

**MASİF MIMO SİSTEMLERDE PİLOT ATAMA VE PİLOT GÜÇ
TAHSİSİ OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE PİLOT
KİRLİLİĞİNİN AZALTILMASI**

MUHAMMET PAKYÜREK

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SELMAN KULAÇ**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MASİF MİMO SİSTEMLERDE PİLOT ATAMA VE PİLOT GÜÇ
TAHSİSİ OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE PİLOT
KİRLİLİĞİNİN AZALTILMASI

Muhammet PAKYÜREK tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Selman KULAÇ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Selman KULAÇ

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan KAYA

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Doç. Dr. Yusuf ALTUN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa NAMDAR

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 06/06/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

6 Haziran 2023

Muhammet PAKYÜREK

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Selman KULAÇ'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Osman DİKMEN'e şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

6 Haziran 2023

Muhammet PAKYÜREK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No



DÜZCE
ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

.....	i
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
KISALTMALAR	ix
SİMGELER	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
EXTENDED ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. TEZİN AMACI VE ÖNEMİ.....	3
1.2. TEZ KONUSUNUN ÖNEMİ VE ÖZGÜN DEĞERİ.....	4
1.3. TEZİN YAPISAL DÜZENİ.....	4
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
3. MASİF MIMO SİSTEMLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ . 15	
3.1. MASİF MIMO SİSTEMLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	16
3.1.1. Masif MIMO Sistemlerin Veri İletim Şemaları.....	16
3.1.1.1. Zaman Bölmeli Çifileme (Time Division Duplexing - TDD) Veri İletim Şeması.....	16
3.1.1.2. Frekans Bölmeli Çifileme (Frequency Division Duplexing - FDD) Veri İletim Şeması.....	17
3.1.1.3. Zaman ve Frekans Bölmeli Çifileme Yaklaşımlarının Kıyaslanması.....	17
3.1.2. Kanal Durum Bilgisi (Channel State Information, CSI).....	18
3.2. MASİF MIMO SİSTEM MODELİ.....	19
3.3. KULLANICI SAYISINA GÖRE MASİF MIMO SİSTEMLER.....	22
3.3.1. Tek Kullanıcı MIMO (SU-MIMO) Sistemler.....	22
3.3.2. Çok Kullanıcı MIMO (MU-MIMO) Sistemler.....	23
3.3.3. Tek ve Çok Kullanıcı MIMO (SU-MIMO ve MU-MIMO) Sistemlerin Kıyaslanması.....	23
4. PİLOT KİRLİLİĞİNİN ANALİZİ VE AZALTILMASI	25
4.1. PİLOT KİRLİLİĞİNİN TANIMI VE ETKİLERİ.....	25
4.2. PİLOT KİRLİLİĞİ PROBLEMİNİN KAYNAKLARI.....	26
4.2.1. Ortogonal Olmayan Pilotlar.....	26
4.2.2. Donanımsal Bozukluklar.....	27
4.2.3. Karşılıklı Olmayan Alıcı ve Vericiler.....	27
4.3. MASİF MIMO SİSTEMLERDE PİLOT TAHSİSİ.....	28
4.4. PİLOT KİRLİLİĞİ AZALTMA ALGORİTMALARI.....	28

5. ÖNERİLEN PİLOT TAHSİSİ İLE PİLOT KİRLİLİĞİ AZALTMA YÖNTEMİ.....	31
5.1. ÖNERİLEN PİLOT TAHSİSİ ALGORİTMASININ AÇIKLANMASI: PİLOT ATAMA PLANLARI İÇİN DİNAMİK OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (DOAPAS)	32
5.2. ÖNERİLEN PİLOT KİRLİLİĞİ AZALTMA YÖNTEMİNİN DETAYLARI	33
5.3. ÖNERİLEN YÖNTEMİN PERFORMANS ANALİZİ VE SONUÇLARI... ..	35
6. ÖNERİLEN PİLOT GÜÇ TAHSİSİ	39
6.1. LİTERATÜRDEKİ GÜÇ TAHSİS YÖNTEMLERİ.....	39
6.1.1. WF-PPA Algoritması	40
6.2. ÖNERİLEN YAKLAŞIM	42
6.3. BENZETİM SONUÇLARI	45
6.4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	48
7. SONUÇ	50
8. KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Zaman kaydırmalı pilot atama şeması [35].	9
Şekil 2.2. İki kısımlı pilot atama şeması [36].	10
Şekil 2.3. Geliştirilmiş pilot güç şeması [37].	11
Şekil 2.4. Zaman kaydırmalı pilot atama şeması [38].	12
Şekil 2.5. Üst üste bindirilmiş (Superimposed) pilot atama yöntemi [40].	13
Şekil 2.6. Gauss sistem modeli [42].	14
Şekil 3.1. Zaman Bölmeli Çiftleme (TDD) veri iletim şeması [46].	16
Şekil 3.2. Frekans Bölmeli Çiftleme (FDD) veri iletim şeması [46].	17
Şekil 3.3 Tek Kullanıcılı MIMO (SU-MIMO) çalışma prensibi [51].	22
Şekil 3.4 Çok Kullanıcılı MIMO çalışma prensibi [51].	23
Şekil 4.1. Masif MIMO yukarı bağlantı sisteminde pilot kirliliği senaryosu.	25
Şekil 4.2. Karşılıklı alıcı – verici modeli [1].	28
Şekil 5.1. 15 pilot için tüm atama algoritmalarının kullanıcıların yukarı bağlantı ulaşılabilir bit hızı (bps) CDF'inin SINR'a göre karşılaştırılması.	36
Şekil 5.2. 10 pilot için tüm atama algoritmalarının kullanıcıların yukarı bağlantı ulaşılabilir bit hızı (bps) CDF'inin SINR'a göre karşılaştırılması.	36
Şekil 5.3. 15 pilot için tüm atama algoritmalarının kullanıcı başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hızının (bps) iletim gücüne göre karşılaştırılması.	37
Şekil 5.4. 10 pilot için tüm atama algoritmalarının kullanıcı başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hızının (bps) iletim gücüne göre karşılaştırılması.	37
Şekil 6.1. WF-PPA algoritmasının çalışma prensibi [84].	41
Şekil 6.2. Algoritmaların hücre başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hız CDF'lerinin karşılaştırması (beta (LSF) katsayısına göre).	46
Şekil 6.3. Algoritmaların hücre başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hız CDF'lerinin karşılaştırması (h kanala göre).	46
Şekil 6.4. Algoritmaların her bir BS'deki anten sayısı M ile hücre başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hız oranının karşılaştırması.	47
Şekil 6.5. Algoritmaların her bir BS'deki anten sayısı $M < 200$ ile hücre başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hız oranının karşılaştırması.	47

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Tek ve Çok Kullanıcı MIMO Kıyaslaması [52].....	24
Çizelge 5.1. Önemli sistem benzetim parametreleri.....	31
Çizelge 5.2. Algoritma 1-Pilot ataması için optimizasyon algoritması.....	34
Çizelge 6.1. EWD-PPA Algoritma adımları.....	44
Çizelge 6.2. EWD-PPA Algoritması için temel benzetim parametreleri.....	45



KISALTMALAR

CDF	Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (Cumulative Distribution Function)
CSI	Kanal Durum Bilgisi (Channel State Information)
DLPAS	Derin Öğrenme Tabanlı Pilot Tahsis Şeması (Deep Learning Based Pilot Allocation Scheme)
DOAPAS	Pilot Atama Şeması için Dinamik Optimizasyon Tabanlı Algoritma (Dynamic Optimization based Algorithm for Pilot Assignment Scheme)
EPPA	Eşit Pilot Güç Tahsisi (Equal Pilot Power Allocation)
EWD-PPA	Üstel Ağırlık Tabanlı Dinamik Pilot Güç Tahsisi (Exponentially-Weighted Based Dynamic Pilot Power Allocation)
K	Kullanıcı Sayısı
L	Hücre Sayısı
MIMO	Çok Giriş Çok Çıkış (Multiple Input Multiple Output)
M	Anten Sayısı
SINR	Sinyal-Girişim-ve-Gürültü Oranı (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)
SPRS	Yumuşak Pilot Yeniden Kullanım Şeması (Soft Pilot Reuse Scheme)
WF-PPA	Su Doldurma Pilot Güç Tahsisi (Water-Filling Pilot Power Allocation)
WGCPD	Ağırlıklı Grafik Renklendirme Tabanlı Pilot Kirliliği Azaltma (Weighted-Graph-Coloring-Based Pilot Decontamination)

SİMGELER

α_{jk}	Ortalama Kanal Kazancı
β_{ijk}	Büyük Ölçekli Sönümleme Katsayısı
b_{jk}	Ortalama Girişim Kazancı
ε_{ik}	İlişkisiz Girişim ve Gürültü Kombinasyonu
\mathbf{g}_{ijk}	Küçük Sönümleme Katsayı Vektörü
$\hat{\mathbf{h}}$	Tahmini Kanal Katsayıları Vektörü
\mathbf{h}_{ijk}	j . Hücredeki k . Kullanıcıdan i . Hücredeki BS'ye Kanal Vektörü
\mathbf{N}_i	Gürültü Matrisi
\mathbf{n}_j	Gürültü Vektörü
p_{lk}	Yukarı Bağlantı İletim Gücü
P_{max}^{DL}	Maksimum Yukarı Bağlantı İletim Gücü
$\rho_{11}, \dots, \rho_{LK_L}$	Yukarı Bağlantı İletim Güçleri
\mathbf{R}_x	İletilen Sinyalin Kovaryans Matrisi
r_{ijk}	j . Hücredeki k . Kullanıcı ile i . Hücredeki BS Arasındaki Mesafe
r_{max}	Hücrenin Yarıçapı
S_{lm}	l Hücredeki m Kullanıcısının Sembolü
\mathbf{v}_{lk}	Doğrusal Algılama Vektörü
y_{jm}	Hücre j 'deki Kullanıcı m 'de Alınan Sinyal
z_{ijk}	Gölge Sönümlemesi
\mathbf{w}_{jk}	j . Hücredeki k . Kullanıcı İçin Ön Kodlama Vektörü
\mathbf{x}_l	BS l 'de İletilen Sinyal Vektörü
x_{ik}	Normalleştirilmiş İletim Sembolü
$\hat{\mathbf{x}}$	Tahmini Alınan Sinyal Vektörü
Ψ_i	i . Hücredeki K Kullanıcıları Tarafından Kullanılan Pilot Matrisi

ÖZET

MASIF MIMO SİSTEMLERDE PİLOT ATAMA VE PİLOT GÜÇ TAHSİSİ OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE PİLOT KİRLİLİĞİNİN AZALTILMASI

Muhammet PAKYÜREK

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Selman KULAÇ

Haziran 2023, 61 sayfa

Masif MIMO sistemi, son zamanlarda çok popüler bir kablosuz iletişim teknolojisi haline gelmiştir. 5G ve sonrası kablosuz iletişim sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerde, baz istasyonları spektral ve enerji verimliliğini artırmak için çok sayıda anten elemanına sahiptir. Bu çok sayıda anten, tüm kullanıcılar için daha verimli bir kanal tahmini sağlamak için kullanılır. Her kullanıcı, kanal tahmini için baz istasyonlarına bir dizi bilinen sembol iletir. Bu diziler, yukarı bağlantı pilot dizileri olarak adlandırılır. Atanacak sınırlı sayıda pilot dizisi olduğundan, farklı hücrelerdeki kullanıcılar aynı pilot dizilerini kullanabilir. Temelde aynı pilotları kullanan kullanıcılar arasında girişime yol açar. Bu sorun, kablosuz iletişimde pilot kirliliği olarak adlandırılır. Bu tez çalışmasında, pilot kirliliği probleminde özgün; çözümler sunmak için yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasının ana katkıları aşağıdaki şekilde özetlenmektedir: 1-Pilot kirliliğini azaltmak için optimize edilmiş kapsamlı arama ve dinamik programlama algoritmalarının bir kombinasyonu olan yeni bir optimizasyona dayalı pilot atama algoritması olarak Pilot Atama Şeması için Dinamik Optimizasyon Tabanlı Algoritma (DOAPAS) yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşım, kullanıcıların kanallarındaki değişikliklere dinamik ve en uygun şekilde yanıt verir. Bu yöntem, kullanıcı ve pilot dizisi arama uzayını daraltarak optimal eşleştirmeleri bulmaktadır. Bu optimizasyon sırasında kümülatif ortalama SINR değerindeki artışı hedefleyerek optimizasyonu gerçekleştirir. Böylece, algoritma çıktısı her zaman daha optimize edilmiş pilot atamalarla sonuçlanır. En kötü durum senaryosunda (pilotların mükemmel bir şekilde atandığı durumlarda), algoritma mevcut pilot atamalarını koruyarak çıktı verir. Benzetim sonuçları, önerilen yöntemin son zamanlarda popüler olan analitik ve derin öğrenmeye dayalı pilot atama yaklaşımlarından daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Elde edilen iyileştirme, tüm pilotlar tamamen kullanıldığında daha da belirgindir. 2-Toplam yukarı bağlantı elde edilebilir oranını artırmak için yeni ve oldukça etkili bir pilot güç tahsisi algoritması olan Üstel Ağırlık Tabanlı Dinamik Pilot Güç Tahsisi (EWD-PPA) önerilmiştir. Sunulan algoritma yaklaşımı, optimal güç tahsislerini belirlemek için SINR farkının üstel fonksiyonunu temel almaktadır. EWD-PPA algoritmasının temel ilkesi, her bir kullanıcının Sinyal Girişim artı Gürültü Oranının (SINR) hücre başına ortalama SINR'dan farklı olduğunun tanınmasına dayanır. Bu yaklaşım, üstün kanalların koşullarını geliştirirken, aynı anda daha düşük olanların koşullarını kötüleştirme niyetiyle SINR değerlerini polarize etmeyi amaçlamaktadır. Ancak bu strateji, kalitesiz kanallara sahip kullanıcıları tamamen göz ardı etmek yerine, hakkaniyetli bir duruş sergilemektedir. Bu, tahsisin yalnızca

performansı optimize etmeye odaklanmamasını, aynı zamanda dengeli bir ağ performansını etkili bir şekilde teşvik ederek tüm kullanıcılar için minimum hizmet düzeyini korumanın önemini kabul etmesini sağlar. Bu stratejinin, EPPA ve WF-PPA yöntemleri gibi literatürdeki diğer yaygın yaklaşımlardan daha üstün bir performans sergilediği, benzetim sonuçları ile açıkça gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Dinamik Optimizasyon, Masif MIMO Sistemler, Pilot Ataması ve Pilot Kirliliği, Pilot Güç Tahsisi.



ABSTRACT

THE OPTIMIZATION ALGORITHMS OF PILOT ASSIGNMENT AND PILOT POWER ALLOCATION TO MITIGATE PILOT CONTAMINATION IN MASSIVE MIMO SYSTEMS

Muhammet PAKYÜREK

Düzce University

Graduate School, Department of Electrical Electronics and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Assoc. Dr. Selman KULAÇ

June 2023, 61 pages

Massive MIMO system has been a very popular type of wireless communication technology recently. It plays an important role in 5G and beyond wireless communication systems. In Massive MIMO, base stations have multiple antenna elements to improve spectral and energy efficiency. Multiple antennas also provide a more efficient channel estimation for all users. Each user transmits a set of known symbols to base stations for channel estimation. These sequences are called uplink pilot sequences. Users in different cells can use the same pilot sequences as there is a limited number of pilot sequences to assign. It causes interference between users using basically the same pilots. This issue is called Pilot Contamination in wireless communication. In this study, we develop two innovative approaches to address the problem of Pilot Contamination.

The main contributions of this study are summarized as follows: 1- A new optimization-based pilot assignment algorithm Dynamic Optimization based Algorithm for Pilot Assignment Scheme (DOAPAS) is demonstrated, which is a combination of comprehensive search and dynamic programming algorithms optimized to reduce Pilot Contamination. This approach dynamically and optimally responds to changes in users' channels. This method finds the optimal user and pilot sequence matches in reduced the user and pilot sequence search space. It performs the optimization by targeting the increase in the cumulative average SINR value during the optimization. Thus, the algorithm output always results in more optimized pilot assignments. In the worst-case scenario (where the pilots are assigned perfectly effectively), the algorithm outputs keeping the existing pilot assignments. The simulation results indicate that the proposed method outperforms the recent popular analytical and deep learning-based pilot assignment approaches. The achieved improvement is even more prominent when all the pilots are fully used. 2- A new and highly efficient pilot power allocation algorithm Exponentially-weighted Based Dynamic Pilot Power Allocation (EWD-PPA) is proposed to increase the overall uplink achievable rate. The presented algorithm approach is based on the exponential function of the SINR difference to determine optimal power allocations. The basic principle of the EWD-PPA algorithm is based on the recognition that each user's Signal Interference plus Noise Ratio (SINR) differs from the average SINR per cell. This approach aims to polarize the SINR values with the intention of worsening the conditions of the lower channels while simultaneously improving the conditions of the superior channels. However, this strategy takes a fair stance rather than completely ignoring users with poor quality channels. This ensures that the allocation not only focuses on optimizing performance, but also recognizes the importance of maintaining a minimum level of service for all users by effectively promoting a balanced network performance. The simulation results clearly show that this strategy outperforms

other common approaches in the literature, such as EPPA and WF-PPA methods.

Keywords: Dynamic Optimization, Massive MIMO, Pilot Assignment and Pilot Contamination, Pilot Power Allocation.



EXTENDED ABSTRACT

THE OPTIMIZATION ALGORITHMS OF PILOT ASSIGNMENT AND PILOT POWER ALLOCATION TO MITIGATE PILOT CONTAMINATION IN MASSIVE MIMO SYSTEMS

Muhammet PAKYÜREK

Düzce University

Graduate School, Department of Electrical Electronics and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Assoc. Dr. Selman KULAÇ

June 2023, 61 pages

1. INTRODUCTION

In the current investigation, we introduce two effective algorithms specifically designed for the enhancement of pilot assignment and pilot power allocation with the aim of mitigating pilot contamination in multi-cell multi-user systems utilizing massive multiple-input multiple-output (MIMO) technologies. The objective function of this proposed optimization strategy is based on the cumulative mean values of uplink Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR).

The DOAPAS (Dynamic Optimization based Algorithm for Pilot Assignment Scheme) methodology proficiently optimizes the associations between pilots and users via a smartly designed efficient search mechanism that substantially contracts both the user and pilot search spaces. This dynamic process calculates reductions in the search space following the iterative updating of each cell. The contraction is accomplished by considering only the users whose SINR value falls below the cell's mean SINR. Conversely, the narrowing down of the pilot's search space is achieved by selecting only the pilots that are least frequently employed within the proximate neighboring cells' pilot deployments.

EWD-PPA (Exponentially-weighted based dynamic pilot power allocation) is presented as a dynamic approach to pilot power allocation. The foundational principle of the algorithm rests on the premise that each user's Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR) per cell varies significantly. This approach fundamentally aims to polarize the SINR values, thereby seeking to enhance the conditions of channels with superior quality and conversely, degrade the conditions of channels with inferior quality.

However, rather than completely disregarding users with poor channels, the algorithm

astutely considers a specified Quality of Service (QoS) level. Consequently, it allocates power within the $[\rho_{\min}, \rho_{\max}]$ range, ensuring that even underperforming channels are taken into account. This methodology encapsulates an equitable treatment of users while bolstering overall system performance, hence advocating for a balanced and optimal allocation strategy that merits further attention in the realm of wireless communication systems.

Simulation outcomes indicate that the proposed methodology surpasses recently popular approaches, including analytical methods and deep learning-based pilot allocation techniques, in terms of performance. The pronounced improvement is even more noticeable under conditions where all pilots are entirely utilized.

2. MATERIAL AND METHODS

In this portion of the paper, we provide the comprehensive explanations of our innovative techniques DOAPAS and EWD-PPA. This technique represents a symbiosis between dynamic programming and heuristic optimization principles. Primarily, our methodology simulates the environment and algorithms relevant to pilot assignment. Following this, the developed algorithm proficiently optimizes the proposed pilot assignments.

The cumulative mean SINR value, denoted as the global SINR, serves as the objective function in the proposed optimization scheme. The uplink capacities across all pilot assignment designs are determined in relation to their respective pilot sequences and the β values of the users. Subsequent to capacity calculations, users with low SINR values are identified. Next, the least utilized pilots within neighboring cells are calculated. Ultimately, the most beneficial pairing of pilots and users is calculated with the intention of augmenting the average channel capacity.

The DOAPAS algorithm, underpinned by the principles of dynamic programming and synergistically coupled with an astute search procedure, presents a novel approach to the optimization of wireless communication systems. A crucial aspect to consider is that the computational time proliferates exponentially as the search domain augments. Consequently, DOAPAS's primary focus rests on limiting the search domains related to pilots and users, making it a computationally viable option.

Uniquely, DOAPAS dynamically computes the average Signal to Interference plus Noise Ratio for each cell. It then meticulously identifies the users whose SINR values fail to reach the threshold of this computed average SINR, marking these as non-optimal users.

The strategic focus on these non-optimal users substantially compresses the user search space, thereby enhancing the algorithm's efficacy.

Simultaneously, DOAPAS develops a comprehensive histogram for each cell, accounting for pilot usage. This process crucially identifies the least utilized pilots, aligning this information with the number of non-optimal users. Notably, the calculation includes pilot usage data from closely contiguous cells, providing a more accurate and inclusive distribution. Through the methodical selection of minimally used pilots, the pilot search space is effectively condensed. Hence, DOAPAS illustrates an impressive capability for enhancing system performance while reducing computational complexity. This makes it a compelling proposition for further research and practical implementations in the realm of wireless communications.

The EWD-PPA, as proposed new algorithm, commences with equal pilot power distribution to all users. This distribution approach initiates the record of Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio (SINR) values for all power-assigned users. Following this, the optimization process begins from the outermost cells, targeting pilot power values for users within each cell. This strategy is designed to address the mounting probability of pilot contamination interference as we move towards inner cells.

The optimization process further entails the calculation of differences between individual user SINR values and the average SINR value within the cell. These difference values are subsequently calculated as exponential of base 2, formulating a weighting coefficient for each user. Therefore, pilot power values for all users are recalculated considering these weight coefficients. The algorithm ensures that the newly computed pilot values are bounded within minimum and maximum limits. On the other hand, it also ensures that the total of these newly computed pilot power values does not exceed the total power constraint. Based on the newly assigned pilot power values, the system's average SINR is recalculated for each cell. If this computed value exceeds the global average SINR, the pilot power values for users within that cell are updated. This scanning procedure continues iteratively, moving towards the innermost cell.

In summary, the EWD-PPA algorithm dynamically assigns pilot power values, optimizing each cell starting from the outermost layer, considering the increasing likelihood of pilot contamination interference. This process, with its distinct focus on user-specific SINR differences and weight coefficient assignment, allows for efficient power allocation and enhanced system performance.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Massive MIMO system simulations have emerged as a critical tool in the domain of academic wireless communication investigations. The degree of a study's success is intimately tied to the degree of realism achieved in simulation, rendering it of paramount importance to incorporate environmental and human factors when simulating the system. In these simulations, the base stations, users, and their interactions are modeled in accordance with the system modeling assumptions laid out in this study. For each simulation, users are situated according to a random Poisson distribution. The system modeling informs the calculation of channel coefficients and pilot assignments between base stations and users. These simulations leverage the codes found in [1] for both simulations and pilot assignments. The pilot assignment schemes selected in study [1] and the random pilot assignment algorithm systematically assign pilots to all users in each simulation. Post-execution of the algorithms, the resultant assignments, SINR values, and pertinent environmental system data are recorded. This compiled data allows for a comparative performance evaluation between the proposed optimization algorithm and other algorithms.

Upon execution of all pilot assignment schemes for each simulation scenario, their assignments are compared in relation to the corresponding SINR values of theoretical calculations. All ensuing graphs depicted below are the byproducts of 10K simulations.

Our methodology DOAPAS demonstrates superior performance compared to other algorithms. The sequence of algorithms in terms of SINR values for the same CDF value is as follows: **RANDOM < DLPAS < SPRS < WCG-PD < WCG-PD+SPRS < DOAPAS**. That is to say, **DOAPAS** provides a considerably greater channel capacity potential. For instance, the probability $P(\text{SINR} > 4)$ stands at 0.6 in WCG-PD+SPRS while this value ascends to 0.7 in DOAPAS, where $P(\text{SINR} = x)$ signifies the probability of $\text{SINR}=x$. This performance gap widens further when the number of users matches the number of pilots.

The proposed scheme illustrates superior performance by delivering a higher attainable rate than other schemes for the same transmission power. The discrepancy in the performances of algorithms broadens as the transmission power intensifies.

On the other hand, EWD-PPA is also compared with EPPA (Equal Power Pilot Power Allocation) and WF-PPA (Water-Filling Pilot Power Allocation) approaches to ensure a

comprehensive and comparative evaluations. Simulation results have unambiguously demonstrated the superior performance of this strategy over other prevalent approaches in the literature, such as the EPPA and WF-PPA methods. Consequently, this approach emerges as a potent means to improve the SINR and subsequently the total achievable uplink rate, solidifying its importance in the realm of wireless communications.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK

This research presents an innovative and highly efficient optimization for pilot assignment and pilot power allocation strategies aimed at mitigating pilot contamination. The DOAPAS algorithm determines the most advantageous alterations in pilot assignments. Within the capacity optimization phase, each cell is optimized in relation to the dynamically varying usage of pilots in the context of neighboring cells. The results from simulation efforts reveal that this method surpasses several of the latest classical approaches referenced in [1] and a well-regarded deep learning-based pilot assignment approach outlined in [2]. In actuality, this enhancement is more discernible when the number of available pilot sequences is critically limited.

The proposed EWD-PPA method utilizes the exponential function of the SINR difference to ascertain optimal power allocations. Throughout the weight updating process, each cell employs the optimal weights derived from this approach, utilizing the exponential function of the SINR difference. This is implemented while optimizing the updated users with the prior cells' pilot powers.

For future endeavors, the optimization component of this study is anticipated to be modeled utilizing Reinforcement Learning techniques such as the Deep Q Network (DQN), the Asynchronous Advantage Actor-Critic Algorithm (A3C), and the Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG).

1. GİRİŞ

Masif (Massive) MIMO (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış - Masive Multiple-Input Multiple-Output) sistemi, son zamanlarda kablosuz iletişimde popüler bir teknoloji haline gelmiştir. 5G ve ötesi kablosuz iletişim sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Masif MIMO'da baz istasyonları, spektral ve enerji verimliliğini artırmak için çok sayıda anten elemanına sahiptir. Ayrıca, çok sayıda anten tüm kullanıcılar için daha verimli bir kanal tahmini sağlar. Her bir kullanıcı, kanal tahmini için baz istasyonlarına bir dizi bilinen sembol iletir. Bu diziler yukarı bağlantı pilot dizileri olarak adlandırılır. Atanacak sınırlı sayıda pilot dizi olduğundan, farklı hücrelerdeki kullanıcılar aynı pilot dizilerini kullanabilir. Ancak aynı pilot dizilerini kullanan kullanıcılar arasında girişim meydana gelir. Bu sorun, kablosuz iletişimde pilot kirliliği olarak adlandırılır. Bu tez çalışmasında, pilot kirliliği problemini özgün bir şekilde çözmek için yeni yaklaşımlar üzerinde durulmuştur.

Masif MIMO, son yıllarda kablosuz iletişimde büyük bir atılım olarak kabul ediliyor. Bu teknoloji, hücresel ağlar için yüksek hız ve kapasite sağlamak amacıyla, geleneksel MIMO sistemlerine kıyasla yüzlerce hatta binlerce antenin kullanıldığı bir sistemdir. Bu sayede, veri aktarımı ve alımı daha hızlı, daha güvenli ve daha istikrarlı bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Masif MIMO, kablosuz iletişimde önemli bir dönüm noktasıdır çünkü kullanıcılar arasındaki ayrımı azaltarak birçok avantaj sağlar. Bu teknoloji, birden fazla kullanıcıya aynı anda hizmet verirken, daha hızlı ve daha istikrarlı bir bağlantı sağlamak için Masif anten dizilerini kullanarak sinyal kalitesini artırır. Böylece, ağ kapasitesi artar ve daha fazla kullanıcıya hizmet verebilir hale gelir.

Masif MIMO sistemlerde Pilot kirliliği (contamination) probleminin çözümünde göz önünde bulundurulması gereken diğer bir husus da güç tahsisidir. Güç tahsisi, güç verimliliği için veri iletiminde önemli bir süreçtir. Baz istasyonlarında az sayıda anten olması durumunda, geleneksel sistemler kullanıcılara yalnızca az sayıda güç tahsis olanağı sağlayabilir. Masif MIMO sistemleri, baz istasyonunda yüzlerce antenin donatılmasıyla ortaya çıkan bir teknolojidir. Bu nedenle verici tarafta geleneksel

yöntemlere göre daha fazla anten bulunmaktadır. Konvansiyonel sistemlerde tek veya birkaç anten olması durumunda, pilot gücü tahsis etmek nispeten kolaydı. Çünkü genel olarak toplam güç bu antenlere aktarılıyordu. Ancak MIMO sistemlerinin gelişmesi ve kapasitelerinin artırılmasında 5G ve ötesi teknolojilerin önemli rol oynamasından sonra toplam gücün nasıl kullanılması gerektiği konusunda sorunlar baş göstermeye başladı. Verici antenlere toplam gücün optimal tahsisi, MIMO kapasitesini artırmak için çözülmesi gereken bir optimizasyon problemidir.

Bu tezde önerilen, DOAPAS (Pilot Atama Şeması için Dinamik Optimizasyon Tabanlı Algoritma, Dynamic Optimization based Algorithm for Pilot Assignment Scheme), yüksek verimlilik ve performans sağlayan bir optimizasyon tabanlı yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım, Masif MIMO teknolojisi kullanılarak verimliliği daha da artırabilir. DOAPAS, kullanıcı ve pilot eşleştirmesini optimize ederek, tüm ağın toplam SINR değerini artırır. Böylece, hücre gruplarındaki ortalama SINR değeri hesaplanır ve kapasite en üst düzeye çıkarılır. Bu sayede, kablosuz iletişimde daha yüksek hız, daha iyi performans ve daha güvenli bir bağlantı sağlanabilir.

Yine bu tezde önerilen, EWD-PPA (Üstel Ağırlık Tabanlı Dinamik Pilot Güç Tahsisi, Exponentially-weighted Based Dynamic Pilot Power Allocation) yaklaşımı hücre başına ortalama SINR'dan oluşan farkı, her kullanıcı için hesaplar ve bu farklara göre pilot güçlerini ağırlıklandırır. Bu yaklaşımın amacı, SINR değerlerini optimize etmektir; yani, iyi kanal koşullarına sahip kullanıcıların SINR değerlerini artırmak ve kötü kanal koşullarına sahip kullanıcıların SINR değerlerini ise daha düşük seviyelere çekmektir. Ancak, kötü kanal koşullarına sahip kullanıcılar tamamen göz ardı edilmez. Bunun yerine, belirli bir hizmet kalitesi (Quality of Service - QoS) seviyesini sağlamak adına, kullanıcıların pilot güçleri $[\rho_{\min}, \rho_{\max}]$ aralığında ayarlanır. Her hücredeki kullanıcılar için bu işlem, belirlenen SINR eşik değerine ulaşılan kadar devam eder.

Bu tez çalışmasının ana katkıları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Pilot kirliliğini azaltmak için optimize edilmiş kapsamlı arama ve dinamik programlama algoritmalarının birleşiminden oluşan yeni bir optimizasyon tabanlı pilot atama algoritması sunulmaktadır. Bu yaklaşım kullanıcı ve pilot dizini arama alanlarını efektif bir şekilde daraltarak optimal kullanıcı pilot dizini eşleşmelerini hesaplamaktadır. Hesaplama esnasında, kullanıcıların kanallarındaki değişikliklere dinamik ve optimal olarak yanıt verilir. Bu yaklaşımda, amaç

fonksiyonu olarak kümülatif ortalama SINR kullanılmaktadır. Böylece, algoritma çıktısı her zaman daha optimize edilmiş pilot atamaları ile sonuçlanmaktadır. En kötü senaryoda, (yani pilotların mükemmel efektif şekilde atandığı durumda bile), algoritma mevcut pilot atamalarını koruyarak çıktı vermektedir.

- Yine bu tez çalışmasında, pilot kirliliği problemi Pilot güç tahsisini optimize ederek gidermeye çalışan başka yeni bir yaklaşım daha önerilmiştir. EWD-PPA algoritmasının temel prensibi, her kullanıcının hücre başına ortalama SINR'dan farklılığını artırma düşüncesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, SINR değerlerinin kutuplaştırılmasını amaçlamaktadır. Yani, iyi kanalların koşullarını daha da iyileştirmek ve kötü kanalların koşullarını daha da kötüleştirmektedir. Ancak, kötü kanallara sahip kullanıcıları tamamen ihmal etmek yerine, belirli bir hizmet kalitesi (QoS) seviyesini dikkate alarak $[\rho_{\min}, \rho_{\max}]$ aralığında bir tahsis yapılmaktadır.
- Yapılan literatür taramaları sonucunda, sistem benzetimlerinde çoğunlukla 1 veya 7 hücre kullanıldığı ve kullanıcı sayısının ise çoğunlukla 7 ile sınırlandırıldığı görülmüştür. Bu durum, gerçek hayatta kullanılan hücre sayısı ve kullanıcı sayılarından daha düşük değerlerdir. Bu tez çalışmasının tümünde, gerçek hayat şartlarında daha iyi sonuç verebilmesi için 19 hücre ve 10 kullanıcı ile benzetimler gerçekleştirilmiştir.

1.1. TEZİN AMACI VE ÖNEMİ

Bu tezin amacı, kablosuz iletişim sistemlerinde kullanılan pilot kirliliğini azaltmak ve daha iyi bir bağlantı kalitesi sağlamak için optimize edilmiş bir pilot atama algoritması geliştirmektir. Bunu geliştirirken de gerçek hayat şartlarına uyum sağlaması için iyi bir çevre modellemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Çıktıların anlamlı ve nesnel şekilde değerlendirilmesi için, akademik literatürdeki farklı başarılı algoritmalar ile aynı ortamda çalışabilen ve kıyaslanabilen bir çıktı oluşturmak hedeflenmektedir. Pilot kirliliği, farklı kullanıcıların sinyalleri arasındaki karışıklığa ve bu da bağlantı kalitesinde azalmaya neden olur. Geliştirilen algoritma, kapsamlı bir arama ve dinamik programlama algoritmalarının birleşimi ile pilot atamasını optimize etmektedir. Bu yaklaşım, kanallardaki değişikliklere dinamik ve optimal olarak yanıt vererek, bağlantı kalitesinin artırılmasını hedeflemektedir.

Bu tez çalışması, kablosuz iletişim sistemlerindeki pilot kirliliğini azaltarak daha yüksek bir bağlantı kalitesi sağlama hedefine odaklanırken, aynı zamanda pilot atamasını optimize etmek için kullanılan yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışma, endüstride ve akademide kablosuz iletişim alanındaki araştırmalara katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

1.2. TEZ KONUSUNUN ÖNEMİ VE ÖZGÜN DEĞERİ

Bu tez konusunun önemi, kablosuz iletişim sistemlerindeki veri hızı ve kapasitesindeki artışa bağlı olarak, daha yüksek spektrum verimliliği ve daha iyi hizmet kalitesi sağlama ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, pilot kirliliğinin azaltılması, verimli pilot atamaları ve hizmet kalitesinin optimize edilmesi, kablosuz iletişim sistemlerinin performansını önemli ölçüde artırabilir.

Bu tezin özgün katkısı, dinamik programlama ve kapsamlı arama tekniklerinin birleşimiyle optimize edilmiş pilot atamaları sağlamak için yeni bir algoritma geliştirmektir. Bu algoritma, kanal koşullarındaki değişikliklere dinamik olarak yanıt vererek pilot kirliliğini azaltır ve kümülatif ortalama SINR (sinyal-gürültü oranı) değerindeki artışa odaklanır. SINR, sinyal ve girişim-gürültü seviyeleri arasındaki oranı ifade eder. Bu çalışma, kablosuz iletişim sistemlerinde verimli pilot atamaları ve daha yüksek hizmet kalitesi sağlama açısından önemli bir adım olarak kabul edilebilir.

Ayrıca, literatürde yapılan incelemelerde, sistem benzetimlerinde genellikle sınırlı sayıda hücre ve kullanıcı kullanıldığı görülmüştür. Bu tezde ise, daha gerçekçi bir senaryo için daha yüksek sayıda hücre ve kullanıcı kullanılarak gerçekleştirilen benzetimler sunulmaktadır. Bu benzetimler, geliştirilen algoritmanın gerçek hayatta da etkili olabileceğini ve önemli bir özgün değere sahip olduğunu göstermektedir.

1.3. TEZİN YAPISAL DÜZENİ

Tezin ilerleyen kısımlarındaki başlıklar şu şekilde planlanmıştır: Bölüm 2’de, Masif MIMO sistemler ve bu sistemde meydana gelen Pilot kirliliği kavramları öncelikle ele alınmıştır. Sonrasında pilot kirliliğini çözmek için Pilot ve Pilot Güç Tahsisi yaklaşımlarına yönelik akademik literatürde var olan çalışmalardan bahsedilmiştir. Bölüm 2’de akademik literatür taramasında tespit edilen güncel akademik çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen çıkarımlardan bahsedilmiştir. Bölüm 3’te ise Masif MIMO sistemler, bu sistemlerin çalışma prensibinden bahsedilmiştir. Ayrıca sistem benzetimde

kullanılan sistem modeli ve kullanıcı sayısına göre çeşitlilik gösteren Masif MIMO sistemlerden yine bu bölümde bahsedilmiştir. Bölüm 4’te Pilot kirliliği probleminden ve bu problemin temel nedenlerinden bahsedilmiştir. Bölüm 5 ve 6’da bu tez çalışmasının en önemli kısımları olan pilot atama ve pilot güç tahsisine yönelik geliştirilen DOAPAS ve EWD-PPA yaklaşımlarından bahsedilmektedir. Ayrıca, bu bölümlerde literatürde var olan benzer yaklaşımları ve önerilen algoritmaları detaylıca anlatan kısımlar da bulunmaktadır. Son olarak da benzer algoritmalarla kıyaslamalı gerçekleştirilen benzetim sonuçları paylaşılmıştır. Bölüm 7 de ise tüm çalışmadan elde edilen kazanımlardan bahsedilerek sonuçlandırılmıştır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Masif MIMO teknolojisi, kablosuz iletişim sistemlerinde spektral verimliliği ve enerji verimliliğini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip bir teknolojidir. Ancak bu teknolojinin gerçek anlamda potansiyelini açığa çıkarabilmesi, özellikle hücre içi ve hücreler arası kanal tahmini ve önceden bildirme problemlerinin aşılmasına bağlıdır. Masif MIMO sistemlerinde, pilot sinyaller kullanılarak bu kanal tahminleri gerçekleştirilir. Ancak, bu sistemlerde genellikle sınırlı bir pilot bütçesi vardır ve bu durum, 'pilot kirliliği' adı verilen bir sorunu ortaya çıkarır. Pilot kirliliği, aynı pilot sinyallerinin birden çok kullanıcı tarafından aynı anda kullanılması sonucu ortaya çıkan ve bu kullanıcıların sinyallerinin karıştığı bir durumdur. Bu durum, kanal tahmin hatalarına yol açar ve sonuçta sistemin genel performansını olumsuz etkiler.

Pilot kirliliği, özellikle büyük ölçekli MIMO sistemlerinde, yüksek veri hızları ve düşük gecikme süreleri vaadine rağmen performansı sınırlayan önemli bir engeldir. Bu nedenle, pilot kirliliğini etkili bir şekilde yönetmek ve azaltmak, masif MIMO teknolojisinin kablosuz iletişimdeki gerçek potansiyelini gerçekleştirmek için büyük önem taşır. İleri araştırmalar, bu sorunu çözmek ve MIMO sistemlerinin performansını iyileştirmek için farklı teknikler ve yaklaşımlar geliştirmeye odaklanmaktadır. Bu kısımda bu araştırmalardan bahsedilecektir.

Mobil cihazlar ve cep telefonları kullanımının hızla arttığı günümüzde, bu cihazların hayatımızdaki varlığı da kaçınılmaz bir şekilde artmaktadır. Hücresel veri hizmetlerinin küresel yayılımı, cep telefonu kullanıcılarını günlük yaşamlarında büyük ölçüde mobil verilere bağımlı hale getiriyor. Görüntülü arama, çevrimiçi oyunlar, sosyal medya uygulamaları (Facebook, Twitter, WhatsApp gibi) hayatımızı önemli ölçüde değiştirdi ve bu, 3G, 4G ve 5G ağların düşük gecikme süresi ve yüksek veri hızı yeteneklerini kullanarak gerçekleştirildi [3]. Bu hızlı artış, hem telefon görüşmeleri, hem mobil internet kullanımı ve hem de mobil sistemlerin sunulan hizmetlerin hızlı ve kesintisiz olmasını gerektirdiğinden, alt yapıyı oluşturan baz istasyonlarının sayısının artması ile doğru orantılıdır [4].

Spektrum verimliliğini en yüksek seviyeye çıkarmak için kaynak tahsisinin dikkate alınması önemli bir husustur. Kablosuz ağın devam eden gelişimiyle ilgili birincil sorun, gerekli alan verimini elde etmek için ya artan bant genişliğine (spektrum) ya da hücrelerin

yoğunlaştırılmasına bağlı olmasıdır. Ancak, bu kaynaklar nadirdir ve birkaç yıl içinde doyum noktalarına ulaşmaktadır. Ayrıca, bant genişliğini artırmak veya hücreleri yoğunlaştırmak, donanım maliyetini artırır ve gecikmeyi artırabilir. Üçüncü olarak, alan verimini iyileştirebilen spektral verimlilik faktörü, kablosuz ağın bu hızlı gelişimi ve büyümesi sırasında genellikle dokunulmadan ve değişmeden kalmıştır [5]. Hücrelerin her biri için programlanması gereken kullanıcı adedinin tespiti, çok hücreli sistemler için cevaplandırılmış bir konu değildir. Literatür genel olarak incelendiğinde, tek hücreli sistemler için bu konular hakkında bazı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan biri [6]'dır. Masif MIMO düzeneklerdeki performansın artırılması için yapılan analizlerde, isteğe bağlı olarak belirlenen güç katsayılarının uygulanması söz konusu olabildiği gibi, genellikle yukarı ve aşağı bağlantılar için eşdeğer güç tahsisine dayalı yaklaşımlar da kullanılmaktadır. Ancak spektrum verimliliği, enerji verimliliği benzeri performans düzeltmeleri için güç tahsisinin nasıl olacağına dair gözlemler yeterince doğrulanmamıştır. Spektrum verimliliği ve enerji verimliliğini en üst seviyeye çıkarmak, güç tahsisi yöntemleri üzerinde durmak tezin ikinci kısmını oluşturacaktır. Genel olarak literatüre baktığımızda, spektrum verimliliği maksimize etmek için çeşitli güç tahsisi yöntemleri önerilmiştir [7][8] [9]–[11].

Klasik sistemlerde tek ya da birkaç antenin kullanıldığı durumlarda, gücün paylaşılması daha kolay bir uygulamaydı. Bu antenlere genellikle toplam güç aktarılmaktaydı. MIMO kapasitesinin artırılması için, toplam gücün verici antenlere en iyi şekilde tahsis edilmesi bir optimizasyon problemi olarak çözülmektedir [12]. Ancak bu optimizasyon probleminden önce, genellikle tüm antenlere eşit güç dağıtılırdı. Eşit pilot güç tahsisi (EPPA) olarak adlandırılan bu yöntem, CSI alıcıda bilinse de vericide bilinmeyen MIMO sistemlerde kullanılır [13]. Bu yöntem, düşük karmaşıklık sağlaması nedeniyle özellikle MIMO sistemlerin ilk zamanlarında tercih edilmiştir [14]. Ancak sınırlı güç kaynakları dikkate alındığında, her kullanıcıya eşit güç tahsis edilmesi etkili bir kullanımı garanti etmeyebilir. Bu nedenle farklı güç tahsis stratejileri geliştirilmiştir. Masif MIMO sistemlerinde de, güç tahsisi algoritmaları ile çeşitli iyileştirmeler yapılabilmektedir. Bu sayede eşit güç tahsisinden daha farklı ve etkili stratejiler geliştirilebilmektedir [15].

Güç tahsisi algoritmaları farklı yaklaşımlarla gerçekleştirilmektedir. Bazı çalışmalar yalnızca pilot gücünü dikkate alırken [16], [17], diğerleri ise hem pilot hem de veri gücünü birlikte ele almaktadır [7]. Bu algoritmaların amacı, bir hücredeki tüm kullanıcılara en iyi veri çıktısını sağlamaktır. Ancak, çoğu Masif MIMO çalışmasında

tüm kullanıcılar eşit güçle iletim yapar. Fakat çoklu kullanıcı sistemlerinde, eşit güç tahsisi her zaman en iyi çözüm olmayabilir. Bu durumda, güç sınırı olan sistemlerde eşit güç tahsisi, enerji kaynağından tam olarak yararlanılmadığından en uygun bir çözüm değildir. Bu nedenle, su-doldurma pilot güç tahsisi (WF-PPA, Water Filling Pilot Power Allocation) algoritması optimum çözüm olarak kullanılmaktadır.

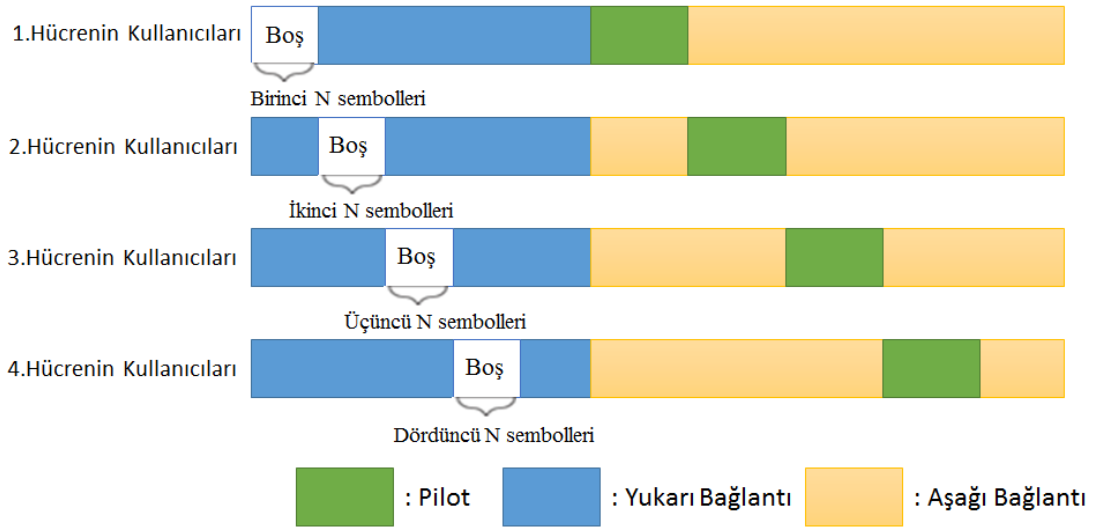
WF-PPA, Masif MIMO sistemlerde kanal kapasitesini artırmak için yaygın olarak kullanılan bir güç tahsisi algoritmasıdır. Ancak, alıcının ve vericinin kanal durum bilgisinin mükemmel olarak bilindiği varsayımı gerektirir [18]. Amacı, daha yüksek kazançlı kanallara daha fazla güç vererek kapasiteyi artırmaktır [19]. Bu yöntem Lagrangian yöntemi kullanarak problemleri çözer [20]. Enerji verimliliğini artırmak için yapılan bazı MIMO çalışmalarında kullanılmıştır [21], [22]. Bununla birlikte, WF-PPA yalnızca iyi kanala sahip kullanıcıları iyileştirmekte ve diğer kullanıcıları göz ardı etmektedir. Bu nedenle, SINR'nin jacobian'ından dolayı bazı süreksizlik noktaları vardır ve daha iyi sonuçlar elde etmek için farklı yöntemler kullanılabilir.

Kablosuz iletişim sistemleri hızla gelişmekte olup, kullanılabilir spektrum aralığı sınırlıdır. Bu nedenle, verimli bir sistem kurulumu önemlidir. Altıncı nesil (6G) gibi yeni nesil kablosuz iletişim sistemlerinde en uygun spektrum verimliliği (SE) ile tanımlanmış bir bölgeyi eşit bir şekilde kapsamak için bir MIMO sistemin hazırlandığı kabul edilen bir düzende kullanıcı terminali U adedi, baz istasyonu antenlerinin adedi ve kullanılan pilot tekrar kullanım unsuru nedir sorularının cevabı kaynak paylaşımı açısından önemlidir. Bu sorunun cevabı için üç girişim seviyesi saptanmıştır. Bu girişim seviyelerinden yola çıkarak, sinyal-parazit-ve-gürültü oranları (SINR'ler) ile kapalı form spektrum verimlilik denklemlerine ulaşılmaktadır. Baz istasyonu (BS) anten adedinin bir fonksiyonu olarak çoklu pilot tekrar kullanım unsurları ve Maksimum Oran Birleştirme (MRC) ve Sıfır Zorlama (ZF) gibi farklı işlem akışları göz önünde bulundurularak yapılmıştır [8], [23]–[30].

Nihai işlemler incelendiğinde kullanıcı sayıları ile ilgili olarak kullanıcıların planlanmasına ilişkin uygulamaların yapıldığı görülmektedir. [31]'deki çalışmada, kullanıcı stratejisiyle alakalı yeni bir yöntem tavsiye edilmiştir. Bu çalışmada, hemen hemen en ideal yarı ortogonal kullanıcıların tercihi için ışın oluşturma metodu üzerinden gidilmiştir. Kullanıcı sayısının artmasıyla birlikte önerilen yöntemin en iyi yöntem olduğu belirtilmiştir. Başka bir çalışmada ise, adil bir kullanıcı düzenlemesinin yapılabilmesi için eş zamanlı bir sınıflandırma algoritması önerilmiştir [32]. Burada,

kullanıcıların belirli şekillerde gruplara bölüldüğü bir metot vurgulanmıştır.

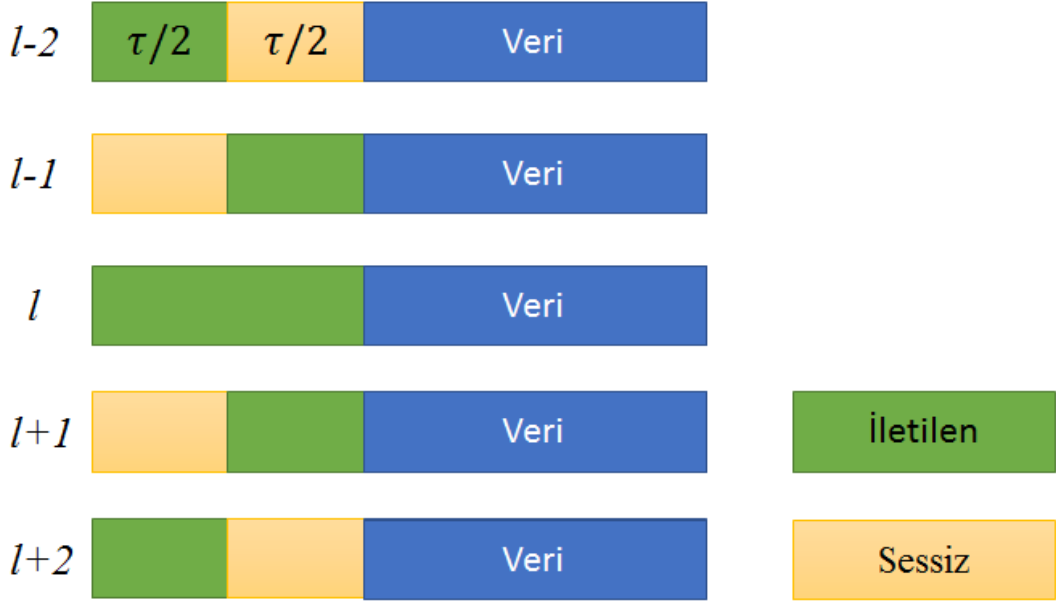
Masif MIMO düzeneklerinde geri bildirim probleminin en aza indirilmesi için, baz istasyonuna kanal durum bilgisini (CSI) gönderen kullanıcı sayısının azaltılması düşünülmüştür [33]. Seyrek Bayes öğrenmesi, yalnızca CSI'yi değil, aynı zamanda komşu hücrelerden gelen girişimi de tahmin etmek için kullanıldı [34]. [35]'te, fiziksel kanalların serbestlik derecesinin bağımsız parametrelerin sayısından çok daha küçük olduğu gerçeğinden yararlanan, kanal kestirimi için sıkıştırıcı algılama tabanlı düşük düzeyli bir yaklaşım şeması önerilmiştir. Bunun için, hücre kullanıcıları gelişigüzel belirli gruplara bölünmüştür. Böylece benzer gruptakiler kanal durum geri dönüşlerini kendileri belirleyeceklerdir. Kullanıcıların düzenlenmesiyle alakalı yapılan işlerin çoğu, belli bir kullanıcı sayısındaki sistemlerde performans kaybını en aza indirgeyecek, yüksek enerji sarfiyatını azaltacak yeni metotlar üzerine yoğunlaşmıştır.



Şekil 2.1. Zaman kaydırmalı pilot atama şeması [35].

Son yıllarda, çeşitli pilot atama stratejilerinin geliştirilmesi ve pilot kirliliği probleminin hafifletilmesi yönünde çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu bağlamda, [35] çalışmasında sunulan zaman kaydırmalı bir pilot atama yaklaşımı dikkate değerdir.

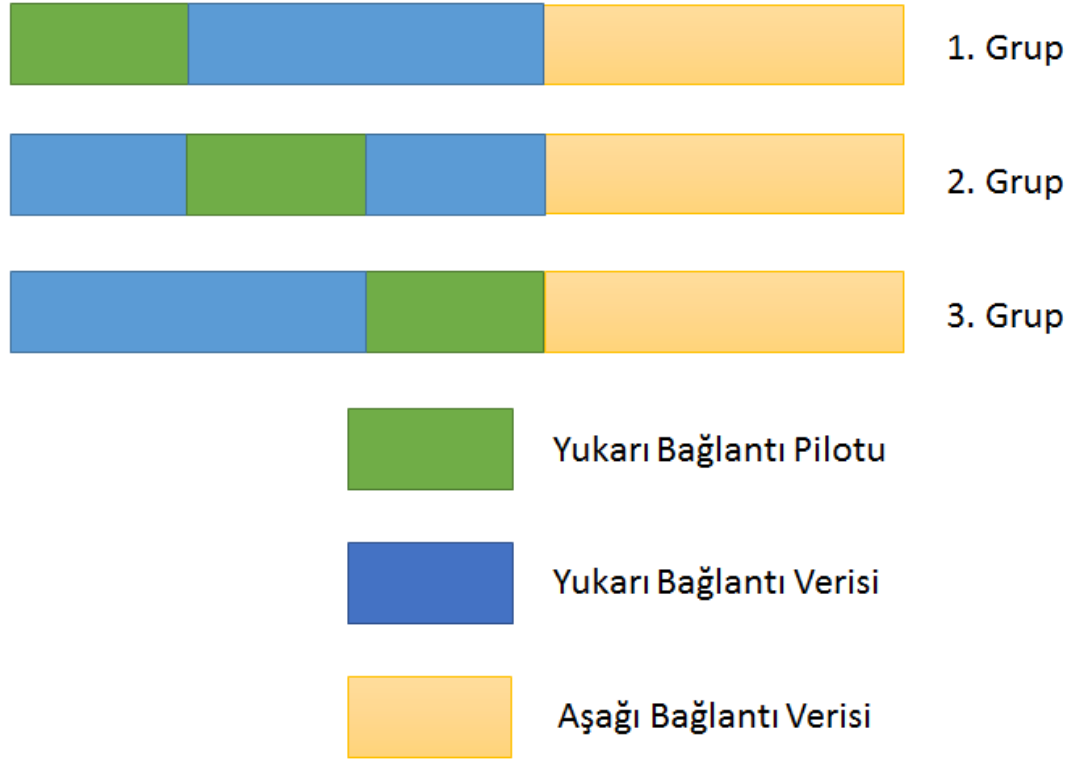
Şekil 2.1'de, i. hücredeki Kullanıcı Terminalleri (UT'ler), N sembol süresi boyunca sessiz kalırken, hücre şekillendirme vektörlerinin algılanması hedeflenmektedir. Bu sessiz dönem boyunca, ağırlıklı olarak hücrenin yapısını ve kanalın özelliklerini tespit etme amacı güdülür. Tespit işlemi tamamlandıktan sonra, atanmış pilotlara göre kanal kestirimi gerçekleştirilir. Ancak, pilot girişimini azaltmak ve bu girişimleri ortogonalleştirmek için



Şekil 2.3. Geliştirilmiş pilot güç şeması [37].

[37]'de sunulan bir diğer strateji, girişime yol açan hücrelerde pilotların iletilmesi üzerine odaklanmaktadır. Bu yaklaşımda, belirli bir "l" hücresindeki kullanıcılar pilot iletimini gerçekleştirirken, diğer hücrelerdeki kullanıcılar pilot iletimini kademeli bir şekilde gerçekleştirmektedir.

Bu strateji, Şekil 2.3'te görüldüğü üzere geliştirilmiş bir güç kontrol şeması sunmaktadır. Bu şema, baz istasyonları (BS'ler) arasında iş birliği gerektirirken, aynı zamanda işlem karmaşıklığını artırmaktadır. Yani, bu yöntemin uygulanabilirliği, uygulamada karmaşıklığı ve işbirliği gereksinimlerini karşılayabilme yeteneği ile sınırlıdır. Ancak, bu yaklaşımı uygulamak, farklı hücreler arasında pilot iletim sürecini daha iyi koordine ederek, pilot kirliliği sorununu hafifletmeye yardımcı olabilir. Bu, kanal durum bilgisi (CSI) tahminlerinin daha doğru olmasını sağlar ve böylece genel sistem performansını artırabilir.

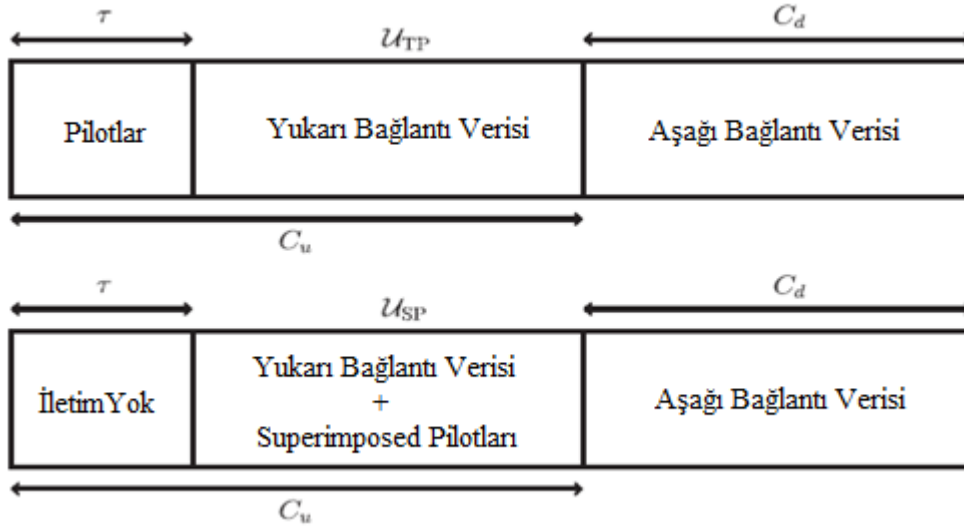


Şekil 2.4. Zaman kaydırmalı pilot atama şeması [38].

[39] ve [38] numaralı referanslarda, referans alınan hücre ile girişim yapan hücre pilotlarının örtüşmediği bir durumda, zaman kaydırmalı pilot tabanlı bir şema önerilmiştir. Bu yöntemde, bir kontrolör aracılığıyla pilot çerçevelerinin pozisyonları düzenlenir.

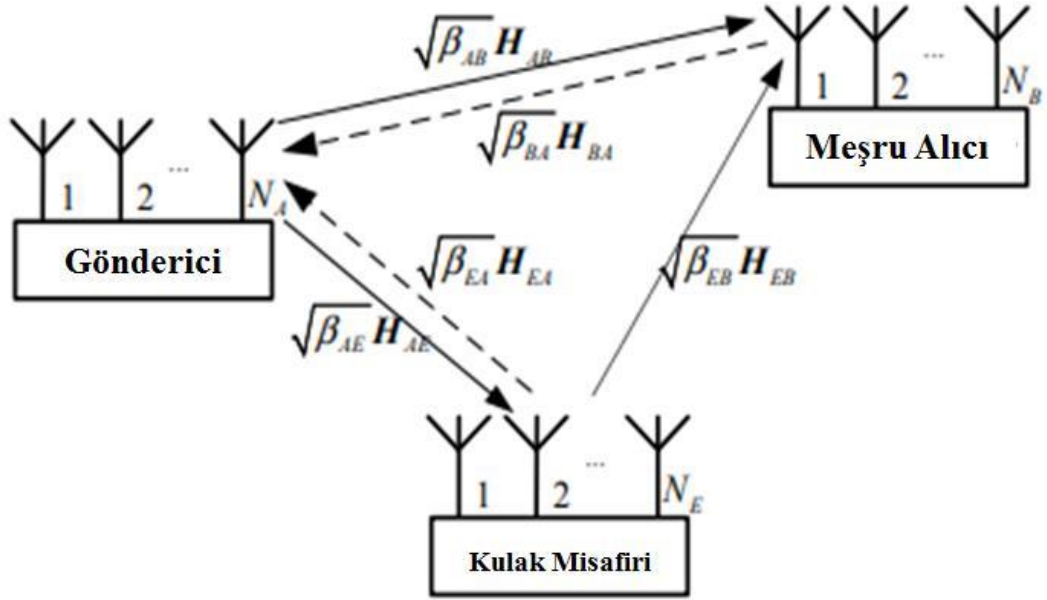
Bu şemada, Şekil 2.4'te gösterildiği üzere, bir hücre pilot sinyalini iletirken, diğer hücreler aşağı bağlantı veri iletimini gerçekleştirir. Ancak, aşağı bağlantı veri iletimi sırasında, girişim yapan hücrelerin aşağı bağlantı verisi, hedef hücrelerdeki pilot kirliliği problemini azaltma çabasına rağmen, yeniden pilot kirliliğine yol açabilir.

Bu durum, pilot kirliliği sorununun tamamen ortadan kaldırılamayacağı anlamına gelir. Ek olarak, bu şemanın uygulanması, bir kontrolörün kullanılmasını gerektirdiğinden dolayı, toplam sistem maliyetini artırabilir. Ancak, bu strateji, pilot kirliliğini azaltma ve genel sistem performansını iyileştirme potansiyeline sahiptir.



Şekil 2.5. Üst üste bindirilmiş (Superimposed) pilot atama yöntemi [40].

[40] ve [41] numaralı referanslarda, sistemin her bir kullanıcıya özel pilot sembolleri atanması yönünde bir öneri getirilmiştir. Bu strateji, zaman çoğullamalı ve üst üste bindirilmiş (superimposed) pilotları bir arada kullanmayı hedefleyen bir hibrit sistem önerisi olmuştur. Bu yöntemin amacı, kanal vektörlerinin kestirilmesini sağlamaktır. Şekil 2.5'te belirtildiği gibi, bu hibrit sistemde, yukarı bağlantı (UL) fazında, pilotlar ve veriler, iletim süreci boyunca yan yana aktarılır. Bu, hem pilotların her bir kullanıcıya özel olarak atanmasını sağlar, hem de veri iletim hızını korur. Bu öneri, pilot tahsisinin özelleştirilmesi yoluyla pilot kirliliğini azaltmayı hedeflemektedir. Ancak, bu şemanın uygulanabilirliği ve etkinliği, sistem karmaşıklığı, maliyet ve veri iletim hızı gibi faktörlere bağlı olabilir.



Şekil 2.6. Gauss sistem modeli [42].

Referans [42]'de, pilot kirliliği sorununun kablosuz iletişim sisteminin güvenlik performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, pilot kirliliği ve gürültü sıkışması için farklı güç tahsis stratejileri değerlendirilmiştir.

Şekil 2.6'da gösterildiği gibi, bu durumda, iletişim kanalına üçüncü bir kullanıcının dahil olmaya çalıştığı bir durum göz önüne alınmaktadır. Bu tür bir durum, özellikle Masif Çok Girişli Çok Çıkışlı (Massive MIMO) sistemlerde ortaya çıkan pilot kirliliği sorununu daha karmaşık hale getirebilir. Buna rağmen, çalışma pilot kirliliği sorununu azaltmayı ve sistem performansını iyileştirmeyi hedeflemiştir. Bu amaçla, pilot kirliliği yapay gürültüsü, sıkıştırma gücünün azaltılması yoluyla minimize edilmiştir. Sonuç olarak, bu yaklaşımın, gizlilik oranını artırarak, sistemdeki güvenlik performansını iyileştirdiği görülmüştür. Ancak bu tür bir stratejinin uygulanabilirliği ve etkinliği, çeşitli faktörlere, özellikle sistemin karmaşıklığına, maliyetine ve özelliklerine bağlı olabilir. Bunlar dikkate alınarak, uygun bir güç tahsis stratejisi belirlenmeli ve sistem performansı ile güvenlik arasındaki denge özenle yönetilmelidir.

3. MASIF MIMO SİSTEMLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Masif MIMO teknolojisi, çok kullanıcılı sistemler için tasarlanmış, alıcı ve verici tarafında çok sayıda anteni bir araya getiren bir kablosuz iletişim yöntemidir. Bu teknoloji, 5G ve ötesi kablosuz ağların geliştirilmesi için büyük bir potansiyel sunmaktadır ve son zamanlarda bu alandaki araştırmalar yoğunlaşmıştır. Masif MIMO sistemleri, çok sayıda anten elemanını bir araya getirerek çeşitlilik sağlar. Ancak, anten elemanlarının yakınlığı, mekânsal korelasyon yaratmakta ve bu da alıcı-verici arasında kalibrasyon ihtiyacını gündeme getirmektedir. Anten sayısında herhangi bir sınırlama olmaması, enerji ve spektral verimlilikte artış, maliyetlerin azaltılması, hava ara yüzünde gecikme sürelerinin azaltılması, çoklu erişim katmanının basitleştirilmesi, kablosuz iletişim güvenilirliği ve basit RF doğrusal ön kod çözücüler ve detektörlerin optimizasyonu gibi avantajları beraberinde getirir. Bununla birlikte, bu durum alıcı-verici kalibrasyon ihtiyacını, kanal durum bilgisinin zamanında elde edilmesi gerekliliğini ve pilot kirliliği problemini de ortaya çıkarır. Ayrıca, hızlı işleme algoritmaları gerektiren RF zincirleri, radyo yayılımı ve pilotların ortogonalitesi gibi konular da önemli zorluklar arasındadır [43].

Kablosuz kanallar, genellikle sönmülemeye tabi olan kanallar olduğu için, bu alanda büyük ölçekli ve küçük ölçekli sönmülenmelerle karşılaşılır. Büyük ölçekli sönmülenmeler genellikle gölge sönmülenmesi ve yol kayıplarından kaynaklanırken, küçük ölçekli sönmülenmeler, kanalın değişken dalga boyunun belirlenmesine yardımcı olur [44].

Masif MIMO'da anten sayısında bir sınırlama olmaması, basit doğrusal hüzmeye biçimlendirme ve ön kodlamaları mümkün kılar. Faz kaydırıcıların yerine anahtarların kullanılmasıyla güç tasarrufu sağlanır ve RF zincirinin tek bir antene bağlanmasını varsayarak dizi kazancı elde edilir [45].

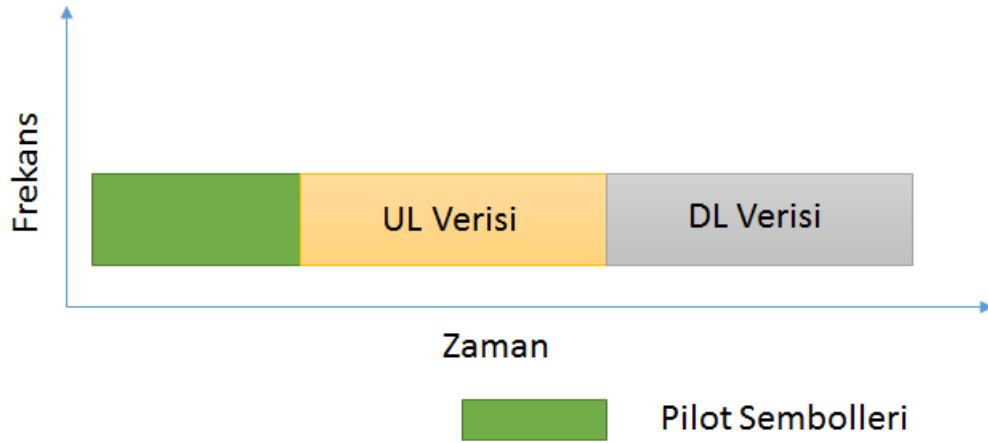
3.1. MASİF MIMO SİSTEMLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

3.1.1. Masif MIMO Sistemlerin Veri İletim Şemaları

Masif MIMO sistemlerde, kanal durum bilgisi etkin bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için iki farklı veri iletim şeması bulunmaktadır.

3.1.1.1. Zaman Bölmeli Çiftleme (Time Division Duplexing - TDD) Veri İletim Şeması

Zaman Bölmeli Çiftleme (TDD) sistemleri, Şekil 3.1’te belirtildiği gibi, aynı frekans bandında ancak farklı zamanlarda veri iletimini sağlar. Bu iletim, yukarı ve aşağı bağlantı fazları olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir. TDD sistemleri, Frekans Bölmeli Çiftleme (FDD) sistemlerine kıyasla veriyi yarı periyotta iletebilme ve çoklayıcı gereksinimini ortadan kaldırma avantajlarına sahiptir [46].



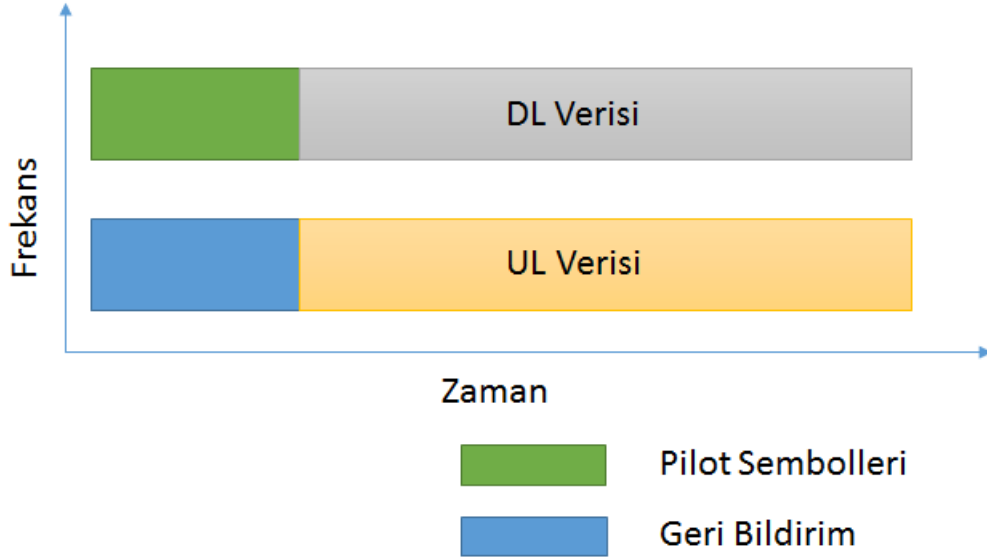
Şekil 3.1. Zaman Bölmeli Çiftleme (TDD) veri iletim şeması [46].

Ancak TDD'nin kendi sınırlamaları da mevcuttur. Bunlardan biri, pilot kirliliği problemi [47]. Masif MIMO sistemlerde, kanal tahminlemesi için her kullanıcıya ortogonal pilot dizileri atanır. Fakat kanal tutarlılık aralığı ve bant genişliği nedeniyle, bu dizilerin sayısı sınırlıdır. Bu, pilot dizilerinin hücreler arası yeniden kullanımını zorunlu kılar ve aynı pilot dizisine sahip kullanıcılar arasında girişime (pilot kirliliği) neden olur.

TDD iletim şeması, ideal bir durumda, kanalın karşılıklı yapısına dayanır. Kullanıcılar baz istasyonlarına pilot dizilerini iletirler ve baz istasyonları bu alınan pilot dizileri ile yukarı bağlantı kanal matrisini tahmin ederler. Bu matrisin transpozisi daha sonra kullanıcılara gönderilir. Ancak bu süreç, kanal tutarlılık zamanı boyunca tamamlanmalıdır. Aksi takdirde, TDD iletimi sorunlara yol açabilir [47].

3.1.1.2. Frekans Bölmeli Çiftleme (Frequency Division Duplexing - FDD) Veri İletim Şeması

Frekans Bölmeli Çiftleme (FDD) sistemlerinde, Şekil 3.2'ye göre, yukarı ve aşağı bağlantı (Uplink UL ve Downlink DL) veri sinyalleri aynı zamanda, ancak farklı frekans bantlarında baz istasyonu (BS) ve kullanıcı terminali (UT) arasında transfer edilir. Bu sinyaller birbirlerini engellemezler ancak bu sistemde çoklayıcılara ihtiyaç duyulur.



Şekil 3.2. Frekans Bölmeli Çiftleme (FDD) veri iletim şeması [46].

FDD'nin kullanımının da kendi zorlukları mevcuttur. Bunlardan biri, kanal tahminleme aşamasında oluşan fazla pilot gerekliliğidir. Yukarı ve aşağı bağlantıda, kanallar farklı frekans bantlarında olduğundan, her ikisi için ayrı pilot dizileri gereklidir.[46]. FDD'nin bir diğer sorunu ise kanal geri bildirimidir. Masif MIMO sistemlerde, kanal tahminlemeleri kullanıcılar tarafından BS'ye iletilir. Ancak, çok sayıda kanal katsayısının varlığı, kanal geri bildiriminde taşınan bilgi miktarının, mevcut bant genişliğini hızla doldurabilmesine sebep olur. Bu durum, ayrıca BS'deki ön kodlayıcı tasarımını da olumsuz etkiler [47].

3.1.1.3. Zaman ve Frekans Bölmeli Çiftleme Yaklaşımlarının Kıyaslanması

TDD ve FDD sistemleri, Masif MIMO sistemleri açısından farklı avantajlar ve dezavantajlar sunarlar.

TDD yaklaşımı, kanal karşılıklığı prensibinden yararlanır; yani, aynı frekans bandında ancak farklı zaman aralıklarında iletim yapılır. Bu özellik, TDD'nin Masif MIMO

sistemlerinde önemli bir avantaj sağlar çünkü bu sistemlerde aynı anda çok sayıda kullanıcıya hizmet verme kapasitesi vardır ve bu sayede aynı frekansta farklı zaman aralıklarında iletim yapılabilir. Kanal tahminlemesi TDD'de daha kolaydır çünkü yukarı yönlü ve aşağı yönlü kanallar genellikle karşılıklıdır. Ancak, pilot kirliliği denilen bir sorun vardır. Ortogonal pilot dizilerinin sayısı sınırlı olduğundan ve çok sayıda kullanıcıya hizmet verilmesi gerektiğinden, pilot dizilerinin yeniden kullanılması gerekir. Bu, pilotların kirlenmesine ve dolayısıyla performans kaybına neden olur [46].

FDD yaklaşımı, yukarı ve aşağı yönlü iletim farklı frekans bantlarında gerçekleştirilir. Bu, bant genişliğini etkin bir şekilde kullanma yeteneği sağlar, ancak kanal tahminlemesi daha karmaşık hale gelir çünkü yukarı bağlantı ve aşağı bağlantıda, kanallar genellikle karşılıklı değildir. Bu durum FDD sistemlerinde daha fazla pilot yükü oluşturur çünkü her iki yönlü kanalın tahmini ayrı ayrı yapılmalıdır. Ayrıca, büyük sayıda kanal katsayısının varlığı ve kanal geri bildirim miktarı, mevcut bant genişliğini hızla doldurabilir [46].

Sonuç olarak, her iki sistem de Masif MIMO ile kullanıldığında farklı zorlukları ve avantajları içerir. Hangi sistemin tercih edileceği, uygulamanın gereksinimlerine ve mevcut altyapıya bağlıdır [46].

3.1.2. Kanal Durum Bilgisi (Channel State Information, CSI)

Kanal durum bilgisi (Channel State Information, CSI), kablosuz iletişim süreçlerinin kalitesini belirleyen kanal özelliklerini ifade eder. Doğru ve etkili bir kanal durum tahminlemesi (Channel Estimation, CE) için, kanal katsayılarının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu durum sadece kanal tahminlemesinde değil, aynı zamanda ağ verimliliğinin maksimize edilmesinde de kritik öneme sahiptir.

Kısıtlı bir anten sayısına sahip olmamakla birlikte, CSI'nin elde edilmesi genellikle karmaşıktır ve bu da sistemlerin genellikle kısıtlı CSI ile çalışmak zorunda kalmasına yol açar. Ancak baz istasyonu (BS), kısmi CSI'yi kullanarak etkili bir kestirim yapabilir ve tam CSI'yi tahmin edebilir. Buna ek olarak, CSI temelinde kısmi kestirime dayanan ön kodlama şemalarının tasarlanması mümkün olduğu gibi, CSI'yi sıkıştırmak da başka bir alternatiftir. Zaman Bölmeli Çiftleme yöntemi, Masif MIMO sistemlerinde CSI elde etme konusunda güçlü bir araçtır [48].

Kanal durum bilgisi (CSI) elde edilirken, pilot dizileri kullanılır, bu durum pilot yükünü artırır. Ancak, TDD modunda, kanalların karşılıklılığına dayanarak, sadece kullanıcı

terminali sayısı ile orantılı CSI gereklidir. Bu durum, CSI'nin her iki bağlantı için de kullanılabilirliğini sağlar ve bu da işlem yükünü önemli ölçüde azaltır [48].

3.2. MASİF MIMO SİSTEM MODELİ

Bu bölümde, benzetimler için tasarlanmış çok hücreli ve çok kullanıcı bir yukarı bağlantı sistemi ele alınmaktadır, bu sistem Masif MIMO senaryolarını içermektedir. Bu L hücreli sistemde, her bir baz istasyonu M antene sahiptir ve her hücrede K kullanıcı hizmet alır. Herhangi bir j . hücredeki k . kullanıcıdan i . hücredeki baz istasyonuna gelen kanal vektörü \mathbf{h}_{ijk} [49] şeklinde ifade edilebilir.

$$\mathbf{h}_{ijk} = \mathbf{g}_{ijk} \sqrt{\beta_{ijk}}, \quad (3.1)$$

burada, küçük ölçekli sönmeme (SSF, Small Scale Fading) katsayısı vektörü olarak gösterilen \mathbf{g}_{ijk} kullanılmaktadır. Bu vektörün tüm elemanları sıfır ortalamalı ve birim varyanslı karmaşık Gauss dağılımına sahiptir. Büyük ölçekli sönmeme (LSF, Large Scale Fading) katsayısı β_{ijk} , yol kaybı ve gölge sönmemeyle ilişkilidir ve şu şekilde yazılabilir:

$$\beta_{ijk} = \frac{z_{ijk}}{r_{ijk}^\gamma} \quad (3.2)$$

Burada z_{ijk} , gölge sönmemesini ifade ederken, r_{ijk} i . hücredeki baz istasyonu ile j . hücredeki k . kullanıcı arasındaki mesafeyi belirtir ve γ ise yol kaybını temsil eder.

Yukarı bağlantı pilot iletim aşamasında, BS tarafından tutarlılık aralığında yukarı bağlantı pilot dizileri alındıktan sonra kanal durum bilgisi (CSI) tahmin edilir. Kullanılan tüm yukarı bağlantı pilot dizileri, pilot seti $\Psi = [\mathbf{p}_1 \dots \mathbf{p}_K]$ ile birlikte τ_p uzunluğuna sahiptir ve her hücredeki kullanıcılar için farklı ortogonal pilot dizileri kullanılmaktadır. Daha fazla sayıda pilot dizisi kullanılarak, her kullanıcıya farklı bir pilot dizisi sağlanır. Bir hücre içinde kullanılan pilot dizileri arasında ortogonalite olduğu varsayılır ve her kullanıcı için farklı bir pilot gücü belirlendiği düşünülen sistemde, i . baz istasyonundan alınan sinyal matrisi aşağıdaki şekilde, çalışma [50]'dekine benzer bir ifade ile gösterilebilir,

$$\mathbf{Y}_i = \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^K \sqrt{\rho_{jk}} \mathbf{h}_{ijk} \mathbf{p}_k^H + \mathbf{N}_i \quad (3.3)$$

Burada \mathbf{N}_i $M \times \tau_p$ boyutlu eklenebilir gauss gürültü matrisidir. τ_p ise kullanılan pilot dizinlerinin uzunluğudur. ρ_{jk} , j . hücredeki k . kullanıcısı için pilot sinyalinin gücüne karşılık gelmektedir. Denklem (3.3) elde edildikten sonra, i . hücredeki BS ile k . kullanıcısı arasındaki kanal tahmin vektörü, pilot seti \mathbf{p}_K kullanılarak gerçekleştirilir,

$$\hat{\mathbf{h}}_{iik} = \mathbf{Y}_i \mathbf{p}_K = \sqrt{\rho_{ik}} \mathbf{h}_{iik} + \sum_{j \neq i}^L \sqrt{\rho_{jk}} \mathbf{h}_{ijk} + \mathbf{N}_i \mathbf{p}_K \quad (3.4)$$

Yukarı bağlantı veri iletim aşamasında, baz istasyonları (BS), kanal tahmini tamamlandıktan sonra alınan sinyali CSI kullanarak algılamaktadır. Bazı çalışmalarda kullanılan maksimum oran birleştirme (MRC, Maximal Ratio Combining) algılama gibi yöntemlerle, BS'deki i . hücredeki k . kullanıcısının algılanan sinyali hesaplanabilmektedir [49]. BS'deki i . hücredeki yukarı bağlantı veri vektörü, aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\mathbf{y}_i = \sqrt{\rho_u} \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^K \mathbf{h}_{ijk} x_{jk} + \mathbf{n}_i \quad (3.5)$$

burada, j . hücredeki k . kullanıcısının veri sembolü x_{jk} ile temsil edilmekte ve yukarı bağlantı veri iletim gücü ρ_u ile çarpılmaktadır. k . kullanıcısının BS'de algılanan sinyali, bazı çalışmalarda kullanılan maksimum oran birleştirme (MRC) algılama yöntemi ile hesaplanabilir ve aşağıdaki şekilde gösterilir [49]:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{ik} &= \hat{\mathbf{h}}_{iik}^H \mathbf{y}_i \\ &= \left(\sum_{j=1}^L \sqrt{\rho_{jk}} \mathbf{h}_{ijk} + \mathbf{N}_i \mathbf{p}_K \right)^H \left(\sqrt{\rho_u} \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^K \mathbf{h}_{ijk} x_{jk} + \mathbf{n}_i \right) \\ &= \sqrt{\rho_u} \left(\underbrace{\sqrt{\rho_{ik}} \mathbf{h}_{iik}^H \mathbf{h}_{iik} x_{ik}}_{\text{Sinyal}} \right) + \sqrt{\rho_u} \left(\underbrace{\sum_{j \neq i}^L \sqrt{\rho_{jk}} \mathbf{h}_{ijk}^H x_{jk}}_{\text{Hücre içi Girişim}} \right) + \underbrace{\varepsilon_{ik}}_{\text{Gürültü}} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Bu ifadede, ε_{ik} , karışıklık etkisi olarak bilinen ve ilişkisiz kullanıcılar arasındaki girişim

ve gürültü etkileşimlerini ifade eden bir terimdir.

Bu çalışmada, yukarı bağlantı MIMO sistemlerinde SINR ifadesi, literatürdeki kaynaklarda da belirtildiği üzere aşağıdaki formatta sunulabilmektedir [50].

$$SINR_{ik}^u = \frac{\rho_{ik} |\mathbf{h}_{ik}^H \mathbf{h}_{ik}|^2}{\sum_{j \neq i} \rho_{jk} |\mathbf{h}_{ijk}^H \mathbf{h}_{ijk}|^2 + \frac{|\varepsilon_{ik}^u|^2}{\rho_u}} \quad (3.7)$$

Yukarı bağlantı veri iletiminde, ρ_u yukarı bağlantı veri gücünü, ε_{ik} ilişkisiz girişim ve gürültüyü ifade eder [50]. Bu denklem, baz istasyonundaki M anten sayısı sonsuzluğa giderken β_{ijk} Büyük ölçek sönmüleme (LSF) katsayılarına bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [49]:

$$SINR_{ik}^u \rightarrow \frac{\rho_{ik} \beta_{ik}^2}{\sum_{j \neq i} \rho_{jk} \beta_{ijk}^2} \quad (3.8)$$

Yukarı bağlantı sistemlerinde, SINR denklemlerinin hesaba katılmasıyla, kapasite ifadesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

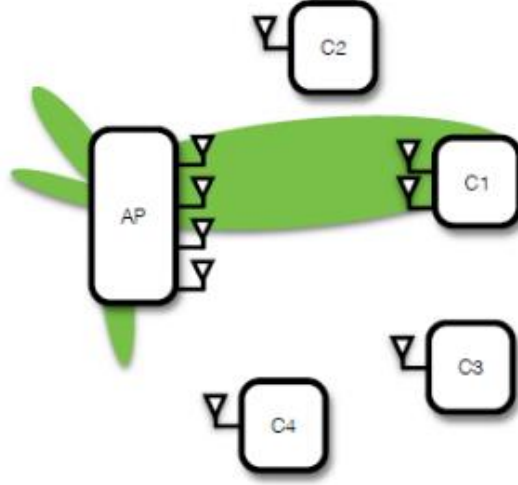
$$R_{ik}^u = \mathbb{E}\{\log_2(1 + SINR_{ik}^u)\} \quad (3.9)$$

Sistem bütünü ele alındığında, tüm hücreler için elde edilebilir yukarı bağlantı toplam kapasite ifadesi aşağıdaki gibi belirtilebilir:

$$R_{net}^u = \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K R_{ik}^u \quad (3.10)$$

3.3. KULLANICI SAYISINA GÖRE MASİF MIMO SİSTEMLER

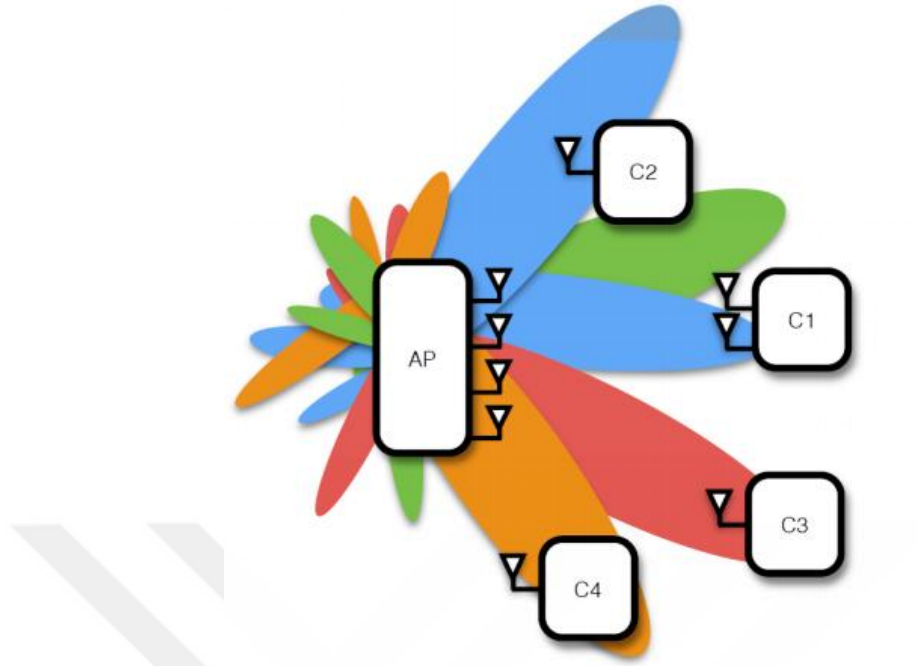
3.3.1. Tek Kullanıcılı MIMO (SU-MIMO) Sistemler



Şekil 3.3 Tek Kullanıcılı MIMO (SU-MIMO) çalışma prensibi [51].

Tek Kullanıcılı MIMO (SU-MIMO) teknolojisi, bilinen diğer adıyla noktadan noktaya MIMO, anlık sadece tek bir kullanıcı terminaliyle haberleşme kurabilen bir sistemdir [51]. Şekil 3.3'te de görülebileceği üzere, bu yapıda olan bir sistemde kullanıcılar, veri iletimi için kendi sıralarını beklemek zorundadırlar. Bu durum, sisteme dahil olan kullanıcı sayısının artmasıyla beraber, ağ hızının yavaşlamasına sebep olur. Buradaki ağ trafiği, hızlı bir sıralamaya tabi tutularak segmentlere ayrılır. Ancak, bu tip bir sistemde, sürekli ve düzenli bir veri akışı gerektiği durumlar sistemin performansını olumsuz yönde etkileyebilir.

3.3.2. Çok Kullanıcılı MIMO (MU-MIMO) Sistemler



Şekil 3.4. Çok Kullanıcılı MIMO çalışma prensibi [51].

Çok Kullanıcılı MIMO (MU-MIMO) teknolojisi, Tek Kullanıcılı MIMO (SU-MIMO) sistemine kıyasla çok daha geniş bir kullanıcı tabanına hizmet verir [51]. Şekil 3.4'e görüldüğü üzere, MU-MIMO sistemi, çoklu kullanıcıların simultane olarak iletişim kurmasını ve veri alışverişini gerçekleştirmesini mümkün kılar. Ağ trafiği, her bir kullanıcı için ayrı kanallara dağıtılır. Bu da bant genişliğinin ikiye bölünmesiyle, herhangi bir sıra bekleme durumu olmadan istenilen performansı sağlar.

3.3.3. Tek ve Çok Kullanıcılı MIMO (SU-MIMO ve MU-MIMO) Sistemlerin Kıyaslanması

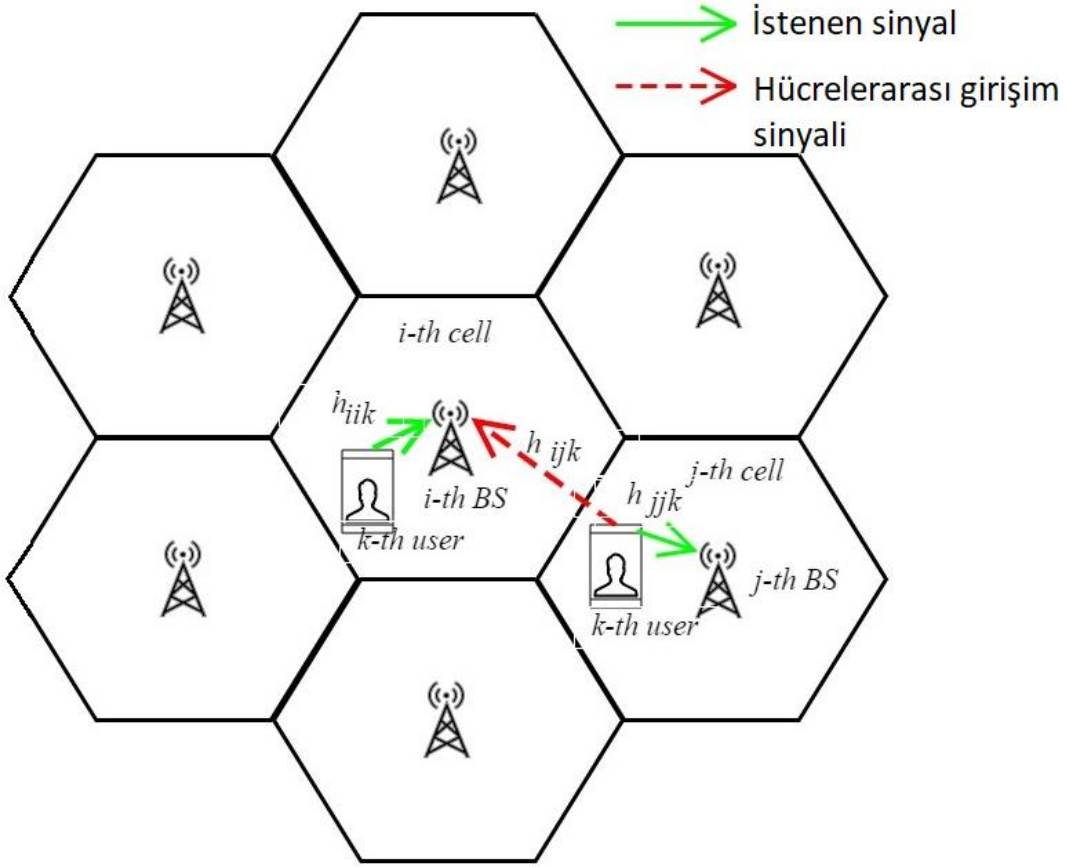
Tek ve çok kullanıcılı masif MIMO sistemler hem belirgin avantajlar hem de bazı zorlukları içermektedirler. Örneğin, tek kullanıcılı MIMO sistemi güçlü girişimlerin etkilerinden bağımsızdır, bu özellik Çok kullanıcılı MIMO sistemine göre bir üstünlük sağlar. Her iki sistem de Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) değerlerine hassastır; düşük SNR değerlerinde Tek Kullanıcılı MIMO, yüksek SNR değerlerinde ise Çok Kullanıcılı MIMO daha etkili performans sergiler. Çizelge 3.1'de, Tek Kullanıcılı MIMO ve Çok Kullanıcılı MIMO'nun bir karşılaştırması sunulmuştur [52].

Çizelge 3.1. Tek ve Çok Kullanıcılı MIMO Kıyaslaması [52].

Özellikler	Tek Kullanıcılı MIMO	Çok Kullanıcılı MIMO
Ana özellik	Tek kullanıcı ile baz istasyonu bağlantısı	Birden fazla kullanıcıyla baz istasyonu bağlantısı
Amaç	Daha hızlı veri aktarımı	Daha geniş kapasite edinimi
Avantajı	Girişim Yok	Aynı anda birden fazla kullanıcıyla haberleşme
Kanal Durum Bilgisi (CSI)	CSI'ya ihtiyaç yoktur.	CSI'ya ihtiyaç vardır
Performans	Düşük SNR'da Yüksek Performans	Yüksek SNR'da Yüksek Performans

4. PİLOT KİRLİLİĞİNİN ANALİZİ VE AZALTILMASI

Şekil 4.1’ de görüldüğü üzere, yukarı bağlantıda hücre i ’deki baz istasyonuna, hücre i ve j ’deki k . kullanıcıdan benzer pilot değeri gönderilmektedir. Bu da hücre i ’deki k kullanıcı için girişime yani pilot kirliliğine neden olmaktadır.



Şekil 4.1. Masif MIMO yukarı bağlantı sisteminde pilot kirliliği senaryosu.

4.1. PİLOT KİRLİLİĞİNİN TANIMI VE ETKİLERİ

Pilot kirliliği problemi literatürde kapsamlı olarak incelenmiş ve çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Masif MIMO, 5G ve sonrası nesil kablosuz erişim teknolojileri için en büyüleyici seçenektir. Masif MIMO teknolojisinin bir uzantısı olarak spektral verimliliği ve verimi artırmak için bir baz istasyonunda yüzlerce hatta binlerce anten kullanmayı içerir. Bu teknoloji, yüksek kapasite ve hız sağlamak için antenleri, radyoları ve

spektrumu birleştirir. Masif MIMO [53]–[55] baz istasyonunda çok sayıda anten kullanarak kanal kapasitesini, spektral verimliliği ve bağlantı yoğunluğunu büyük ölçüde artıran temel teknolojilerden biridir. Ancak, baz istasyonları kısa bir tutarlılık süresi için genellikle aynı pilot dizilerini farklı hücrelerdeki kullanıcılara atarlar ve bu da pilot kirliliğine neden olur. Baz istasyonu antenlerinin sayısı sonsuza gittiğinde, sistem kapasitesi pilot kirliliği nedeniyle hücreler arası girişim ile büyük ölçüde sınırlıdır.

4.2. PİLOT KİRLİLİğİ PROBLEMİNİN KAYNAKLARI

Pilot kirliliği, özellikle Masif MIMO sistemlerde yaygın bir sorundur ve sistem performansını önemli ölçüde etkileyebilir. Ancak, pilot kirliliği problemini sadece hücreler arası etkileşimlerden kaynaklanan bir sorun olarak düşünmek hatalı olacaktır. Bu problem, çok daha geniş bir yelpazede, çeşitli faktörlere bağlı olarak ortaya çıkabilir [56].

4.2.1. Ortogonal Olmayan Pilotlar

Kanal tutarlılık süresi, bir MIMO sistemine ayrılacak ortogonal pilot dizilerinin sayısını kısıtlar. Bu durum, pilotlar arası girişimin engellenmesi amacıyla, pilotların dikkatli bir şekilde atanmasını gerektirir. Bu bağlamda, pilot tekrar etme faktörü önemli bir rol oynar ve pilot dizisinin uzunluğu da veri iletim hızını etkileyebilir.

Yukarı bağlantı aşamasında, pilot sembolleri gönderilir. Ancak, kanal tutarlılık süresi ve bant genişliği sınırlı olduğundan, pilot atamaları, komşu hücreler arasında minimum girişim yaratacak veya girişimi tamamen engelleyecek şekilde yapılır. Bu, çok hücreli bir sistemde özellikle önemlidir.

Bir problem, aynı pilot sinyalinin komşu hücrelerden gelmesi durumunda ortaya çıkar. Bu durum, kanal durum bilgisinin tahminini zorlaştırır ve yüksek düzeyde girişime neden olabilir. Baz istasyonunda oluşan bu "pilot kirliliği", sistem performansında dşrlere ve kanalın güvenilirliğinin azalmasına yol açabilir.

Ayrıca, hücre içerisindeki pilot sinyallerinin birbirine dik olduğu varsayılsa da, komşu hücrelerden gelen aynı pilot sinyalleri bu diklik özelliğine sahip olmayabilir. Bu durum, pilot kirliliği sorununu daha da karmaşık hale getirebilir [57].

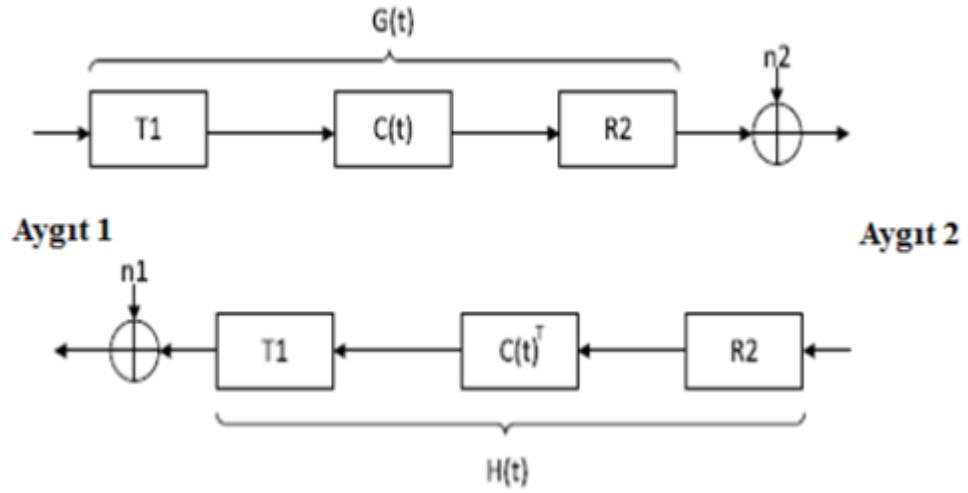
4.2.2. Donanımsal Bozukluklar

Donanımsal hatalar, alınan ve iletilen sinyallerin değişmesine neden olabilir. Birçok çalışma, bu tür hataların var olmadığı bir sistem üzerinde yapılmıştır, ancak bu durum gerçek hayatta nadiren geçerlidir. Faz gürültüsü, amplifikatörün doğrusallığının bozulması, niceleme hataları ve karesel dengesizlikler, kanal durum bilgisinin (CSI) doğru bir şekilde elde edilmesini zorlaştırabilir [57]. Eğer CSI doğru bir şekilde tahmin edilemezse, bu durum sistemde gecikmelere ve dolayısıyla güvenilir iletişim kanalının azalmasına neden olabilir. Bu durum, sistem performansını olumsuz etkiler. Çalışmalar [57] ve [58], donanımsal hataların dikkate alındığı ve sistem performansını artıracak yöntemlerin denendiği çalışmalardır. Bu çalışmalar, donanımsal hataların önemli bir rol oynadığını ve dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

4.2.3. Karşılıklı Olmayan Alıcı ve Vericiler

Çalışılan TDD sistem modeli, hem ileri hem de geri kanalların aynı taşıyıcı frekansta olduğunu varsayar ve bu nedenle bu kanalların karşılıklı olduğu kabul edilir. Bu varsayım [1] ve [59] çalışmalarında detaylıca ele alınmıştır ve bu çalışmalarda bir TDD modelinin iki aygıt arasındaki noktadan noktaya iletişim durumu incelenmiştir. Bu durum Şekil 4.2'de gibi görselleştirilmiştir.

Ancak, ideal olmayan durumlar da vardır ve bu durumlar, kanalın karşılıklılığının tam olarak sağlanmadığı durumları içerir. Bu durumlar genellikle alıcı ve verici arasındaki olumsuz etkileşimler nedeniyle ortaya çıkar. Bu tür durumlar, kanal karşılıklılığı prensibini bozan çeşitli donanım hatalarını ve sistematik bozuklukları içerir. Bu bozukluklar ve hatalar, alıcı ve vericinin performansını olumsuz yönde etkileyebilir ve bu da genel sistem performansına yansır. Bu nedenle, TDD sistemlerin tasarımında ve uygulanmasında bu faktörlerin göz önünde bulundurulması hayati önem taşır [1].



Şekil 4.2. Karşılıklı alıcı – verici modeli [1].

4.3. MASİF MIMO SİSTEMLERDE PİLOT TAHSİSİ

Masif MIMO teknolojisi, kablosuz ağlarda veri hızlarını ve kapasitesini önemli ölçüde artırmak için kullanılan bir stratejidir. Ancak, bu teknolojinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi, kanal durum bilgilerinin (CSI) doğru ve güncel olmasını gerektirir. Bu bilginin elde edilmesi süreci, pilot tahsisindeki stratejilere büyük ölçüde bağlıdır.

Pilot tahsisi, MIMO sistemlerindeki kullanıcıların kanallarını kestirmek için gerekli olan radyo frekansını ayırma sürecidir. Bu süreç, pilot sinyalleri veya sembollerin, belirli kullanıcılara veya hücrelere atandığı bir tahsis sürecini içerir. Bu sürecin doğru bir şekilde yönetilmesi, hem MIMO sistemlerinin performansını artırabilir, hem de pilot kirliliği gibi olası sorunları azaltabilir.

Masif MIMO sistemlerinde pilot tahsisinin önemi ve zorlukları, aynı anda birçok kullanıcıyı destekleme yeteneği ve karmaşık kanal durumlarını yönetme ihtiyacıyla daha da belirgin hale gelir. Bu nedenle, pilot tahsis stratejilerinin ve mekanizmalarının etkin bir şekilde tasarlanması ve uygulanması, Masif MIMO teknolojisinin başarısı için kritik öneme sahiptir.

4.4. PİLOT KİRLİLİĞİ AZALTMA ALGORİTMALARI

Masif MIMO ile alakalı yapılan çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların genellikle kanal durum bilgisinin elde edilmesi ve hücreler arası girişimlerin önlenmesi gibi temel

fiziksel katman özelliklerine odaklandıkları görülmektedir [60]–[62]. Şu anda, büyük MIMO sistemlerindeki pilot kirlilik azaltma şemaları üç gruba ayrılabilir: Kanal tahmini [63], ön kodlama [64] ve pilot programlama [65]. Uzamsal olarak ilişkili kanalların varsayımı altında, kullanıcı kanallarının kovaryans bilgisinden yararlanılarak ve hücreler arasında koordineli bir pilot atama stratejisi kullanılarak pilot kirliliğinin ortadan kalkacağı iddiasında bulunmuştur [63]. Alternatif olarak, farklı hücrelerde yukarı bağlantı pilot iletiminin sırasını yeniden düzenleyerek hücreler arası girişimi önlemek için zaman kaydırmalı pilotlar kavramı önerilmiştir [37]. Ancak, bu asenkron iletim şeması, yakın konumda olan iki kullanıcının komşu hücrelerde aynı anda iletim veya alım yaptığında güçlü bir girişime neden olabilir [66]. Daha sonraki çalışmalarda, Masif MIMO sistemlerinde enerji verimliliğindeki iyileştirmelere odaklanılmıştır [6], [68]. Bununla birlikte, alıcı-vericilerin donanım bozulmalarının Masif MIMO sistemlerde etkisinin eski sistemlere göre daha azaldığıyla ilgili de çalışmalar yapılmıştır [57], [70], [71]. Ancak kullanıcıların programlanması, kaynak tahsisinin en uygun şekilde belirlenmesi üzerine çalışmalar yeteri kadar yapılamamıştır. İlk çalışmaların bulunduğu [72]'de, kullanıcılar belirli gruplara ayrılmıştır. Burada temel mantık, sınırlı ortogonal pilot dizilerinin kullanıcılar arasında uygun bir şekilde pay edilmesidir. Bu paylaşım işleminin ise çeşitli metotlarla yapıldığı belli başlı çalışmalar vardır [73], [74]. Genel olarak, pilot çizelgeleme şemaları, zaman kaydırmalı pilotları, güç kontrolünü, kısmi pilot yeniden kullanımını ve pilot koordinasyon çizelgesini içermektedir. Hücreler arası girişimi önlemek için, çerçeve yapısındaki farklı hücrelerde yukarı bağlantı pilot iletiminin sırasını yeniden düzenlemek için zaman kaydırmalı pilotlar kavramı önerilmiştir [38]. Bununla birlikte, bu asenkron iletim şeması, komşu hücrelerde yakın konumdaki iki kullanıcı aynı anda iletim veya alım yaptığında güçlü girişime neden olabilir.

Ortogonal olmayan pilotların kullanıcılar arasında paylaşılmasından kaynaklanan pilot kirliliği, Masif MIMO sistemlerin darboğazı olarak kabul edilir. [1]'de ciddi pilot kirliliğine sahip Masif MIMO sistemleri için kanal tahmini yaklaşımı, ortalama kare hatası (MSE) performansı kullanılmıştır [36]. TDD hücresel ağlarında pilot kirliliğini azaltmak için bir yaklaşım önermektedirler.

[37] 'de, pilotların zaman dilimi iki kısma ayrılarak, sadece girişim hücrelerinden gelen pilotlar üst üste gelmeyecek şekilde düzenlenerek ve hedef mahzenden gelen pilotlar ile kısmi bir pilot güç kontrol şeması önerilmiştir. Bu yöntem, tüm zaman aralıklarında kullanılır. Komşu hücrelerde kullanılan pilotların zaman dilimlerinde kaydırarak daha iyi

kanal tahminleri elde etmedeki etkinliği [39]'da incelenmiştir. Zaman kaydırmalı pilot iletim yönteminin, uzaysal çoğullama ile zaman senkronizasyonlu yönteme göre karşılaştırması ve üstünlüğü için gereklilikler [38]'da sunulmuştur. [75]'te, komşu hücrelerden ortogonal olmayan sinyallerin eşzamanlı iletimini önlemek için bir yöntem önermekle birlikte, bu girişim sınırlı senaryoda güç tahsisinin etkileri de araştırılmış ve bu iki tekniğin harmanlanmış halinin kazanç sağladığı bildirilmiştir. Başka bir teknik çalışma [76]'da, kenar ve merkez kullanıcıları, kenarlardaki kirlenmeye odaklanmak için ayrıştırılır. Yumuşak pilot yeniden kullanım şeması (SPRS), hücre kenarlarının kirlenmesine müdahale etmek için kullanılır. Ancak, bu çalışma nispeten daha fazla pilot dizisi gerektirir. Akıllı pilot atama (SPA) [77] yönteminde, pilot diziler kullanıcılara rastgele atanır ve daha sonra hücreler arası en küçük girişimin amacı kullanılarak optimize edilir. [78]'de bir hibrit pilot atama yöntemi önerilmiştir. Bu hibrit yapı, SPRS ve ağırlıklı renklendirme grafiği pilot kirliliği azaltma (WCG-PD) [78] tekniklerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Özellikle uç kullanıcılar için pilot kirliliği azaltmak için ağırlıklı renklendirme grafiği tabanlı bir teknik önerilmiştir. [2]'de, Derin Öğrenmeye Dayalı Pilot Atama Planı (DLPAS), pilot atama ile kullanıcıların konum kalıpları arasındaki ilişkiyi öğrenmeye odaklanır. Bu çalışma, yüksek boyutlu çıktıları (kullanıcı sayısının faktöriyeli) nedeniyle her hücre için sadece 4 kullanıcıya izin vermektedir. Bu nedenle, hücre sayısı sadece 7 iken diğer [7], [1] ve [78] sistem benzetimleri daha gerçekçi bir büyük Masif MIMO sistem modeli elde etmek için 19 hücre kullanır. Birçok kullanıcı ve hücre için, gerçek hayat senaryolarında olduğu gibi, bu çıktı gösteriminin uygulanması mümkün görünmemektedir. [43], [79] ve [80] 'da bahsedildiği gibi, pilot kirliliği etkilerini incelemek için uzun yıllardır önerilen birçok literatür araştırması çalışması da mevcuttur.

5. ÖNERİLEN PİLOT TAHSİSİ İLE PİLOT KİRLİLİĞİ AZALTMA YÖNTEMİ

Bu bölümde, yeni önerilen optimizasyon tabanlı dinamik Pilot Atama yöntemi ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bu kısım öncelikle Çizelge 5.1'deki görülen değerler kullanılarak 5G Masif MIMO sistemle başlamaktadır. Sonrasında karşılaştırma amaçlı literatürdeki en iyi Pilot Atama ve Güç Tahsisi algoritmaları, bu sistemleri optimize eder ve sonuçları kaydeder. Ardından önerilen optimizasyon algoritmaları, yine bu mevcut sistemler için **Pilot Atama ve Güç Tahsisi** eylemlerini etkin ve optimize bir şekilde gerçekleştirir. Ardından bu optimize pilot atama ve güç tahsisi değerleri de kaydedilir. Son olarak, bu değerler, CDF SINR ve ulaşılabilir bit hızı hesaplaması kullanılarak karşılaştırılır. Bu SINR değeri, önerilen optimizasyonların da amaç fonksiyonudur. Diğer algoritmaların ve önerilen optimizasyon tabanlı yaklaşımların performansını değerlendirmek için kümülatif dağıtım fonksiyonu (CDF) - SINR ve ulaşılabilir hız - iletim gücü grafikleri kullanılmaktadır. Her bir algoritma için ayrı hesaplanarak karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 5.1. Önemli sistem benzetim parametreleri.

Parametre	Değer
Her hücredeki kullanıcı sayısı	10 kişi
Baz istasyonu sayısı	19 hücre
Baz istasyonundaki anten sayısı	512
Hücre yarıçapı	1000 m
Baz istasyonuna minimum mesafe	100 m
Sigma Gölgeleme Yayılımı	8 dB
Yukarı bağlantı veri aktarım gücü	15 dB için $10^{15/10}$
Yukarı bağlantı pilot gönderim gücü	15 dB için $10^{15/10}$

Problemin karmaşıklığını azaltmak için önemli varsayımlar vardır. Bu varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Bu yaklaşımda, farklı pilot dizinlerinde oluşan girişimi iptal etmek için Ortogonal yukarı bağlantı pilot dizileri kullanılmıştır.
- Tüm kullanıcıların kanalları mükemmel bir şekilde bilindiği kabul edilmiştir (mükemmel CSI (Kanal Durumu Bilgisi)).
- Kullanıcılar ve antenler arasındaki kanal, yarı statik Rayleigh sönümlü kanal yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir.

5.1. ÖNERİLEN PİLOT TAHSİSİ ALGORİTMASININ AÇIKLANMASI: PİLOT ATAMA PLANLARI İÇİN DİNAMİK OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (DOAPAS)

DOAPAS, dinamik programlama ve kapsamlı arama tekniklerinin birleştirildiği bir optimizasyon yaklaşımıdır. Kapsamlı arama yöntemi, arama alanı genişledikçe hesaplama süresinin katlanarak arttığı bir yöntemdir. Bu nedenle, DOAPAS, hesaplama süresini azaltmak için pilotların ve kullanıcıların arama alanlarını daraltarak optimize etmeyi hedefler.

DOAPAS'ta pilotların optimizasyonunda her hücre için kullanılan pilot sayısı hesaplanmaktadır. Bu hesaplama sırasında, yakın komşular içindeki pilot kullanım miktarı da dikkate alınarak daha geniş bir pilot kullanım dağılımı elde edilir. Bu daha kapsamlı dağılımda, en az kullanılan pilotlar daha doğru hesaplanır ve elde edilen pilotlar algoritmanın pilot arama alanı olarak kullanılır. Böylece daha basitleştirilmiş bir pilot arama alanı elde edilir.

Öte yandan, kullanıcı arama alanını azaltmak için DOAPAS yalnızca optimal olmayan kullanıcılara odaklanır. Bu kişiler algoritma tarafından sistematik olarak tanımlanır. Algoritma önce her hücre için dinamik olarak ortalama bir SINR (Sinyal Girişim Gürültü Oranı) değeri hesaplar. Daha sonra ortalamanın altında olan kullanıcıları tespit eder ve bu kullanıcılar DOAPAS'ın kullanıcı arama alanını oluşturur.

5.2. ÖNERİLEN PİLOT KİRLİLİĞİ AZALTMA YÖNTEMİNİN DETAYLARI

DOAPAS, pilot ve kullanıcı arama alanlarını optimize etmek için dinamik programlama ve kapsamlı arama yöntemlerini bir araya getirir. Bu yöntemler, daha hızlı hesaplama süreleri ve daha iyi bir performans elde edilmesine yardımcı olur.

Çizelge 5.2 ile gösterilen Algoritma 1, kullanıcı ve pilot arama alanlarındaki en uygun eşleşmeleri hesaplayarak tüm ağın toplam SINR değerini artırmayı hedefler. Bu, temelde pilot-kullanıcı eşleştirmesi sonunda hücre gruplarındaki ortalama SINR değeri hesaplanarak gerçekleştirilir. Hesaplanan SINR değeri, optimizasyondan önceki değerle karşılaştırılır. Bu kullanıcıların pilotları, daha iyi bir SINR değeri elde edildiğinde güncellenir. Bu sayede, hücrenin ortalama kanal kapasitesi verimli bir şekilde optimize edilir. Algoritmanın ana fikri, dinamik olarak değişen ortam için düşük kapasiteli kullanıcıları optimize ederken pilotların kullanım sayılarını dengelemektir. Daha iyi anlaşılması için tüm adımlar ve detaylar bir şemada sergilenmektedir. Şema, tüm adımlar ayrıntılı olarak açıklanarak detaylandırılmıştır.

Çizelge 5.2. Algoritma 1-Pilot ataması için optimizasyon algoritması.

DOAPAS Algoritması
Girdi: Belirli Değerlere Atanmış Başlangıç Pilotlar
Çıktı: Optimize Atanmış Pilotlar
Başlangıç Değerler:
1: $optimalPilots = initPilots$
$globalAvgSINR = mean(sum(EPA_SINR_{ik}))$
2: for $i = L$ to 1 do
3: $globAvgSINR = \frac{1}{K*L} \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K SINR_{i,k}$
$avgSINR_i = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K SINR_{i,k}$
$nou_i = 0, nopUser_i = \{ \}$
4: for $k = K$ to 1 do
5: if $SINR_{i,k} < avgSINR_i$ then
6: $nopUser_i.append(k)$
$nou_i = nou_i + 1$
7: end if
8: end for
9: $leastPlts = findNSmallest(N_i)$
10: $allPerms = Perm(leastPlts)$
11: while $j = 1, j++, j = allPerms.lenght$ do
12: $pilots' = optimalPilots(:, :)$
$pilots'(i, nopUser_i) = allPerms(j)$
13: $cumSINR = calculateAvgSINR(pilots'(:, :))$
14: if $cumSINR > globalAvgSINR$ then
15: $optimalPilots = pilots'$
$globalAvgSINR = cumSINR$
16: end if
17: end while
18: end for
19: return $optimalPilots(L, K)$

Algoritma 1, önceki teknik detaylardaki DOAPAS yaklaşımının bir parçasıdır. Bu algoritma, her hücreyi optimize etmek için dıştaki hücrelerden merkez hücreye kadar ilerler. Algoritma, her taramada düşük kapasiteli kullanıcıları tespit eder. Düşük kapasiteli kullanıcılar, taranan hücredeki tüm kullanıcıların ortalama kapasitesinden düşük olanlar olarak tanımlanır.

Daha sonra, algoritma tüm pilotların kullanımını histogram hesaplayarak kontrol eder. Bu histogramdan kullanım sıklıklarına bakılarak en az kullanılan pilotları belirler. Bu hesaplama, yakın komşular içindeki pilot kullanım miktarı da dikkate alınarak daha geniş bir pilot kullanım dağılımı elde etmek için yapılır. Bu şekilde daha kapsamlı bir dağılımda en az kullanılan pilotlar daha doğru hesaplanır.

En az kullanılan pilotlar ve düşük kapasiteli kullanıcılar belirlendikten sonra, algoritma bu pilotların tüm permütasyonlarını deneyerek ve her hücre için en yüksek ortalama SINR değerini (max.cap) seçerek en optimal atamayı bulur. Eğer max.cap, hücrenin ortalama SINR değeri olan AvgSINR_i'den yüksekse, optimal olmayan kullanıcıların pilotları nop.user_i,m değerleriyle, opt.plts tarafından güncellenir.

Algoritmanın temel fikri, pilotların kullanım sayılarını dengelerken düşük kapasiteli kullanıcıları optimize etmektir. Bu yaklaşım, tüm adımların ayrıntılı olarak açıklandığı ve detaylandırıldığı bir şema ile daha iyi anlaşılabilir hale getirilir.

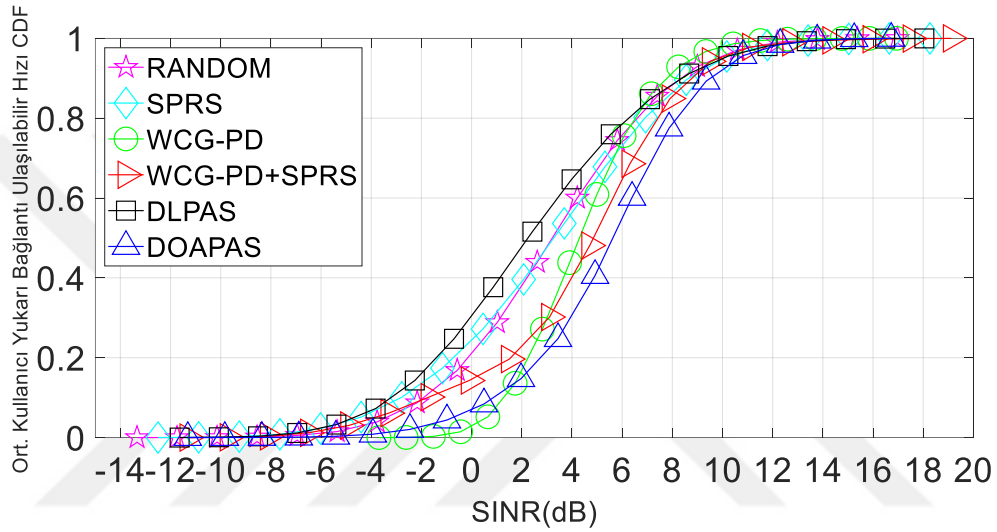
5.3. ÖNERİLEN YÖNTEMİN PERFORMANS ANALİZİ VE SONUÇLARI

Bu yöntem, Bölüm II'de belirtilen varsayımlar doğrultusunda tüm sistem modelleme ve pilot atama şemaları Matlab üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için yazılan tüm komut dosyaları, çalışmanın GitLab sayfasındaki <https://gitlab.com/muhammetp/pilot-assignment> adresinde bulunabilir. Ayrıca, <https://iee-dataport.org/documents/mlcomm-pilot-contamination-datalink>, aynı deneyleri tekrarlamak için veri seti oluşturma komut dosyası ve örnek veriler sağlar. Bağlantılı sayfada bu veri setinin nasıl kullanılacağına dair bir açıklama da bulunmaktadır. Benzetimlerde Monte Carlo metodolojisi kullanılmıştır.

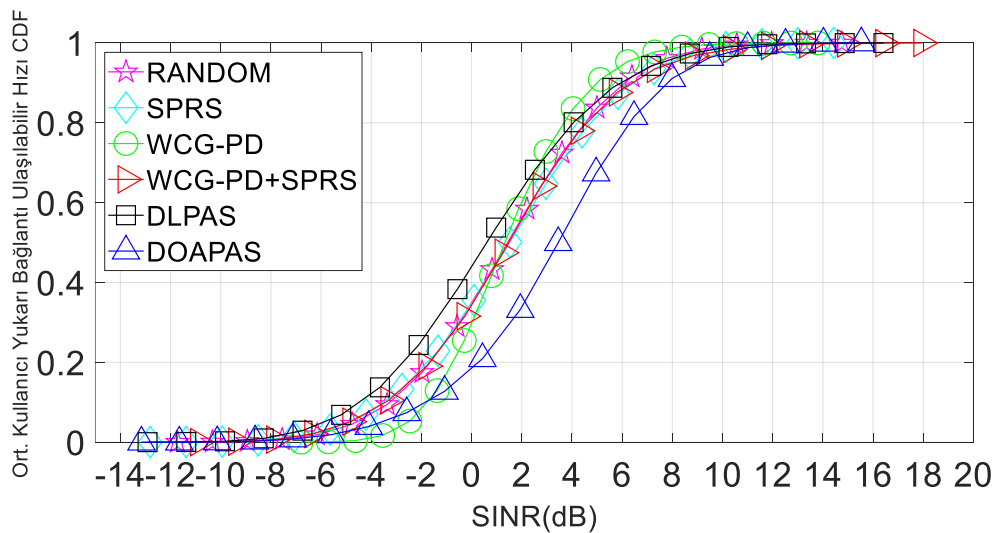
Masif MIMO sistem benzetimleri, kablosuz iletişim araştırmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, çalışmanın başarısı, benzetimin gerçeğe yakınlığına bağlıdır. Bu nedenle, çevre ve insan etkilerini dikkate alarak sistemi benzetmek oldukça önemlidir. Ayrıca, algoritmanın başarısının daha adil bir şekilde değerlendirilmesi açısından sistem parametrelerinin paylaşılması ve mevcut çalışmalarla uyumluluğu sağlanması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı, bu çalışmada kullanılan sistem parametreleri Çizelge 5.1 'de belirtilmiştir. Bu benzetimlerde baz istasyonları, kullanıcılar ve bunlar arasındaki etkileşimler bu çalışmanın sistem modeli doğrultusunda simüle edilmektedir. Kullanıcılar her benzetimde rastgele atanır. Baz istasyonları ve kullanıcılar arasındaki

kanal katsayıları ve pilot atamaları sistematik olarak hesaplanır. Bu benzetimler [77] kod girdileri ile gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar çalıştırdıktan sonra oluşan atamalar, SINR değerleri ve ilgili çevresel sistem verileri saklanır. Bu veriler sayesinde önerilen optimizasyon algoritmalarının performansları diğer algoritmaların performansları ile karşılaştırılmıştır.

Her benzetim durumu için tüm pilot atama şemaları gerçekleştirildikten sonra, atamaları teorik hesaplamaların karşılık gelen SINR değerlerine göre karşılaştırılır. Aşağıdaki tüm sonuçlar, 10K benzetimlerinin sonuçlarıdır.

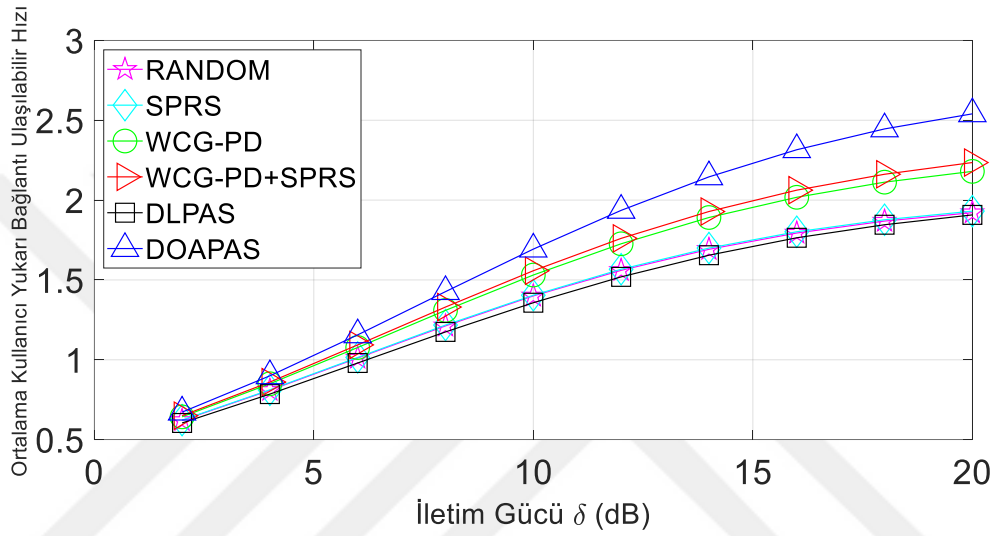


Şekil 5.1. 15 pilot için tüm atama algoritmalarının kullanıcıların yukarı bağlantı ulaşılabilir bit hızı (bps) CDF'inin SINR'a göre karşılaştırılması.

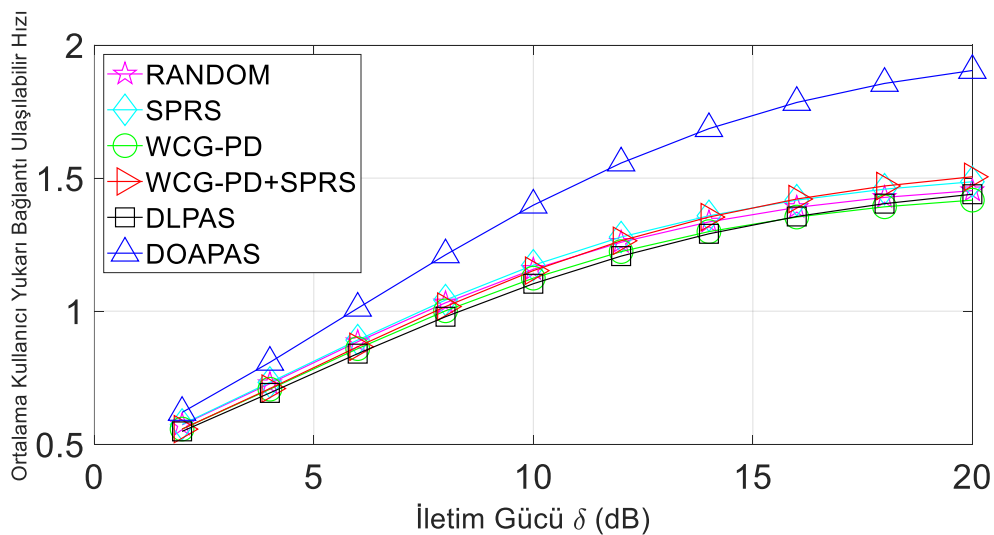


Şekil 5.2. 10 pilot için tüm atama algoritmalarının kullanıcıların yukarı bağlantı ulaşılabilir bit hızı (bps) CDF'inin SINR'a göre karşılaştırılması.

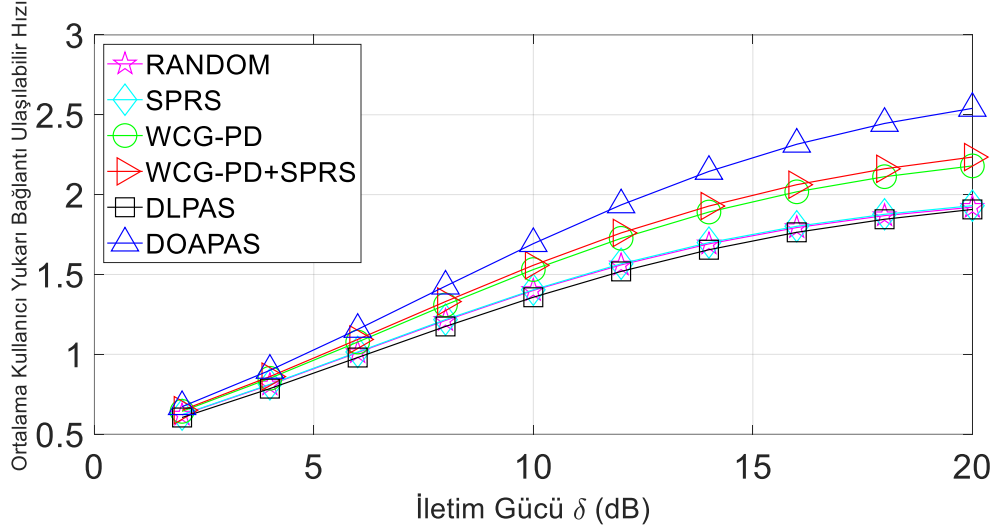
Şekil 5.1 ve Şekil 5.2' de görüldüğü gibi, önerilen metodoloji, diğer algoritmalarından daha iyi performans göstermektedir. Aynı CDF değeri için algoritma SINR değerlerinin sırası $RANDOM < DLPAS < SPRS < WCG-PD < WCG-PD+SPRS < DOA-PAS$ şeklindedir. Diğer bir deyişle, DOAPAS çok daha fazla kanal kapasitesi imkanı sağlamaktadır. Örneğin, WCG-PD+SPRS'de $P(SINR > 4)=0,6$ ($SINR=x$ olasılığının $P(SINR=x)$ ile temsil edilmektedir) iken; DOAPAS'ta bu değer 0,7'dir. Kullanıcı sayısı pilot sayısına eşit olduğunda performanstaki bu fark çok daha fazla olmaktadır.



Şekil 5.3. 15 pilot için tüm atama algoritmalarının kullanıcı başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hızının (bps) iletim gücüne göre karşılaştırılması.



Şekil 5.4. 10 pilot için tüm atama algoritmalarının kullanıcı başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hızının (bps) iletim gücüne göre karşılaştırılması.



Şekil 5.3. 15 pilot için tüm atama algoritmalarının kullanıcı başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hızının (bps) iletim gücüne göre karşılaştırılması. ve Şekil 5.4'te, önerilen algoritma, aynı iletim gücü için diğer pilot atama şemalarından daha yüksek bir ulaşılabilir oran sağlayarak daha iyi performans gösterdiğini açıkça kanıtlamaktadır. Algoritmaların performansları arasındaki fark, iletim gücü arttıkça daha da artmaktadır.

Dikkatlice yapılan analiz ve simülasyonlar sonucunda, DOAPAS algoritmasının, benzer koşullarda WCG-PD+SPRS algoritmasına kıyasla ciddi performans iyileştirmeleri sağladığını belirtmek önemlidir. Tüm simülasyonlardaki tüm kullanıcıların ortalama kanal kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, DOAPAS'ın 15 pilot ve 10 kullanıcı durumunda, ortalama olarak 2.4179 birimlik bir kanal kapasitesi sunduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, aynı şartlar altında WCG-PD+SPRS için hesaplanan 2.2001 birimlik değerle karşılaştırıldığında, DOAPAS'ın %10'luk bir kapasite artışı sağladığını gösterir. Ancak, bu performans artışı sadece yüksek kullanıcı sayısında sınırlı kalmamıştır. Kullanıcı ve pilot sayısının 10 olduğu durumlarda, DOAPAS'ın kanal kapasitesi 1.74 birim olarak hesaplanmıştır. Bu, WCG-PD+SPRS'in 1.39 birimlik kapasitesiyle karşılaştırıldığında, DOAPAS'ın %25'lik önemli bir artış sunduğunu gösterir.

Bütün bu analitik bulgular, önerilen DOAPAS algoritmasının özellikle pilot sayısının daha az olduğu kısıtlı senaryolarda daha yüksek performans gösterdiğini doğrular niteliktedir. Bu durum, DOAPAS algoritmasının üstün performansını ve potansiyelini vurgular ve gelecek uygulamalar için bu algoritmanın daha fazla kullanımını teşvik etmektedir.

6. ÖNERİLEN PİLOT GÜÇ TAHSİSİ

6.1. LİTERATÜRDEKİ GÜÇ TAHSİS YÖNTEMLERİ

Klasik sistemlerde tek ya da birkaç antenin kullanıldığı durumlarda, gücün paylaşılması daha kolay bir uygulamaydı. Bu antenlere genellikle toplam güç aktarılmaktaydı. MIMO kapasitesinin artırılması için, toplam gücün verici antenlere en iyi şekilde tahsis edilmesi bir optimizasyon problemi olarak çözülmektedir [12]. Ancak bu optimizasyon probleminden önce, genellikle tüm antenlere eşit güç dağıtılırdı. Eşit pilot güç tahsisi (EPPA) olarak adlandırılan bu yöntem, CSI alıcıda bilinse de vericide bilinmeyen MIMO sistemlerde kullanılmaktadır [13]. Bu yöntem, düşük karmaşıklık sağlaması nedeniyle özellikle MIMO sistemlerin ilk zamanlarında tercih edilmiştir [14]. Ancak sınırlı güç kaynakları dikkate alındığında, her kullanıcıya eşit güç tahsis edilmesi etkili bir kullanımı garanti etmeyebilmektedir [15]. Bu nedenle farklı güç tahsis stratejileri geliştirilmiştir. Masif MIMO sistemlerinde, güç tahsisi algoritmaları ile çeşitli iyileştirmeler yapılabilmektedir. Bu sayede eşit güç tahsisinden daha farklı ve etkili stratejiler geliştirilebilmektedir.

Güç tahsisi algoritmaları farklı yaklaşımlarla gerçekleştirilmektedir. Bazı çalışmalar yalnızca pilot gücünü dikkate alırken [16], [17], diğerleri ise hem pilot hem de veri gücünü birlikte ele almaktadır [7]. Bu algoritmaların amacı, bir hücredeki tüm kullanıcılara en iyi veri çıktısını sağlamaktır. Ancak, çoğu masif MIMO çalışmasında tüm kullanıcılar eşit güçle iletim yapar. Fakat çoklu kullanıcı sistemlerinde, eşit güç tahsisi her zaman en iyi çözüm olmayabilir. Bu durumda, güç sınırı olan sistemlerde eşit güç tahsisi, enerji kaynağından tam olarak yararlanılmadığından en uygun bir çözüm değildir. Bu nedenle, su-doldurma pilot güç tahsisi (WF-PPA) algoritması optimum çözüm olarak kullanılmaktadır.

WF-PPA, masif MIMO sistemlerde kanal kapasitesini artırmak için yaygın olarak kullanılan bir güç tahsisi algoritmasıdır. Ancak, alıcının ve vericinin kanal durum bilgisinin mükemmel olarak bilindiği varsayımını gerektirir [18]. Amacı, daha yüksek kazançlı kanallara daha fazla güç vererek kapasiteyi artırmaktır [19]. Bu yöntem Lagrangian yöntemi kullanarak problemleri çözer [81]. Enerji verimliliğini artırmak için

yapılan bazı MIMO çalışmalarında kullanılmaktadır [21], [22]. Bununla birlikte, WF-PPA yalnızca iyi kanala sahip kullanıcıları iyileştirmekte ve diğer kullanıcıları göz ardı etmektedir. Bu nedenle, SINR'nin jacobian'ından dolayı bazı süreksizlik noktaları vardır ve daha iyi sonuçlar elde etmek için farklı yöntemler kullanılabilir.

Literatür taraması sonucunda aşağıdaki noktalar yeni bir pilot güç tahsisi algoritması yaklaşımının belirlenmesi açısından önemli olarak tespit edilmiştir:

- Çalışmalarda gözlemlenen önemli bir nokta, literatürde önerilen yöntemlerin sonuçları için simülasyonların küçük sayıdaki hücreler ile gerçekleştirilmesidir [7], [50]
- WF-PPA algoritmasının temelinde Lagrangian yöntemi kullanıldığından dolayı SINR'nin jacobian'ı nedeniyle su-doldurma algoritmasının süreksizliğinin olmasıdır [81]

Dolayısıyla, çok hücreli bir büyük MIMO sistemi için uygun olan ve WF-PPA algoritmasının düşük kaliteli kanal koşullarına sahip kullanıcıları ihmal etmesine karşı başka bir yaklaşım geliştirmeye odaklanılmıştır. Bu yeni güç tahsisi algoritması, dinamik bir yaklaşıma sahip olup, kullanıcıların SINR değerlerinin kutuplaştırılmasına dayanmaktadır. Bu önerilen algoritma, üstel ağırlıklı tabanlı dinamik pilot güç tahsis algoritması (EWD-PPA) olarak adlandırılır. Bu algoritma, sistemdeki toplam kapasiteyi artırmak için güç güncellemeleri sırasında her zaman kullanıcılardan en son SINR değerlerini alarak hücreleri güncelleyerek performansı iyileştirmeyi hedefler. EWD-PPA, güç güncellemeleri sırasında SINR farkının üssel bir işlevi kullanarak ağırlıkları hesaplar. Yeni güç tahsisi algoritması olan EWD-PPA'da kullanılan ağırlıklandırma fonksiyonu, herhangi bir gerçek sayı için tanımlanabilir ve her zaman belirli bir sayıya eşitlenebilir. Ek olarak, ağırlıklandırma işlevi belirli bir aralıkta olan güç değerlerine uygulanır; bu aralık $[\rho_{min}, \rho_{max}]$ olarak önceden belirlenir.

6.1.1. WF-PPA Algoritması

WF-PPA algoritması, özellikle Masif MIMO bağlamlarında kablosuz iletişim sistemlerinde güç tahsisi için kritik bir yaklaşımdır [82]. Algoritmanın temel mantığı, suyun farklı yüksekliklerdeki kapları nasıl dolduracağına benzer bir şekilde gücü tahsis etmektir, bu nedenle "Water-Filling" ismi verilmiştir. Yükleme linki güç tahsisi için Masif MIMO sistemlerinde, WF-PPA algoritması, bireysel kanal gerçekleştirmelerinin kalitesine dayalı olarak gücü verimli bir şekilde tahsis etme yeteneği nedeniyle geniş

6.2. ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Bu bölümde, önerilen pilot güç tahsisi algoritması hakkında dinamik bir yaklaşım sunulmuştur. Algoritmanın temel prensibi, her kullanıcının hücre başına ortalama SINR'dan farklı olduğu düşüncesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, SINR değerlerinin kutuplaştırılmasını amaçlamaktadır. Yani, iyi kanalların koşullarını daha da iyileştirmek ve kötü kanalların koşullarını daha da kötüleştirmektedir. Ancak, kötü kanallara sahip kullanıcıları tamamen ihmal etmek yerine, belirli bir hizmet kalitesi (QoS) seviyesini dikkate alarak $[\rho_{min}, \rho_{max}]$ aralığında bir tahsis yapılmaktadır.

Bu çalışmada, belirli kısıtlamalar altında toplam yukarı bağlantı ulaşılabilir oranı maksimum yapmak için güçleri verimli bir şekilde tahsis eden bir algoritma üzerinde durulmaktadır. Güç tahsisi optimizasyon problemi \mathbf{P} ve bunun kısıtlamaları aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$i \in [1, 2, \dots, L], k \in [1, 2, \dots, K]$$

$$\max \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K R_{ik}^u \Rightarrow \max \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K \rho_{ik} \zeta_{ik} \quad (6.1)$$

$$C_1: \sum_{k=1}^K \rho_{ik} \leq P_t \quad \forall i$$

$$C_2: \rho_{min} \leq \rho_{ik} \leq \rho_{max} \quad \forall i, k$$

Denklem (6.1) çözüldüğünde, kullanıcının pilot gücünün atandığı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, bu problemi çözmek için verilen kısıtlamalar altında optimize edilecek parametre ρ_{ik} 'dir. \mathbf{P} probleminin çözümü ile sistem kapasitesi artacaktır. Denklem (3.9)'da görüldüğü gibi, kapasitenin ifadesi SINR ile doğru orantılıdır. Bu nedenle amaç aynı zamanda SINR'ı açıkça arttırmaktır. SINR'ın basitleştirilmiş bir ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$SINR_{ik}^u = \rho_{ik} \zeta_{ik} \quad (6.2)$$

burada $\zeta_{ik} = \frac{\beta_{iik}^2}{\sum_{j \neq i} \rho_{jk} \beta_{ijk}^2}$ ifadesi Denklem (3.8)'den gelmektedir.

C1 kısıtlaması, yeni pilot güçlerin toplamının, her hücre için verilen toplam bütçe P_t 'den

büyük olamayacağını belirtir. Son kısıtlama C2 ise, pilot gücünün tanımlanan minimum ve maksimum güç değerleri aralığına dâhil edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Minimum ve maksimum güç değerleri [49]'daki gibi hesaplanmaktadır.

EWD-PPA yaklaşımında SINR değerleri tüm kullanıcılar için eşit güç tahsisi ile hesaplanarak başlamaktadır. Daha sonra pilot güç güncellemeleri gerçekleştirilmeye başlanmaktadır. Hücrenin ortalama SINR değeri ile kullanıcının bireysel SINR değerinin farkının üstel bir fonksiyon aracılığıyla ağırlıklandırma işlemi neticesinde yeni pilot güçlerinin ataması yapılmaktadır. Elde edilen yeni değerler toplamının toplam bütçe ile normalleştirilmesiyle birlikte verilen kısıtlar gerçekleştirilmektedir. EWD-PPA yaklaşımının temel adımları Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. EWD-PPA Algoritma adımları.

EWD-PPA Algoritması
Girdi: SINRs of equally power allocation
Çıktı: Optimized power values
Başlangıç Değerler:
1: $\rho_{ik} = \frac{P_t}{K}$
$SINR_{ik} = EPA_SINR_{ik}$
globalAvgSINR = mean(sum (EPA_SINR _{ik}))
2: for $i = L$ to 1 do
3: avgCell_SINR = mean (sum (SINR (i, :)))
$W_{ik} = 1$
4: for $k = K$ to 1 do
5: $sinr_dif = SINR (i, k) - avgCell_SINR$
$W_{ik} = 2^{sinr_dif}$
$\rho'_{ik} = W_{ik} * \rho_{ik}$
6: end for
7: $\rho'(\rho' < \rho_{min}) = \rho_{min}$
$\rho'(\rho' > \rho_{max}) = \rho_{max}$
8: $\rho'(i, :) = \frac{\rho'(i,:)}{\sum(\rho'(i,:))} * P_t$
9: (SINR (:, :))= SINR_calculation(ρ' , H)
avg sinr' = mean (sum (SINR'))
10: if avg sinr' > globalAvgSINR then
11: $\rho(i, :) = \rho'(i, :)$
globalAvgSINR= avg sinr'
$SINR = SINR'$
12: end if
13: end for
14: return ($\rho(L, K:)$)

Algoritma başlangıcında, tüm kullanıcılara eşit pilot güçleri dağıtılarak başlatılır. Eşit güçle atanmış tüm kullanıcıların SINR değerleri de kaydedilir. Sonrasında en dış hücrelerden başlanarak, her bir hücre içi kullanıcıların pilot güç değerleri optimize edilir. Bu husus, pilot kirliliği sorununu daha fazla girişim yaratma eğiliminde olan iç hücrelere doğru yönlendirmek için yapılır. Bu optimizasyonda, kullanıcıların SINR değerlerinin hücre içi ortalama SINR değeri ile olan farkları hesaplanır (Çizelge 6.1, 5.adım). Bu

farklar, pilot güç değerlerinin ne kadar değiştirileceğini belirlemeye yardımcı olur. Hesaplanan bu farklar 2'nin üstel fonksiyonu olarak alınır ve bu değerler tüm kullanıcılara bir ağırlık katsayısı olarak atanır. Sonrasında bu ağırlık katsayılarına göre tüm kullanıcıların pilot güç değerleri ağırlıklandırılarak tekrardan hesaplanır. Adım 7'de, yeni hesaplanan pilot değerlerinin minimum maksimum değerlerde sınırlandırılması garanti altına alınmıştır. Bu husus denklem (6.1)'deki C2 kısıtını sağlamak için yapılmaktadır. Adım 8' de ise hesaplanan yeni ağırlık değerlerinin toplamının (6.1)'deki C1 kısıtındaki P_t değerini geçmemesi sağlanmıştır. Adım 9' da i. hücredeki kullanıcılara atanan bu yeni pilot güç değerlerine göre, tüm sistemin ortalama SINR değeri yeniden hesaplanır. Eğer bu değer, globalAvg SINR 'dan büyük ise, i. hücredeki kullanıcıların pilot güç değerleri $\rho(i, :)$, $\rho'(i, :)$ değerler olarak güncellenir. Bu tarama L. hücre olan en iç kısımdaki hücreye kadar aynı şekilde devam etmektedir.

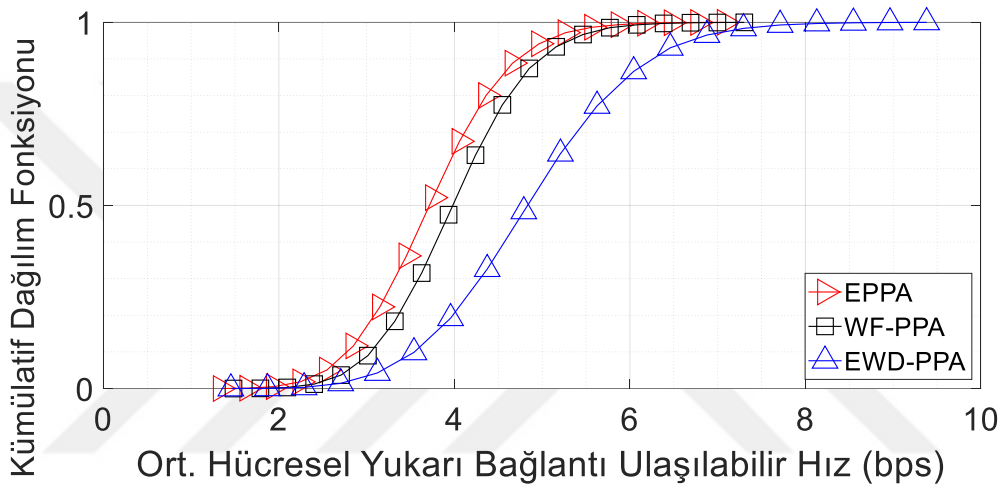
6.3. BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde, önerilen EWD-PPA yönteminin performansı, EPPA ve WF-PPA algoritmaları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. 10K simülasyon gerçekleştirilmiş ve Monte Carlo Metodolojisi kullanılarak istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Kullanıcıların konumları ve kanal durumları hesaplanırken bazı parametreler kullanılmıştır ve bunlar Çizelge 6.2'de belirtilmiştir.

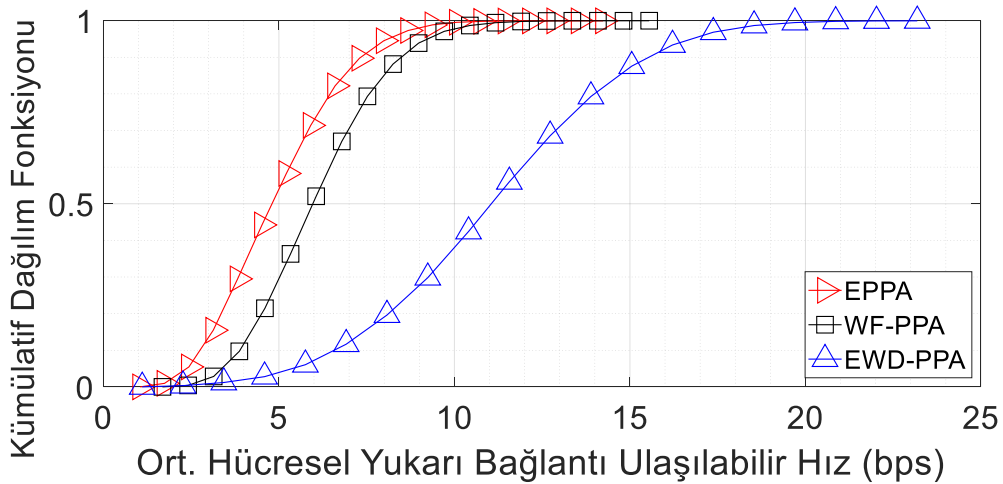
Çizelge 6.2. EWD-PPA Algoritması için temel benzetim parametreleri.

Parametre	Değer
Her hücre için kullanıcı sayısı	10
Her hücre için pilot sayısı	15
Hücre sayısı	19
BS'deki anten sayısı	1024
Hücre yarıçapı	1000 m
Baz istasyonlarına minimum mesafe	100 m
Sigma gölgeleme sönmülmesi	8 dBm
Yukarı bağlantı iletim gücü	15 dBm için $10^{15/10}$
Yukarı bağlantı pilot gücü	15 dBm için $10^{15/10}$

Çizelge 6.2’de görüldüğü üzere anten sayısı pilot ataması simülasyonlarından farklı olmak üzere 1024 kullanılmıştır. Bunun sebebi ise anten sayısı arttıkça; denklem (3.7) denklem (3.8)’e yakınsadığı daha iyi gösterebilmek içindir. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’te görüldüğü üzere Ort. Hücresele yukarı bağlantı değerleri farklı aralıklarda değişmektedir. Beta’ya göre $[0, 10]$ değişirken, h kanala göre $[0, 25]$ arasında değişmektedir. Bu durum 1024 anten sayısının, benzer değerleri elde etmek için yeterli olmadığı göstermektedir. Fakat her iki durumda da algoritma, optimizasyonlarını yaparken beta katsayılarına göre yapmaktadır. Bu durum, masif MIMO sistemler için beta ve h kanal katsayıları arasında çok ciddi bir tutarlılık olduğunu göstermektedir.

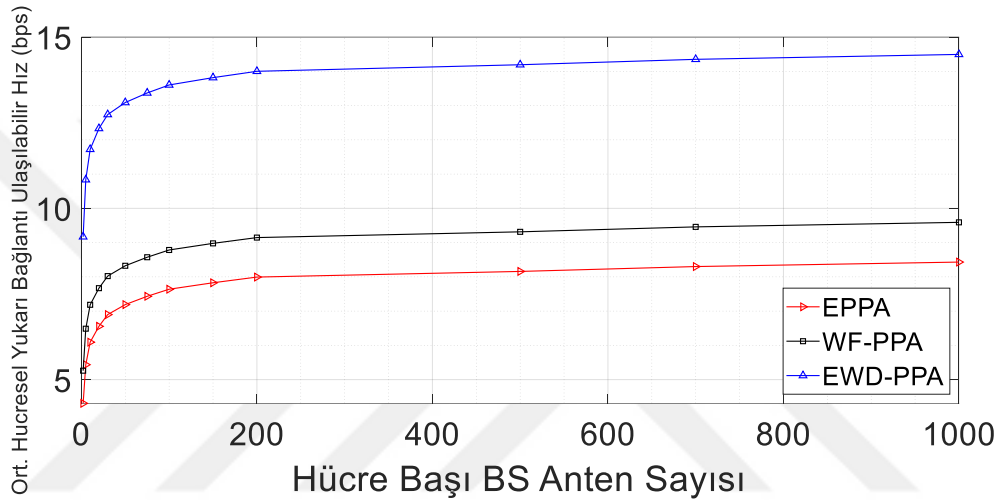


Şekil 6.2. Algoritmaların hücre başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hız CDF'lerinin karşılaştırması (beta (LSF) katsayısına göre).

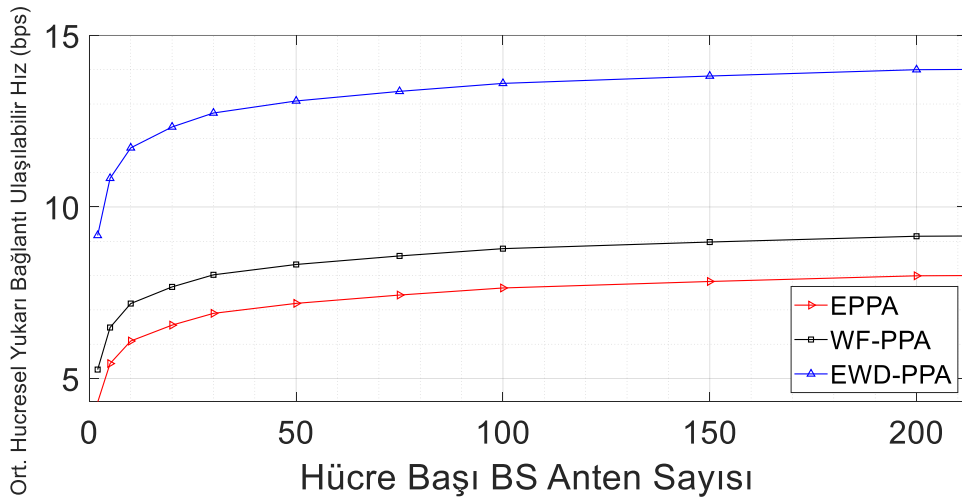


Şekil 6.3. Algoritmaların hücre başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hız CDF'lerinin karşılaştırması (h kanala göre).

Şekil 6.2 ve Şekil 6.3, bu çalışmada önerilen sistemdeki hücre başına yukarı bağlantı ulaşılabilir toplam oranının kümülatif dağılım fonksiyonunu (CDF) EPPA ve WF-PPA algoritmaları ile birlikte göstermektedir. Bu grafik, önerilen yaklaşımın diğer algoritmalara kıyasla önemli bir toplam oran artışı sağlayabileceğini açıkça göstermektedir. Ayrıca, aynı CDF değeri için SINR'lara göre sıralama, $EPPA < WF-PPA < EWD-PPA$ şeklindedir. Yani, önerilen EWD-PPA CDF değerine göre diğer algoritmalarından çok daha fazla kanal kapasitesi sağlamaktadır.



Şekil 6.4. Algoritmaların her bir BS'deki anten sayısı M ile hücre başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hız oranının karşılaştırması.



Şekil 6.5. Algoritmaların her bir BS'deki anten sayısı $M < 200$ ile hücre başına ortalama yukarı bağlantı ulaşılabilir hız oranının karşılaştırması.

Söz konusu algoritma yaklaşımı, değişen baz istasyonlarındaki anten sayılarına bağlı olarak her hücre için ortalama yukarı bağlantı elde edilebilir oranını iyileştirdiğinden bahsedilmiştir. Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 önerilen yaklaşımın diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek bir erişilebilirlik oranı sunarak daha iyi bir performans sergilediğini açıkça göstermektedir. Önerilen algoritmanın performansı, anten sayısı arttıkça diğer algoritmaların performansı ile karşılaştırıldığında daha da belirgin bir şekilde farklılaşmaktadır.

Tüm simülasyon sonuçları, EWD-PPA algoritmasının üstün performansına işaret etmektedir. Bu durum sayısal olarak, beta katsayılarına göre ortalama kanal kapasitesi EPPA: 3.91, WF-PPA: 4.18 ve EWD-PPA: 5.21 şeklinde gerçekleşmiştir. Aynı simülasyon ortamında h kanal katsayılarına göre ise EPPA: 5.97, WF-PPA: 7.10 ve EWD-PPA: 13.98 şeklinde hesaplanmıştır. EWD-PPA algoritması WF-PPA'ya göre ortalamada %25'lik bir kapasite sağlarken; EPPA göre ise ortalamada %33' lük ciddi bir artış sağlamıştır.

Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te görüldüğü üzere, anten 1024 olduğu durumda, Beta ve h kanal katsayılarına göre SINR hesaplamaları (denklem (3.7) ve denklem (3.8)) tam olarak yakınsamadığı gözlemlenmiştir. Bu durumda, Çizelge 6.2'de parametreleri belirtilen masif MIMO sistemler için daha fazla anten kullanılması gerektiği, bu deneylerde gösterilmiştir. Bu farklılıkta denklem (3.7)'deki h kanal katsayısına göre SINR hesaplanırken, eklenebilir Gaussian gürültü etkisi de etkili olmuş olabilir. Fakat Beta ve h kanal katsayıları arasında SINR hesaplamasında ciddi bir tutarlılık olduğu da yine bu çalışma sayesinde gösterilmiştir. EWD-PPA algoritması güç tahsislerini hızlı bir şekilde güncellemek için SINR hesabında Beta katsayılarını kullanmıştır. Atanan pilot güç değerleri hem Beta hem h kanal katsayılarına göre hesaplandığında, algoritmanın öngördüğü gibi daha optimal güç değerleri hesaplayabilmektedir.

6.4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu bölümde, toplam yukarı bağlantı elde edilebilir oranını artırmak için yeni ve oldukça etkili bir pilot güç tahsisi algoritma yaklaşımı ele alınmıştır. Sunulan yaklaşım, optimal güç tahsislerini belirlemek için SINR farkının üstel fonksiyonunu kullanmaktadır. Ağırlıkların yenilenmesi sürecinde, her bir hücre, güncellenen kullanıcıların önceki hücrelerin pilot güçleriyle optimize edilirken, SINR farkının üstel fonksiyonundan

yararlanan önerilen yaklaşımın optimal ağırlıkları kullanılmaktadır. Bu stratejinin, EPPA ve WF-PPA yöntemleri gibi literatürdeki diğer yaygın yaklaşımlardan daha üstün bir performans sergilediği, benzetim sonuçları ile açıkça gösterilmiştir. Ayrıca beta katsayılarının anten sayısı arttıkça h kanal katsayılar vektörüne göre hesaplanan SINR değerine yakınsadığını göstermek amacıyla hem beta hem de h kanal katsayılar vektörüne göre SINR hesabı yapılmıştır.



7. SONUÇ

Gelecek nesil kablosuz iletişim teknolojilerinin odaklanması gereken konular arasında pilot verimliliği ve güç tahsisi yer almaktadır. Nesnelerin interneti sistemlerinin hızla gelişmesiyle birlikte birbirleriyle haberleşen ve veri alışverişi yapan cihazların sayısının artması, otonom sistemlerin kullanımının yaygınlaşması gibi durumlar, spektrumun etkili kullanılması için pilot verimliliği yaklaşımının benimsenmesini gerektirir. Özellikle 5G ve sonrası kablosuz haberleşme teknolojilerinde artan çeşitli taleplere karşılık verilmesi kaçınılmaz bir durumdur. Ayrıca, enerjinin daha etkin ve verimli kullanılması konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, kablosuz iletişim teknolojilerinin artan talepleri karşılamak için daha çevre dostu ve enerjiyi en etkin bir şekilde kullanan sistemler haline getirilmesini amaçlamaktadır. Dolayısıyla, pilot verimliliği odaklı yaklaşımlar, spektrum verimliliği ile birlikte gelecek nesil kablosuz iletişim teknolojileri için uygun güç tahsisinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır

Bu tez çalışması, Masif MIMO'da pilot kirliliği sorununu çözmek için yeni iki farklı yaklaşım sunar: optimize edilmiş kapsamlı arama ve dinamik programlama algoritmalarının birleşimiyle oluşan bir optimizasyon tabanlı pilot atama algoritması (DOAPAS) kullanarak, kullanıcıların kanallarındaki değişikliklere dinamik ve optimal olarak yanıt verir. Diğer yaklaşım olan EWD-PPA ise pilot güç tahsisinde ortalama SINR değeri ile arasındaki farkın üstel olarak ağırlıklandırarak güç tahsisi yapmaktadır. Bu iki yaklaşım da kümülatif ortalama SINR değerindeki artışı hedefleyerek optimize etmektedirler. Bu nedenle, bu algoritmalar her zaman daha optimize edilmiş pilot atamalarıyla ve güç tahsisleri sağlamaktadırlar. DOAPAS yaklaşımı ile bu çalışmadaki en iyi 2.algoritma olan WCG-PD+SPRS ile kıyaslandığında 15 pilot için %10 kanal kapasitesi artırımı sağlamıştır. Bu kazanç daha ekstrem bir durum olan 10 pilot kullanımında ise %25 olmuştur. Diğer taraftan EWD-PPA, EPPA algoritmasına kıyasla %33 daha fazla kanal kapasitesi sağlamıştır. Bu durum, WF-PPA ile kıyaslandığında yine %25'lik bir artış gözlemlenmiştir.

Ayrıca, gerçek hayatta kullanılan hücre ve kullanıcı sayılarına daha yakın olan 19 hücre ve 10 kullanıcı ile benzetimler gerçekleştirilmiştir. Bu da benzetimlerin gerçek hayattakine daha benzer sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmanın önemi, kablosuz iletişimde pilot kirliliğinin önemli bir sorun olması nedeniyle, Masif MIMO sistemi gibi yeni nesil kablosuz iletişim teknolojilerinin daha etkili hale getirilmesine yardımcı olabilmesidir. Bu yaklaşımlar, pilot atamalarının ve güç tahsislerinin dinamik olarak optimize edilmesine olanak tanıyarak, sistem performansını artırabilirler. Bu performans artışı, daha yüksek veri hızları ve daha az gecikme süresi olarak değerlendirilebilir. Bu durumda da daha iyi bir kullanıcı deneyimi olarak kullanıcıya yansımaktadır.

Güç tahsisi yaklaşımında yapılan gerçek sistemlere yakın benzetim sonuçları ise önerilen EWD-PPA algoritmasının üstün performansına işaret etmektedir. Bu durum sayısal olarak, beta katsayılarına göre ortalama kanal kapasitesi EPPA: 3.91, WF-PPA: 4.18 ve EWD-PPA: 5.21 şeklinde gerçekleşmiştir. EWD-PPA algoritması WF-PPA'ya göre ortalamada %25'lik bir kapasite sağlarken; EPPA göre ise ortalamada %33' lük ciddi bir artış sağlamıştır. Ayrıca beta katsayılarının anten sayısı arttıkça h kanal katsayılarına göre hesaplanan SINR değerine yakınsadığını göstermek amacıyla hem beta hem de h kanal katsayıları vektörüne göre SINR hesabı yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu 1024 anten sayısının daha artırılması durumunda SINR değerlerinin birbirlerine yakınsayacağını göstermektedir. Ayrıca önerilen EWD-PPA algoritmasında, tüm optimizasyonlar beta katsayılarına göre yapıldığında, algoritmaların SINR performansları beta ve h kanal katsayılarına göre yapıldığında benzer şekilde çıktığı sonuçlarda gözlemlenmiştir. Bu durum, masif MIMO sistemlerde anten sayısı yeterince büyük olmadığı durumlarda bile beta ve h kanal katsayılar vektörü arasında ciddi bir korelasyon ve lineer bağımlılık olduğunu teyit etmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, bu çalışmanın optimizasyon kısmı Derin Q Ağı (DQN), Asenkron Avantaj Aktör-Kritik Algoritma (A3C) ve Derin Deterministik Politika Gradyan (DDPG) gibi Güçlendirme Öğrenme teknikleri kullanılarak modellenmesi planlanmaktadır.

8. KAYNAKLAR

- [1] W. Yuan, X. Yang, ve R. Xu, “A Novel Pilot Decontamination Scheme for Uplink Massive MIMO Systems”, *Procedia Computer Science*, c. 131, ss. 72–79, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.04.187.
- [2] K. Kim, J. Lee, ve J. Choi, “Deep Learning Based Pilot Allocation Scheme (DL-PAS) for 5G Massive MIMO System”, *IEEE Communications Letters*, c. 22, sayı 4, ss. 828–831, Nis. 2018, doi: 10.1109/LCOMM.2018.2803054.
- [3] G. O. Young, “Synthetic Structure of Industrial Plastics (Book Style with Paper Title and Editor)”, *In J. Peters, Ed., Plastics, McGraw-Hill.*, [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=964743](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=964743) (erişim 01 Mayıs 2023).
- [4] T. Karadağ, A. R. Özdemir, ve T. Abbasov, “Seçilmiş Bir Pilot Bölgede Uzun Süreli ve Sürekli Elektromanyetik Kirlilik Seviyelerinin Ölçülmesi ve Haritalanması”, *dergipark.org.tr*, c. 2, sayı 3, ss. 239–246, 2014.
- [5] R. Chataut ve R. Akl, “Massive MIMO systems for 5G and beyond networks—overview, recent trends, challenges, and future research direction”, *MDPI - Sensors (Switzerland)*, c. 20, sayı 10. s. 2753, 2020. doi: 10.3390/s20102753.
- [6] H. Q. Ngo, E. G. Larsson, ve T. L. Marzetta, “Energy and spectral efficiency of very large multiuser MIMO systems”, *IEEE Transactions on Communications*, c. 61, sayı 4, ss. 1436–1449, 2013, doi: 10.1109/TCOMM.2013.020413.110848.
- [7] O. Saatlou, M. O. Ahmad, ve M. N. S. Swamy, “Joint Data and Pilot Power Allocation for Massive MU-MIMO Downlink TDD Systems”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, c. 66, sayı 3, ss. 512–516, Mar. 2019, doi: 10.1109/TCSII.2018.2866111.
- [8] Y. Sun, J. Wang ve L. He, “Spectral Efficiency Enhancement With Power Allocation for Massive SC-SM MIMO Uplink”, *IEEE Communications Letters*, c. 22, sayı 1, ss. 101-104, Ocak 2018, doi: 10.1109/LCOMM.2017.2734099.
- [9] C. D. Ho, H. Q. Ngo, M. Matthaiou ve L. D. Nguyen, “Power Allocation for Multi-

- Way Massive MIMO Relaying”, *IEEE Transactions on Communications*, c. 66, sayı 10, ss. 4457-4472, Eki. 2018, doi: 10.1109/TCOMM.2018.2839608.
- [10] W. Cheng, H. Zhang, L. Liang, H. Jing ve Z. Li, “Orbital-Angular-Momentum Embedded Massive MIMO: Achieving Multiplicative Spectrum-Efficiency for mmWave Communications”, *IEEE Access*, c. 6, ss. 2732-2745, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2785125.
- [11] O. Saatlou, M. O. Ahmad ve M. N. S. Swamy, “Spectral Efficiency Maximization for Massive Multiuser MIMO Downlink TDD Systems via Data Power Allocation with MRT Precoding”, *IEEE 86th Vehicular Technology Conference, VTC-Fall 2017*, Toronto, ON, Canada, 2017, ss. 1-5, doi: 10.1109/VTCFall.2017.8288018.
- [12] R. S. Kshetrimayum, *Fundamentals of MIMO Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2017.
- [13] S. A. Nezamalhoseini ve L. R. Chen, “Optimal power allocation for mimo underwater wireless optical communication systems using channel state information at the transmitter”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, c. 46, sayı 1, 2021, doi: 10.1109/JOE.2019.2963551.
- [14] F. Tan, H. Chen, F. Zhao, ve X. Li, “Energy-efficient power allocation for massive MIMO-enabled multi-way AF relay networks with channel aging”, *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, c. 2018, sayı 1, 2018, doi: 10.1186/s13638-018-1222-2.
- [15] P. Gandotra ve R. K. Jha, “A survey on green communication and security challenges in 5G wireless communication networks”, *Journal of Network and Computer Applications*, c. 96. 2017. doi: 10.1016/j.jnca.2017.07.002.
- [16] H. T. Dao ve S. Kim, “Pilot power allocation for enhancing channel estimation quality in multi-cell multi-user massive MIMO systems”, *Proceedings of 2019 25th Asia-Pacific Conference on Communications, APCC 2019*, 2019. doi: 10.1109/APCC47188.2019.9026526.
- [17] C. D. Ho, H. Q. Ngo, ve M. Matthaiou, “Pilot Assignment and Power Allocation for Multipair Massive MIMO DF Relaying Networks”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, c. 69, sayı 7, 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.2991018.
- [18] Y. Lu ve W. Zhang, “Water-filling capacity analysis in large MIMO systems”,

- çinde *2013 Computing, Communications and IT Applications Conference, ComComAp 2013*, 2013. doi: 10.1109/ComComAp.2013.6533633.
- [19] P. He, L. Zhao, ve B. Venkatesh, “Novel Water-Filling for Maximum Throughput of Power Grid, MIMO, and Energy Harvesting Coexisting System with Mixed Constraints”, *IEEE Transactions on Communications*, c. 65, sayı 2, 2017, doi: 10.1109/TCOMM.2016.2638907.
- [20] J. Joung ve E. R. Jeong, “Multiuser Space-Time Line Code with Optimal and Suboptimal Power Allocation Methods”, *IEEE Access*, c. 6, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2869940.
- [21] J. Xu ve L. Qiu, “Energy efficiency optimization for MIMO broadcast channels”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, c. 12, sayı 2, 2013, doi: 10.1109/TWC.2012.122212.120086.
- [22] L. Sboui, Z. Rezki, ve M. S. Alouini, “Energy-Efficient Power Allocation for Underlay Cognitive Radio Systems”, *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, c. 1, sayı 3, 2015, doi: 10.1109/TCCN.2015.2488622.
- [23] W. Boukley Hasan, P. Harris, A. Doufexi ve M. Beach, “Real-Time Maximum Spectral Efficiency for Massive MIMO and its Limits”, *IEEE Access*, c. 6, ss. 46122-46133, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2866094.
- [24] J. Li, D. Wang, P. Zhu, J. Wang ve X. You, “Downlink Spectral Efficiency of Distributed Massive MIMO Systems With Linear Beamforming Under Pilot Contamination”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, c. 67, sayı 2, ss. 1130-1145, Şub. 2018, doi: 10.1109/TVT.2017.2733532.
- [25] W. Tan, D. Xie, J. Xia, W. Tan, L. Fan, ve S. Jin, “Spectral and energy efficiency of massive MIMO for hybrid architectures based on phase shifters”, *IEEE Access*, c. 66, ss. 11751–11759, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2796571.
- [26] B. Wang, L. Dai, Z. Wang, N. Ge ve S. Zhou, “Spectrum and Energy-Efficient Beamspace MIMO-NOMA for Millimeter-Wave Communications Using Lens Antenna Array”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 35, sayı 10, ss. 2370-2382, Eki. 2017, doi: 10.1109/JSAC.2017.2725878.
- [27] Y. Li, P. Fan, A. Leukhin ve L. Liu, “On the Spectral and Energy Efficiency of

- Full-Duplex Small-Cell Wireless Systems With Massive MIMO”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, c. 66, sayı 3, ss. 2339-2353, Mart 2017, doi: 10.1109/TVT.2016.2577636.
- [28] C. D. Ho, H. Q. Ngo, M. Matthaiou ve T. Q. Duong, “On the Performance of Zero-Forcing Processing in Multi-Way Massive MIMO Relay Networks”, *IEEE Communications Letters*, c. 21, sayı 4, ss. 849-852, Nis. 2017, doi: 10.1109/LCOMM.2017.2648795.
- [29] X. Wang, D. Zhang, K. Xu, ve W. Ma, “On the energy/spectral efficiency of multi-user full-duplex massive MIMO systems with power control”, *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, c. 2017, sayı 1, Ara. 2017, doi: 10.1186/S13638-017-0864-9.
- [30] Z. Zhang, Z. Chen, M. Shen ve B. Xia, “Spectral and Energy Efficiency of Multipair Two-Way Full-Duplex Relay Systems With Massive MIMO”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 34, sayı 4, ss. 848-863, Nis. 2016, doi: 10.1109/JSAC.2016.2544458.
- [31] G. Lee ve Y. Sung, “A new approach to user scheduling in massive multi-user MIMO broadcast channels”, *IEEE Transactions on Communications*, c. 66, sayı 4, ss. 1481–1495, 2018, doi: 10.1109/TCOMM.2017.2786670.
- [32] M. Kuerbis, N. Balasubramanya, L. Lampe, ve A. Lampe, “User scheduling in massive MIMO systems with a large number of devices”, *IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2017. doi: 10.1109/PIMRC.2017.8292733.
- [33] X. Chen, F. -K. Gong, H. Zhang ve G. Li, “Cooperative User Scheduling in Massive MIMO Systems”, *IEEE Access*, c. 6, ss. 21910-21923, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2828403.
- [34] C. K. Wen, S. Jin, K. K. Wong, J. C. Chen, ve P. Ting, “Channel Estimation for Massive MIMO Using Gaussian-Mixture Bayesian Learning”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, c. 14, sayı 3, 2015, doi: 10.1109/TWC.2014.2365813.
- [35] S. L. H. Nguyen ve A. Ghrayeb, “Compressive sensing-based channel estimation for massive multiuser MIMO systems”, *IEEE Wireless Communications and*

- Networking Conference, WCNC*, 2013. doi: 10.1109/WCNC.2013.6555020.
- [36] H. Wang, L. Yang, H. Zhu, ve Y. Fu, “Pilot contamination reduction based on MSE performance of channel estimation”, *International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP 2015*, 2015. doi: 10.1109/WCSP.2015.7341048.
- [37] Shiqi Jiang, Ting Long, ve Shuo Ma, “Pilot contamination reduction based on improved power control in M-MIMO systems”, *11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015)*, Institution of Engineering and Technology, 2015, ss. 6 .-6 . doi: 10.1049/cp.2015.0705.
- [38] W. A. W. M. Mahyiddin, P. A. Martin, ve P. J. Smith, “Pilot contamination reduction using time-shifted pilots in finite massive mimo systems”, *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2014. doi: 10.1109/VTCFall.2014.6966130.
- [39] K. Appaiah, A. Ashikhmin, ve T. L. Marzetta, “Pilot Contamination Reduction in Multi-User TDD Systems”, *IEEE International Conference on Communications*, IEEE, May. 2010, ss. 1–5. doi: 10.1109/ICC.2010.5502810.
- [40] K. Upadhyaya, S. A. Vorobyov, ve M. Vehkaperä, “Superimposed pilots: An alternative pilot structure to mitigate pilot contamination in massive MIMO”, *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2016. doi: 10.1109/ICASSP.2016.7472301.
- [41] K. Upadhyaya, S. A. Vorobyov, ve M. Vehkaperä, “Superimposed Pilots Are Superior for Mitigating Pilot Contamination in Massive MIMO”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2017. doi: 10.1109/TSP.2017.2675859.
- [42] S. Lin, K. Huang, W. Luo, ve Y. Zou, “Analysis of pilot contamination on the security performance of artificial noise in MIMO systems”, *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2015. doi: 10.1109/VTCSpring.2015.7145701.
- [43] O. Elijah, Chee Yen Leow, A. R. Tharek, S. Nunoo, ve S. Z. Iliya, “Mitigating pilot contamination in massive MIMO system — 5G: An overview”, *10th Asian Control Conference (ASCC)*, IEEE, May. 2015, ss. 1–6. doi: 10.1109/ASCC.2015.7244441.
- [44] M. A. Latif Sarker ve M. H. Lee, “A fast channel estimation and the reduction of

- pilot contamination problem for massive MIMO based on a diagonal jacket matrix”, *4th International Workshop on Fiber Optics in Access Network, FOAN 2013*, 2013. doi: 10.1109/FOAN.2013.6648821.
- [45] A. Alkhateeb, G. Leus, ve R. W. Heath, “Limited Feedback Hybrid Precoding for Multi-User Millimeter Wave Systems”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, c. 14, sayı 11, 2015, doi: 10.1109/TWC.2015.2455980.
- [46] V. Saxena, “Pilot Contamination and Mitigation Techniques in Massive MIMO Systems”, Lund university, 2014. doi: 10.13140/RG.2.1.4687.2721.
- [47] D. C. Araújo, T. Maksymyuk, A. L. F. de Almeida, T. Maciel, J. C. M. Mota, ve M. Jo, “Massive MIMO: Survey and future research topics”, *IET Communications*, c. 10, sayı 15, 2016, doi: 10.1049/iet-com.2015.1091.
- [48] M. M. Badr, M. M. Fouda, ve A. S. T. Eldien, “A novel vision to mitigate pilot contamination in massive MIMO-based 5G networks”, *Proceedings of 2016 11th International Conference on Computer Engineering and Systems, ICCES 2016*, 2017. doi: 10.1109/ICCES.2016.7822031.
- [49] P. Liu, S. Jin, T. Jiang, Q. Zhang, ve M. Matthaiou, “Pilot Power Allocation Through User Grouping in Multi-Cell Massive MIMO Systems”, *IEEE Transactions on Communications*, c. 65, sayı 4, ss. 1561–1574, Nis. 2017, doi: 10.1109/TCOMM.2016.2645767.
- [50] H. T. Dao ve S. Kim, “Pilot power allocation for maximising the sum rate in massive MIMO systems”, *IET Communications*, c. 12, sayı 11, ss. 1367–1372, Tem. 2018, doi: 10.1049/IET-COM.2017.1407.
- [51] B. Zid ve R. Kosai, “Multi User MIMO Communication: Basic Aspects, Benefits and Challenges”, *Recent Trends in Multi-user MIMO Communications*, 2013. doi: 10.5772/57133.
- [52] M. A. Albreem, M. Juntti, ve S. Shahabuddin, “Massive MIMO Detection Techniques: A Survey”, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, c. 21, sayı 4, ss. 3109–3132, Eki. 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2935810.
- [53] L. B. Le vd., “Enabling 5G mobile wireless technologies”, *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*. 2015. doi: 10.1186/s13638-015-0452-9.

- [54] H. R. Wang, Y. H. Wang, Y. M. Huang, ve L. X. Yang, “Pilot contamination reduction in very large MIMO cellular network”, *Tongxin Xuebao/Journal on Communications*, 2014, doi: 10.3969/j.issn.1000-436x.2014.01.004.
- [55] J. Zuo, J. Zhang, C. Yuen, W. Jiang, ve W. Luo, “Energy-efficient downlink transmission for multicell massive DAS with pilot contamination”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2017, doi: 10.1109/TVT.2016.2555842.
- [56] O. Elijah, C. Y. Leow, T. A. Rahman, S. Nunoo, ve S. Z. Iliya, “A Comprehensive Survey of Pilot Contamination in Massive MIMO-5G System”, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, c. 18, sayı 2, 2016, doi: 10.1109/COMST.2015.2504379.
- [57] E. Björnson, J. Hoydis, M. Kountouris, ve M. Debbah, “Massive MIMO systems with non-ideal hardware: Energy efficiency, estimation, and capacity limits”, *IEEE Transactions on Information Theory*, c. 60, sayı 11, ss. 7112–7139, 2014, doi: 10.1109/TIT.2014.2354403.
- [58] A. H. Alqahtani, A. I. Sulyman, ve A. Alsanie, “Rateless space-time block code for mitigating pilot contamination effects in multi-cell massive MIMO system with lossy links”, *IET Communications*, c. 10, sayı 16, 2016, doi: 10.1049/iet-com.2016.0283.
- [59] F. Kaltenberger, H. Jiang, M. Guillaud, ve R. Knopp, “Relative channel reciprocity calibration in MIMO/TDD systems”, *Future Network and Mobile Summit*, 2010.
- [60] T. L. Marzetta, “Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2010, doi: 10.1109/TWC.2010.092810.091092.
- [61] J. Jose, A. Ashikhmin, T. L. Marzetta, ve S. Vishwanath, “Pilot contamination and precoding in multi-cell TDD systems”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2011, doi: 10.1109/TWC.2011.060711.101155.
- [62] J. Hoydis, S. Ten Brink, ve M. Debbah, “Massive MIMO in the UL/DL of cellular networks: How many antennas do we need?”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 31, sayı 2, ss. 160–171, 2013, doi: 10.1109/JSAC.2013.130205.
- [63] H. Yin, D. Gesbert, M. Filippou, ve Y. Liu, “A coordinated approach to channel

- estimation in large-scale multiple-antenna systems”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 31, sayı 2, 2013, doi: 10.1109/JSAC.2013.130214.
- [64] J. Zuo, J. Zhang, C. Yuen, W. Jiang, ve W. Luo, “Multicell Multiuser Massive MIMO Transmission with Downlink Training and Pilot Contamination Precoding”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, c. 65, sayı 8, 2016, doi: 10.1109/TVT.2015.2475284.
- [65] J. Zuo, J. Zhang, C. Yuen, W. Jiang, ve W. Luo, “Energy Efficient User Association for Cloud Radio Access Networks”, *IEEE Access*, c. 4, ss. 2429–2438, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2566338.
- [66] H. Holma, S. Heikkinen, O. A. Lehtinen, ve A. Toskala, “Interference considerations for the time division duplex mode of the UMTS Terrestrial Radio Access”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 18, sayı 8, 2000, doi: 10.1109/49.864004.
- [67] D. Ha, K. Lee, ve J. Kang, “Energy efficiency analysis with circuit power consumption in massive MIMO systems”, *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*, ss. 938–942, 2013, doi: 10.1109/PIMRC.2013.6666272.
- [68] H. Yang ve T. L. Marzetta, “Total energy efficiency of cellular large scale antenna system multiple access mobile networks”, *2013 IEEE Online Conference on Green Communications, OnlineGreenComm 2013*, ss. 27–32, 2013, doi: 10.1109/ONLINEGREENCOM.2013.6731024.
- [69] H. Q. Ngo, E. G. Larsson ve T. L. Marzetta, “Energy and Spectral Efficiency of Very Large Multiuser MIMO Systems”, *IEEE Transactions on Communications*, c. 61, sayı 4, ss. 1436-1449, Nisan 2013, doi: 10.1109/TCOMM.2013.020413.110848.
- [70] E. Björnson, M. Matthaiou ve M. Debbah, “Massive MIMO with Non-Ideal Arbitrary Arrays: Hardware Scaling Laws and Circuit-Aware Design”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, c. 14, sayı 8, ss. 4353-4368, Ağus. 2015, doi: 10.1109/TWC.2015.2420095.
- [71] A. Pitarokoilis, S. K. Mohammed, ve E. G. Larsson, “Uplink performance of time-reversal MRC in Massive MIMO systems subject to phase noise”, *IEEE*

- Transactions on Wireless Communications*, c. 14, sayı 2, ss. 711–723, 2014, doi: 10.1109/TWC.2014.2359018.
- [72] H. Huh, G. Caire, H. C. Papadopoulos ve S. A. Ramprasad, “Achieving "Massive MIMO" Spectral Efficiency with a Not-so-Large Number of Antennas”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, c. 11, sayı 9, ss. 3226-3239, September 2012, doi: 10.1109/TWC.2012.070912.111383.
- [73] Y. Li, Y. Nam, B. Ng, ve J. Zhang, “A non-asymptotic throughput for massive MIMO cellular uplink with pilot reuse”, *2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2012, doi: 10.1109/GLOCOM.2012.6503827.
- [74] M. Li, S. Jin, ve X. Gao, “Spatial orthogonality-based pilot reuse for multi-cell massive MIMO transmission”, *International Conference on Wireless Communications and Signal Processing*, 2013, doi: 10.1109/WCSP.2013.6677139.
- [75] F. Fernandes, A. Ashikhmin, ve T. L. Marzetta, “Inter-Cell Interference in Noncooperative TDD Large Scale Antenna Systems”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 31, sayı 2, ss. 192–201, Şub. 2013, doi: 10.1109/JSAC.2013.130208.
- [76] X. Zhu vd., “Soft Pilot Reuse and Multi-Cell Block Diagonalization Precoding for Massive MIMO Systems”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, c. 65, sayı 5, ss. 3285–3298, Tem. 2015, doi: 10.1109/TVT.2015.2445795.
- [77] X. Zhu, Z. Wang, L. Dai, ve C. Qian, “Smart Pilot Assignment for Massive MIMO”, *IEEE Communications Letters*, c. 19, sayı 9, ss. 1644–1647, Eyl. 2015, doi: 10.1109/LCOMM.2015.2409176.
- [78] X. Zhu, L. Dai, Z. Wang, ve X. Wang, “Weighted-Graph-Coloring-Based Pilot Decontamination for Multicell Massive MIMO Systems”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, c. 66, sayı 3, ss. 2829–2834, Mar. 2017, doi: 10.1109/TVT.2016.2572203.
- [79] A. K. Mishra ve S. Prof. Gaur, “Review of the Pilot Contamination Problem for Massive MIMO and Possible Solution”, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, c. 5, sayı 7, ss. 538–541, Tem. 2016, doi: 10.5281/ZENODO.57041.

- [80] N. Mehrotra ve A. K. Chaubey, “Pilot contamination effect in massive MIMO and analysis of mitigation techniques”, *International Journal of New Technology and Research*, c. 3, sayı 2, ss. 19–23, 2017.
- [81] J. Joung ve E.-R. Jeong, “Multiuser Space–Time Line Code With Optimal and Suboptimal Power Allocation Methods”, *IEEE Access*, c. 6, ss. 51766–51775, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2869940.
- [82] T. L. Marzetta, E. G. Larsson, H. Yang, ve H. Q. Ngo, *Fundamentals of Massive MIMO*. 2016. doi: 10.1017/cbo9781316799895.
- [83] J. G. Andrews *vd.*, “What will 5G be?”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 32, sayı 6, 2014, doi: 10.1109/JSAC.2014.2328098.
- [84] Q. H. Spencer, A. L. Swindlehurst, ve M. Haardt, “Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, c. 52, sayı 2, 2004, doi: 10.1109/TSP.2003.821107.
- [85] B. Ottersten ve M. Bengtsson, “Optimum and Suboptimum Transmit Beamforming”, *Handbook of Antennas in Wireless Communications*, 2001, ss. 18–33. doi: 10.1201/9781420042146.ch18.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammet PAKYÜREK

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Müh.	Düzce Üniversitesi	2023
Y. Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Kontrol ve Otomasyon Müh.	İstanbul Teknik Üniversitesi	2008
Lise		Isparta Fen Lisesi	2003

YAYINLAR

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler (SCI, SSCI, Arts and Humanities)

Pakyurek M., Kulaç, S., 2023. A Dynamic Optimization based Algorithm Pilot Assignment in Massive MIMO. Journal of Information Science and Engineering, 39(6)

Dikmen O., Pakyurek M., ve Kulac S., 2023. A novel pilot power allocation method based on energy efficiency maximization in massive MIMO systems for future generation wireless technologies. Int J Commun Syst. 36(3):e5384. doi:10.1002/dac.5384

Pakyurek M., **Dikmen O., ve Kulaç S.,** 2022. Exponentially-Weighted Based Dynamic Pilot Power Allocation in Massive MIMO Systems. Journal of Traitementdu Signal 39(1) pp:627-631

Pakyurek M., **Atmis M., ve Kulaç S., ve Uludag U.,** 2020. Extraction of Novel Features Based on Histograms of MFCCs Used in Emotion Classification from Generated Original Speech Dataset. Research Journal Elektronika ir Elektrotehnika 26(1)

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

Pakyurek M., Atmis M., **Kulaç S.**, ve Uludag U., 2019. Extraction of Novel Features Based on Histograms of MFCCs Used in Emotion Classification from Generated Original Speech Dataset. IEEE Lithuania Section 23rd International Conference Electronics 2019, PALANGA, LITHUANIA (Oral presented and published in abstract book)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

Pakyurek M., Sezgin M. S., ve **Kulaç S.**, 2019. Derin Öğrenme Tabanlı Web Sayfası Verisi Kazıma. 4 th International Conference on Computer Science and Engineering UBMK'19, SAMSUN