

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim
(MC-CDMA) Sistemlerinde Alt Taşıyıcı
Tahsisi

Bircan SAÇAKLI

EKİM 2015

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim
(MC-CDMA) Sistemlerinde Alt Taşıyıcı
Tahsisi

Bircan SAÇAKLI

EKİM 2015

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında Bircan SAÇAKLI tarafından hazırlanan ÇOK TAŞIYICILI KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (MC-CDMA) SİSTEMLERİNDE ALT TAŞIYICI TAHSİSİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ediz POLAT
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç.Dr. Muhammet Nuri SEYMAN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Özgür ERTUĞ _____
Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. M. Nuri SEYMAN _____
Üye : Yrd. Doç. Dr. Eyüp TUNA _____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

ÇOK TAŞIYICILI KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (MC-CDMA) SİSTEMLERİNDE ALT TAŞIYICI TAHSİSİ

SAÇAKLI, Bircan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Muhammet Nuri SEYMAN

Ekim 2015, 79 sayfa

Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA), yüksek hızlı kablolu ve kablosuz haberleşme uygulamalarında kullanılan bir çoklu erişim tekniğidir. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) ve Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) tekniklerinin bir araya gelmesinden oluşan MC-CDMA teknolojisi, yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinin gerektirdiği yüksek veri hızında güvenli iletişim sağlamaktadır.

MC-CDMA; yüksek spektral verimlilik sağlama, çoklu erişim imkanı sunma ve girişim engelleme gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajların yanı sıra sistemin dezavantajları da mevcuttur. Sistemde kullanıcı sayısının artması; kullanıcı başına düşen taşıyıcı sayısının azalmasına ve bunun sonucunda alıcı taraftan alınan verinin bit hata oranının (BHO) artmasına ve kullanıcı başına düşen veri hızının azalmasına neden olmaktadır. Bu sorunu minimize etmek için uygulanan işlemlere alt taşıyıcı tahsis algoritmaları denilmektedir.

Genel olarak MC-CDMA sisteminde kullanılan alt taşıyıcı tahsis algoritmaları, iletimde önemli yeri olan alt taşıyıcıları ihtiyaç olunan sayıda kullanıcıya atayarak vericiden gönderilen verinin en az hatayla alıcıya ulaşmasını sağlamaktadır.

Bu tezde, Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) sisteminde sistemin kapasitesini artırmak ve verimliliği sağlamak için adil dağılım kriteri

kullanarak yeni bir alt taşıyıcı tahsis algoritması geliştirilmiş ve bu algoritmanın performansı farklı kullanıcı sayıları, farklı alt taşıyıcı sayıları ve modülasyon tipleri için diğer algoritmalar ile kıyaslanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim, Alt Taşıyıcı Tahsis Algoritması, Adil Dağılım



ABSTRACT

SUBCARRIER ALLOCATION IN MULTI CARRIER CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (MC-CDMA) SYSTEM

SAÇAKLI, Bircan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics, Master Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Muhammet Nuri SEYMAN

October 2015, 79 pages

Multi Carrier Code Division Multiple Access is a multiple access technique that is used in high data rate wireless and wireline applications. MC-CDMA technology, which combines Code Division Multiple Access (CDMA) and Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) provides secure transmission at high data rate that require new generation wireless communication systems.

MC-CDMA has the advantages of both schemes: high spectral efficiency, multiple access and interference rejection. There is also the disadvantage of the system. Increasing the number of users in the system; decrease in the number of carrier per user and as result of this, the bit error ratio (BER) of received data and data rate per users are caused to increase. The operations applied to minimize the problem are called subcarrier allocation algorithms.

Generally, subcarrier allocation algorithms that are used in the MC-CDMA system provide using the bandwidth in the most efficient way and provide access receiver sending data from the transmitter with minimize mistakes by allocation subcarriers that have important role in the transmission.

In this thesis, In order to increase the system capacity and provide the efficiency, a new subcarrier allocation algorithm has been developed in Multi Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA) by considering the fairness criteria and the

performance of this algorithm has been compared to the other algorithms for different number of users, different number of subcarriers and modulation types.

Key Words : Multi Carrier Code Division Multiple Access , Subcarrier Allocation Algorithms, Fairness



TEŞEKKÜR

BaŐta, tım ğrenim hayatım boyunca en büyük maddi ve manevi desteğini grdğm canım anneme ve babama; tez hazırlanmasında yardımını ve ilgisini esirgemeyen eŐim Yaser DEMİRAL' a; bu tezin konu seğiminde, kaynak tespitinde ve diğer tım konularda yardımını gördüğüm değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Muhammet Nuri SEYMAN' a tım katkılarından dolayı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Literatürdeki Yeri	1
1.2. Tezin Amacı ve Önemi	3
2. ÇOK TAŞIYICILI KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM	5
2.1. Çoklu Erişim Teknikleri	5
2.1.1. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim	5
2.1.2. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim	6
2.1.3. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama.....	8
2.1.4. Kod Bölmeli Çoklu Erişim	10
2.1.5. Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim	11
2.1.5.1. MC-CDMA Sistemi Teorisi	12
2.1.5.2. MC-CDMA Sisteminde IFFT/FFT Kullanımı	17
3. ÇOK TAŞIYICILI KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM SİSTEMLERİNDE	
ALT TAŞIYICI TAHSİSİ	23
3.1. Giriş	23
3.2. Problem Tanımı	24
3.3. MC-CDMA Kanal Modeli	24
3.4. MC-CDMA Sistem Problemi Formülasyonu	27
3.4.1. Kullanıcı Veri Hızı.....	27
3.4.2. Adil Dağılım (Fairness)	28
3.4.3. Optimizasyon Problemi	28
3.5. MC-CDMA Sisteminde Alt Taşıyıcı Tahsis Algoritmaları.....	29
3.5.1. Max-Min Algoritması	29

3.5.2. Greedy Algoritması.....	31
3.5.3. Greedy–Like Algoritması	32
3.5.4. Gelişmiş Kapasite ve Adil Dağılım için Oluşturulan Algoritma	35
3.5.5. Önerilen Algoritma	36
4. BENZETİM ÇALIŞMALARI	40
4.1. Giriş	40
4.1.1. Benzetimlerde Kullanılan MC-CDMA Modeli	40
4.1.2. Veri Girişi	40
4.1.3. Modülasyon	40
4.1.4. Seriden Paralele Dönüştürme.....	41
4.1.5. Veriyi Yayma.....	41
4.1.6. Ters Fourier Dönüşümü	41
4.1.7. Paralelden Seriyeye Dönüştürme.....	41
4.1.8. Periyodik Ön Ek Ekleme	41
4.1.9. Kanal	42
4.1.10. Alıcı	42
4.2. MC-CDMA Alt Taşıyıcı Tahsisi Benzetim Sonuçları	42
4.2.1. Farklı Alt Taşıyıcı Sayılarına Göre Algoritmaların Performansı	42
4.2.2. Farklı Kullanıcı ve Alt Taşıyıcı Sayılarına Göre Algoritmaların Tahsisi	45
4.2.3. Modülasyon Türüne Göre Algoritmaların Tahsisi.....	54
4.2.4. Algoritmaların Hız ve Adil Dağılım Karşılaştırılması	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKÇA	70
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA).....	6
2.2. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA).	7
2.3. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA).....	10
2.4. Bir MC-CDMA sisteminin verici bloğu.	12
2.5. Bir MC-CDMA sisteminin verici yapısı.	13
2.6. Sinyalin güç spektrumu.....	13
2.7. Bir MC-CDMA sistemin alıcı yapısı.	14
2.8. MC-CDMA sistem vericisinde IFFT yapısının kullanımı.	15
2.9. Rayleigh kanalda MC-CDMA yapısı.....	16
3.1. Rayleigh kanalda K kullanıcı MC-CDMA sistemi.....	25
3.2. Örnek alt taşıyıcı tahsis gösterimi.	26
3.3. Max-Min algoritma basamakları.....	30
3.4. Greedy algoritma basamakları	31
4.1. Üç kullanıcı ve 64 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan algoritmaların karşılaştırılması.	44
4.2. Üç kullanıcı ve 128 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan algoritmaların karşılaştırılması.	44
4.3. Üç kullanıcı ve 256 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan algoritmaların karşılaştırılması.	45
4.4. 128 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan Greedy algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.	46
4.5. 256 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan Greedy algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.	47
4.6. 128 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan DaKo algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.	48
4.7. 256 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan DaKo algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.	48
4.8. 128 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan Max-Min algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.....	49

4.9. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan Max-Min algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.....	50
4.10. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan XuKim algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.....	51
4.11. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan XuKim algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.....	52
4.12. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın farklı kullanıcı sayılarında performansı.	53
4.13. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın farklı kullanıcı sayılarında performansı.	54
4.14. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde DaKo algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	55
4.15. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde DaKo algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	56
4.16. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde DaKo algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	56
4.17. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Greedy algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	57
4.18. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Greedy algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	58
4.19. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Greedy algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	58
4.20. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Max-Min algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	59
4.21. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Max-Min algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	60
4.22. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Max-Min algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	60
4.23. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde XuKim algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	61
4.24. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde XuKim algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	62
4.25. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde XuKim algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.	62

4.26. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın modülasyon türlerinde performansı.	63
4.27. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın modülasyon türlerinde performansı.	64
4.28. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın modülasyon türlerinde performansı.	64
4.29. Algoritmaların bireysel hız performanslarının karşılaştırılması.	65
4.30. Algoritmaların toplam hız performanslarının karşılaştırılması.	66
4.31. Adil dağılım karşılaştırılması.	67



KISALTMALAR DİZİNİ

BHO	Bit Hata Oranı
BPSK	İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama
BS	Baz İstasyonu
CDMA	Kod Bölmeli Çoklu Erişim
CP	Periyodik Ön Ek
FDMA	Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
MC-CDMA	Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim
OFDM	Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
ICI	Kanallar Arası Girişim
IFFT	Ters Hızlı Fourier Dönüşümü
ISI	Simgeler Arası Girişim
PSK	Faz Kaydırmalı Anahtarlama
SNR	Sinyal Gürültü Oranı
TDMA	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim

1.GİRİŞ

1.1.Tezin Literatürdeki Yeri

Son yıllarda geniş bant genişliği gerektiren uygulamalara olan arzın artması, yüksek veri hızlarında iletim ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Kullanılabilir bant genişliğinin sınırlı olması, aynı iletişim ortamından birden fazla kullanıcının iletilmesini gerektirmektedir. Bu gereksinimden dolayı, bant genişliğini verimli bir şekilde kullanarak yüksek hızlarda veri iletimini sağlayan, Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) tekniği kullanılmaktadır.

Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) [1,2] ve Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) [3,4] tekniklerinin birleşiminden oluşan MC-CDMA sistemi yapısında, her iki sistemin avantajlarını ve dezavantajlarını barındırmaktadır. MC-CDMA sisteminin temel avantajları; aynı frekans aralığında ve aynı zaman diliminde kullanıcı verilerini iletebilmesi, haberleşme kanallarından kaynaklanan çeşitli bozucu etkilere karşı dayanıklılık gösterebilmesi, mevcut bant genişliğini en verimli şekilde kullanması ve simgeler arası girişimden (ISI) kaynaklanan işaretlerin sönümlenmesini yok etmesidir. MC-CDMA tekniğinin sağladığı bu avantajların karşılık, sistemde veri iletiminde alınacak verinin çeşitli nedenlere bağlı olarak hatalı alınması gibi dezavantajları da yer almaktadır. Bunlardan en önemlisi ve tez çalışmasının temelini oluşturan dezavantajı, MC-CDMA sisteminde alt taşıyıcı tahsis problemidir. Literatürde MC-CDMA' ye yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur [30-75]. Bu çalışmalardan [35-38]' de kanal kazançları dikkate alınarak tahsis işlemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen algoritmalarda maksimum kazanç sağlanan alt taşıyıcı, ilgili kullanıcıya atanmış ve tüm alt taşıyıcılar bitene kadar tahsis işlemi bu şekilde devam etmiştir. [30-33]' de adil dağılım kriteri göz önünde bulundurulmuştur. Bunun için bir kontrol parametresi belirlenerek kullanıcıya ihtiyacı olduğu kadar atama yapılmıştır. Kullanıcının ihtiyacı olan veri hızını sağlamak için [63]' de sistemin karmaşıklığını en aza indiren algoritma önerilmiştir. [55-57]' de kullanıcıları gruplara bölerek kanal kazançlarına göre tahsis işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede kullanıcılara ihtiyacı kadar atama yapılmıştır. Alt taşıyıcı tahsisi için bir başka

yöntem de kullanıcı kanal kazançlarını oranlayarak atama işlemi yapan, [66]' de önerilen algoritmadır. [56] ' da kullanıcı veri hızları oranlanarak elde edilen sonuç tahsis işleminde kriter olarak kullanılmıştır. Kullanıcıların alt taşıyıcılarda veri hızını karşılaştırıp bu karşılaştırma sonucu atama yapan bir algoritma da [59]' da sunulmuştur. İlk olarak kullanıcılar arasında kanal kazancı varyansı maksimum olan kullanıcıya atama gerçekleştirip kalan taşıyıcıları minimum veri hızına sahip kullanıcılara dağıtan algoritma [75] ile de atama işlemi gerçekleştirmek amacıyla ortaya atılmıştır.

MC-CDMA sistemi için alt taşıyıcılar, veri iletimi için önem arz eden unsurların başında gelmektedir. Bu sistemde yüksek hızlı seri veri akışı bölünerek paralel diziler haline getirilmekte ve bu paralel dizilerin her biri alt taşıyıcılara modüle edilmektedir [33-64]. Bu sayede verinin seri olarak parça parça iletilmesinin önüne geçilmekte ve aynı anda verinin iletimi sağlanmaktadır. Ayrıca alt taşıyıcıların dikgen olması da verilerin birbirine karışmasını engellemektedir [36]. Bu alt taşıyıcıların kullanıcılara ihtiyacı olduğu kadar atanması verinin daha verimli alınmasını sağlayacaktır. Bu nedenle alt taşıyıcı tahsisi MC-CDMA teknolojisinde önemli yere sahiptir [37].

Doğru bir alt taşıyıcı tahsis algoritması kullanmaksızın iletilen verinin alıcı tarafta doğru olarak alınmasından bahsedilemez [58]. Uygulanacak algoritmanın kullanıcı kazançlarını, ihtiyaç duyulan hızı, sistem hızını ve kullanıcılar arası adil dağılım kriterini göz önünde bulundurarak tahsis işlemini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bahsedilen unsurları dikkate alarak tahsis işlemini gerçekleştiren, literatürde en çok kullanılan algoritmaların başında [46]' da önerilen XuKim algoritması gelmektedir. Bu algoritmayı Max-Min algoritması [33] takip ederken Greedy algoritması [35]' de öne sürülmüş ve kullanılan algoritmalar arasında yer almıştır. En nadir olarak kullanılan [47]' de sunulan DaKo algoritmasıdır.

1.2. Tezin Amacı ve Önemi

MC-CDMA sisteminde, kullanıcı sayısının artması veya kullanıcıya atanan taşıyıcı sayısının yetersiz kalması gibi nedenler vericiden gönderilen verinin alıcı tarafta hatalı olarak alınmasına sebep olmaktadır. Bu sorunların bit hata oranına etkisini azaltmak için alt taşıyıcı tahsis işlemi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Alt taşıyıcı tahsisi için çeşitli alt taşıyıcı tahsis algoritmaları kullanılmakta ve bu taşıyıcıların kullanıcılar arasında adil dağılım kriteri göz önünde bulundurularak yapılan tahsis sonucu alınan verideki hatalar azalmaktadır. Bu sayede gönderilen semboller daha az hatayla alınacak ve sistemin tam ve verimli bir şekilde çalışması sağlanacaktır. Bu nedenle alt taşıyıcı tahsisi MC-CDMA sistemi için önemli yer tutmaktadır.

Literatürde MC-CDMA sistemlerinde alt taşıyıcı tahsisi yapılması amacıyla tahsis algoritmalarının (Max-Min, Greedy gibi) kullanıldığı birçok çalışma mevcut olmasına rağmen bu tez çalışmasının amacı; sistem performansını daha da artırmak ve bit hata oranını azaltmak için yeni algoritma önermektir. Bu sayede literatürde yer alan algoritmalar ile yapılmış olan tahsis işlemlerinin ortaya çıkardığı dezavantajlar minimuma indirilecektir. Bu tezde tahsis işlemi yapan algoritmalarından iyi performans elde edilen XuKim algoritması örnek alınarak yeni algoritma türetilmiş ve bu sayede XuKim algoritmasının performansının üstünde bir performans gösteren yeni bir algoritma önerilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde, çoklu erişim tekniklerine değinilmiş, Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim tekniği matematiksel olarak tanımlanmış ve sistemin temel yapısını oluşturan kısımlara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, MC-CDMA sisteminde alt taşıyıcı tahsisi için kullanılan alt taşıyıcı tahsis algoritmaları ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, atama için gerekli parametreler kullanılarak alt taşıyıcı tahsis algoritmalarının çeşitli sayıda alt taşıyıcı ve kullanıcı sayılarına, modülasyon

tiplerine göre performansları, algoritmaların veri hızı ve adil dağılım oranları bilgisayar benzetimi yapılarak incelenmiş ve elde edilen benzetim sonuçları verilmiştir.

Son bölümde ise, elde edilen benzetim sonuçlarına göre değerlendirme yapılmış ve ileride yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.



2. ÇOK TAŞIYICILI KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM

2.1. Çoklu Erişim Teknikleri

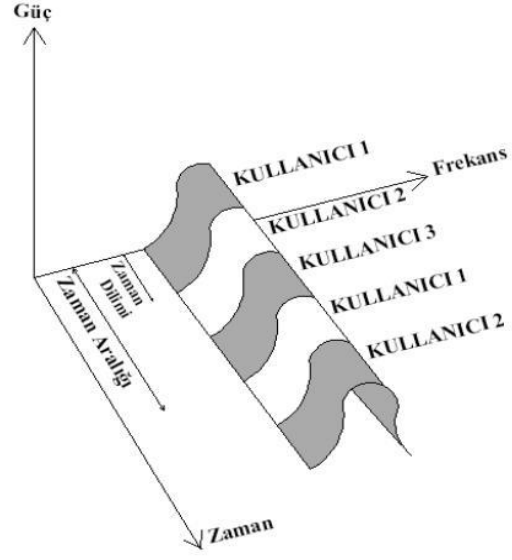
Kablosuz haberleşme ortamında, büyük bant genişliği gerektiren uygulamalarda yüksek veri hızına ihtiyaç duyulurken bu bant genişliğinin sınırlı olmasından dolayı verinin aynı iletim ortamında birden fazla alıcıya iletilmesinde çoklu erişim teknikleri kullanılmaktadır [1-4]. Kablosuz ağların kapasitesini artırmak için bant genişliğinin verimli bir şekilde kullanımını sağlayan bu teknikler; Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA), Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA), Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA), Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) ve Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) olarak gruplandırılmaktadır.

2.1.1. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim

Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA), farklı zaman dilimleri kullanılarak her bir kullanıcıya ait işaretin iletilmesiyle yapılan bir tekniktir. Bu teknikte bütün kullanıcılara ait olan zaman, bölünerek her bir kullanıcıya belirli bir zaman dilimi tahsis edilmektedir. Haberleşme kaynaklarından her bir kullanıcının sinyali, o kullanıcıya tahsis edilmiş zaman diliminde gönderilmektedir. Böylece her bir kullanıcı için aynı frekansta fakat farklı zaman dilimlerinde iletim gerçekleştirilmektedir [6].

Zaman Bölmeli Çoklu Erişim sistemi Şekil 2.1' de gösterilmektedir. Görüleceği üzere zaman boyutu, zaman dilimlerine ayrılarak sinyal farklı zaman dilimlerinde gönderilmektedir. Bu durum, kanalın ortak kullanımını sağlarken zaman dilimleri arasına boşluklar veya güvenlik aralıkları konulduğunda kullanıcı sinyallerinin birbirine karışması engellenmektedir [8].

TDMA sisteminin esnek iletim oranlarını desteklemesi, filtre kullanımının esnek olması belirgin avantajları arasındadır. Bunun yanında değişken bit hızı iletimine uygundur [7].



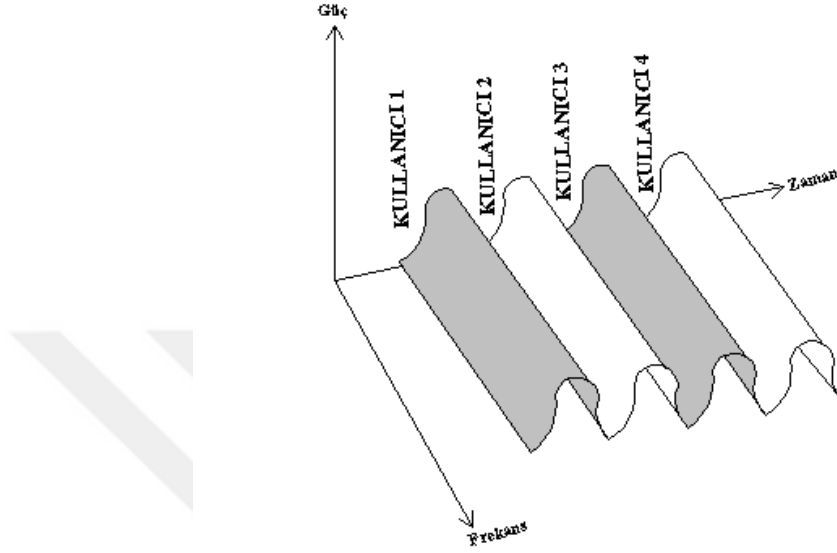
Şekil 2.1. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA).

TDMA sisteminde, her alıcının kendisine gönderilmiş olan sinyalin hangi zaman diliminde geleceğini bilmesi gerekmektedir. Gönderici ve alıcıya hangi zaman diliminin onların kullanımına tahsis edildiği bildirilmesi için bağlantının kurulumu aşamasında gönderici ve alıcı arasında eş zamanlama senkronizasyonu kurulmaktadır. Ancak eş zamanlamada yaşanan problemlerin yanında oluşabilecek zamanlama hataları veya gecikmeler de olabilmektedir. Bu sorunu giderebilmek için güvenlik süreleri ya da güvenlik bitleri kullanılsa dahi sistem performansının düşmesi TDMA sisteminin bir adım geri kalmasına neden olmaktadır [7,8].

2.1.2. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim

Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA), frekans seçimli kanallarda farklı frekanslar kullanılarak her bir kullanıcıya ait işaretin iletilmesiyle gerçekleştirilen bir çoğullama yöntemidir. Bu yöntemde bütün kullanıcılara ait olan frekans bandı bölünerek her bir kullanıcıya belirli bir frekans dilimi tahsis edilmektedir. Beraber kullanılacak olan

haberleşme kaynaklarından her bir kullanıcının verisi, o kullanıcıya tahsis edilmiş frekans diliminde gönderilmektedir. Böylece her bir kullanıcı için aynı zamanda fakat farklı frekans bantlarında iletim sağlanmaktadır [5,6].



Şekil 2.2. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA).

Şekil 2.2’ de Frekans Bölmeli Çoklu Erişim sistemi görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere frekans bandı frekans dilimlerine ayrılarak sinyal farklı frekans dilimlerinde gönderilmektedir. Bu durum, kanalın ortak kullanımını sağlarken kullanıcı sinyallerinin birbirine karışmasını engellemektedir.

FDMA’ de frekans bant tahsisi, kullanıcı ihtiyacı baz alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu bantlarda işaretlerin karışmaması için art arda gelen FDMA çerçeveleri arasına koruma bandı bırakılarak önlem alınmaktadır.

Frekans Bölmeli Çoklu Erişim sisteminde zaman paylaşımı söz konusu olmadığından tüm süre bir işaretin iletimi için ayrılmıştır. Bu durum, iletimin sürekli olmasını sağladığından TDMA sistemine olan üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Ayrıca eş zamanlama için gerekli olan kontrol bilgilerinin az olması, tasarımın kolay ve basit yapıda olması da avantajları arasında sıralanabilmektedir.

FDMA sisteminde simgeler arası girişim (ISI) etkisini azaltmak için kullanılan koruma bantlarının spektrumda verimliliği azaltması, bu durumu koruma bantlarını dar tutarak düzeltmek için maliyetli filtreleme ihtiyacı duyulması sistemin dezavantajları arasında yer almaktadır. Bahsedilen bant genişliğinden verimli bir şekilde yararlanmak için Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim sistemi ortaya atılmıştır [9].

2.1.3. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama

Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM), FDMA tekniğine benzer olup bu teknikteki gibi mevcut bant genişliğinin birçok kanala bölünmesiyle gerçekleşmektedir [1]. Daha sonra bu kanallar kullanıcılara tahsis edilmektedir. OFDM, yüksek hızlı tek bir veri bloğu göndermek yerine, iletilen veri miktarı değişmeden paralel olarak düşük hızlı veri bloklarının gönderilmesini sağlayan çok taşıyıcı iletim tekniğidir [14,15]. Bu teknikte fazla miktarda alt taşıyıcı kullanılarak düşük hızlı veriler ile toplamda yüksek veri hızı elde edilmektedir.

OFDM tekniğinde kanalların birbiriyle örtüşmüş şekilde olması ve taşıyıcıların bir sembol periyodunda tam sayı periyodlara sahip olup kendinden başka taşıyıcıların merkez frekansında sıfır olması yani dikgen olması ile spektrumdan en verimli şekilde yararlanılmaktadır [19-21]. Böylece taşıyıcıların örtüşmesi bir girişime neden olmazken bant genişliğinden de tasarruf edilmiş olmaktadır [30,31].

OFDM, kanalın etkisiyle simgeler arasında oluşan girişimi (ISI) yok edebilmektedir [10]. Bunun için, art arda gelen OFDM çerçeveleri arasına kanal gecikmesinden büyük olacak şekilde koruma aralığı (CP) eklenmektedir. Ayrıca OFDM de sayısal işaret işleme tekniklerinden olan Ters Ayrık Fourier Dönüşümü (IFFT) kullanılarak taşıyıcıların dikgen olması sağlanmaktadır [11].

OFDM sisteminde dikgenlik, sistemdeki taşıyıcı frekansları arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Yani her bir alt taşıyıcının T aralığındaki periyodlarının tamsayı

olması ve komşu alt taşıyıcılar arasındaki periyod farkının bir olması dikgenliğin kanıtıdır [12].

Bir FDMA sisteminde bazı taşıyıcılar, klasik filtreler ve demodülatörler kullanılarak sinyal alınırken koruma aralığı gerekmektedir. Frekans domenindeki bu aralık spektrum verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır [13]. Bir OFDM sinyalinde taşıyıcılar üst üste gelmesine karşın taşıyıcılar arasında girişim olmaması için bu taşıyıcıların birbirine dikgen olması gerekmektedir.

S sinyal kümesinde a sinyalinin dikgenliğini (2.1) gibi formülize edebiliriz.

$$\int_x^y S_a(t) * S_b^*(t) = \begin{cases} A & a = b \\ 0 & a \neq b \end{cases} \quad (2.1)$$

Bu ifadede; ‘*’ kompleks eşlenik işlemini gösterirken $[x,y]$ arası, sembol periyodudur.

OFDM sistemindeki alt taşıyıcılar arasında denklem (2.1)' de belirtildiği gibi dikgenlik olması sayesinde alt taşıyıcıların yeniden elde etmesi mümkün olmaktadır [1].

Frekans domeninde fazla sayıda dar bantlı taşıyıcıları ileten OFDM sisteminde çok sayıda modülatör, filtre ve demodülatör kullanımını azaltmak için hızlı Ayrık Fourier Dönüşümü (FFT) gibi sayısal sinyal işleme yöntemleri kullanılmaktadır [11].

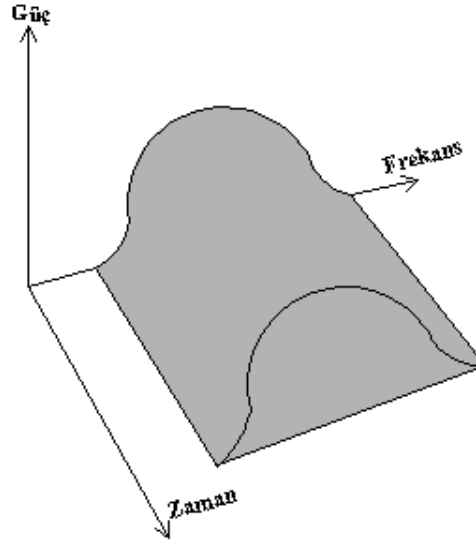
A genliğine sahip OFDM sinyaline $S_\zeta(t)$ dersek denklem (2.2)' deki gibi sinyali tanımlayabilmemiz mümkün olmaktadır:

$$S_\zeta(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n(t) e^{j(W_n t + \phi_n t)} \quad (2.2)$$

2.1.4. Kod Bölmeli Çoklu Erişim

Kod Bölmeli Çoklu Erişim, kullanıcılara ilgili bant genişliğinin tamamını iletim zamanının tümünde kullanabilme imkanı tanıyan bir tekniktir. CDMA'ın bu özelliği, frekans bandının bir kısmına erişim sağlayan FDMA'den ve zamanın bir kısmında iletim imkanı sağlayan TDMA'den oldukça farklıdır ve bu sistemlere karşı üstünlük sağlamaktadır [29].

CDMA sisteminde tüm kullanıcılar bant genişliğinin tamamını tüm zaman boyunca kullanırken, kullanıcıları ayırt etmek için dikgen kodlar atanmaktadır. Bu kodlar kullanıcıların birbirinden ayırt edilmesini sağlamaktadır. Ayırt edilmesi içinde alıcı ve vericinin her iki tarafında da bu kodların hangisinin kullanıldığının bilinmesi gerekmektedir [7].



Şekil 2.3. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA).

Bir CDMA sisteminin frekans-zaman-kod boyutunda ifadesi Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Kod Bölmeli Çoklu Erişim sisteminde, her bir kullanıcı verisi kendisine verilen yayma koduyla çarpılarak kanala verilir. Kanalda çarpılmış olarak bulunan verilerin toplamına gürültü eklenerek alıcı taraftan gürültü eklenmiş bu CDMA sinyali alınmaktadır. Alınan bu sinyal her bir kullanıcıya özgü olan kodla tekrar çarpılarak CDMA sinyali elde edilmektedir.

CDMA sisteminde kullanıcılar arasında ayırt edicilik sağlayan yayma kodları birbirine dikgendir ve bu kodlar çapraz ilinti özelliğine sahiptir.

Yayma kodları gürültü benzeri kodlar olmakla birlikte bilgi işaretine uygulanmaktadır. Böylece bilgi işareti diğer kullanıcılar tarafından gürültü olarak algılanmakta ancak alıcıda o kullanıcıya ait yine aynı kod ile çarpılarak kendi bilgi işaretini seçebilmektedir. Bu sayede bilginin gizliliği sağlanmaktadır. Gürültü benzeri kodlara yayma kodu denilmesinin nedeni orjinal işaretle çarpılarak işareti çok büyük bant genişliğine yaymasıdır

2.1.5. Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim

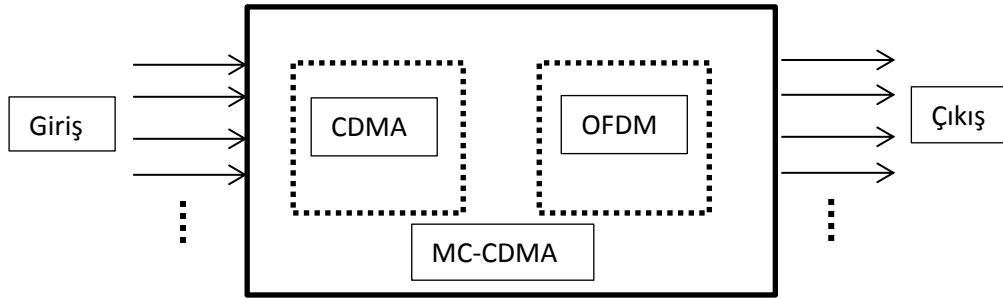
OFDM sistemi, kanalın frekans seçiciliğine ve ISI etkisine karşı uygulanan oldukça etkili bir tekniktir. CDMA ise, gezgin haberleşmede TDMA ve FDMA sistemlerine göre daha yüksek kapasite sağlayan güçlü bir sistemdir. Sistem çok kullanıcı girişimine karşı dayanıklı olmasına rağmen yüksek bit seviyelerinde bu özellikten bahsedilememektedir. Bunun nedeni verinin fazla olması eş zamanlamada yaşanan sorunu beraberinde getirmekte ve ISI ortaya çıkmaktadır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için OFDM ve CDMA sistemlerinin avantajlarının ve mevcut spektrumunu verimli kullanım özelliklerinin birleşiminden oluşan Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) sistemi oluşturulmuştur [28]. Böylelikle frekans çeşitlemesi sağlanmış, ISI sorununun önüne geçilmiştir.

MC-CDMA sisteminde, OFDM sistemindeki gibi verinin iletimi pek çok dar bantlı alt taşıyıcılar üzerinden sağlanmaktadır.

Çoklu Erişimde, farklı yayma kodlarına sahip farklı kullanıcıların aynı alt taşıyıcı yapıları ile iletimi mümkün olmaktadır. Bu yayma kodlarının diğer kullanıcıların kodlarına dikgen veya minimum çapraz-korelasyona (ilintiye) sahip olması gerekmektedir. Eş zamanlı bir haberleşme kanalında en yaygın olarak Walsh-Hadamard kodları kullanılmaktadır [16]. Çoklu Erişim sisteminde alt taşıyıcıların ve yayma kodlarının birbirine dikgen olması gerekmektedir. Bu sayede CDMA farklı birçok kullanıcının çoğullanmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu sistemde, OFDM' in özelliği olan iletilen sinyalin dar bantlı sinyallerden oluşması, ISI oluşumunu engellemektedir.

2.1.5.1. MC-CDMA Sistemi Teorisi

MC-CDMA, CDMA ve OFDM sistemlerinin bir araya gelmelerinden oluşan bir sistemdir. K adet kullanıcıdan gelen veriler ilk etapta CDMA sistemine ulaşmaktadır. CDMA sisteminde temel olarak yapılan iş, verilerin yayma kodları ile çarpılarak frekans ekseninde yayılmalarını sağlamaktır. Daha sonra veriler OFDM sistemine ulaşmaktadır. Burada yapılan iş ise verilerin birbirlerine dikgen olan alt taşıyıcılara modüle edilerek ortak olan haberleşme kanalından iletilmelerini sağlamaktır [23,24].

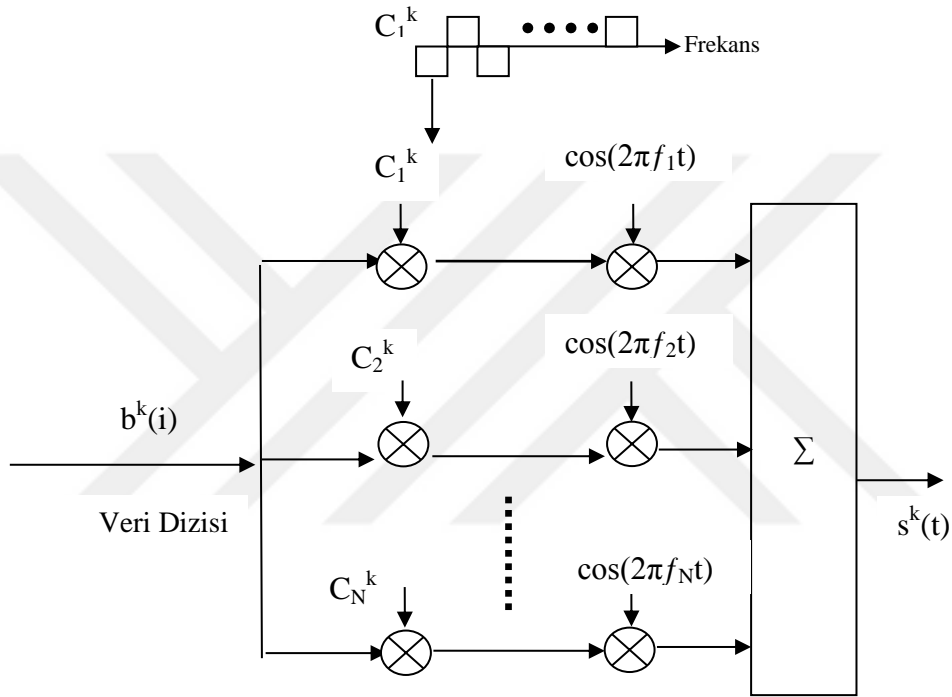


Şekil 2.4. Bir MC-CDMA sisteminin verici bloğu.

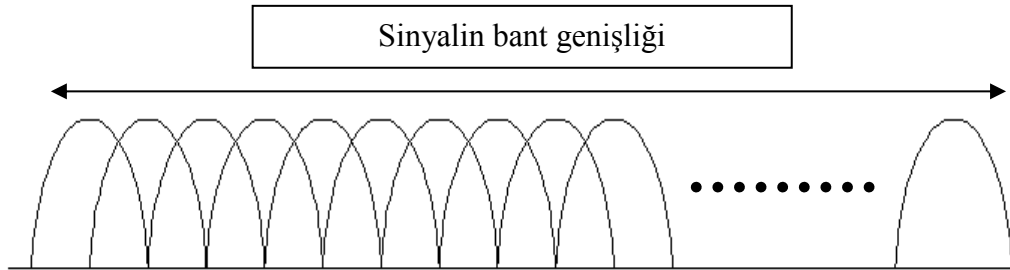
MC-CDMA sisteminin verici yapısı Şekil 2.5' te gösterilmektedir. MC-CDMA vericisinde, önce bilgi o kullanıcıya ait yayma kodu ile çarpılmaktadır. Daha sonra frekans domeni sinyalini zaman domeni sinyaline dönüştürmek için OFDM

sistemindeki gibi IFFT fonksiyonu uygulanmaktadır. Paralel olan bu işaretler seriye dönüştürülerek eş zamanlı olarak kullanıcıların verileri toplanmakta ve kanala verilmektedir.

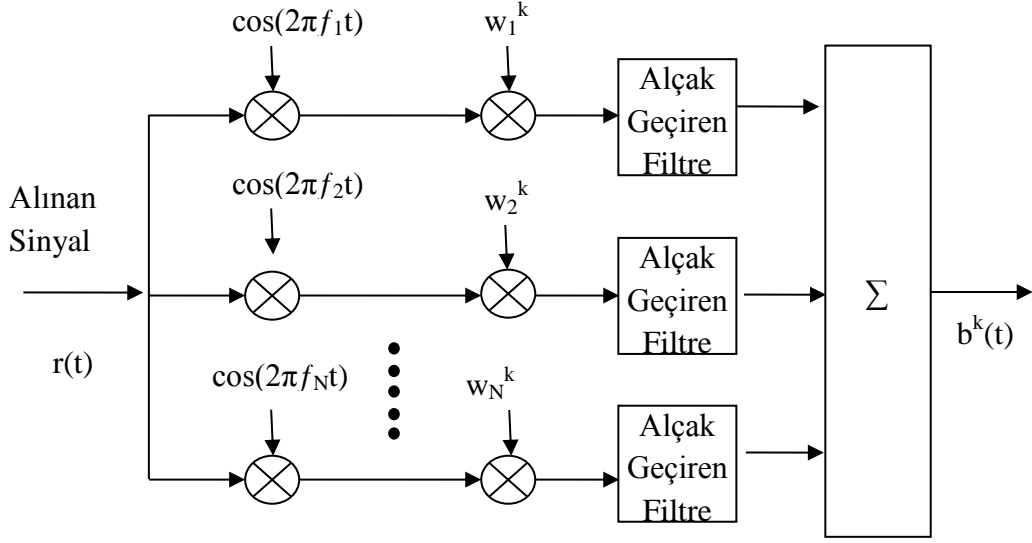
Şekil 2.6’ da MC-CDMA sinyalinin, OFDM sisteminin getirmiş olduğu yüksek spektrum verimliliği avantajını kazandığı görülmektedir. Alt taşıyıcıların dikgenliği sayesinde bant genişliğinden en optimum şekilde yararlanılmaktadır [28].



Şekil 2.5. Bir MC-CDMA sisteminin verici yapısı.



Şekil 2.6. Sinyalin güç spektrumu.



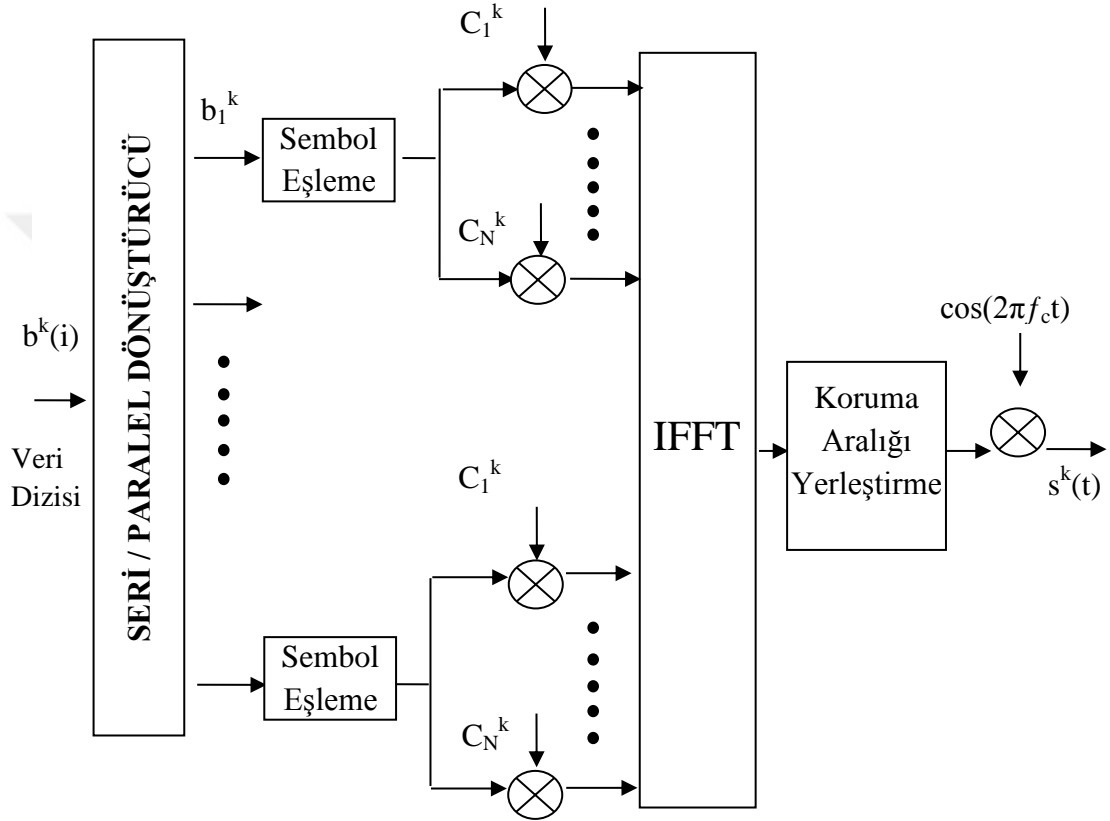
Şekil 2.7. Bir MC-CDMA sistemin alıcı yapısı.

Şekil 2.7’ de ise MC-CDMA sisteminin alıcı yapısı gösterilmektedir. Bu yapıda verici kısımda uygulanan işlemlerin tam tersi olarak öncelikle seri veri paralele dönüştürülmekte ve FFT işlemiyle sinyal frekans domenine geçirilmektedir. Paralel veri, seri veri haline getirilip demodülasyona uğratıldıktan sonra elde edilmektedir.

Alt taşıyıcılardaki dikgenliğin korunması için alt taşıyıcılar, T/T_s kadar birbirinden ayrılmaktadır. T bir tamsayı iken T_s de sembol süresi olarak tanımlanabilmektedir. Alt taşıyıcılar arasındaki en yakın boşluk T ’ nin 1 ’ e eşit olduğu yani $1/T_s$ olduğu durumdur. $T=1$ söz konusu olduğu durumda bant genişliğinden en optimum düzeyde yararlanılmaktadır. Bu durum, MC-CDMA sisteminin en üstün avantajlarından biridir.

MC-CDMA iletiminde, frekans seçici sönm önem arz etmektedir [16]. Eğer sembol hızı, frekans seçici sönmeye bağlı olacak kadar büyük olursa işaret, frekans boyutuna yayılmadan önce seriden paralel elde edilmesine geçecektir. Bu durum sembol süresinin artmasına doğal olarak paralel yolların artışına sebep olacaktır.

MC-CDMA sisteminde, OFDM' in özelliğini yansıtmışından dolayı IFFT/FFT işlemleri uygulanmaktadır. Ayrıca IFFT işleminden sonra kanalın çok-yollu yayılım etkisini azaltmak amacıyla bir koruyucu aralık iki sembol arasına yerleştirilmektedir. Şekil 2.8' de bir MC-CDMA sistemi vericisinde, veri yayma kodu ile çarpılıp yayıldıktan sonra OFDM ile modüle edilmektedir. Ayrıca koruma aralıkları ekleme işlemi de şekilde belirtilmektedir.



Şekil 2.8. MC-CDMA sistem vericisinde IFFT yapısının kullanımı.

K kullanıcılı, N alt taşıyıcılı bir MC-CDMA sisteminin $s(t)$ çıkışını matematiksel olarak ifade etmek gerekirse [17,18];

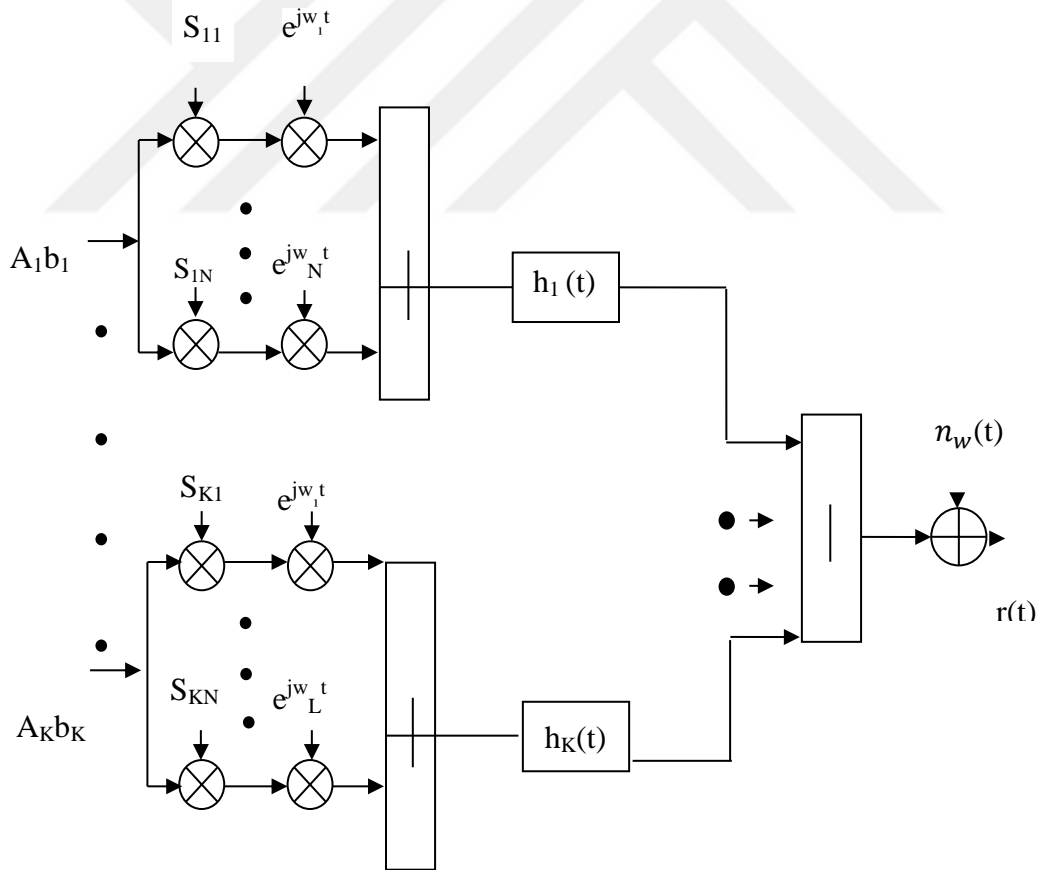
$$s(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k \sum_{n=1}^N S_k(t) e^{jW_n t} + n_w(t), \quad t \in [0, T] \quad (2.3)$$

Burada $n_w(t)$, kanalda sinyale eklenen beyaz Gaussian gürültü iken $S_k(t)$, gürültü benzeri kod dediğimiz yayma kodu ve b_k , k. kullanıcının veri dizisi olarak alınmaktadır. $S_k(t)$ ' yi (2.4) eşitliğindeki gibi tanımlayabiliriz;

$$S_k(t) = \sum_{l=1}^L a_k h(t-lT_s), \quad t \in [0, T] \quad (2.4)$$

L bit uzunluğu, $h(t)$ impuls cevabı (dürtü yanıtı) ve T_s sembol süresidir. $S_k(t)$, $[0, T]$ aralığı dışında sıfır kabul edilmektedir. Bu nedenle herhangi bir semboller arası girişim söz konusu olmayacaktır.

Şekil 2.9' da A genlikli k. kullanıcının S_{KN} yayma kodu ile çarpılmasının ardından Rayleigh kanalda $n(t)$ beyaz Gaussian gürültüsü eklenmiş iletimi gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Rayleigh kanalda MC-CDMA yapısı.

Yayma kodları arasında çapraz-korelasyon olması gerekmektedir. Bu ilişki denklem (2.5) ' te ifade edilmektedir;

$$\rho_{ij} = \langle s_i s_j \rangle = \sum_{k=1}^L s_i(k) s_j(k) \quad (2.5)$$

$$U = \rho_{ij} \quad (2.6)$$

$$U = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1k} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2k} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \rho_{k1} & \rho_{k2} & \cdots & \rho_{kk} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

U, çapraz ilişki matrisi olarak alınmaktadır.

Rayleigh kanal için MC-CDMA sistem çıkışını tekrar formülize etmek istersek, (2.8) eşitliğindeki gibi bir denklem elde edilmektedir.

$$s_r(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k \sum_{n=1}^N S_k(t) h_{kn} e^{j\omega_n t} + n_w(t), \quad t \in [0, T] \quad (2.8)$$

Buradaki h_{kn} , Rayleigh kanal etkisini belirtmektedir.

2.1.5.2. MC-CDMA Sisteminde IFFT/FFT Kullanımı

Dört kullanıcı için dört bitin gönderildiği ve alındığı bir MC-CDMA sisteminde IFFT/FFT aşamaları bir örnekle gösterilecek olunursa;

$$b = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$S_k = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Gönderilen bitler ve yayma kodu matris formunda sırayla denklem (2.9) ve (2.10) 'da verilmektedir.

Denklem (2.11)' de, gönderilmeye hazırlanan b matrisindeki bitlere ikili faz kaydırmalı modülasyon uygulanmıştır.

$$b_k = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Bitlere yayma işlemi uygulamak için birinci kullanıcının ilk biti kendi yayma kodu ile çarpıldığında eşitlik (2.12) elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} K(1,1) &= b_k(1,1) * S_k(1,:) \\ K(1,1) &= (1) * [-1 \ -1 \ -1 \ -1] \\ K(1,1) &= [-1 \ -1 \ -1 \ -1] \end{aligned} \quad (2.12)$$

İkinci kullanıcının ilk biti kendi yayma kodu ile çarpıldığında eşitlik (2.13) elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} K(2,1) &= b_k(2,1) * S_k(2,:) \\ K(2,1) &= (-1) * [-1 \ 1 \ -1 \ 1] \\ K(2,1) &= [1 \ -1 \ 1 \ -1] \end{aligned} \quad (2.13)$$

Üçüncü kullanıcının ilk biti kendi yayma kodu ile çarpıldığında eşitlik (2.14) elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} K(3,1) &= b_k(3,1) * S_k(3,:) \\ K(3,1) &= (-1) * [-1 \ -1 \ 1 \ 1] \\ K(3,1) &= [1 \ 1 \ -1 \ -1] \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dördüncü kullanıcının ilk biti kendi yayma kodu ile çarpıldığında ise eşitlik (2.15) elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}
K(4,1) &= b_k(4,1) * S_k(4,:) \\
K(4,1) &= (1) * [-1 \ 1 \ 1 \ -1] \\
K(4,1) &= [-1 \ 1 \ 1 \ -1]
\end{aligned} \tag{2.15}$$

Eşitlik (2.12), (2.13), (2.14) ve (2.15) toplandığında IFFT sinyal işleme tekniğinden bir adım önceki işlem sonucu q matrisinin ilk satırı elde edilmiştir.

$$qr(1,:) = [0 \ 0 \ 0 \ -4] \tag{2.16}$$

Aynı işlemler kullanıcıların diğer bitlerine uygulandığında q matrisine ulaşılmaktadır.

$$qr = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -4 \\ -2 & -2 & -2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \\ 2 & 2 & -2 & 2 \end{bmatrix} \tag{2.17}$$

qr matrisine IFFT işlemi uygulandığında (2.18) eşitliği elde edilmiştir.

$$qr = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 1 \\ -1i & -1i & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1i & 1i & 0 & -2 \end{bmatrix} \tag{2.18}$$

Veriyi paralelden seriye çevirdiğimizde;

$$qr = [0 \ 0 \ -1 \ 1 \ -1i \ -1i \ 0 \ -2 \ 0 \ 0 \ 1 \ -1 \ 1i \ 1i \ 0 \ -2] \tag{2.19}$$

elde edilmiştir.

Seriye çevrilen veriye uzunluğu dört olan periyodik ön ek eklenmesi sonucu (2.20) eşitliğine ulaşılmıştır. qr verisinin son dört biti cp verisinin başına eklenmiştir.

$$cp = [1i \ 1i \ 0 \ -2 \ 0 \ 0 \ -1 \ 1 \ -1i \ -1i \ 0 \ -2 \ 0 \ 0 \ 1 \ -1 \ 1i \ 1i \ 0 \ -2] \tag{2.20}$$

Sistemde örnek olarak karekök kosinüs filtre kullanılmıştır. Filtre dürtü yanıtı,

$$h(t) = 4R \frac{\cos\left(\frac{(1+R)\pi t}{T}\right) + \frac{\sin\left(\frac{(1-R)\pi t}{T}\right)}{4Rt/T}}{\pi\sqrt{T}\left(1 - \left(\frac{4Rt}{T}\right)^2\right)} \quad (2.21)$$

Veri filtreden geçirildikten sonra, veriye gürültü eklenmiş ve alıcı tarafta (2.22) eşitliğindeki y_r vektörü, bu vektörden ön ek çıkartılarak y vektörü elde edilmiştir [72].

$$y_r = \begin{bmatrix} -0.1005 + 5.8447i & 0.0116 + 5.8420i & -0.0316 + 0.0073i & -11.7111 + 0.0493i \\ 0.0324 + 0.0531i & -0.0106 - 0.0533i & -5.9112 - 0.0490i & 5.8161 - 0.0095i \\ -0.0796 - 5.8447i & -0.0483 - 5.8420i & 0.0255 - 0.0073i & -11.6086 - 0.0493i \\ -0.0797 - 0.0531i & 0.0257 + 0.0533i & 5.7230 + 0.0490i & -5.8236 + 0.0095i \\ -0.1092 + 5.8447i & 0.0624 + 5.8420i & -0.0767 + 0.0073i & -11.6658 + 0.0463i \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$y = \begin{bmatrix} 0.0324 + 0.0531i & -0.0106 - 0.0533i & -5.9112 - 0.0490i & 5.8161 - 0.0095i \\ -0.0796 - 5.8447i & -0.0483 - 5.8420i & 0.0255 - 0.0073i & -11.6086 - 0.0493i \\ -0.0797 - 0.0531i & 0.0257 + 0.0533i & 5.7230 + 0.0490i & -5.8236 + 0.0095i \\ -0.1092 + 5.8447i & 0.0624 + 5.8420i & -0.0767 + 0.0073i & -11.6658 + 0.0463i \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

FFT' den bir adım önce olan seri halden paralele çevirme işlemi uygulanarak eşitlik (2.24) sonucuna ulaşılmıştır.

$$S_p = \begin{bmatrix} 0.0324 + 0.0531i & -0.0106 - 0.0533i & -5.9112 - 0.0490i & 5.8161 - 0.0095i \\ -0.0796 - 5.8447i & -0.0483 - 5.8420i & 0.0255 - 0.0073i & -11.6086 - 0.0493i \\ -0.0797 - 0.0531i & 0.0257 + 0.0533i & 5.7230 + 0.0490i & -5.8236 + 0.0095i \\ -0.1092 + 5.8447i & 0.0624 + 5.8420i & -0.0767 + 0.0073i & -11.6658 + 0.0463i \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Matris, FFT işlemine tabi tutulduğunda,

$Sp_{FFT} =$

$$\begin{bmatrix} -0.2361 + 0.0000i & 0.0293 & -0.2394 - 0.0000i & -23.2819 - 0.0030i \\ -11.5774 + 0.0765i & -11.7202 + 0.0042i & -11.6488 - 0.2001i & 11.5442 - 0.0763i \\ 0.1416 + 0.0000i & 0.0010 & -0.1368 + 0.0000i & 23.2669 + 0.0030i \\ 11.8016 + 0.1358i & 11.6477 - 0.2172i & -11.6197 + 0.0043i & 11.7353 + 0.0382i \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

elde edilmektedir.

Toplanmış olarak hala alıcıda duran işaretten kullanıcıların kendi sinyaline ulaşabilmesi için işaret, her kullanıcının kendi yayma kodunun transpozesi ile çarpıldığında istenilen veriye ulaşılmaktadır. Sp_{FFT} matrisinin birinci satırı, her kullanıcının kendi kodu ile çarpılmıştır.

$$k_{11} = Sp_{FFT}(1, :) * S_k^T(1, :)$$

$$k_{11} = [-0.2361 + 0.00i \quad 0.0293 \quad -0.2394 - 0.00i \quad -23.2819 - 0.0030i] * \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$k_{11} = [23.7281 + 0.0030i] \quad (2.26)$$

$$k_{21} = Sp_{FFT}(2, :) * S_k^T(2, :)$$

$$k_{21} = [-0.2361 + 0.00i \quad 0.0293 \quad -0.2394 - 0.00i \quad -23.2819 - 0.0030i] * \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$k_{21} = [-22.7771 - 0.0030i] \quad (2.27)$$

$$k_{31} = Sp_{FFT}(3, :) * S_k^T(3, :)$$

$$k_{31} = [-0.2361 + 0.00i \quad 0.0293 \quad -0.2394 - 0.00i \quad -23.2819 - 0.0030i] * \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$k_{31} = [-23.3145 - 0.0030i] \quad (2.28)$$

$$k_{41} = Sp_{FFT}(4, :) * S_k^T(4, :)$$

$$k_{41} = [-0.2361 + 0.00i \quad 0.0293 \quad -0.2394 - 0.00i \quad -23.2819 - 0.0030i] * \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$k_{41} = [23.3079 + 0.0030i] \quad (2.29)$$

Sp_{FFT} matrisinin diğer satırına da aynı işlemler uygulanarak eşitlik (2.30)' da yer alan S matrisine ulaşılmıştır.

$$S = \begin{bmatrix} 23.7281 + 0.0030i & 23.4021 + 0.1957i & -23.2726 - 0.0030i & -23.5649 + 0.0389i \\ -22.7771 - 0.0030i & 23.0501 + 0.0515i & 23.2631 + 0.0030i & +23.2012 - 0.3191i \\ -23.3145 - 0.0030i & 23.192 - 0.3571i & 22.9875 + 0.0030i & -23.3336 + 0.1239i \\ 23.3079 + 0.0030i & -23.3358 - 0.1962i & -23.5444 - 0.0030i & -23.5088 - 0.3870i \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

S matrisine ikili faz kaydırma demodülasyon işlemi uygulanırsa s matrisi elde edilmektedir. Bu matris başlangıçta göndermeye çalıştığımız b matris bitleri ile aynı olduğunu göstermektedir. Yani veri sorunsuz olarak alıcı tarafında alınmıştır.

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

3. ÇOK TAŞIYICILI KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM SİSTEMLERİNDE ALT TAŞIYICI TAHSİSİ

3.1. Giriş

MC-CDMA tekniği, frekans seçici kanallar üzerindeki iletişim güvenilirliği ve esnekliğini geliştirme potansiyeli nedeniyle; haberleşme sistemleri için önem arz etmektedir. MC-CDMA çok kullanıcı bir sistemdir. Özellikle çok kullanıcı sistemlerde mevcut kaynakları, bant genişliği kısıtlamalarında en uygun şekilde kullanmak gerekmektedir. Bu mevcut kaynakların ataması, gelişen teknolojinin ve gezgin cihazları kullanan kullanıcı sayısının hızla artış göstermesi karşısında büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. MC-CDMA sistemlerinde kaynak ataması ile ilgili olarak alt taşıyıcılar kullanılmaktadır ve veriler bu atanan alt taşıyıcılar vasıtasıyla iletilmektedir. Kullanıcılara en uygun şekilde alt taşıyıcı ataması yapılarak mevcut kapasite ve spektrum verimli kullanılırken iletişim kalitesi de artmaktadır [19,22].

MC-CDMA sistemlerinde, kullanıcıların iletecekleri veri türleri ve boyutları çok farklılık gösterebilmekte ve birim zamanda daha fazla veri aktarımı olabilmektedir. Bu koşullarda iletişimi en iyi şekilde sağlayabilmek adına alt taşıyıcı atamasının kullanıcılar için farklı sayıda ve adil dağılım (fairness) kapsamında yapılması gerekmektedir [27]. Adil dağılım odaklı tahsislerde, temel amaç talep edilen veri hızına ulaşılmasından ziyade kullanıcı veri hızları arasında, oransal kısıtlamalar dikkate alınarak, orantıyı sağlamaktır [30,32].

Alt taşıyıcı atamasına ilişkin olarak, bir MC-CDMA sistemi için literatürde birçok algoritma öne sürülmüştür [50]. Bu algoritmalarından en çok kullanılan Max-Min [32], Greedy [34], XuKim [46] ve DaKo [47] algoritmaları bu tezde karşılaştırma yapılarak ele alınmaktadır. Ayrıca MC-CDMA sisteminde iletilen verinin bit hata oranını minimize eden, kullanıcılara alt taşıyıcı ataması yapan yeni bir tahsis algoritması geliştirilerek tez kapsamında yer verilmiştir.

İhtiyaca göre farklı sayılarda alt taşıyıcı atanmış kullanıcıların alt taşıyıcı sayılarının ihtiyaktan az olması, verilerinin alınımını hatasız olarak gerçekleştirmesini etkilediği gibi sistem performansını da olumsuz etkilemektedir. Buradaki amaç, kullanıcıların ihtiyaçlarına yönelik yeterli sayıda alt taşıyıcı tahsis ederek verinin başarılı alınmasını sağlamaktır.

3.2. Problem Tanımı

Frekans seçici kanallarda çok kullanıcı bir MC-CDMA sisteminde alt taşıyıcı paylaşımı problemi ele alınmaktadır. Genel bir sistem için toplam bant genişliği B , bir adet baz istasyonu (base station, BS) ve de K adet kullanıcının olduğu bir senaryo düşünülebilir [33,36]. Mevcut bant genişliği, MC-CDMA'ın formatında olan N adet kanala bölündüğünde, bu senaryoda her bir kanal bir alt taşıyıcı anlamına gelmektedir. Burada her bir alt taşıyıcının bant genişliği, toplam alt taşıyıcı sayısı ile orantılı olup $\frac{B}{N}$ 'dir.

3.3. MC-CDMA Kanal Modeli

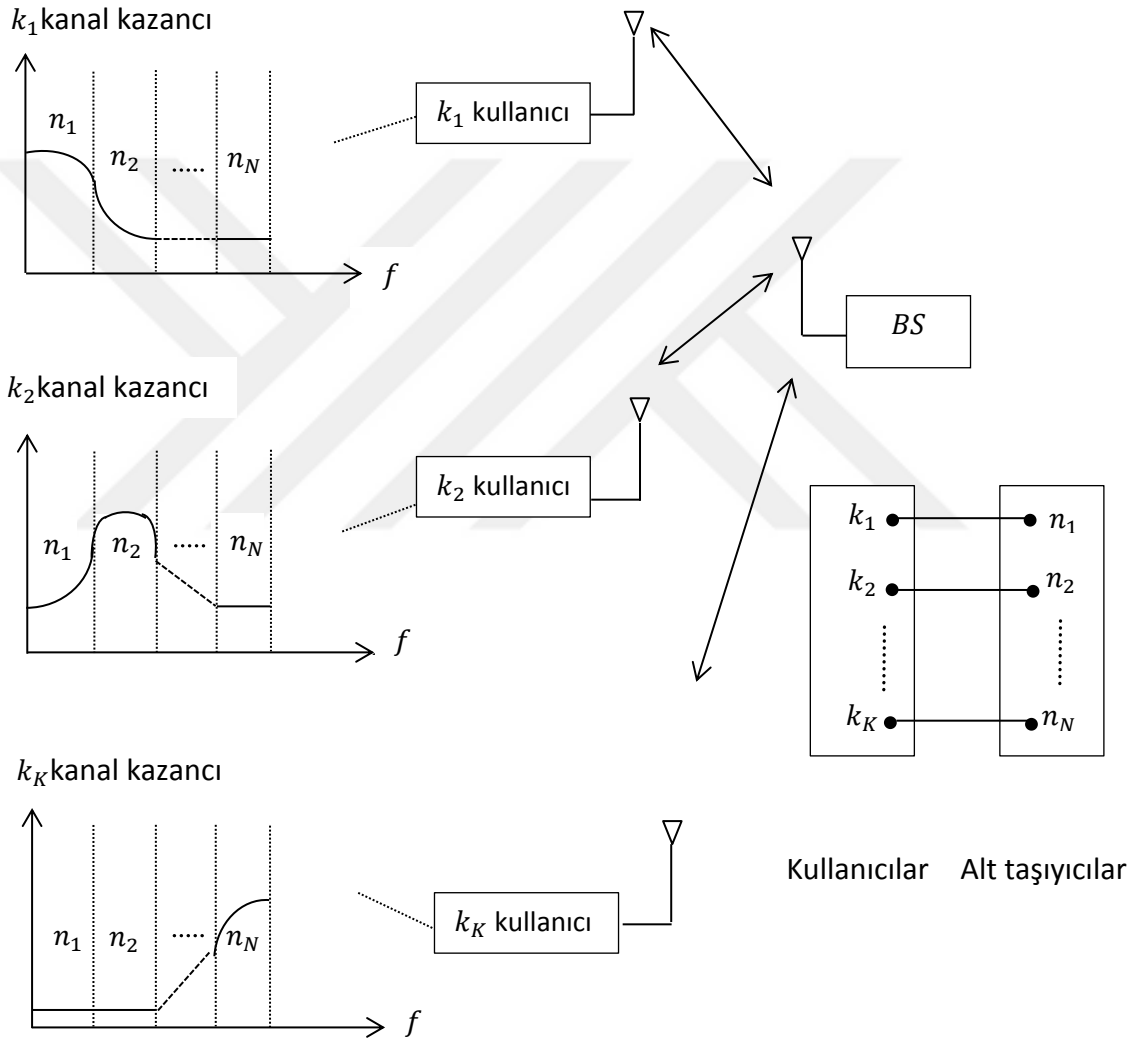
İlk olarak, MC-CDMA sistemi modelinde çok sayıda kullanıcı ve farklı sayıda alt-taşıyıcılar ile veri iletimi yapan bir adet baz istasyonu olduğu varsayılmıştır. $K = \{ k_1, \dots, k_K \}$ kullanıcı kümesini ve $N = \{ n_1, \dots, n_N \}$ alt taşıyıcı kümesini göstermektedir. $N \geq K$ olmak koşuluyla $k_k, k=1, \dots, K$ olmak üzere k . kullanıcıyı ve $n_n, n=1, \dots, N$ olmak üzere n . alt taşıyıcıyı belirtmektedir.

Her bir kullanıcıya atanabilecek maksimum alt taşıyıcı sayısı;

$$\left\lfloor \frac{N}{K} \right\rfloor \geq 1 \quad (3.1)$$

biçimindedir. BS, her kullanıcıya maksimum alt taşıyıcı sayısına kadar atama işlemi yapabilmektedir.

Her kullanıcı için kanal olarak Rayleigh kanal dikkate alınmıştır. Şekil 3.1’ de Rayleigh kanalda MC-CDMA sisteminin örnek bir alt taşıyıcı tahsisi resmedilmiştir. Her bir kullanıcıya yalnızca $n=1$ adet alt taşıyıcı atanmaktadır. k_K kullanıcısı, n_N alt taşıyıcısı için iyi bir kanal koşuluna sahip iken aynı kullanıcı diğer alt taşıyıcılar için sönmülemeye maruz kalmakta ve bu alt taşıyıcılarda diğer kullanıcılara tahsis edilmektedir.



Şekil 3.1. Rayleigh kanalda K kullanıcı MC-CDMA sistemi.

Her sembol için alınan işareti, frekans uzayında daha önce denklem (3.2)'deki gibi tanımlamıştık;

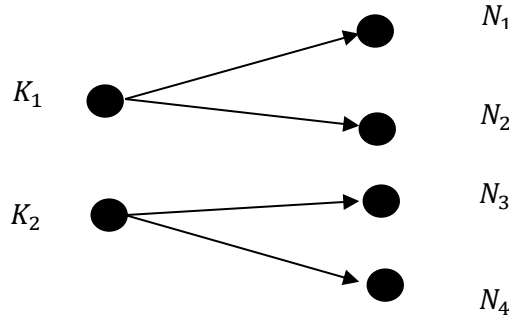
$$Y=DX+N_W \quad (3.2)$$

Frekans uzayındaki kanal kazancı, bu denklemde bir diagonal matris olan D ile ifade edilmektedir. n . satır ve n . sütundaki eleman, $[D]_{nn} = [h_k]_n$ ile gösterilmektedir.

(3.2)'deki denklemi açtığımızda,

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & D_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_{W1} \\ \vdots \\ N_{WN} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

elde edilmektedir.



Şekil 3.2. Örnek alt taşıyıcı tahsis gösterimi.

(3.3) denklemin anlaşılır olması adına örnek verecek olursak, Şekil 3.2' de 2 kullanıcıya 4 alt taşıyıcı dağıtma sonucu elde edilen denklem (3.4) eşitliğindeki gibi olmaktadır;

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [D]_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [D]_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [D]_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & [D]_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{W1} \\ n_{W1} \\ n_{W1} \\ n_{W4} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Bu matristen alınan işaretler;

$$\begin{aligned}y_1 &= [D]_{11}x_1 + n_{W1} \\y_2 &= [D]_{22}x_2 + n_{W2} \\y_3 &= [D]_{33}x_3 + n_{W3} \\y_4 &= [D]_{44}x_4 + n_{W4}\end{aligned}\quad (3.5)$$

$[D]_{nn} = [h_k]_n$ ile gösterildiğinden;

$$\begin{aligned}[D]_{nn} = [h_k]_n &\Rightarrow [D]_{11} = [h_1]_1 \\[D]_{22} &= [h_1]_2 \\[D]_{33} &= [h_2]_3 \\[D]_{44} &= [h_2]_4\end{aligned}\quad (3.6)$$

Bu sonuçlardan, örneğin $[h_1]_2$ ifadesinden, k_1 kullanıcısına n_2 alt taşıyıcısının tahsis edildiği anlaşılmaktadır.

3.4. MC-CDMA Sistem Problemi Formülasyonu

3.4.1. Kullanıcı Veri Hızı

Sistemde, baz istasyonunda toplam iletim gücü P olarak kabul edildiği zaman, N adet alt taşıyıcının her biri için iletim gücü $\frac{P}{N}$ olmaktadır. Böyle bir sistemde k. kullanıcı için R_k kullanıcı veri hızı [53,54];

$$R_k = \frac{B}{N} \sum_{n=1}^N c_{k,n} \log_2(1 + \gamma_{k,n}) \quad (3.7)$$

(3.7) eşitliğinde $\frac{B}{N} = \frac{1}{T}$ e eşit olmakla beraber buradaki $\frac{1}{T}$ MC-CDMA sembol süresidir.

$c_{k,n}$, k kullanıcıya n alt taşıyıcının tahsis edilip edilmediğini gösteren parametredir ve tahsis edilmesi durumunda 1 değerini alırken tahsis söz konusu olmadığında değeri 0'dır [39, 42].

$\gamma_{k,n}$ ise k. kullanıcı için n. alt taşıyıcı sinyal/gürültü oranıdır.

$$\gamma_{k,n} = \frac{P|h_{k,n}|^2}{BN_0} \quad (3.8)$$

Burada P iletim gücünü, $h_{k,n}$ k kullanıcının n alt taşıyıcıdaki kanal kazancını, B bant genişliğini ve N_0 güç spektral yoğunluğunu ifade etmektedir.

3.4.2. Adil Dağılım (Fairness)

Adil dağılım kavramından, sistemde alt taşıyıcıların veya gücün eşit tahsis edildiği anlarda bahsedilmektedir [35]. Ayrıca adil dağılım tüm kullanıcılara aynı veri hızı sağlandığı anlarda da söz konusudur [32]. Anlık veri hızına bağlı olarak adil dağılım, (3.9) eşitliğindeki gibi tanımlanabilmektedir:

$$F = \frac{(\sum_{k=1}^K R_k)^2}{K \sum_{k=1}^K R_k^2} \quad (3.9)$$

K, kullanıcı sayısını ve R_k , k kullanıcının veri hızını belirtmektedir. F, (0,1) aralığında bir reel bir sayı olup maksimum değer olan 1' e eşit olduğunda alt taşıyıcılar kullanıcılar arasında eşit tahsis edilmiş anlamına gelmektedir [60].

Zamana bağlı olmayan uygulamalarda anlık veri hızından ziyade ortalama veri hızı dikkate alınmaktadır. Bu durumda R_k^v nın k kullanıcının ortalama veri hızını ifade ederse adil dağılım denklemi (3.10) daki gibi tanımlanmaktadır.

$$F = \frac{(\sum_{k=1}^K R_k^v)^2}{K \sum_{k=1}^K R_k^{v^2}} \quad (3.10)$$

3.4.3. Optimizasyon Problemi

Optimizasyon problemini formülize ettiğimizde;

$$\max \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \log_2(1 + \gamma_{k,n}) \quad (3.11)$$

elde edilmektedir [40].

$c_{k,n}$, k kullanıcıya n alt taşıyıcının tahsis edilip edilmediğini açıklamaktadır. Bu ifade (3.12)' deki gibi gösterilmektedir.

$$c_{k,n} \in \{0,1\}, \forall k,n \quad (3.12)$$

$$\sum_{n=1}^N c_{k,n}=1, \forall n \quad (3.13)$$

(3.12) ve (3.13) denklemleri, optimizasyon probleminde alt taşıyıcı tahsisinde hangi kullanıcıya hangi alt taşıyıcı tahsis edildiğini belirten gerekli koşuldur [42].

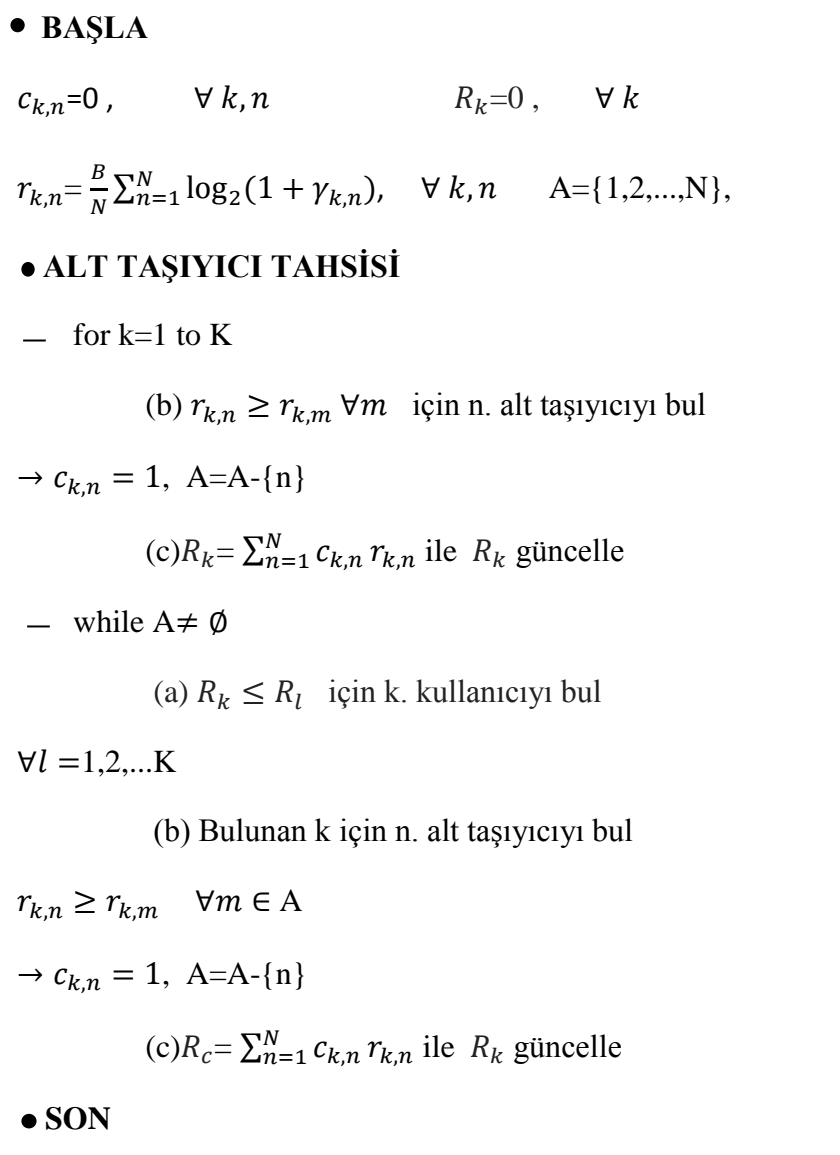
3.5. MC-CDMA Sisteminde Alt Taşıyıcı Tahsis Algoritmaları

Kapasite ve bant genişliğinde optimum verim sağlamaya yardımcı alt taşıyıcı tahsisi literatürde çeşitli algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Aynı amaçlar doğrultusunda oluşturulan algoritmalar, kanal kazancı ve veri hızı dikkate alınarak atama işlemi yapmaktadır. Alt taşıyıcı tahsis algoritmalarından en yaygın kullanılanların yanı sıra tez kapsamında öneriye sunulan bir algoritma da detayları ile birlikte adım adım ele alınmıştır.

3.5.1. Max-Min Algoritması

Max-Min algoritmasının temel amacı, minimum veri hızına sahip kullanıcıdan başlayarak her bir kullanıcının veri hızını artıracak alt taşıyıcıyı atamak ve bunun sonucunda sistem hızını artırmaktır [42]. Max-Min algoritması, toplam güç sınırlamaları altında minimum veri hızına sahip kullanıcının veri hızını diğer kullanıcılara benzer bir veri hızında çalışır şekilde maksimize etmektedir [39-42]. Algoritma, Tablo 3.1' de olduğu gibi iki önemli adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda, ilk kullanıcıya en yüksek veri hızı sunan alt taşıyıcı atanmakta ve kullanıcının veri hızı güncellenmektedir. Daha sonra ikinci kullanıcıya kalan alt taşıyıcılardan en yüksek veri hızı sunan alt taşıyıcı atanmakta bu kullanıcının da veri

hızı güncellenmektedir. Aynı işlemler bu şekilde son kullanıcıya kadar devam etmektedir. İkinci adımda ise birinci adımdaki tahsisten sonra kalan alt taşıyıcılar bitene kadar, veri hızı en düşük kullanıcıdan başlamak suretiyle kullanıcılara kalan alt taşıyıcılardan yüksek hız sağlayan taşıyıcı atanarak sistemin ve o kullanıcının hızı artırılmaktadır [32,33].

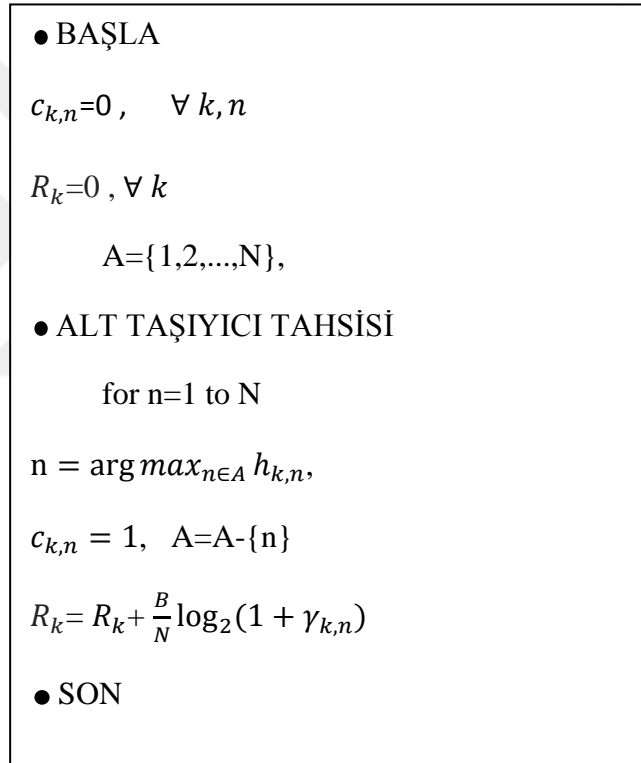


Şekil 3.3. Max-Min algoritma basamakları

Bu tabloda; N alt taşıyıcı sayısı, A alt taşıyıcılar kümesi, R veri hızı ve $c_{k,n}$ tahsis durumu olarak ele alınmaktadır.

3.5.2. Greedy Algoritması

Greedy, kanal kazancı baz alınarak her bir kullanıcıya alt taşıyıcı atama işlemi gerçekleştiren bir algoritmadır.



Şekil 3.4. Greedy algoritma basamakları

Greedy algoritma basamaklarında, alt taşıyıcılar sırayla en yüksek kanal kazancı sağladığı k. kullanıcıya atanmaktadır [36,37]. Atanan alt taşıyıcı, taşıyıcılar

kümesinden çıkarılarak kalanlar diğer kullanıcılara tahsis edilmek üzere algoritma döngüye devam etmektedir [20-35].

3.5.3. Greedy–Like Algoritması

[46]' da, Xu ve Kim tarafından önerilen algoritma, her bir kullanıcıya atanması gerekli alt taşıyıcı sayısını belirlemek ve bu belirlenen sayı kadar taşıyıcı atamak için oluşturulmuştur. Bu algoritmada taşıyıcılar, kullanıcılar arasında adil dağılım kriteri ile paylaşılırken sistem kapasitesi artmaktadır. Eşit güç tahsisi altında, kullanıcılar iki gruba bölünerek her bir kullanıcıya alt taşıyıcı atanmaktadır [57,58].

Önerilen algoritmanın işlem basamakları şu şekilde sıralanabilmektedir;

Adım1- Kullanıcı Başına Atanacak Alt Taşıyıcı Sayısını Belirleme

Başlangıçta, her bir kullanıcı için N_k alt taşıyıcı sayısı belirlenmektedir. Kazanca bağlı oluşturulan algoritmanın kanal kazancı eşitlik (3.14)' te belirtilmektedir.

$$\overline{H}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (sum H_{kn}), \quad \forall_k \quad (3.14)$$

Tahsis karmaşıklığını azaltmak için her kullanıcıya toplam P gücü tahsis edildiğinde veri hızı;

$$\overline{R}_k = \frac{N_k}{N} \log_2 \left(1 + \frac{\overline{H}_k P_k}{N_o} \right) \quad (3.15)$$

olmaktadır.

a) BAŞLA

1) Başlangıç olarak kullanıcılara atanacak alt taşıyıcı sayısını belirle.

$$N_k = \gamma_k, \quad k=1,2,\dots,K \quad N_{atama} = \sum_{k=1}^K \gamma_k$$

b) Her bir kullanıcı için (3.14) eşitliği kullanarak kanal kazancı hesapla.

1) N_{atama} alt taşıyıcılar arasında eşit güç tahsisi \overline{P}_k yap.

2) (3.15) ile \overline{R}_k ' yı güncelle.

c) While $N_{atama} < N_k$,do

1) $\hat{k} = \underset{k=1,2,\dots,K}{\operatorname{argmin}} \frac{\overline{R}_k}{\gamma_k}$ bul.

$$N_{\hat{k}} = N_{\hat{k}} + 1, N_{atama} = N_{atama} + 1$$

2) N_{atama} alt taşıyıcılar arasında eşit güç tahsisi \overline{P}_k yap.

3) \overline{R}_k ' yı güncelle.

Adım2- Alt Taşıyıcı Tahsisi

Bu adımda kullanıcılar arasında paylaşma oranı sabit tutulurken sistem kapasitesini maksimize etmek için atama işlemi gerçekleştirilmektedir.

a) BAŞLA

1) Ortalama kanal kazançlarına göre kullanıcıları sırala.

$$\overline{H}_1 \leq \overline{H}_2 \leq \dots \leq \overline{H}_m \leq \dots \leq \overline{H}_K$$

2) Kullanıcıları kanal kazançlarına göre iki gruba böl.

Kötü kanal kazançlı grup : user_b = {1,2,...,m}

İyi kanal kazançlı grup : user_g = {m+1, m+2, ...K}

b) for k=0 to M

1) $\prod_{i=1}^{M_{kn}} \lambda_{kn}^i \geq \prod_{i=1}^{M_{kj}} \lambda_{kj}^i$ $j \in A$ eşitliğini sağlayacak şekilde n. alt taşıyıcıyı bul.

- 2) Bulunan n. alt taşıyıcıyı kümeden çıkar ve atanacak alt taşıyıcı sayısını bir azalt. Daha sonra R_k ' yı güncelle.

$$A=A-1, \quad N_k = N_k - 1$$

- c) While $|A| > N - \sum_{i=1}^l N_i$

- 1) user_b = {1,2,...,m}

$$\frac{R_k}{\gamma_k} \leq \frac{R_i}{\gamma_i}, \quad 1 \leq i \leq m \quad \text{eşitliğini sağlayan k. kullanıcıyı bul.}$$

- 2) Bulunan k. kullanıcı için eşitlikten n. alt taşıyıcıyı belirle [52].

$$\prod_{i=1}^{M_{kn}} \lambda_{kn}^i \geq \prod_{i=1}^{M_{kj}} \lambda_{kj}^i \quad j \in A$$

- 3) if $N_k > 0$

A kümesinden o alt taşıyıcıyı çıkar, toplam tahsis edilecek taşıyıcı sayısını bir azalt ve R_k ' yı güncelle.

$$A=A-1, \quad N_k = N_k - 1$$

else

user_b = user_b - k

b ve c basamakların user_g için de yapıldığı takdirde tahsis işlemi gerçekleşmiş olacaktır.

Bu algorithmada kullanıcılar iki gruba bölünerek kötü kanal kazancına sahip kullanıcı grubuna, maximum λ_{max} öz değere sahip taşıyıcı atanması en büyük avantaj olmaktadır. Böylece user_b grubuna güç tahsisi azalırken user_g grubuna tahsis edilecek güç artacaktır. Böylece atanan alt taşıyıcı sayısı ile atanan güç miktarı arasındaki denge sistem kapasitesini maksimize edebilmektedir.

3.5.4. Gelişmiş Kapasite ve Adil Dağılım için Oluşturulan Algoritma

Birçok tahsis algoritmaları mevcut kaynakların tahsisi için öne sürülmüşse de bu algoritmalarda kullanıcılar arasında adil dağılım kavramını göz önünde bulundurmamışlardır. DaKo algoritması bu soruna çözüm olarak ortaya atılmış algoritmadır. Kullanılabilir toplam güç, BHO ve hız oranları sınırlamaları altında sistem kapasitesini maksimize etmek algoritmanın öncü hedefi olmuştur. Bu algoritma birbirini izleyen 4 adımdan oluşmaktadır;

1) Parametreleri başlat,

$$R_k = 0, A = \{1, 2, \dots, N\}, B = \emptyset, N_T = \{1, 2, \dots, N\}, N_k = \lfloor \gamma_k N \rfloor M \quad \forall k \in A,$$

$$p = P_T / (NM), \quad N_{un} = NM - \sum_{k=1}^K N_k$$

Burada N_k , kullanıcının ihtiyacı olan öz kanal sayısını, N_{un} atanmamış öz kanal sayısını, p öz kanallar arası eşit güç tahsisini, A toplam alt taşıyıcı B ise atanan alt taşıyıcı kümesini ifade etmektedir.

2) Öz kanal kullanarak her kullanıcı için ilk alt taşıyıcı tahsisi,

for $k=1$ to K

(a) $E_{k,n}^{\wedge}$ $n \in N_T$ maksimum değeri için n . alt taşıyıcıyı bul.

(b) Atanan n . alt taşıyıcıyı taşıyıcılar kümesinden çıkar ve denklem (3.4) ile R_k 'yi güncelle.

$$B = B \cup \{n\} \quad N_T = N_T - \{n\}, \quad N_k = N_k - M$$

3) Kullanıcılar arasında adil dağılım özelliği dikkate alınarak alt taşıyıcı tahsisi,

While $N_T < N - U_{un}/M$

(a) $\frac{R_k}{\gamma_k}$ $k \in A$ minimum değeri için k . kullanıcıyı bul.

(b) if $N_k > 0$

$E_{k,n}^{\wedge}$ $n \in N_T$ maksimum değeri için n . alt taşıyıcıyı bul ve denklem (3.4) ile R_k ' yı güncelle.

$$B = B \cup \{n\} \quad N_T = N_T - \{n\}, \quad N_k = N_k - M$$

else

$$A = A - \{k\}$$

4) Kalan alt taşıyıcıların tahsisi,

While $N_{un} > 0$ ve $A \neq \emptyset$

(a) $E_{k,n}^i$ $1 \leq i \leq M$ maximum değeri için n ve k değerlerini bul.

(b) $B = B \cup \{n\}$ $N_T = N_T - \{n\}$, $N_k = N_k - M$, (3.4) ile R_k ' yı güncelle. Sonra

$A = A - \{k\}$ işlemini yap.

3.5.5. Önerilen Algoritma

MC-CDMA sisteminde alt taşıyıcıların kullanıcılara ihtiyaç duydukları oranda tahsis edilmesi için hem verime hem de adil dağılım kriterine dikkat etmek gereklidir. Ancak literatürde yer alan algoritmaların bazılarında tahsis işleminde verim gözetilirken, adil dağılıma dikkat edilmediği; bazılarında ise adil dağılım için verimin geri planda tutulduğu görülmektedir. Bu çalışmada ise verimlilik, adil dağılım ve kapasite kriterlerinin hepsi dikkate yeni bir algoritma geliştirilmiştir.

Algoritma başlangıçta atayabileceği maximum alt taşıyıcı sayısını belirlemekte, bunun için toplam alt taşıyıcı sayısını, kullanıcı sayısının bir fazlasına bölerek elde edilen sonucu kullanıcı başına düşen taşıyıcı sayısı ve atanmamış alt taşıyıcı sayısı olarak almaktadır. Bir fazlasına bölünmesindeki amaç, kullanıcı başına düşen taşıyıcı sayısı kadar atanmamış alt taşıyıcı bırakıp bu taşıyıcıları kullanıcılara atamaktır. Bölme işlemi sonunda kalan alt taşıyıcı var ise bu sayı da atanmamış alt taşıyıcı sayısına ilave edilmektedir. Atanmamış taşıyıcı sayısı belirlendikten sonra bu sayıyı kullanıcılara dağıtmak için minimum veri hızına sahip kullanıcı bulunarak bu kullanıcının tahsis edilecek taşıyıcı sayısı bir artırılmış, kullanıcının veri hızı güncellenmiş ve atanmamış alt taşıyıcı sayısı bir azaltılmıştır. Aynı işlemler atanmamış alt taşıyıcı sayısı sıfırlanana kadar devam edilmiş ve her bir kullanıcıya atanacak alt taşıyıcı sayısı bu şekilde belirlenmiştir.

İkinci adım olarak tahsis işlemi gerçekleşmektedir. Bu adım da diğer algoritmalarda olduğu gibi grup mantığına dayanmaktadır. Kanal kazançlarının değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanan kullanıcılar ikiye bölünür. Birinci grup, en kötü kazançlı kullanıcıdan başlayıp kullanıcı sayısının yarı değeri olan kullanıcıda son bulmaktadır. Bu gruba atama işlemi yaparken alt taşıyıcılar maximum öz değerlerine göre sıralanmakta ve en büyük değerli taşıyıcı, minimum hızlı kullanıcıya tahsis edilmek üzere bütün kötü kazançlı kullanıcılara tek sefer taşıyıcı tahsis edilmektedir. Bunun sonucunda kullanıcıların hızları güncellenip tahsise devam edilmektedir. Kalan taşıyıcılar, kullanıcıların güncellenen hız değerine göre her bir kullanıcıya daha önceden belirlenen atanacak taşıyıcı sayısı kadar tahsis edilmektedir. Kötü kazançlı kullanıcılara atama yaptıktan sonra ikinci gruba tahsis işlemi gerçekleşmektedir. Bu grup, sıralanan grubun kullanıcı sayısının yarısından bir fazla sırada olan kullanıcıdan başlamak üzere son kullanıcıya kadar olan topluluğu kapsamaktadır. Bu gruba da diğer grupta yapılan atama işleminin aynısı yapılmaktadır.

Algoritmada sistem karmaşıklığını minimize etmek için toplam güç eşit paylaşılır [42].

1) BAŞLA

a) Atanacak alt taşıyıcı sayısını belirleme.

$$N_k = \frac{N}{K+1} \quad k=\{1,2, \dots ,K\} , N_{atama} = \text{sum}(\text{floor}(N_k))$$

b) Her bir kullanıcı için (3.14) eşitliğini kullanarak ortalama kanal kazançlarını hesapla.

c) N_{atama} alt taşıyıcılara toplam gücü eşit olacak paylaşır.

d) (3.15) ile R_k 'yı güncelle.

e) While $N_{atama} < N_k$

1. $k' = \text{argmin}_k R_k \quad k=1,2,\dots,K$ bul.

$$N_{k'} = N_{k'} + 1 , N_{atama} = N_{atama} + 1$$

2. Yeni oluşturulan N_{atama} için alt taşıyıcılar arasında eşit güç tahsisi yap.

3. R_k 'yı güncelle.

2) ALT TAŞIYICI ATAMA

a) Ortalama kanal kazançlarına göre kullanıcıları sırala.

$$h_1 \leq h_2 \leq \dots \leq h_t \leq \dots \leq h_K$$

b) Kullanıcıları kanal kazançlarına göre iki gruba ayır.

$$\text{Birinci grup} = \{1,2,\dots,t\}$$

$$\text{İkinci grup} = \{t+1, t+2, \dots,K\}$$

c) for k=0 to t

1. $\max(\prod_{n=1}^N \lambda_{kn})$ eşitliğini sağlayan n. alt taşıyıcıyı bul ve döngü sırasındaki kullanıcıya ata.

2. Atanan n. alt taşıyıcıyı kümeden çıkar ve atanacak alt taşıyıcı sayısını bir azalt. Daha sonra R_k yı güncelle.

$$A=A-1, \quad N_k = N_k - 1$$

d) While $|A| > N - \sum_{i=1}^l N_i$

1. Birinci grup = $\{1,2,\dots,t\}$, $\min (R_t)$ eşitliğini sağlayan t. kullanıcıyı bul.
2. Bulunan t. kullanıcı için eşitlikten n. alt taşıyıcıyı belirle.

$$\max \left(\prod_{n=1}^N \lambda_{kn} \right)$$

3. if $N_k > 0$

Alt taşıyıcıyı o kullanıcıya ata, A kümesinden o alt taşıyıcıyı çıkar, toplam tahsis edilecek taşıyıcı sayısını bir azalt ve R_k 'yı güncelle.

$$A=A-1, \quad N_k = N_k - 1$$

Alt taşıyıcı atama basamağından sonraki adımları ikinci grup içinde yap ve tahsis işlemini sonlandır.

4. BENZETİM ÇALIŞMALARI

4.1. Giriş

Bu tez çalışmasında; Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) sistemlerinde kullanıcılara alt taşıyıcı atamak için kullanılan tahsis algoritmalarının bilgisayar benzetimleri yapılarak; farklı kullanıcı sayısı, farklı miktarda alt taşıyıcı sayısı ve modülasyon tipleri için Rayleigh kanalda sinyal gürültü oranlarına karşılık bit hata oranları incelenmiştir.

4.1.1. Benzetimlerde Kullanılan MC-CDMA Modeli

Şekil 2.5 ve 2.7' deki MC-CDMA sistem modeli kullanılarak bilgisayar benzetimleri yapılmıştır. Bu yapıdaki bölümler aşağıda kısaca açıklanmaktadır:

4.1.2. Veri Girişi

Programda giriş verisi elde etmek için rasgele ikili değerler üreten bir veri üretici kullanılmıştır. Bu sayede istenilen miktarda ve boyutta veriler elde edilmiştir.

4.1.3. Modülasyon

Veri, sayısal modülasyon türlerinden olan BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-PSK ve 32-PSK kullanılarak modüle edilmiştir.

4.1.4. Seriden Paralele Dönüştürme

Seri haldeki yüksek hızlı veriyi, daha düşük hızlı paralel veriye bölmek için seri halden paralel hale dönüştürülmüştür.

4.1.5. Veriyi Yayma

Paralel hale dönüştürülen veri, minimum çapraz-korelasyona (ilintiye) sahip olan Walsh-Hadamard kodu ile çarpılarak yayılmıştır.

4.1.6. Ters Fourier Dönüşümü

Yayılmış verinin, frekans domeni formundan zaman domeni formuna geçişi için Ters Fourier dönüşümü alınmıştır.

4.1.7. Paralelden Seriyeye Dönüştürme

Ters Fourier Dönüşümü alınmış olan paralel haldeki veri, ilk haline getirilmek üzere tekrar seri hale dönüştürülmüştür.

4.1.8. Periyodik Ön Ek Ekleme

Kanallar arası girişim (ICI) ve semboller arası girişim (ISI)' den kaçınmak için ön ek, seri veriye eklenmiştir.

4.1.9. Kanal

Gecikme yayımlı Rayleigh sönümlemeli (Rayleigh fading) kanal yapısı kullanılarak benzetimler yapılmıştır.

4.1.10. Alıcı

Alıcıda, verici tarafta yapılan işlemlerin tersi yapılarak girişte gönderilen veri tekrar elde edilmiştir.

4.2. MC-CDMA Alt Taşıyıcı Tahsisi Benzetim Sonuçları

Benzetimin ilk aşamasında, alt taşıyıcı tahsisinde kullanılan ve bölüm 3 te ayrıntılı bir şekilde anlatılan algoritmaların, farklı kullanıcı sayılarında elde edilen hata oranlarının karşılaştırılması yapılacaktır.

4.2.1. Farklı Alt Taşıyıcı Sayılarına Göre Algoritmaların Performansı

Alt taşıyıcı tahsis algoritmalarının birbirlerine göre performanslarını kıyaslamak için bit hata oranı (BHO) kriteri kullanılmıştır. Farklı sinyal gürültü oranı (SNR) değerlerine göre bit hata oranlarını elde etmek için girişte gönderilmek üzere kullanılan veri ile gönderim sonucu elde edilen değerler çıkarılarak hata miktarları bulunmuş ve sonra bulunan bu değer toplam bit sayısına bölünmüştür. Modülasyon türü olarak BPSK modülasyonu tercih edilmiş ve kanal olarak da Rayleigh sönümlemeli kanal kullanılmıştır.

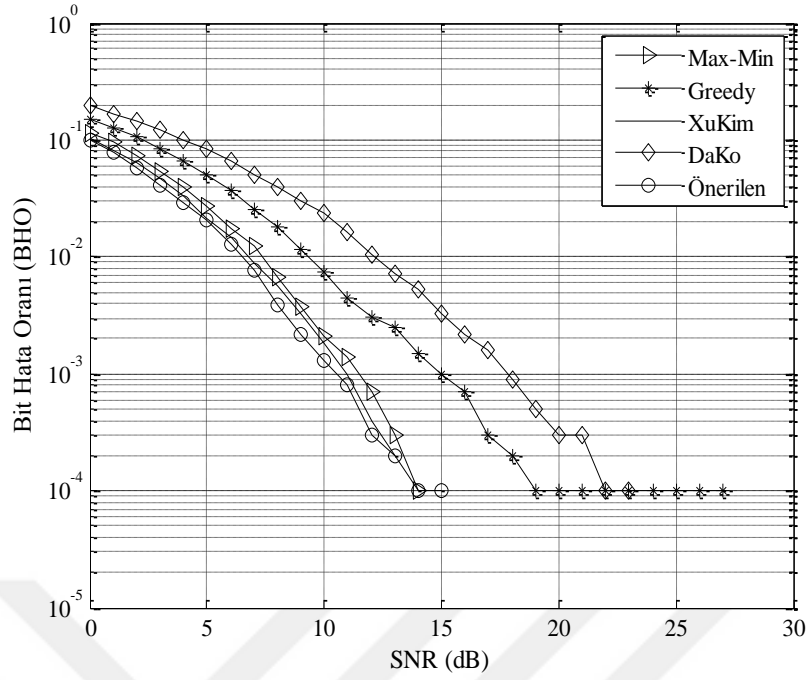
Şekil 4.1' de, üç kullanıcı ve 64 alt taşıyıcı parametrelerine sahip MC-CDMA sisteminde kullanılan alt taşıyıcı tahsis algoritmaları için 0-30 dB sinyal/gürültü aralığında elde edilen BHO kıyaslaması yer almaktadır. Kıyaslanan algoritmalar içerisinde en kötü sonucu DaKo algoritması vermiştir. DaKo ve Greedy

algoritmalarının performansları hem Max-Min ve Xukim algoritmalarından hem de Önerilen algoritmadan daha kötüdür. Önerilen algoritma diğer algoritmalara göre en iyi sonucu vermiştir. Örneğin, 10 dB SNR de; DaKo $2.5 \cdot 10^{-2}$, Greedy $7.5 \cdot 10^{-3}$, Max-Min $2.0 \cdot 10^{-3}$ ve XuKim algoritması $1.9 \cdot 10^{-3}$ bit hata oranlarını verirken Önerilen algoritma $1.2 \cdot 10^{-3}$ oranı vermiştir.

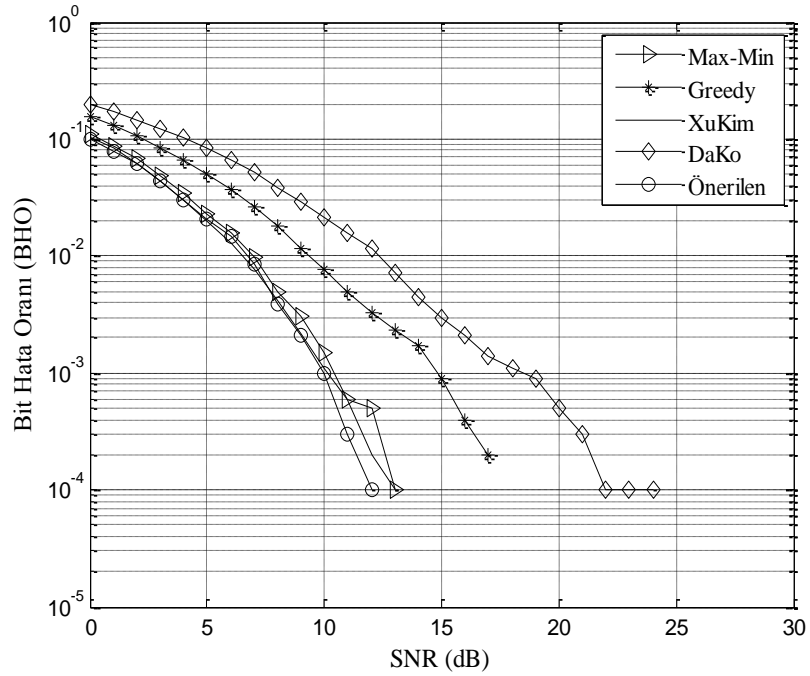
Şekil 4.2' de ise 128 alt taşıyıcıyı üç kullanıcıya tahsis etmek için kullanılan algoritmaların performans değerlendirme yer almaktadır. Önerilen algoritmanın BHO değerleri diğer algoritmalarından daha iyidir. Örneğin, 10^{-2} BHO da Önerilen algoritma ile en kötü sonuç veren DaKo algoritması arasında yaklaşık 6 dB lik SNR farkı bulunmaktadır.

Şekil 4.3' te üç kullanıcıya 256 taşıyıcının atanmasını sağlayan algoritmaların bit hata oran eğrileri görülmektedir. Şekil 4.3' e göre Önerilen algoritma performansı; Max-Min ve XuKim algoritma performansına yakinken DaKo ve Greedy algoritmalarından oldukça iyidir.

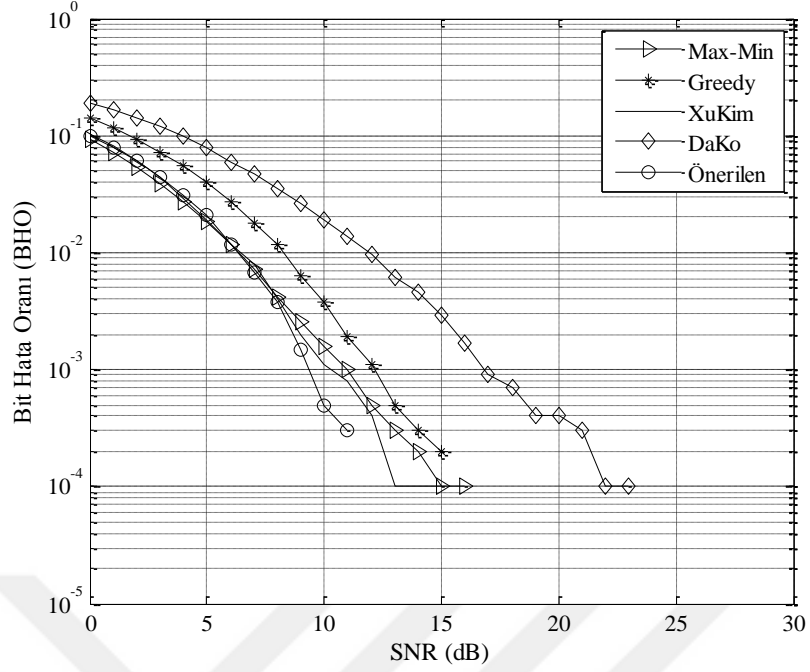
Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' ten görüleceği üzere gerek düşük gerekse yüksek SNR değerlerinde Önerilen algoritmanın performansı DaKo, Greedy, Max-Min ve XuKim algoritmalarından daha iyidir. Hatta artan SNR değerlerinde Önerilen algoritma performansı daha da artmaktadır. Ayrıca alt taşıyıcı sayısının artması SNR değerlerinde BHO değerlerinin azalmasını sağlamaktadır. Örneğin, Önerilen algoritma için 10 dB SNR dikkate alındığında 64, 128, 256 taşıyıcıda sırasıyla giderek azalan $1.2 \cdot 10^{-3}$, 10^{-3} , $5 \cdot 10^{-4}$ BHO değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Üç kullanıcı ve 64 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan algoritmaların karşılaştırılması.



Şekil 4.2. Üç kullanıcı ve 128 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan algoritmaların karşılaştırılması.



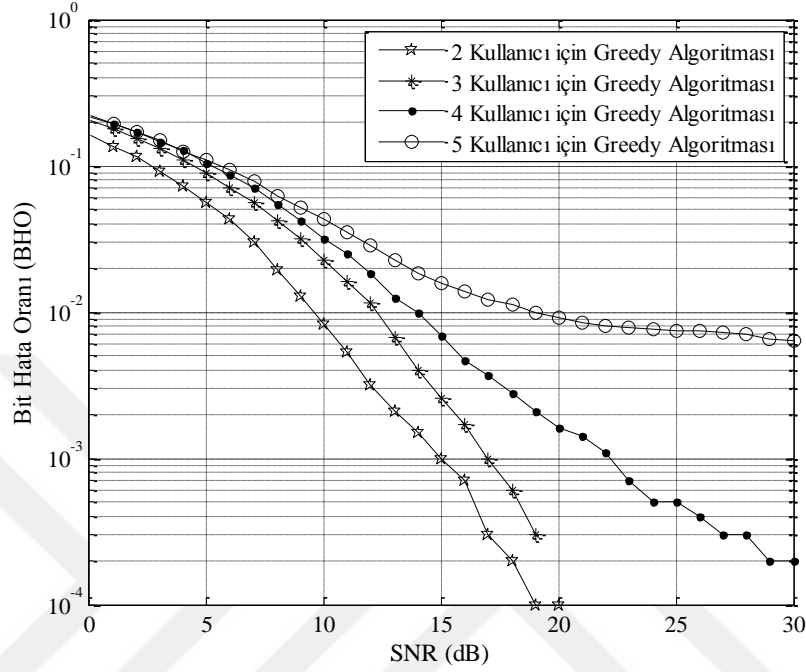
Şekil 4.3. Üç kullanıcı ve 256 alt taşıyıcı MC-CDMA sisteminde kullanılan algoritmaların karşılaştırılması.

4.2.2. Farklı Kullanıcı ve Alt Taşıyıcı Sayılarına Göre Algoritmaların Tahsisi

Bu bölümde, bit hata oranı (BHO) kriteri kullanılarak farklı kullanıcı sayıları için algoritmaların performansı incelenmiştir. Bit hata oranını tespit etmek için vericiden gönderilen veri ile alıcıdan alınan veri içerikleri kıyaslanmıştır. Kullanılan SNR aralığı 0-30 dB aralığı olarak alınmış ve modülasyon türü olarak BPSK tercih edilmiştir.

128 alt taşıyıcı MC-CDMA sistemine Greedy algoritması uygulandığında algoritmanın 5 kullanıcıdaki performansı 2 kullanıcıya göre farklılık gösterdiği Şekil 4.4'te açıkça görülmektedir. Kullanıcı sayısının artması kullanıcı başına tahsis edilen taşıyıcının azalmasına neden olmakta, bu durum bit hata oranının artışına sebebiyet vermektedir. 10^{-2} BHO değerinde; 2 kullanıcı sistemine uygulanan

algoritma, 3 kullanıcıli sisteme göre 2 dB fazla kazanç sağlarken 4 kullanıcıli sisteme göre 4 dB, 5 kullanıcıli sisteme göre ise 9 dB daha fazla kazanç sağlamıştır.

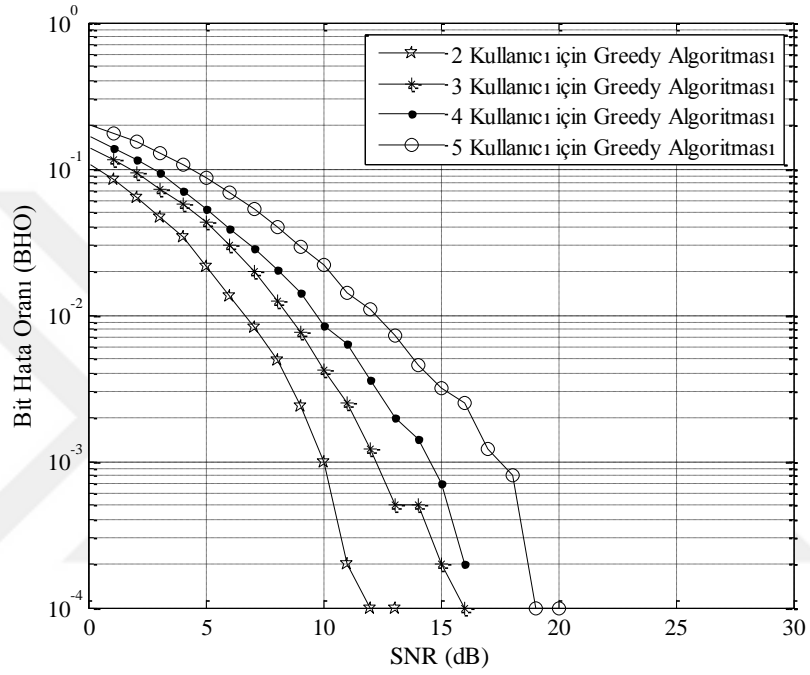


Şekil 4.4. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan Greedy algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.

Şekil 4.5, 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sistemine uygulanan Greedy algoritmasının performansını göz önüne sermektedir. Burada da 128 alt taşıyıcıda olduğu gibi kullanıcı sayısının azlığına göre performans iyileşme göstermektedir. 10^{-2} BHO değerinde 2 ve 3 kullanıcı için SNR değerleri sırasıyla 7 ve 9 dB iken 4 ve 5 kullanıcı için 10 ve 11 dB' dir. Yani algoritma 2 kullanıcıda 3 kullanıcıya göre 2 dB, 4 kullanıcıya göre 3 dB, 5 kullanıcıya göre 4 dB daha fazla kazanç sağlamıştır.

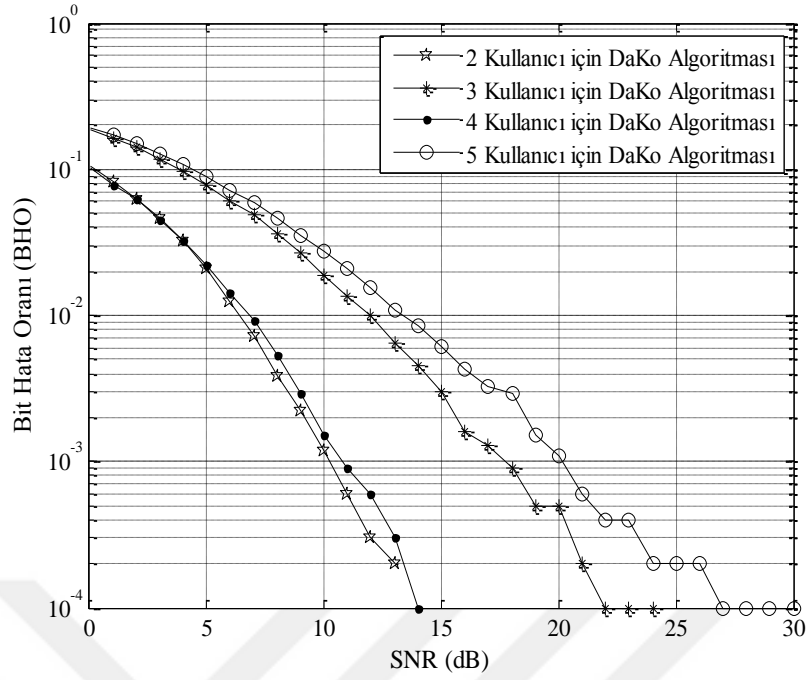
Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 kendi arasında karşılaştırıldığında, 256 alt taşıyıcılı sistemdeki algoritmanın performansı 128 taşıyıcılı sisteme göre daha iyi olmaktadır. Çünkü; örneğin 128 alt taşıyıcının 5 kullanıcıda kullanıcı başına düşen taşıyıcı sayısı, 256 alt taşıyıcının kullanıcı başına düşen taşıyıcı sayısı ile aynı değildir. 256 alt taşıyıcılı

sistemde 5 kullanıcıda her bir kullanıcıya daha fazla taşıyıcı tahsis edilmekte buna bağlı olarak bit hata oranı azalmaktadır. Bu durumu, 5 kullanıcılı sistemde algoritmanın performansı Şekil 4.4' e bakıldığında 128 alt taşıyıcıda 10 dB SNR' de $4.2 * 10^{-2}$ iken Şekil 4.5' e bakıldığında 256 alt taşıyıcıda $2 * 10^{-2}$ bit hata oranını vermesi kanıtlamaktadır.

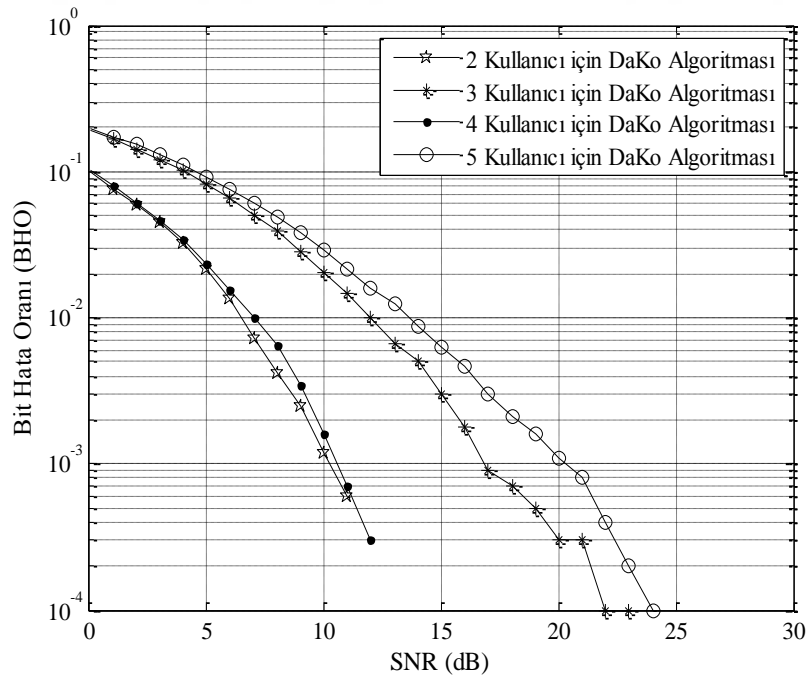


Şekil 4.5. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan Greedy algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.

128 alt taşıyıcı için Greedy algoritması ile tahsis gerçekleştirdiğimizde 2 kullanıcılı sistemde birinci kullanıcıya 47 alt taşıyıcı atanırken 3 kullanıcılı sistemde 31, 4 kullanıcılı sistemde 21, 5 kullanıcılı sistemde ise 15 alt taşıyıcı atanmıştır. 256 alt taşıyıcı da ise birinci kullanıcıya 2, 3, 4 ve 5 kullanıcılı sistemde sırasıyla 152, 85, 58 ve 32 taşıyıcı atanmıştır. Taşıyıcı sayısı arttıkça verinin hatalı alınma oranı düşmektedir.



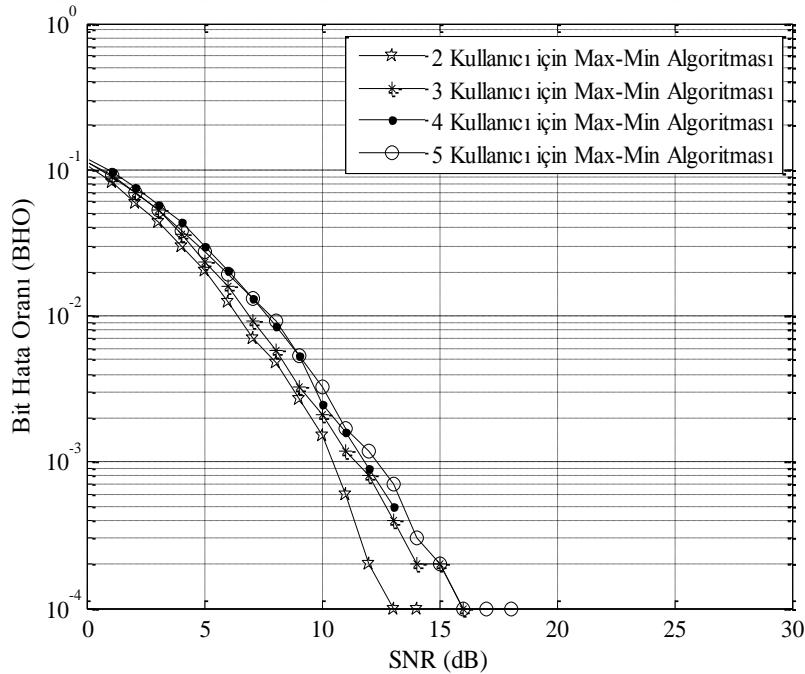
Şekil 4.6. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan DaKo algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.



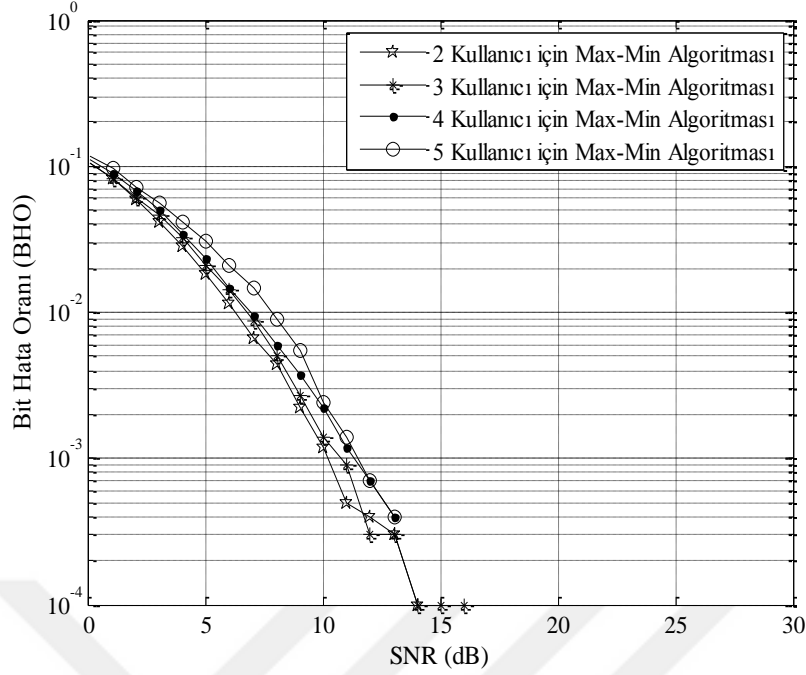
Şekil 4.7. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan DaKo algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.

Şekil 4.6, 128 alt taşıyıcı için farklı kullanıcı sayıları karşısında DaKo algoritmasının performansını göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre; 2 kullanıcıli sistemde algoritmanın performansı, 3, 4 ve 5 kullanıcıli sistemlerdeki performansına kıyasla daha iyidir. 4 kullanıcıli sistemde algoritma, 2 kullanıcıli sistemdeki performansına yakın performans göstermiştir.

Şekil 4.7 ise 256 alt taşıyıcı için 128 alt taşıyıcıda olduğu gibi performansı eğrilerle göstermektedir. Yine burada da algoritmanın en iyi performansı 2 kullanıcıli sistemde görülürken en kötü performansı 5 kullanıcıli sistemde görülmektedir. Şekil 4.6 ve 4.7 kendi aralarında karşılaştırıldığında, 256 taşıyıcıdaki bit hata oranında azalan eğriler göze çarpmaktadır. İki şekilde de diğer algoritmalarından farklılık gösteren bir özellik mevcuttur. 4 kullanıcıli sistemde algoritmanın performansı; 3 kullanıcıli sistemdeki performansından daha iyi, 2 kullanıcıli sistemdeki performansına ise yakın sonuç vermiştir. Bunun nedeni DaKo algoritmasında çift sayılı kullanıcıli sistemde taşıyıcılar kullanıcılara eşit dağıtılmaktadır. Örneğin 128 alt taşıyıcı 4 kullanıcı için her bir kullanıcıya 32 taşıyıcı atanırken 2 kullanıcı da 64 alt taşıyıcı atanmaktadır.



Şekil 4.8. 128 alt taşıyıcıli MC-CDMA sisteminde kullanılan Max-Min algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.



Şekil 4.9. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan Max-Min algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.

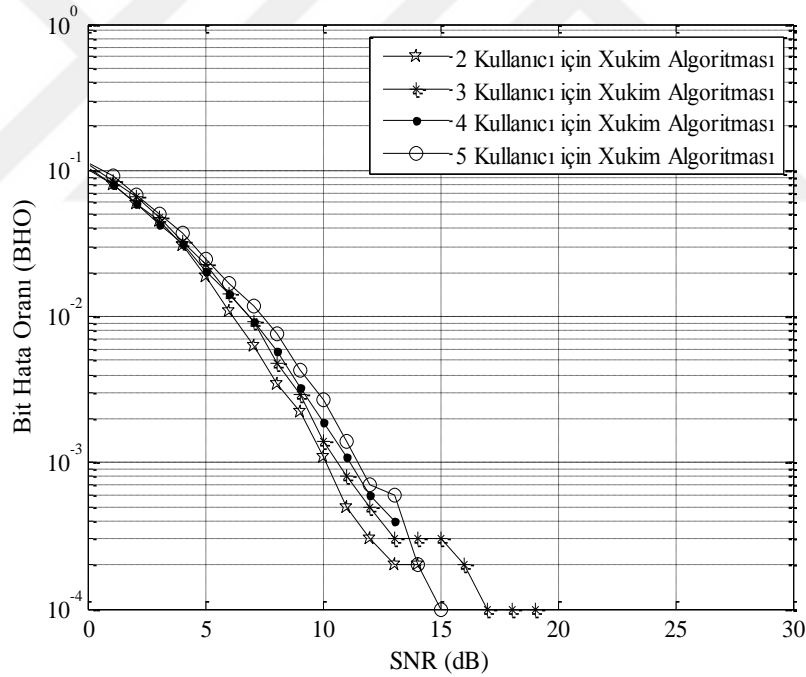
Literatürde en çok kullanılan algoritmalarından biri olan Max-Min algoritmasının performansı Şekil 4.8 ve 4.9 da yer almaktadır. Veri hızını artırmak için öne sürülen algoritmanın performansını kullanıcı sayısındaki değişim çok etkilemese de yine kullanıcı sayısındaki artışın bit hata oranını olumsuz etkilediği teorisi ile burada da karşılaşılmaktadır.

Sistemdeki toplam taşıyıcı sayısı, performansı etkileyen kriterlerden biridir. Max-Min algoritması da bu kriteri onaylamaktadır. Örneğin 128 alt taşıyıcılı Şekil 4.8, 2 kullanıcılı sistemdeki algoritma için 10^{-3} BHO değerinde 10 dB SNR oranını verirken 256 alt taşıyıcılı Şekil 4.9, 9 dB oranını vermektedir. 1 dB' lik daha fazla kazanç sağlanmaktadır.

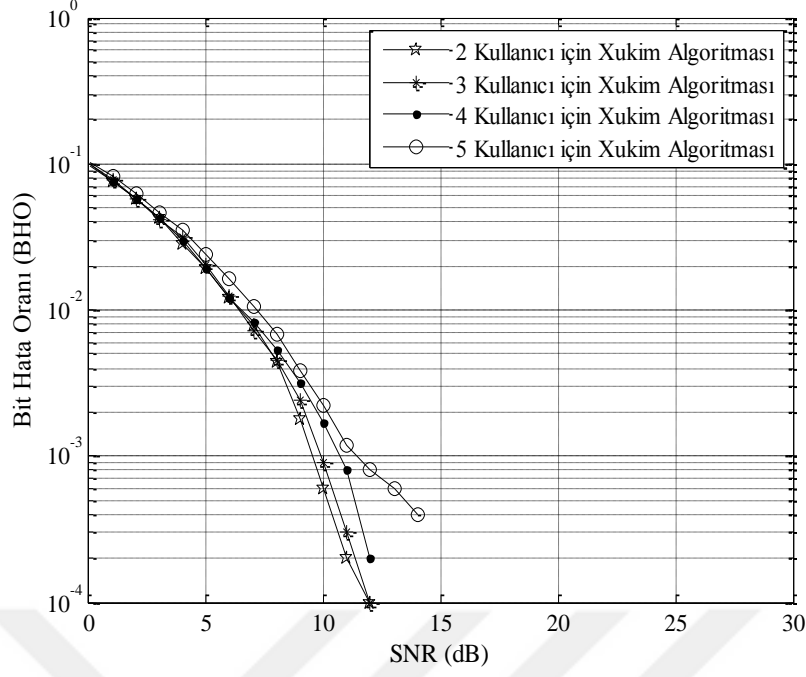
Ele alınan algoritmalarından biri olan XuKim algoritması performansı, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11' de verilmektedir. Şekillerden görüleceği üzere, algoritmanın 256 alt taşıyıcıda gösterdiği performans 128 alt taşıyıcıdaki performansın önüne geçmiş olup

5 kullanıcılı sistemde bile $2.2 * 10^{-3}$ bit hata oranı ile iyi bir performans göstermiştir. Bu değerlendirme de diğer değerlendirmelerde olduğu gibi alt taşıyıcı ve kullanıcı sayısı büyük rol oynamaktadır. Kullanıcı sayısının az olması ve taşıyıcı sayısının fazla olması bit hata oranını önemli ölçüde etkilemekte ve azalmasını sağlamaktadır.

DaKo, Greedy ve Max-Min algoritmaları baz alınarak yapılan performans karşılaştırmasında XuKim algoritmasının bahsi geçen algoritmalarından başarılı olduğu Şekil 4.10 ve 4.11 ile kanıtlanmıştır. Bu algoritmanın diğer algoritmalarından daha başarılı olmasının nedeni, başlangıçta tüm kullanıcılara tahsis edilmesi gereken taşıyıcı sayısının belirlenmesi ve kanal kazancı düşük olan kullanıcıya üstünlük sağlamasıdır.



Şekil 4.10. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan XuKim algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.



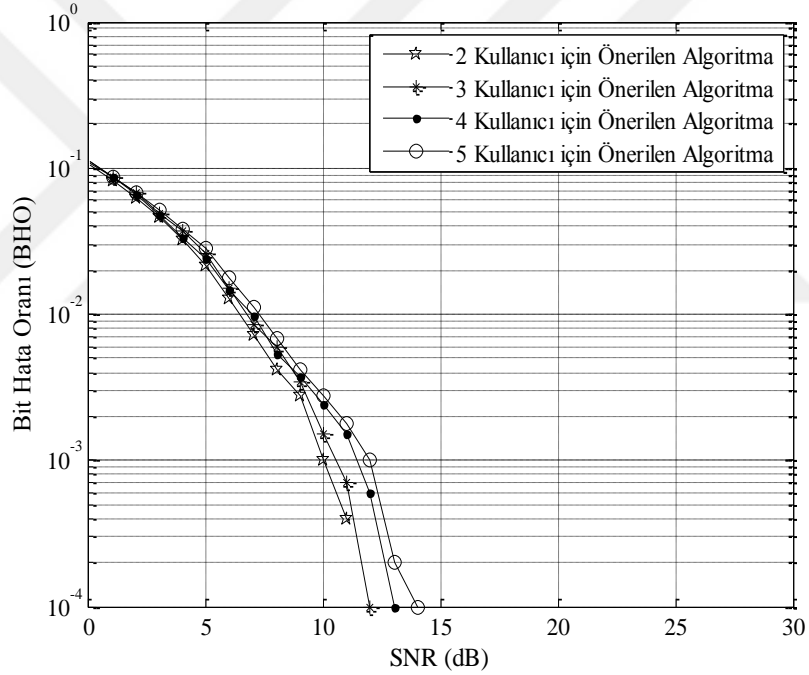
Şekil 4.11. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde kullanılan XuKim algoritmasının farklı kullanıcı sayılarında performansı.

XuKim algoritma [46] performansının iyi olduğu gözlenerek daha iyi sonuç vermesi açısından bu tezde XuKim algoritması kaynak alınarak bir algoritma önerilmiştir. XuKim algoritması kullanıcılara eşit taşıyıcı atadıktan sonra kalan birkaç taşıyıcıyı kanal kazancı kötü olan kullanıcıyı belirleyip o kullanıcıya tahsis ederken Önerilen algoritma kullanıcılara ve artık alt taşıyıcı kümesine eşit atama yaptıktan sonra artık kümedeki taşıyıcıları, kullanıcıların kanal kazancına bakarak kullanıcılara tahsis etme mantığına dayanmaktadır.

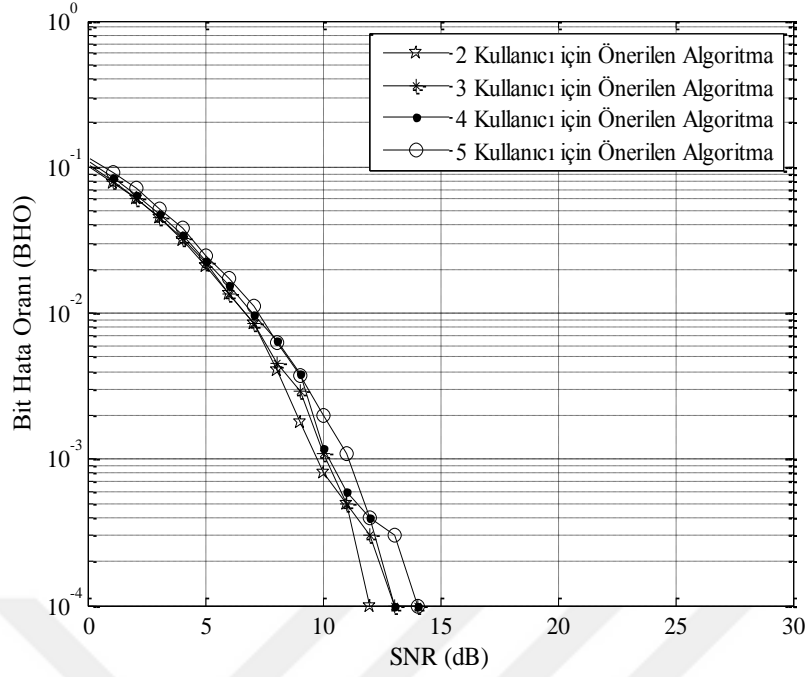
Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 incelendiğinde Şekil 4.13' teki performansın diğer şekle göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 4.12, 128 alt taşıyıcılı ve 5 kullanıcı sistemde uygulanan Önerilen algoritma için 10^{-3} BHO değerinde 13 dB SNR oranını verirken Şekil 4.13, 256 alt taşıyıcılı, 5 kullanıcı sistemde uygulanan algoritmanın performansı için 11 dB SNR oranını vermektedir. Yani 256 alt taşıyıcılı sistemde 2 dB' lik kazanç söz konusudur.

Ayrıca Önerilen algoritma, diğerlerine göre daha iyi olan XuKim algoritmasından daha başarılı olduğu şekiller ile kanıtlanmıştır. Şekil 4.10 ve Şekil 4.12 incelendiğinde, 128 alt taşıyıcılı, 2 kullanıcılı sistem için 10 dB de XuKim algoritması yaklaşık $1.2 * 10^{-3}$ bit hata oranı verirken Önerilen algoritma 10^{-3} bit hata oranı vermektedir. Bit hata oranındaki bu azalış 3, 4 ve 5 kullanıcılı durumlar için karşılaştırma yaptığımızda da geçerlidir.

Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda kullanılan parametrelere göre farklı kullanıcı sayılarında DaKo, Greedy, Max-Min ve XuKim algoritmalarından Önerilen algoritma daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 4.12. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın farklı kullanıcı sayılarında performansı.



Şekil 4.13. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın farklı kullanıcı sayılarında performansı.

4.2.3. Modülasyon Türüne Göre Algoritmaların Tahsisi

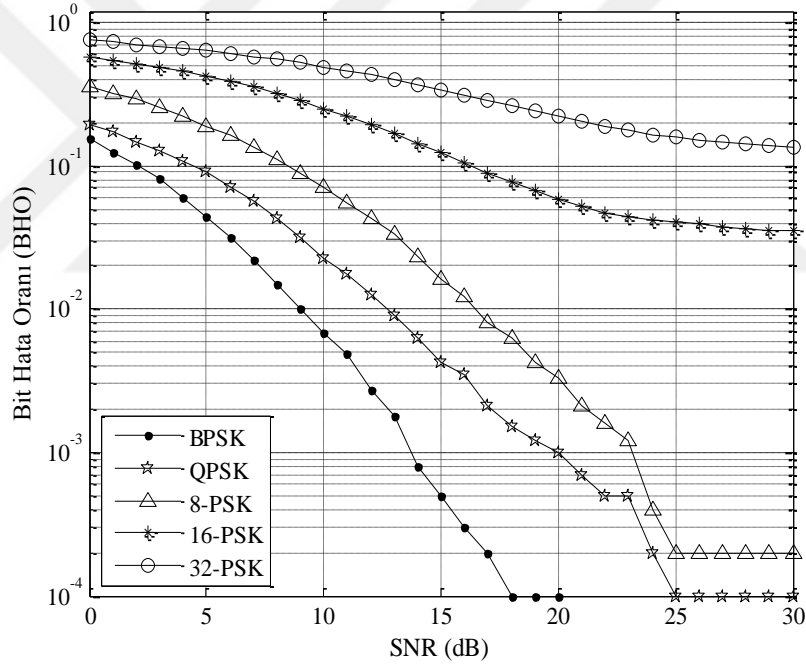
Algoritmaların performansını kıyaslamak için kullanılan bir başka kriter ise modülasyon türüdür. Farklı modülasyon türü olarak değerlendirmelerde BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK modülasyonları kullanılmıştır. Algoritmaların performanslarını değerlendirmek için BHO-SNR grafiği tercih edilmiştir.

Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16' da farklı alt taşıyıcı sayılarında DaKo algoritmasının modülasyon çeşitlerinde elde edilen 0-30 dB SNR aralığındaki BHO grafiği görülmektedir.

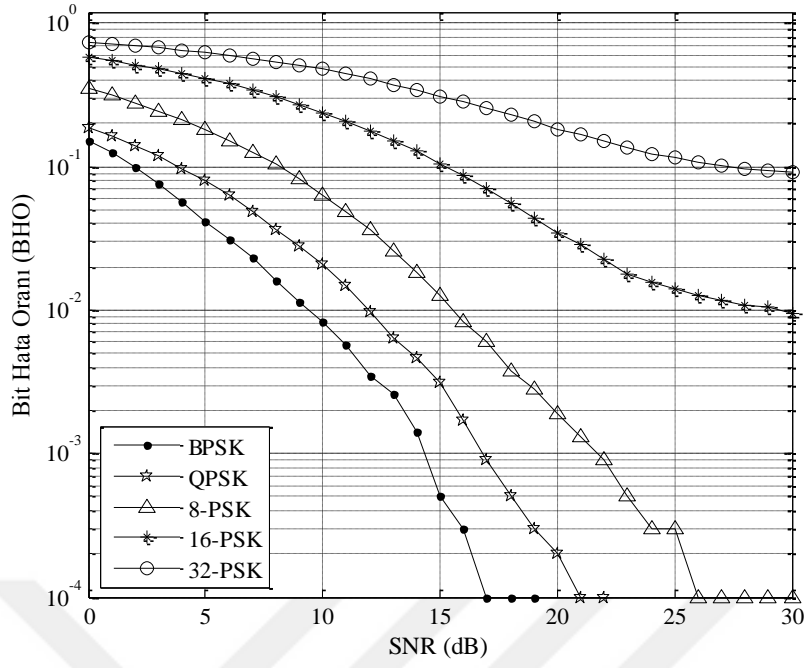
Şekil 4.14 incelendiğinde, QPSK modülasyonu uygulanan sistemdeki DaKo algoritmasının performansı 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK modülasyonları uygulanan sistemdeki DaKo algoritmasının performansına göre daha iyidir. BPSK modülasyon uygulanmış sistemdeki algoritmanın sağladığı kazanç, QPSK uygulanmış sistemdeki

algoritmanın sağladığı kazançtan fazladır. 10^{-2} BHO değerinde 4 dB' e yakın fark vardır.

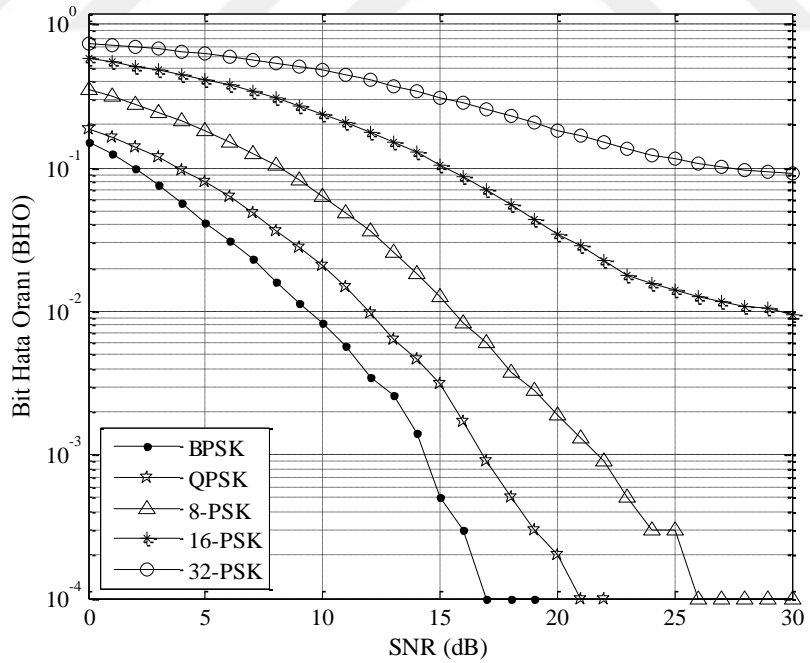
Şekil 4.15' e bakıldığında, BPSK modülasyonu uygulanan sistemdeki DaKo algoritması, diğer modülasyon çeşitleri uygulanan sistemdeki DaKo algoritmasına göre daha fazla kazanç ortaya koyduğu görülmektedir. Bu şekillere göre, BPSK modülasyonu uygulandıktan sonra yapılan algoritmanın performansı diğer modülasyon türlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca farklı alt taşıyıcı sayılarına göre yapılan değerlendirmede Şekil 4.16' da yer alan 256 alt taşıyıcıdaki performans diğer taşıyıcı sayılarına göre üstün başarı göstermiştir.



Şekil 4.14. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde DaKo algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.



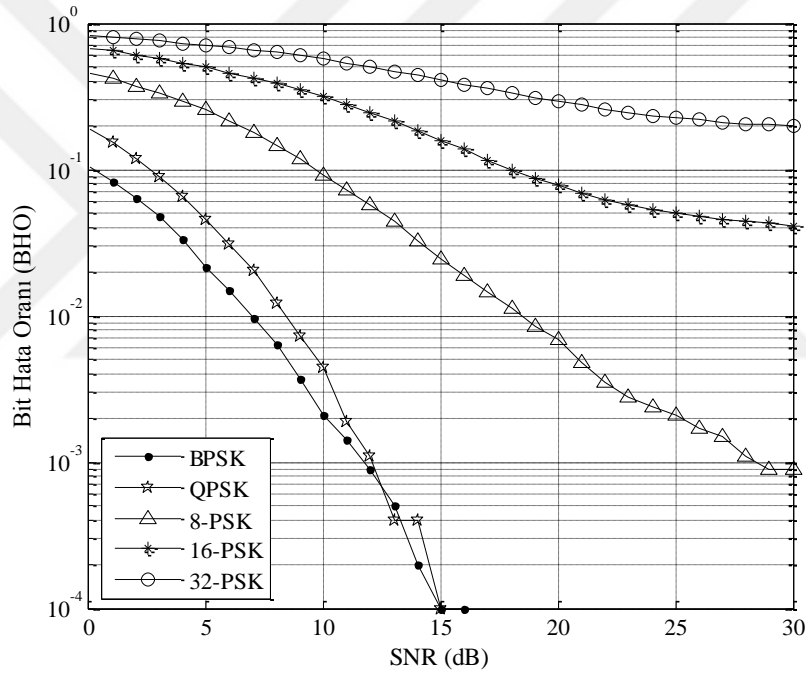
Şekil 4.15. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde DaKo algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.



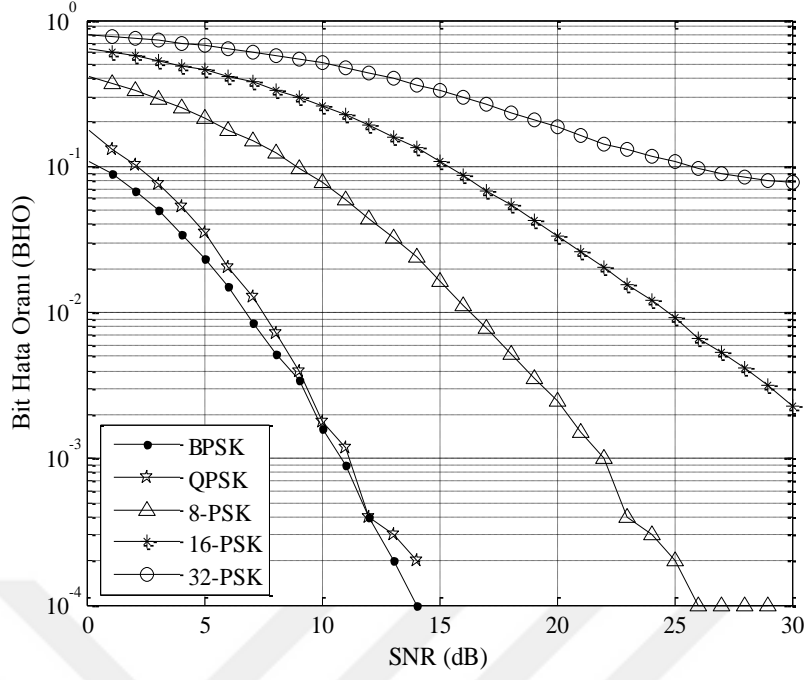
Şekil 4.16. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde DaKo algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.

Şekil 4.17, 4.18 ve 4.19’da alt taşıyıcı tahsisi için kullanılan Greedy algoritmasının farklı modülasyon türlerinde BHO-SNR değişim grafikleri yer almaktadır. Faz sayısının artması sistemin genel olarak performansının düşmesine neden olmuştur.

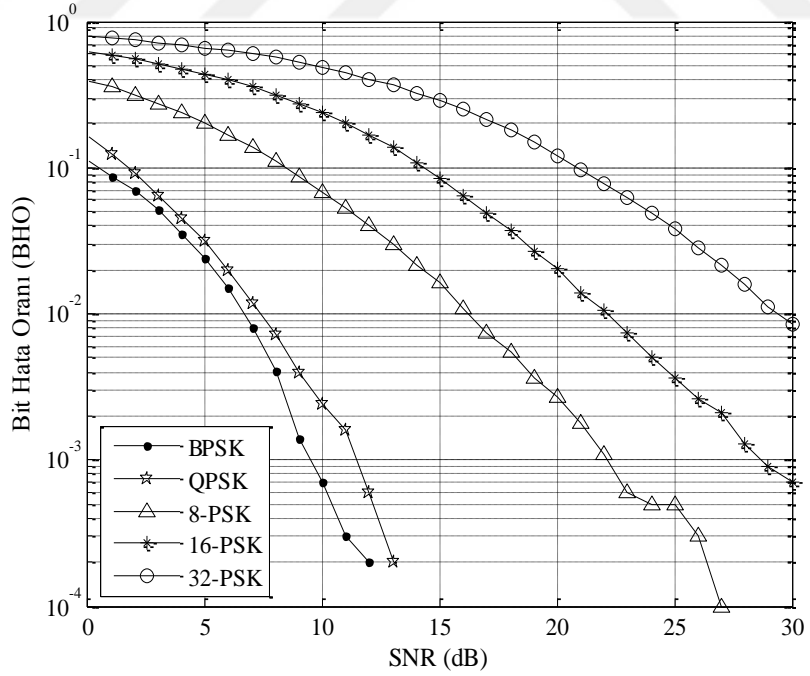
Şekil 4.19, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’ e kıyasla Greedy algoritması performansının en iyi olduğu BHO değerlerini içeren şekildir. Şekil 4.19’ da, 10^{-2} BHO değerinde BPSK modülasyonu ve Greedy algoritması uygulanan sistemde algoritmanın SNR değeri 7 dB’ dir. Algoritma sisteme BPSK uygulanması ile QPSK, 8-PSK, 16-PSK ve 32-PSK’ a göre sırasıyla 1, 9, 15 ve 22 dB daha fazla kazanç sağlamıştır.



Şekil 4.17. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Greedy algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.



Şekil 4.18. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Greedy algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.

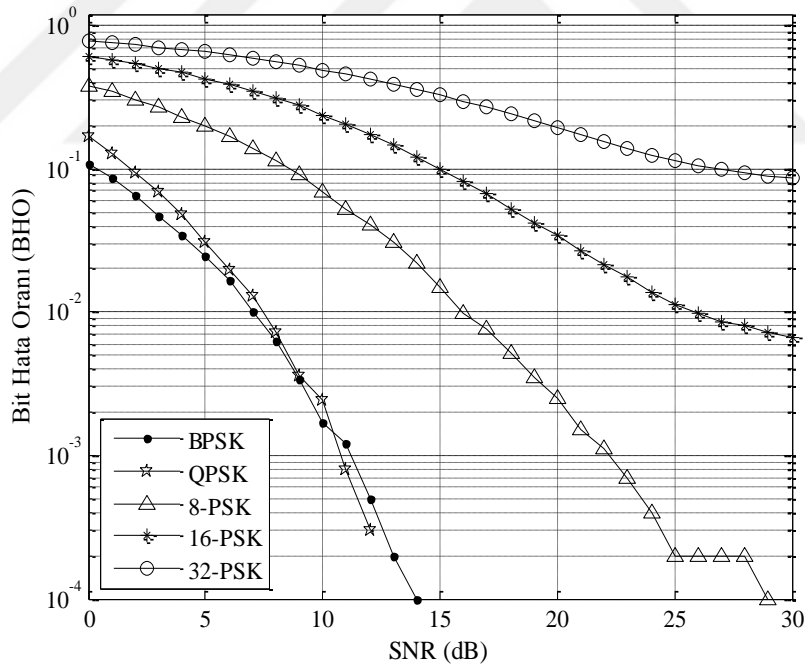


Şekil 4.19. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Greedy algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.

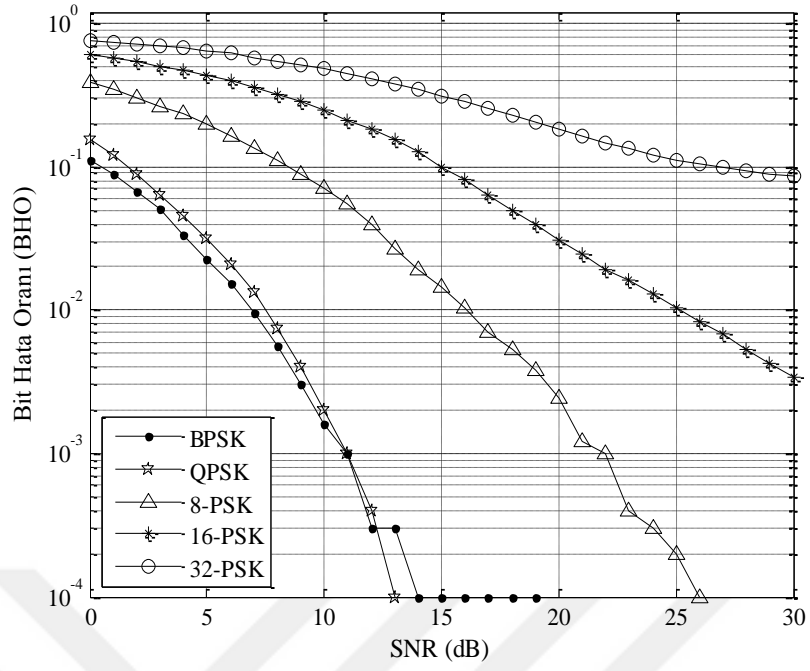
Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’ de alt taşıyıcı tahsisi için kullanılan Max-Min algoritmasının farklı modülasyon türlerinde performans değerlendirmesi görülmektedir. Şekillerden de görüleceği üzere Max-Min algoritmasının alt taşıyıcı sayısının fazla olmasına bağlı olarak performansı artmaktadır.

Şekil 4.20, 64 alt taşıyıcının bulunduğu sistemde BPSK modülasyonu uygulandığında algoritmanın performansının en iyi, QPSK uygulandığında en iyiye yakın olduğunu göstermektedir. En kötü performansın ise 32-PSK ile gerçekleşeceği bilgisi Şekil 4.20’ den elde edilmektedir.

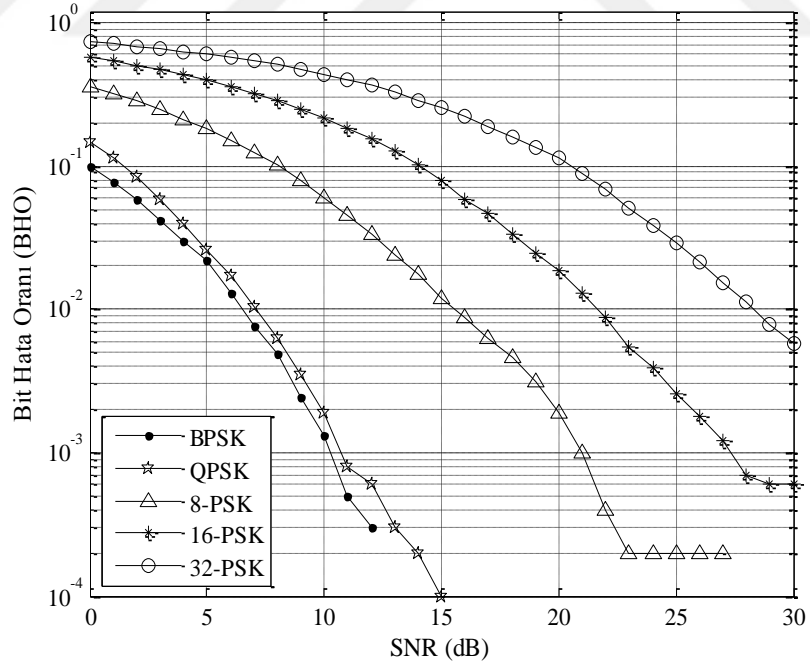
Sisteme modülasyon türlerinden BPSK uygulandığında algoritmanın performansı Şekil 4.22’ de $1.2 * 10^{-3}$ bit hata oranı ile Şekil 4.20’ de $1.9 * 10^{-3}$ ve Şekil 4.21’de $1.8 * 10^{-3}$ bit hata oranına göre yüksek başarı göstermektedir.



Şekil 4.20. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Max-Min algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.

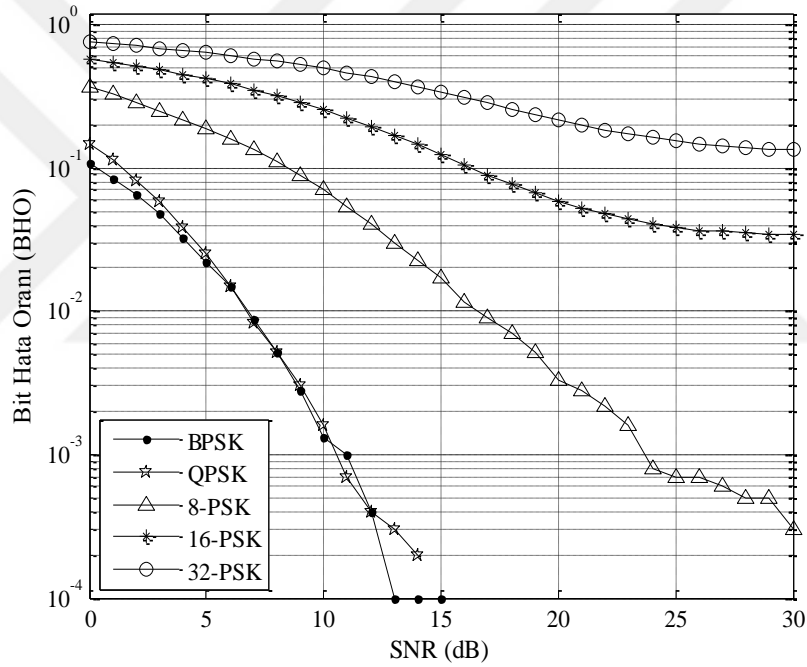


Şekil 4.21. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Max-Min algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.

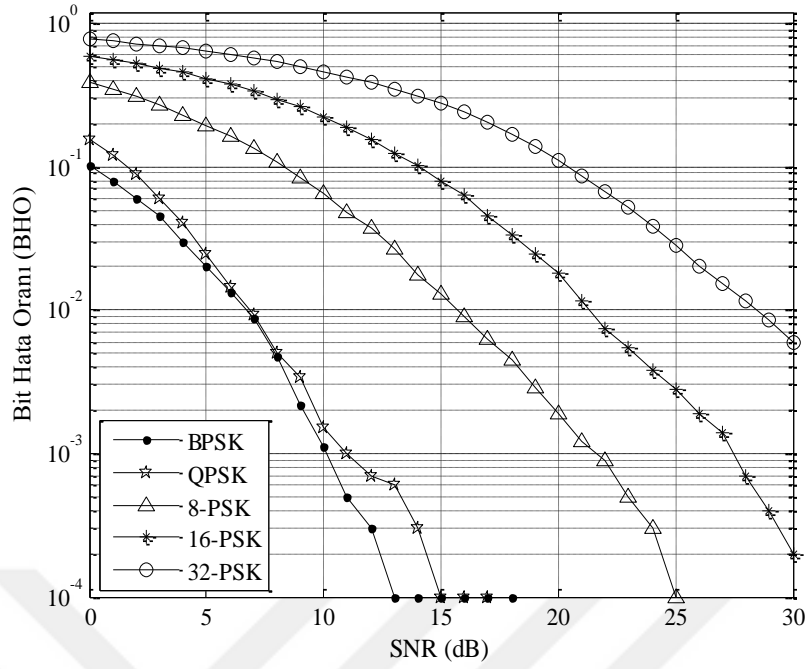


Şekil 4.22. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Max-Min algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.

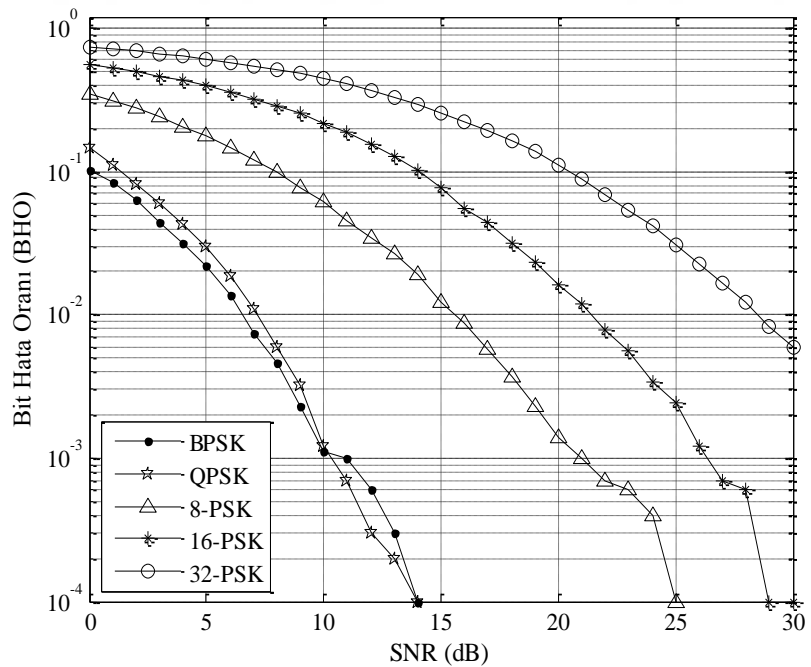
Literatürdeki ele aldıklarımızdan en iyi performans gösteren XuKim algoritma değerlendirmesi Şekil 4.23, 4.24 ve 4.25’ de açıkça görülmektedir. Diğer algoritmalarda olduğu gibi BPSK modülasyonu en iyi sonucu vermesinin yanında 256 alt taşıyıcıda üstün başarı sağlamaktadır. Bunu Şekil 4.25’ e baktığımızda 256 alt taşıyıcılı ve BPSK modülasyonu uygulanmış bir sistemde algoritma başarısını 10 dB SNR’ de 10^{-3} BHO değeri ile ortaya koymaktadır. Algoritma, aynı modülasyonda 10 dB SNR’ de 10^{-3} BHO değeri ile ortaya koymaktadır. Algoritma, aynı modülasyonda 10 dB SNR’ de 64 alt taşıyıcılı sistemde performansı gösteren Şekil 4.23’ te $1.2 * 10^{-3}$ ve 128 alt taşıyıcılı sistemde performansı gösteren Şekil 4.24’ te $1.1 * 10^{-3}$ BHO değerleri vermektedir.



Şekil 4.23. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde XuKim algoritmanın modülasyon türlerinde performansı.



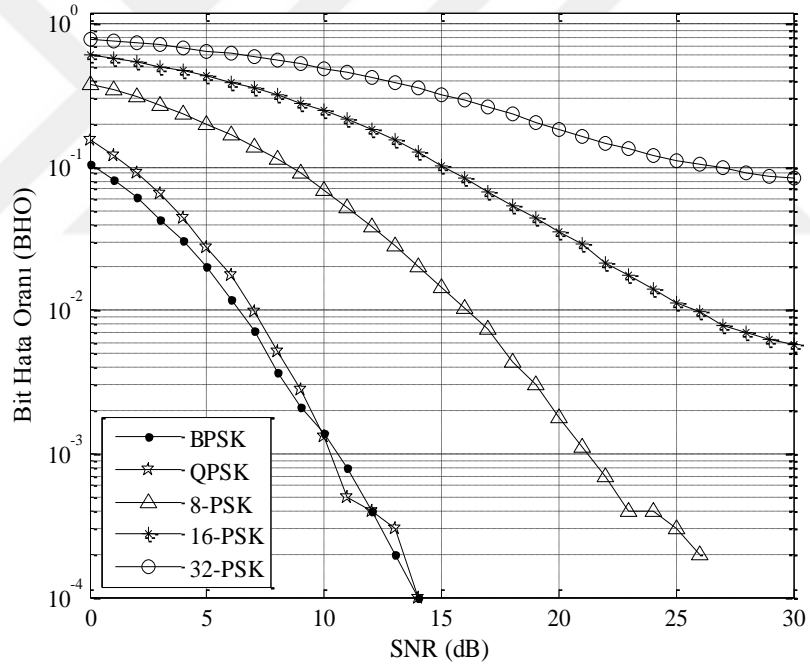
Şekil 4.24. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde XuKim algoritmanın modülasyon türlerinde performansı.



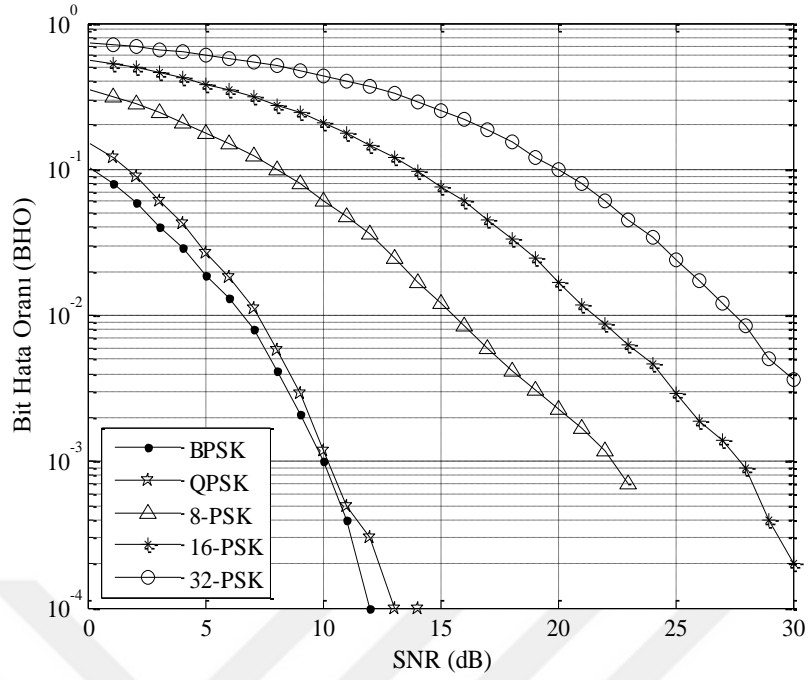
Şekil 4.25. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde XuKim algoritmasının modülasyon türlerinde performansı.

XuKim algoritması kaynak alınarak sunulan Önerilen algoritmanın farklı modülasyon türlerindeki performans sonuçları Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’ de yer almaktadır. Algoritma, 10 dB SNR oranında sisteme uygulanan modülasyonlardan BPSK’ ya bakıldığında Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28’ de sırayla $1.5 * 10^{-3}$, $1.2 * 10^{-3}$ ve 10^{-3} bit hata oranını vermiştir. Verdiği değerlerden anlaşılacağı üzere 256 alt taşıyıcılı bir sistemde BPSK uygulandığı zaman veri daha az hata oranıyla alınabilmektedir.

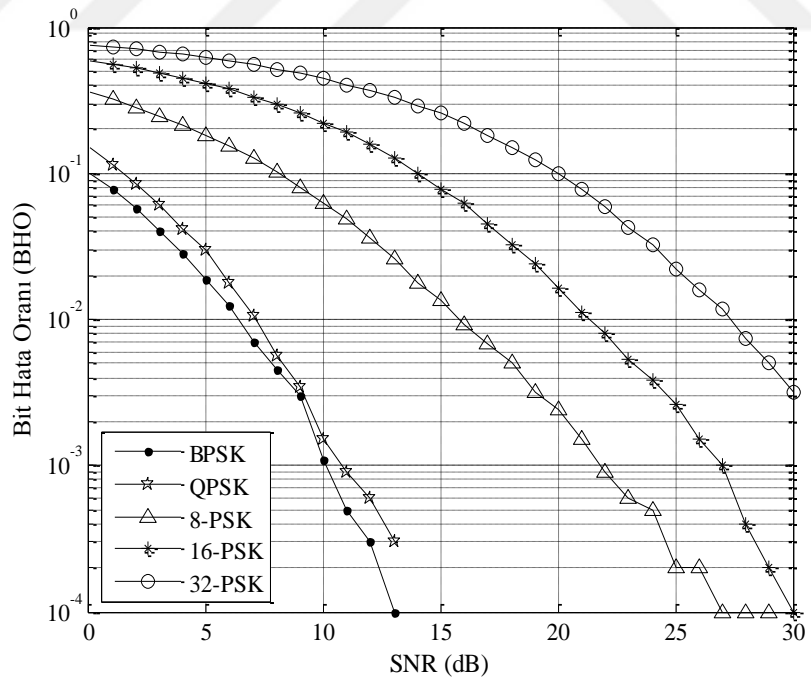
Şekillerden, diğer algoritmalarından daha iyi sonuç veren Xukim ve Önerilen algoritma gerek modülasyon türleri gerekse alt taşıyıcı sayıları dikkate alınarak karşılaştırıldığında, Önerilen algoritmanın performansının XuKim algoritması performansından daha üstün olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.26. 64 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın modülasyon türlerindeki performansı.



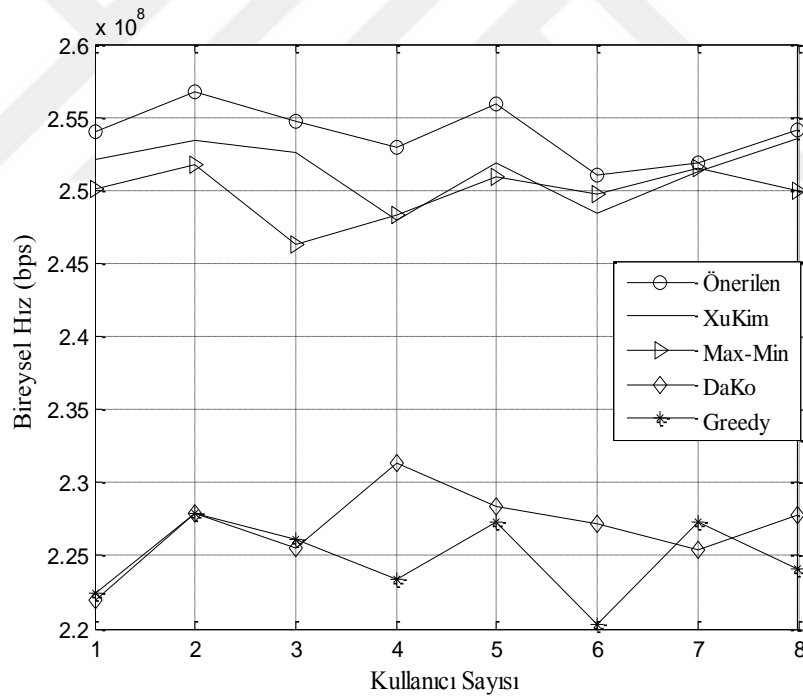
Şekil 4.27. 128 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın modülasyon türlerinde performansı.



Şekil 4.28. 256 alt taşıyıcılı MC-CDMA sisteminde Önerilen algoritmanın modülasyon türlerinde performansı.

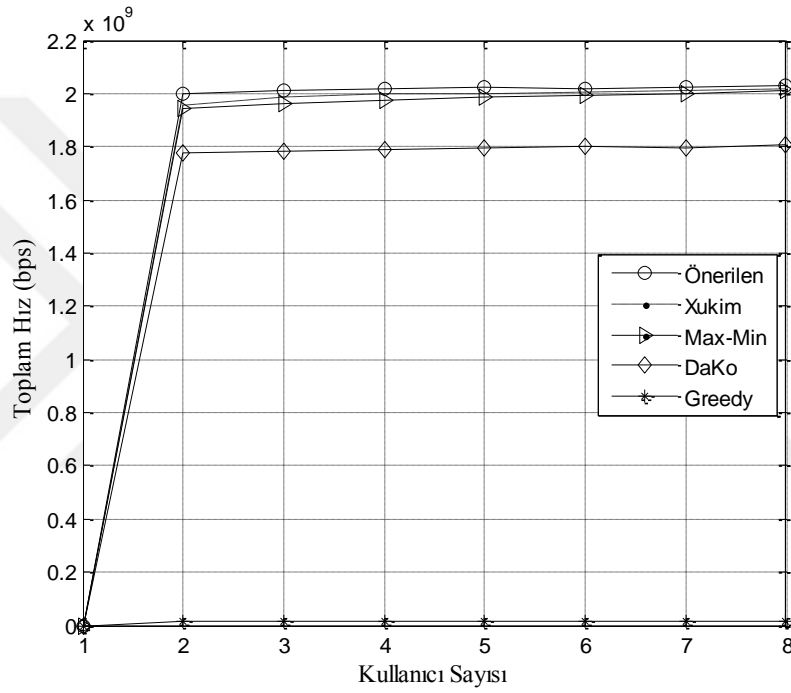
4.2.4. Algoritmaların Hız ve Adil Dağılım Karşılaştırılması

Veri iletiminde istenilen kullanıcı ve sistem hızı artırma işleminde tahsis algoritmaları rol oynamaktadır. Bu algoritmaların, kullanıcı hızına ve sistemin toplam hızına etkileri Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’ da karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.29’ da algoritmaların en iyi karşılaştırıldığı beş kullanıcı için en kötü performans gösteren Greedy algoritması $2.27 * 10^8$ bps ile diğer algoritmalarından hız performansı olarak geride kalmıştır. $2.28 * 10^8$ bps ile DaKo algoritması, $2.51 * 10^8$ bps değerini veren Max-Min algoritmasından daha kötü sonuç ortaya koymuştur. Önerilen algoritma $2.56 * 10^8$ sonucu ile $2.52 * 10^8$ sonucunu veren XuKim algoritmasından daha iyi performans göstererek algoritmalar içinde en iyi hız artıran algoritma olduğu Şekil 4.29’ da görülmektedir.



Şekil 4.29. Algoritmaların bireysel hız performanslarının karşılaştırılması.

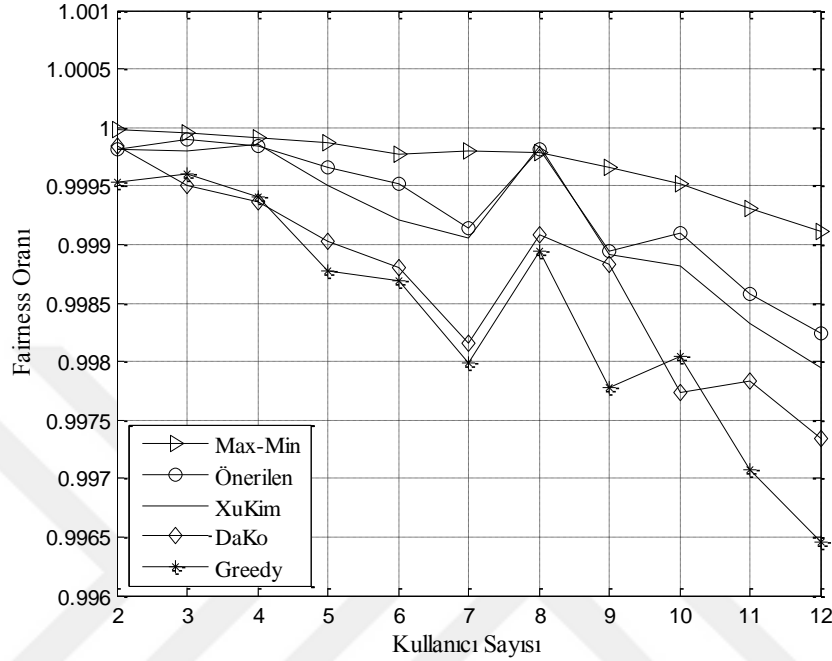
Şekil 4.30' a bakıldığında, toplam hız bakımından yine 5 kullanıcı için Önerilen algoritma $2 * 10^9$ bps ile en iyi sonuç verirken XuKim algoritması ve Max-Min algoritması, Önerilen algoritmaya yakın sonuç vererek yaklaştığı görülmektedir. DaKo algoritması $1.8 * 10^9$ bps ile, Greedy algoritmasından daha iyi performans göstermiş ancak diğer üç algoritmaya göre düşük performans göstermiştir. Greedy algoritması toplam hıza çok katkısı olmamakta, bu nedenle düşük bps sonucu vermektedir.



Şekil 4.30. Algoritmaların toplam hız performanslarının karşılaştırılması.

Adil dağılım indeksi sistemde tahsis edilen bant genişliği, güç ve data hızı türünden tanımlanabilmektedir. Bu tezde adil dağılım kavramı data hızı türünden açıklanmıştır.

Adil dağılım, kullanıcılara ihtiyacı olan alt taşıyıcıyı dağıtma oranlarını gösteren, 0 ve 1 aralığında değer alan bir parametredir. Değerin 1 veya 1' e yakın sonuç vermesi tercih edilen unsurlardan biridir.



Şekil 4.31. Adil dağılım karşılaştırılması.

6 kullanıcı için Şekil 4.31' e bakıldığında; Greedy algoritması 0,9987, DaKo algoritması 0,9988, XuKim algoritması 0,9993, Önerilen algoritma 0,9995 ve Max-Min algoritması 0,9997 oranını verdiği görülmektedir. Max-Min algoritması adil dağılım bakımından iyi performans gösterirken bu performansını Önerilen algoritma takip etmektedir. XuKim algoritması, Önerilen algoritmaya yakın adil dağılım oranı vermiştir. DaKo algoritması ise Greedy algoritmasına göre daha iyi, ancak XuKim algoritmasına göre daha kötü adil dağılım oranı elde etmiştir.

Kullanıcı sayısı arttıkça adil dağılım kriterinde azalma söz konusudur. Çünkü kullanıcı sayısının artması kullanıcı başına düşen alt taşıyıcı sayısının azalmasına neden olacaktır. Bu da ihtiyaç olan alt taşıyıcı sayısının karşılanamaması ve adil dağılım değerinin 1' den azalan oran vermesi demektir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde ilk olarak yüksek hızlarda veri iletimini sağlayan MC-CDMA sistemlerinde alt taşıyıcı tahsisi için kullanılan algoritmalar incelenmiş ve yeni bir algoritma önerilmiştir.

MC-CDMA sistemlerinde alt taşıyıcı tahsisi sağlamak için kullanılan DaKo, Greedy, Max-Min, XuKim ve Önerilen algoritmaların performansları farklı kullanıcı ve alt taşıyıcı sayıları için BPSK, QPSK, 8- PSK, 16-PSK, 32-PSK modülasyonları kullanılarak Rayleigh sönümlmeli (Rayleigh fading) kanalda iletim durumunda simüle edilerek incelenmiştir.

Algoritmaların birbirilerine göre performans değerlendirmesi için alıcı tarafta elde edilen verilerin farklı SNR değerlerinde bit hata oranları (BHO) grafiksel olarak gösterilmiştir. Algoritmaların performanslarını hatasız olarak değerlendirmek amacıyla, tüm algoritmalarda aynı veri değerleri kullanılmıştır. Bu sayede daha objektif bir değerlendirme imkanı sunulmuştur.

Elde edilen benzetim sonuçlarına göre; Önerilen algoritma, DaKo, Greedy, Max-Min algoritmalarından daha iyi; XuKim algoritmasına ise yakın performans göstermiştir. DaKo algoritması, başlangıçta kullanıcı başına düşen alt taşıyıcı sayısını belirlemekte ve daha sonra her bir kullanıcıya sırayla birer taşıyıcı atamaktadır. Kullanıcı başına düşen taşıyıcı sayısı kadar atama gerçekleştirmek için yine kullanıcılara sırasıyla maksimum kazanç sağladığı alt taşıyıcı atanmaktadır. Bu işlem tüm kullanıcılar belirlenen taşıyıcı sayısına sahip olana kadar devam etmektedir. Greedy algoritmasında ise anlık durum söz konusudur ve atanacak alt taşıyıcı için kullanıcı seçimi yapılmakta bunun sonucunda kullanıcı başına daha fazla taşıyıcı atanabilmektedir. Daha fazla taşıyıcı daha az BHO demektir. Bu nedenle Greedy algoritması, DaKo algoritmasından daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca Greedy algoritması taşıyıcıyı sadece kanal kazancına göre kullanıcıyı belirleyip ona atadığı için bir kullanıcıya fazla alt taşıyıcı atarken diğerine ihtiyacından daha az

atayabilmektedir. Bu nedenle adil dağılım özelliğini minimuma düşürmektedir. Max-Min algoritması, minimum hızlı (rate) kullanıcıya öncelik tanıyarak o kullanıcının hızını artırmayı sağlamaktadır. Hızın artması bit hata oranının azalmasına neden olurken, Max-Min algoritmasının DaKo ve Greedy algoritmasına göre daha iyi sonuç vermesini sağlamıştır. XuKim algoritması ise kullanıcı başına düşen taşıyıcı sayısını başlangıçta belirlemesi, düşük kanal kazançlı kullanıcılara maksimum kazanç sağlayan taşıyıcıların atamasında öncelik sağlaması nedeniyle Max-Min algoritmasından daha iyi performans göstermektedir. Önerilen algoritma, XuKim algoritmasındaki gibi atanacak taşıyıcı sayısı baştan belirlenmekte ancak her bir kullanıcıya atanacak sayı kadar fazla alt taşıyıcı elde bulundurulmaktadır. Bu taşıyıcılar önceliği kötü kazançlı kullanıcıya dağıtıldığı için Önerilen algoritma diğer algoritmalarından daha iyi sonuç göstermiştir.

Bahsi geçen algoritmalar kullanıcı ve alt taşıyıcı sayısına göre karşılaştırıldıktan sonra modülasyon kriteri dikkate alınarak da çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada farklı modülasyon türlerinde gerçekleştirilen taşıyıcı tahsisinde algoritmalar için bit hata oranları değerlendirilmesi yapılmış ve BPSK modülasyon türü ile yapılan tahsislerde elde edilen bit hata oranı değerleri diğer modülasyon türlerinden daha iyi olduğu görülmüştür.

İleride yapılacak çalışmalarda, MC-CDMA sistemlerinde alt taşıyıcı tahsisi sağlamak için yapay zeka optimizasyon algoritmaları ile tahsis işlemi yapılabilecektir. Bu sayede optimum değerler elde edilerek daha verimli, hatasız ve daha hızlı veri iletimi gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Van Nee, R., Prasad, R., OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, London, Publisher, 2000.
- [2] Edforts, O., et al., An Introductionto Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, Technical Report, 1996.
- [3] Prased, R., CDMA For Wireless Personel Communications, Mobile Communication Series, Artech House Publisher, Michigan Üniversitesi, 1996.
- [4] Duel-Hallen, Holtzman, J., Zvonar, Z., Multiuser Detection for CDMA Systems, IEEE Personal Communications, 2(2), 46-58, 1995.
- [5] Weinstein, S. B., , Ebert, P.M., Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform, IEEE Transactions on Communication Technology, 19(5), 628-634, 1971.
- [6] Stern Harold, P.E. , Mahmoud Samy A. , Communication Systems: Analysis and Design, Prentice Hall Publisher, 2003.
- [7] Ertürk, S., Sayısal Haberleşme, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [8] M., Çiçek, Çok Taşıyıcılı-Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) Sistemlerinde Çok Kullanıcılı Sezme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üni., Kayseri, 2008.
- [9] Cimini, L. J., Analysis and Simulation of Digital Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing, IEEE Transactions on Communications, 33 (7), 665-675, 1985.

- [10] T., Yücek, Self Interference Handling in OFDM Based Wireless Communication Systems, MSc. Thesis, University of South Florida, U.S.A., 2003.
- [11] Sadat, A., Mikhael, W. B., Fast Fourier Transform For High Speed Wireless Multimedia System, IEEE Transactions on Signal Processing, 2, 938-942, 2001.
- [12] S., Kaya, Sayısal Yayın Sistemleri İçin Kodlanmış Ofdm Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üni., İstanbul, 2008.
- [13] Hoeg, W., Lauterbach, T., Digital Audio Broadcasting: Principles and Applications of Digital Radio, Wiley, John and Sons, England, 2003.
- [14] M., Karabacak, Kablosuz Haberleşme Sistemleri İçin Modülasyon Tanıma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üni., İstanbul, 2010.
- [15] K., Yanık, Frekans Hoplamalı Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim Sistemlerinin Başarım Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üni., Zonguldak, 2012.
- [16] Hara, S., Prasad, R., Overview of multicarrier CDMA, IEEE Communications Magazine, 35(12), 126-133, 1997.
- [17] Wang, X., Mao, Z., Multiuser Detection for MC-CDMA Systems Using an RQP Approach, IEICE Transactions Communications, E88-B(11), 4394-4397, 2005.
- [18] P.L., Kafle, Channel coding, Multiuser Detection and Space-Time Diversity for Multicarrier CDMA Systems, Ph.D. Thesis, The University of Calgary, Alberta, 2003.

- [19] Ekin, S.; Abdallah, M.M.; Qaraqe, K.A.; Serpedin, E., Random Subcarrier Allocation in OFDM-Based Cognitive Radio Networks, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 60(9), 4758 - 4774, 2012.
- [20] Jang, J., Lee K. B., Transmit Power Adaptation for Multiuser OFDM Systems, *IEEE Journal On Selected Areas In Communications* , 21(2), 171-178, 2003.
- [21] Almalfouh, S. M., Stüber, G. L., Interference Aware Subcarrier and Power Allocation in OFDMA-Based Cognitive Radio Networks, *Multi-Carrier Systems & Solutions*, vol. 41, 35-45, 2009.
- [22] Ergen, M., Coleri, S., Varaiya, P., Qos Aware Adaptive Resource Allocation Techniques for Fair Scheduling in OFDMA Based Broadband Wireless Access Systems, *IEEE Transactions on Broadcasting*, 49(4) ,362-370, 2003.
- [23] Tulino, A. M., Li, L., Sergio, V., Spectral Efficiency of Multicarrier CDMA, *IEEE Transactions on Information Theory*,51(2),479-505, 2005.
- [24] Fuwa, Y., Okamoto, E., Iwanami, Y., Resource Allocation Scheme with Proportional Fairness for Multi-user Downlink MIMO-OFDMA-CDM Systems, *IEEE International Symposium on Communications and Information Technology*, 588-593, 2009.
- [25] Yee, N., Linnartz, J. P., Fettweis, G., Multicarrier CDMA In Indoor Wireless Radio Networks, *IEICE Transactions Communications*, E77-B(7), 900-904, 1994.
- [26] M.N., Seyman, Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama (OFDM) Sistemlerinde Senkronizasyon Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üni, Kayseri, 2005.
- [27] Bai, B., Chen, W., Cao, Z., Letaief, K.B., Achieving High Frequency Diversity With Subcarrier Allocation In OFDMA Systems, *IEEE Global Telecommunications Conference*, 1-5, 2008.

- [28] Tulino, A.M., Li, L., Verdu, S., Spectral Efficiency of Multicarrier CDMA, IEEE Transactions on Information Theory, 51(2), 479-505, 2005.
- [29] Faryad, V., Milani, M.M.R.A., Mobil İletişim Nesillerin Evrim İncelemesi: 4G'ye kadar, Akademik Bilişim, İnönü Üni., Malatya, 2011.
- [30] Yazgan, A., Tuğcu, E., Aydemir, Ö., Şimşek, C. Ofdm Sisteminin AWGN Kanallardaki Performansının İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üni.,2009.
- [31] Zhou, X-J, Zhang, J-S, An Improved Fair Subcarrier Allocation Algorithm for Multiuser OFDM System, International Conference On Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology , vol.5, 2548-2552, 2011.
- [32] Rhee, W., Cioffi, J. M., Increase In Capacity Of Multiuser OFDM System Using Dynamic Subchannel Allocation, IEEE International Vehicular Tehcnology Conference Proceedings, vol.2, 1085-1089, 2000.
- [33] Rasouli, H., Anpalagan, A., An Asymptotically Fair Subcarrier Allocation Algorithm in OFDM Systems, IEEE Vehicular Technology Conference, 1-5, 2009.
- [34] C., Turgu, Çok Kullanıcılı OFDM için Kaynak Tahsisi Resource Allocation For Multiuser OFDM, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üni., Ankara, 2008.
- [35] Otani, Y., Ohno, S., Teo, K.A.D., Hinamoto, T., Subcarrier Allocation For Multi-user OFDM System, Asia-Pasific Conference on Communications, 1073-1077, 2005.
- [36] Chen, M., Huang J., Optimal Resource Allocation for OFDM Uplink Communication: A Primal – Dual Approach, Annual Conference on Information Sciences and Systems, 926-931, 2008.

- [37] Wang, Y., Zhang, P., Liu, Y., Liu, J., A Novel Criterion of Subcarrier Allocation for Grouped MC-CDMA Systems, International Conference on Communications and Networking, 1090-1095, 2007.
- [38] Kim, Y., Nam, H., Womack, B. F., An Adaptive Grouped-Subcarrier Allocation Algorithm Using Comparative Superiority, IEEE Military Communications Conference, vol.2, 963-969, 2005.
- [39] Lee, J., Yoon, D., Jeong, W.K., Cha, K., et al., Efficient Subcarrier Allocation for Stable Services In Multi-user OFDM Systems, Mobile and Wireless Communications Summit, 1-4, 2007.
- [40] Zhang, G., Feng, S., Subcarrier Allocation Algorithms Based On Graph-Coloring In Cognitive Radio NC-OFDM System, IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, vol.2, 535-540, 2010.
- [41] Zehavi, E., Leshem, A., Levanda, R., Zhu Han, Weighted Max-Min Resource Allocation for Frequency Selective Channels, IEEE Transactions on Signal Processing, 61(15), 3723-3732, 2010.
- [42] Yang, J.S., Park, S.K., Kwon, J.W. , Performance Analysis of Adaptive Subcarrier Allocation Scheme To Support Qos In Multiuser OFDM System, Wireless and Optical Communications Conference, 1-4, 2009.
- [43] Zhao, Y., Haggman, S.G., Intercarrier Interference Self-Cancellation Scheme for OFDM Mobile Communication System, IEEE Transactions on Communications, 49(7), 1185-1191, 2001.
- [44] Shen, Z., Andrews, J. G., Evans, B. L., Optimal Power Allocation In Multiuser OFDM Systems, IEEE Global Telecommunications Conference, vol.1, 337-341, 2003.

- [45] Ma, Y., Cai, Y., Xu, Y., Adaptive Subcarrier and Antenna Allocation for Multiuser MIMO-OFDM Systems, IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 1-4, 2006.
- [46] Xu, J., Kim, J., Paik, W., Seo, J.S., Adaptive Resource Allocation Algorithm With Fairness For MIMO-OFDMA System, IEEE Vehicular Technology Conference, vol.4, 1585-1589, 2006.
- [47] Bin Da , C.C., Ko, Yanfen, Liang, An Enhanced Capacity and Fairness Scheme for MIMO-OFDMA Downlink Resource Allocation, International Symposium on Communications and Information Technologies, 495-499, 2007.
- [48] Lee, T. Jeong, J., Yoon, J., Shin, J., Adjustable Subcarrier Allocation for Spectral Efficiency and User Fairness in 3GPP LTE Downlink Systems, International Conference on Advanced Communication Technology, vol.2, 985-988, 2010.
- [49] Xiao, X., Hu, Z., Zhu, G., Adaptive Subcarrier allocation For Increasing The Capacity of Multiuser Spatial Multiplexing Based OFDM Systems, International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol.1, 377-381, 2005.
- [50] Caldwell, R., Anpalagan, A., Adaptive Subcarrier Allocation in Synchronous Reverse Links of a Multicarrier CDMA System with Time and Frequency Spreading, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 57(3), 1494-1501, 2008.
- [51] Wang, L., Lu, J., Qian, M., Adaptive OFDM Multi-service Resource Allocation for Power Line Communication , International Conference on Signal Processing, vol.2, 1406-1409, 2012.

- [52] Shuang Xiao, Xiao Xiao, Beiping Li, Zhenping Hu, Adaptive Subcarrier allocation for Multiuser MIMO OFDM Systems in Frequency Selective Fading Channel, International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, vol.1, 61-64, 2005.
- [53] Zukang, S., Andrews, J.G., Evans B.L., Adaptive Resource Allocation in Multiuser OFDM Systems, IEEE Transactions On Wireless Communications, 4(6), 2726-2737, 2005.
- [54] Zhang, T., Zeng, Z., Qiu, Y., A Subcarrier Allocation Algorithm for Utility Proportional Fairness in OFDM Systems, IEEE Vehicular Technology Conference, 1901-1905, 2008.
- [55] Huang, J., Zhisheng, N., A Fairness-based and Adaptive User Grouping and Subcarrier Allocation Algorithm for Grouped MC-CDMA Systems, IEEE Global Telecommunications Conference, 1-5, 2006.
- [56] Pandharipande, A., Kountouris, M., Ho Yang, Park, H., Subcarrier Allocation Schemes For Multiuser OFDM Systems, International Conference on Signal Processing and Communications, 540-544, 2004.
- [57] Huang, J., Niu, Z., An adaptive User Grouping and Subcarrier Allocation Algorithm for Multiuser MC-CDMA Networks, Asia-Pacific Conference on Communications, 1-5, 2006.
- [58] Wu, F., Abu A., Rgheff, M., An Efficient Sub Optimal Subcarrier Allocation Algorithm for Multiuser OFDM System, International Conference on Wireless and Mobile Communications, 190-195, 2009.
- [59] Chang, P. H., Jhang, C.H., Ku, K.H., Subcarrier Allocation for Multiuser OFDM System Based on Throughput, International Conference on Communications and Mobile Computing, vol.1, 278-282, 2009.

- [60] Liu, H-L, Wang, Q., A Hybrid Evolutionary Algorithm for OFDM Resource Allocation, IEEE Symposium on Computational Intelligence for Engineering Solutions, 43-47, 2013.
- [61] Pao, W.-C., Chen, Y.-F., Lai, J.-H., Improved Schemes for Subcarrier, Bit, and Power Allocation in Multiuser OFDM Systems, IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 1-5, 2009.
- [62] Zhang, G., Subcarrier and Bit Allocation for Real-time Services in Multiuser OFDM Systems, International Conference on Communications, vol.5, 2985-2989, 2004.
- [63] Huang, P.-H., Gai, Y., Krishnamachari, B., Sridharan, A., Sub-carrier Allocation in OFDM Systems: Complexity, Approximability and Algorithms, IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 1-6, 2010.
- [64] Rasouli, H., Sadr, S., Anpalagan, A., A Fair Subcarrier Allocation Algorithm for Cooperative Multiuser OFDM Systems with Grouped Users, IEEE Global Telecommunications Conference, 1-6, 2008.
- [65] Dongsheng, L., Weidong, K., A New Resource Allocation Scheme for Downlink OFDM Systems, International Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 1-3, 2006.
- [66] Zhang, L., Zhang, S., Zhou, W., A New Ratio-based Selection Adaptive Subcarrier Allocation Algorithm, International Conference on Communications, Circuits and Systems Proceedings, vol.2, 1189-1192, 2006.
- [67] Zhang, Y., Xiao, Y., Chen, H.-H., Queueing Analysis for OFDM Subcarrier Allocation in Broadband Wireless Multiservice Networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, 7(10), 3951-3961, 2008.

- [68] Peng, Y., Armour, S.M.D., McGeehan, J.P., An Investigation of Dynamic Subcarrier Allocation in MIMO-OFDMA Systems, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56(5), 2990 - 3005, 2007.
- [69] Zhang, Y., Chen, Y., Queueing Analysis of OFDM Subcarrier Allocation in Wireless Multimedia Networks, *International Symposium on Wireless Communication Systems*, 81-85, 2007.
- [70] Astawa, I.G.P., Moegiharto, Y., Zainudin, Salim, A.I.D., Anggraeni, N.A., Performance Analysis of MIMO-OFDM Using Convolution Codes with QAM Modulation, *International Scholarly and Scientific Research*, vol.7, 2013.
- [71] Li, Z., Zhu, G., Wang, W., Song, J., Improved Algorithm of Multiuser Dynamic Subcarrier Allocation in OFDM System, *International Conference on Communication Technology Proceedings*, vol.2, 1144-1147, 2003.
- [72] K., Konuklar, Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişimde Kanal Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üni., Ankara, 2007.
- [73] L., Özkan, OFDMA Sistemlerinde Alternatif Modülasyon Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üni., İstanbul, 2009.
- [74] Speth, M., et al., Optimum Receiver Design for OFDM Based Broad Band Transmission, *IEEE Transactions on Communications*, 49(4), 571-578, 2001.
- [75] Sadr, S., Anpalagan, A., Raahemifar, K., A Novel subcarrier Allocation Algorithm for Multiuser OFDM System With Fairness: User's Perspective, *IEEE Vehicular Technology Conference*, 1772-1776, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Bircan SAÇAKLI

Uyruğu: Türkiye (T.C.)

Doğum Tarihi ve Yeri: 14 Ocak 1989, Ankara

e-mail: bircensacakli@gmail.com

Adres: Bağlarbaşı Mahallesi Eliçi Sokak 12/13 06300

Keçiören/ANKARA

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lise	Fatih Sultan Mehmet Yab. Dil Ağırlıklı Lise	2006
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh.	2009
Yüksek Lisans	Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2015

YABANCI DİL

İngilizce

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015-Halen	Sasel Elektromekanik A.Ş.	Elektrik-Elektronik Mühendisi