenmeden bırakılır. Ardından sistemde kalan $2n$ sayıdaki kullanıcılar Uyarlanabilir Kullanıcı Eşleme yöntemi ve bu yöntemdeki MSD kriterine göre eşlenir. Eşlenmeden kalması gereken kullanıcılar sırasıyla en başta ayrılan, kanal katsayısı en yüksek kullanıcıyla eşlenir ve sonuçlara göre en verimli eşlenmeyi sağlayan kullanıcı kümesi grup olarak kalır. Burada açıkta kalan kullanıcı OMA hızında iletim yapmaya devam eder. Ancak sistemin toplam veri hızının yükseltilmesi sağlanmış olur. Böylelikle sistemde toplam $2n+1$ sayıda kullanıcı olması durumunda da yöntemin çalışması ve kullanılması sağlanabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Chen, H.H., Guizani, M. and Mohr, W., Evolution toward 4G wireless networking [Guest Editorial], IEEE Network, 21,1 (2007) 4-5.
2. Li, X., Gani, A., Salleh, R. and Zakaria, O., The future of mobile wireless communication networks, In 2009 International Conference on Communication Software and Networks IEEE, 2009 February, 554-557.
3. Goldsmith, A., Wireless communications, Cambridge University Press, New York, 2005.
4. Del Peral-Rosado, J.A., Raulefs, R., López-Salcedo, J.A. and Seco-Granados, G., Survey of cellular mobile radio localization methods: From 1G to 5G, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20, 2 (2017) 1124-1148.
5. Soy, H., Özdemir, Ö. and Bayrak, M., Gelecek Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri: 3G, 4G ve Ötesi, Akademik Bilişim, Şubat 2012, 12, 1-3.
6. Kara, F., Gemici, Ö.F., Hökelek, İ. and Çirpan, H.A., Optimal power allocation for DL NOMA systems, In 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) IEEE, Mayıs 2017, 1-4.
7. Islam, S.R., Zeng, M., Dobre, O.A. and Kwak, K.S., Resource allocation for downlink NOMA systems: Key techniques and open issues, IEEE Wireless Communications, 25, 2 (2018) 40-47.
8. Zhang, H., Zhang, D.K., Meng, W.X. and Li, C., User pairing algorithm with SIC in non-orthogonal multiple access system, In 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC) IEEE, May 2016, 1-6.
9. Parida, P. and Das, S.S., Power allocation in OFDM based NOMA systems: A DC programming approach, In 2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) IEEE, December 2014, 1026-1031.
10. Ali, M.S., Tabassum, H. and Hossain, E., Dynamic user clustering and power allocation for uplink and downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) systems, IEEE access, 4, (2016) 6325-6343.
11. Dai, L., Wang, B., Ding, Z., Wang, Z., Chen, S. and Hanzo, L., A survey of non-orthogonal multiple access for 5G, IEEE communications surveys & tutorials, 20, 3 (2018) 2294-2323.

12. Zhu, L., Zhang, J., Xiao, Z., Cao, X. and Wu, D.O., Optimal user pairing for downlink non-orthogonal multiple access (NOMA), IEEE Wireless Communications Letters, 8, 2 (2018) 328-331.
13. Ali, Z.J., Noordin, N.K., Sali, A., Hashim, F. and Balfaqih, M., An efficient method for resource allocation and user pairing in downlink non-orthogonal multiple access system, In 2019 IEEE 14th Malaysia International Conference on Communication (MICC) IEEE, December 2019, 124-129.
14. Kavlak, K.S. and Çelebi, M.E., Optimal fair resource allocation for downlink NOMA systems, In 2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) IEEE, October 2020, 1-4.
15. Alghasmari, W.F. and Nassef, L., Power Allocation Evaluation for Downlink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA), International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 11, 4 (2020) 126-132.
16. Ding, Z., Fan, P. and Poor, H.V., Impact of user pairing on 5G nonorthogonal multiple-access downlink transmissions, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65, 8 (2015) 6010-6023.
17. Benjebbovu, A., Li, A., Saito, Y., Kishiyama, Y., Harada, A. and Nakamura, T., System-level performance of downlink NOMA for future LTE enhancements, In 2013 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) IEEE, December 2013, 66-70.
18. Kumar, K.S., Sreenivasulu, G. and Rajan, S.V., Block based SVD approach for Additive White Gaussian Noise level estimation in satellite images, In 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom) IEEE, March 2016, 1464-1468.
19. Salem, Y. and Ivanek, L., Propagation modelling of path loss models for wireless communication in urban and rural environments at 1800 GSM frequency band, Advances in Electrical and Electronic Engineering, 14, 2 (2016) 139-144.
20. Stüber, G.L. and Steuber, G.L., Principles of mobile communication, Fourth Edition, Springer International Publishing, Atlanta, 1996.
21. Yang, X.S., Nature-Inspired Computation and Swarm Intelligence: Algorithms, Theory and Applications, Academic Press, London, 2020.
22. Özsağlam, M.Y. and Çunkaş, M., Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçaçık sürü optimizasyonu algoritması, Politeknik Dergisi, 11, 4 (2008) 299-305.
23. Dai, L., Wang, B., Yuan, Y., Han, S., Chih-Lin, I. and Wang, Z., Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends, IEEE Communications Magazine, 53, 9 (2015) 74-81.

24. Maraqa, O., Rajasekaran, A.S., Al-Ahmadi, S., Yanikomeroglu, H. and Sait, S.M., A survey of rate-optimal power domain NOMA with enabling technologies of future wireless networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 22, 4 (2020) 2192-2235.
25. Cai, Y., Qin, Z., Cui, F., Li, G.Y. and McCann, J.A., Modulation and multiple access for 5G networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20, 1 (2017) 629-646.
26. Islam, S.R., Avazov, N., Dobre, O.A. and Kwak, K.S., Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19, 2 (2016) 721-742.
27. Mouni, N.S., Kumar, A. and Upadhyay, P.K., Adaptive user pairing for NOMA systems with imperfect SIC, IEEE Wireless Communications Letters, 10, 7 (2021) 1547-1551.
28. Wang, Q., Zhang, R., Yang, L.L. and Hanzo, L., Non-orthogonal multiple access: A unified perspective, IEEE Wireless Communications, 25, 2 (2018) 10-16.
29. Benjebbour, A., Saito, Y., Kishiyama, Y., Li, A., Harada, A. and Nakamura, T., Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access, In 2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems IEEE, November 2013, 770-774.
30. Choi, J., Power allocation for max-sum rate and max-min rate proportional fairness in NOMA, IEEE Communications Letters, 20, 10 (2016) 2055-2058.
31. Zhu, J., Wang, J., Huang, Y., He, S., You, X. and Yang, L., On optimal power allocation for downlink non-orthogonal multiple access systems, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 35, 12 (2017) 2744-2757.
32. El-Sayed, M.M., Ibrahim, A.S. and Khairy, M.M., Power allocation strategies for non-orthogonal multiple access, In 2016 International Conference on Selected Topics in Mobile & Wireless Networking (MoWNeT) IEEE, April 2016, 1-6.
33. Ali, Z.J., Noordin, N.K., Sali, A., Hashim, F. and Balfaqih, M., Novel resource allocation techniques for downlink non-orthogonal multiple access systems, Applied Sciences, 10, 17 (2020) 5892.

ÖZGEÇMİŞ

Caner KÜÇÜKYILMAZ, Lise öğrenimini Trabzon Fen Lisesi'nde tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Lisans Programı'na başladı. 2019 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Elektronik ve Haberleşme Ana Bilim dalında Yüksek Lisans Programı'na başladı. Ayrıca 2021-2022 yılları arasında Trabzon Üniversitesi Pedagojik Formasyon eğitimini tamamlayarak, Elektrik-Elektronik Teknolojileri öğretmeni ünvanını aldı. Yabancı dil olarak orta seviyede İngilizce bilmektedir.

YAYINI

Küçükyılmaz C. ve Hacıoğlu G., Resource Allocation in Non-Orthogonal Multiple Access, Erzurum Teknik Üniversitesi, 2021.(Bildiri)