



**KOD UZAY ÇOKLAMA YÖNTEMİ ALICI VERİCİ ANTEN SEÇİMİ İLE
BİT HATA ORANI AZALTIMI VE KAPASİTE ARTIRIMI**

Musa CİVİL

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2019

Musa CİVİL tarafından hazırlanan “KOD UZAY ÇOKLAMA YÖNTEMİ ALICI VERİCİ ANTEN SEÇİMİ İLE BİT HATA ORANI AZALTIMI VE KAPASİTE ARTIRIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Özgür ERTUĞ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Erkan AFACAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Orhan GAZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Murat Hüsni SAZLI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 30/12/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Musa CİVİL

30/12/2019

KOD UZAY ÇOKLAMA YÖNTEMİ ALICI VERİCİ ANTEN SEÇİMİ İLE BİT HATA ORANI AZALTIMI VE KAPASİTE ARTIRIMI

(Doktora Tezi)

Musa CİVİL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

Son yıllarda, 5. nesil haberleşme sistemleri tasarımlarında yüksek verimlilik ve yoğun bağlantı sağlayacak şekilde NOMA (Non-Orthogonal Multiple Acces) teknikleri kullanılması çok fazla dikkat çekmiş ve bu konuda araştırmalar devam etmektedir. Birçok haberleşme sistemi uzaysal, zamansal, frekans ve kodlu bir ve birden fazla boyutta dikiel kaynak kullanıp çoklu erişim gerçekleştirmektedir. Dikiel kaynak kullanımı yapılan tekniklerdeki en önemli kapasite sınırlaması spektral verimliliklerdir. Dikiel kaynak kullanımına alternatif olarak sunulan NOMA teknikleri gelecek nesil iletişim teknolojisinin anahtarı olarak nitelendirilmektedir. Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (ÇGÇÇ) yöntemi ile NOMA tekniklerinden biri olan Seyrek Kodlu Çoklu Erişim (SKÇE) yönteminin birleşimi oluşan Kod Uzay Çoklama Yöntemi (KUÇY) yeni nesil haberleşme sistemlerinde yüksek verimlilik sağlamaktadır. Bu çalışmada ÇGÇÇ ve SKÇE sistemlerinin kapasite artırımı etkisi analizleri sunulmuştur. ÇGÇÇ SKÇE sistemleri için alıcı ve verici tarafında değişken anten seçimi yapan ve bu sayede kapasite artırımı sağlayan optimum algoritma tamamlanmış ve sonuçları sunulmuştur. Gönderici tarafında kanal durum bilgilerini kullanan optimum algoritma yerine alıcı tarafında kanal durum bilgilerini anlık sinyal güç oranına göre kullanan Alıcı Tabanlı Anlık Sinyal Güç Oranı (ATASGO) algoritması geliştirilmiş olup analizler gerçekleştirilmiştir. Her iki algoritmanın değişken anten seçimi ve değişken anten sayısına göre bit hata oranı ve kapasite sonuçları sunulmuştur. Son olarak bu çalışmada, ATASGO algoritmasında bit hata oranını istenilen seviye getirmek için Uyarlamalı Güç Tahsisi (UGT) eklentisi yapıp, sonuçlar paylaşılmıştır.

Bilim Kodu : 90523
Anahtar Kelimeler : Çoklu Giriş Çoklu Çıkış, Seyrek Kodlamalı Çoklu Erişim, Kod Uzay Çoklama, bit hata oranı, anten seçimi, kapasite
Sayfa Adedi : 67
Danışman : Doç. Dr. Özgür ERTUĞ

BIT ERROR RATE MINIMIZING AND CAPACITY MAXIMIZING CODE SPACE
MULTIPLEXING METHOD WITH RECEIVER TRANSMITTER ANTENNA
SELECTION

(Ph. D. Thesis)

Musa CİVİL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

In recent years, the use of Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) techniques in order to provide high efficiency and massive connection in the design of 5G communication systems has attracted much attention and researches have been continued in this area. Most of the communication systems to achieve multiple access use space, time, frequency and one or more than one orthogonal coded sources. The most important capacity limitation is spectral efficiency in orthogonal techniques. NOMA techniques are presented as an alternative, which are called the key of the next generation communication technology. Code Space Multiple Access (CSMA) supports high efficiency in new generation communication systems, which is a combination of Multi Input Multi Output (MIMO) and one of the NOMA technique, Sparse Coded Multiple Access (SCMA). In this work, the capacity increasing effects analysis are presented for MIMO and SCMA systems. Optimal Algorithm (OA), which supports capacity increasing by making variable transmitter and receiver antenna selection, is used for MIMO-SCMA systems and related results are presented. Receiver Based Instant Signal Noise Ratio algorithm (RBISNR) which uses channel state information at receiver side instead of channel state information at transmitter side like as optimum algorithm is developed and analysis are carried out. The capacity and bit error rate results are presented for both algorithms by applying variable antenna selection and variable antenna quantity. Finally, Adaptive Power Allocation (APA) extension is applied to RBISNR algorithm to decrease bit error rate for desired level and results are shared in this study.

Science Code : 90523

Key Words : Multi Input Multi Output, Sparse Coding Multiple Access, Code Space Multiplexing, bit error ratio, antenna selection, capacity

Page Number : 67

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Özgür ERTUĞ

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam boyunca desteğini ve ilgisini esirgemeyen, birlikte çalışmaktan onur ve mutluluk duyduğum Sayın Hocam Doç. Dr. Özgür ERTUĞ'ya tüm desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim. Tez hakkındaki değerli katkıları ve değerlendirmeleri için Prof. Dr. Erkan AFACAN ve Doç. Dr. Orhan GAZİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Eğitim hayatım boyunca her zaman bana destek vermiş ve yanımda olmuş, maddi ve manevi yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen çok değerli aileme ve beni her konuda destekleyen sevgili eşim Ümüt CİVİL'e sonsuz teşekkür eder, çocuklarım İrfan Kadir CİVİL, Denizhan CİVİL ve Ayşe Bilge CİVİL'e ise akademik hayatlarında başarılar dilerim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇOKLU GİRİŞ ÇOKLU ÇIKIŞ SEYREK KODLU ÇOKLU ERİŞİM	5
2.1. Çoklu Giriş Çoklu Çıkış Metodu	5
2.2. Çoklu Giriş Çoklu Çıkış Spektral Verimlilik Analizi	7
2.3. Seyrek Kodlu Çoklu Erişim	10
2.4. TGTÇ SKÇE Bit Hata Oranı Analizi	17
3. OPTİMUM VE ATASGO ALGORİTMALARI.....	21
3.1. Kanal Kapasite Analizi.....	21
3.2. İkili Hata Olasılığı	26
3.3. Optimum Gönderici Anten Seçim Algoritması.....	27
3.4. ATASGO Gönderici Anten Seçim Algoritması.....	28
3.5. Optimum Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Algoritması	29
3.6. ATASGO Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Algoritması	29
3.7. ATASGO Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Algoritması UGT Eklentisi.....	30
4. NÜMERİK SONUÇLAR.....	33
4.1. Optimum Gönderici Anten Seçim Benzetim Sonuçları	34

Sayfa

4.2. Optimum Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Benzetim Sonuçları	39
4.3. ATASGO Gönderici Anten Seçim Benzetim Sonuçları.....	44
4.4. ATASGO Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Benzetim Sonuçları	49
4.5. ATASGO Gönderici Alıcı Anten Seçim UGT Eklentisi Benzetim Sonuçları.....	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Optimum gönderici anten seçimi kapasite değerleri (bps/Hz)	36
Çizelge 4.2. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi kapasite değerleri (bps/Hz).....	41
Çizelge 4.3. ATASGO gönderici anten seçimi kapasite değerleri (bps/Hz).....	46
Çizelge 4.4. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi kapasite değerleri (bps/Hz).....	51
Çizelge 4.5. ATASGO, UGT eklentisi kapasite değerleri (bps/Hz)	56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Temel ÇGÇÇ mimarisi	5
Şekil 2.2. 2x2 ÇGÇÇ sistemi.....	6
Şekil 2.3. ÇGÇÇ sistemlerde gönderici anten spektral verimlilik etkisi	9
Şekil 2.4. ÇGÇÇ sistemlerde alıcı anten spektral verimlilik etkisi.....	9
Şekil 2.5. ÇGÇÇ sistemlerde gönderici-alıcı anten spektral verimlilik etkisi	10
Şekil 2.6. 5.Nesil haberleşme sistemi etkileşimleri	11
Şekil 2.7. SKÇE kod kitabı kod dizini adreslemesi	12
Şekil 2.8. 4 → 3 noktalı düşük kod kitabı projeksiyonu.....	13
Şekil 2.9. LTE ve SKÇE kodlayıcı yapısı.....	14
Şekil 2.10. SKÇE kodlayıcı iç yapısı.....	14
Şekil 2.11. TGTÇ SKÇE sistem mimarisi	16
Şekil 2.12. ÇGÇÇ SKÇE (KUÇY) sistem mimarisi.....	16
Şekil 2.13. TGTÇ SKÇE (KUÇY) BHO grafiği.....	19
Şekil 2.14. TGTÇ SKÇE (KUÇY) kapasite analizi	20
Şekil 4.1. ÇGTÇ ve ÇGÇÇ SKÇE (KUÇY) sistem mimarisi	33
Şekil 4.2. Optimum gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği (NQ = 1)	34
Şekil 4.3. Optimum gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği (NQ = 2)	35
Şekil 4.4. Optimum gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği (NQ = 3)	35
Şekil 4.5. Optimum gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği (NQ = 4)	36
Şekil 4.6. Optimum gönderici anten seçimi BHO grafiği (NQ = 1)	37
Şekil 4.7. Optimum gönderici anten seçimi BHO grafiği (NQ = 2)	37
Şekil 4.8. Optimum gönderici anten seçimi BHO grafiği (NQ = 3)	38
Şekil 4.9. Optimum gönderici anten seçimi BHO grafiği (NQ = 4)	38

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği (N1).....	39
Şekil 4.11. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği (N2).....	40
Şekil 4.12. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği (N3).....	40
Şekil 4.13. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği (N4).....	41
Şekil 4.14. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($NQ = 1$).....	42
Şekil 4.15. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($NQ = 2$).....	42
Şekil 4.16. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($NQ = 3$).....	43
Şekil 4.17. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($NQ = 4$).....	43
Şekil 4.26. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği (N1).....	49
Şekil 4.27. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği (N2).....	50
Şekil 4.28. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği (N3).....	50
Şekil 4.29. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği (N4).....	51
Şekil 4.30. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($NQ = 1$).....	52
Şekil 4.31. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($NQ = 2$).....	52
Şekil 4.32. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($NQ = 3$).....	53
Şekil 4.33. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($NQ = 4$).....	53
Şekil 4.34. ATASGO, UGT eklentisi ergodik kapasite grafiği ($NQ = 1$).....	54
Şekil 4.35. ATASGO, UGT eklentisi ergodik kapasite grafiği ($NQ = 2$).....	55
Şekil 4.36. ATASGO, UGT eklentisi ergodik kapasite grafiği ($NQ = 3$).....	55
Şekil 4.37. ATASGO, UGT eklentisi ergodik kapasite grafiği ($NQ = 4$).....	56
Şekil 4.38. ATASGO, UGT eklentisi BHO grafiği ($NQ = 1$).....	57
Şekil 4.39. ATASGO, UGT eklentisi BHO grafiği ($NQ = 2$).....	58
Şekil 4.40. ATASGO, UGT eklentisi BHO grafiği ($NQ = 3$).....	58
Şekil 4.41. ATASGO, UGT eklentisi BHO grafiği ($NQ=4$).....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

bps

Bit Per Second

db

Desibel

Hz

Hertz

Kısaltmalar

Açıklamalar

5G

The Fifth Generation

APA

Adaptive Power Allocation

ATASGO

Alıcı Tabanlı Anlık Sinyal Güç Oranı

AWGN

Additive White Gaussian Noise

BHO

Bit Hata Oranı

CDMA

Code Division Multiple Access

CPU

Central Processing Unit

CSMA

Code Space Multiple Access

ÇGÇÇ

Çoklu Giriş Çoklu Çıkış

DD

Değişken Düğüm

DFBÇ

Diksel Frekans Bölmeli Çoklama

DFT

Discrete Fourier Transform

FD

Fonksiyon Düzümü

KDB

Kanal Durum Bilgileri

KUÇY

Kod Uzay Çoklama Yöntemi

LOO

Logaritmik Olabilirlik Oranı

LTE

Long Term Evolution

MGA

Mesaj Geçiş Algoritması

MO

Maksimum Olabilirlik

NOMA

Non-Orthogonal Multiple Access

Kısaltmalar**Açıklamalar**

OA	Optimal Algoritma
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RAM	Random Access Memory
RBISNR	Receiver Based Instant Signal Noise Ratio
RF	Radio Frequency
SCMA	Sparse Coded Multiple Access
SGO	Sinyal Güç Oranı
SKÇE	Seyrek Kodlu Çoklu Erişim
TGÇÇ	Tekli Giriş Çoklu Çıkış
TGTÇ	Tekli Giriş Tekli Çıkış
UGT	Uyarlamalı Güç Tahsisi
UZBK	Uzay Zaman Blok Kodu
ZMCSCG	Zero Mean Circular Symmetric Complex Gaussian

1. GİRİŞ

Son yıllarda, 5. nesil haberleşme sistemleri tasarımlarında yüksek verimlilik ve yoğun bağlantı sağlayabilecek şekilde dikişel olmayan çoklu erişim teknikleri kullanılması üzerine araştırmalar devam etmektedir. Dikişel olmayan çoklu erişim teknikleri kullanılması ile dikişel kaynak kullanımı sınırlamasına alternatif oluşturulmaktadır. Yeni nesil haberleşme sistemlerinde etkin kaynak kullanımı hayati önem taşımaktadır. Yoğun veri aktarımının başarılı bir biçimde yapılabilmesi için kaynak kullanımı konusunda maksimum verimlilik hedeflenmektedir.

Kaynak kullanımının etkinliği konusunda karşımıza çıkan NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) teknikleri arasında Seyrek Kodlu Çoklu Erişim (SKÇE) yöntemi, kaynak kullanımı ve hata dayanımı açısından oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Yakın zamanlarda SKÇE üzerinde spektral verimlilik başta olmak üzere çok fazla araştırma yapılmıştır. Diğer NOMA teknikleri üzerindeki çalışmalar ve araştırmalar da devam etmektedir.

SKÇE yapısı ile kodlanmış bir veri dizini çok boyutlu takımyıldızı kod-kitabı yardımı ile seyrek kod-dizinine çevrilmektedir. SKÇE yapısı itibari ile birden fazla katmandan meydana gelir, her bir katman bir kod-kitabından geçirilmiş kullanıcı verisini ifade eder. Her bir kod-kitabının genişliği içerisinde yer alan sembolün bit derinliği ile hesaplanır. Her bir kod-kitabının uzunluğu ise kullanılacak kaynak eleman sayıdır. Her bir kod-kitabı içinde kaynak eleman sayısının yarısı kadar kod-dizin satırları vardır. SKÇE yapısı sonrasında oluşan kod-dizinleri toplanıp kaynak elemanlar üzerinde birbirine dik olarak taşınmaktadır [1].

SKÇE ile kaynak kullanımı başına kullanıcı yoğunluğu artmakta olduğundan kaynak kullanımı olarak Dikişel Frekans Bölmeli Çoklama (DFBÇ) yöntemlerine göre avantaj sağlamaktadır [1]. SKÇE kod-kitabı yapısı sayesinde düşük kompleksliğe sahip Mesaj Geçiş Algoritması (MGA) ile Maksimum Olabilirlik (MO) performansına yaklaşabilir [2].

Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (ÇGÇÇ) yapısının en basit tanımı uzaysal boyutlanmalı yüksek veri hızına ulaşırken veya link dayanımını artırırken spektral verimliliği göz ardı etmemektir [3]. ÇGÇÇ yöntemini kullanan haberleşme sistemlerinde (birden fazla

gönderici ve alıcı antenin olduğu durumlarda) her bir fiziksel kanal üzerinde yayılan elektromanyetik dalgalar farklı bağımsız sönümlemelere maruz kalıp, alıcıya ulaşırlar [4]. Kanal Durum Bilgileri (KDB), her bir gönderici-alıcı anten çifti arasında aynı güçte aynı sinyalin taşınmasına rağmen değişiklik göstermektedir. Bu durum uzaysal çeşitleme olarak adlandırılmaktadır [4].

ÇGÇÇ ve SKÇE birleşimi ile ortaya çıkan Kod Uzay Çoklama Yöntemi'nin (KUÇY) kullanılmasıyla veri hızının katlanması ve link dayanımının artırılması sağlanmaktadır [5]. Veri hızının artırılması için her bir gönderici-alıcı çiftinde farklı veriler aktarılmakta, link dayanımının sağlanması için ise her bir gönderici-alıcı çiftinde aynı veriler aktarılmaktadır.

KUÇY yapısının ÇGÇÇ SKÇE olarak uygulanması sonucu ortaya çıkan sistem modelinde kapasiteyi maksimize edici ve bit hata oranını minimize edici gönderici anten seçim algoritmaları geliştirilmiştir. Kapasiteyi artırmak ve hatayı azaltmak aynı anda yapılmak istense de aralarındaki ilintiden dolayı çözmesi zor bir problemi karşımıza çıkarmaktadır. Geliştirilen ve önerilen anten seçim algoritmaları KUÇY yapısı için ayrı ayrı analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu algoritmalar, kapasite artışı sağlamış olmasına rağmen hata oranını da artırmaktadır. Bunun temel sebebi olarak karşımıza gönderici tarafındaki eşit güç aktarımı uygulaması çıkmaktadır. Eşit güç aktarımını destekleyici şekilde RF ön hat artırımı yapılması hata oranının azalmasını sağlayabilecek bir yöntem olsa da bunun tüm kaynakların etkin ve verimli kullanımına yönelik olarak uyarlamalı yapılması değerlendirilmiştir. Önerilen anten seçim algoritmasına uyarlamalı güç aktarımı da eklenip, düşük hata oranları daha düşük güç aktarımlarında gözlemlenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde ÇGÇÇ, SKÇE ve ÇGÇÇ SKÇE modellemesi tanıtılmaktadır. ÇGÇÇ yöntemlerinin kapasite etkisini gösteren analizler verilmiştir. ÇGÇÇ SKÇE yapısının tek gönderici-alıcı anten altında BHO analizleri yapılmıştır.

Üçüncü bölümde ÇGÇÇ SKÇE için gönderici anten seçimi yapan optimum ve Alıcı Tabanlı Anlık Sinyal Güç Oranı (ATASGO) algoritmalarının tanımlamaları yapılmıştır.

Bir sonraki bölümde benzetim parametreleri ve donanım altyapısı (benzetim için kullanılan araç) seçimleri belirtilmiş, optimum ve ATASGO algoritmalarına ait kapasite ve BHO sonuçları verilmiştir.

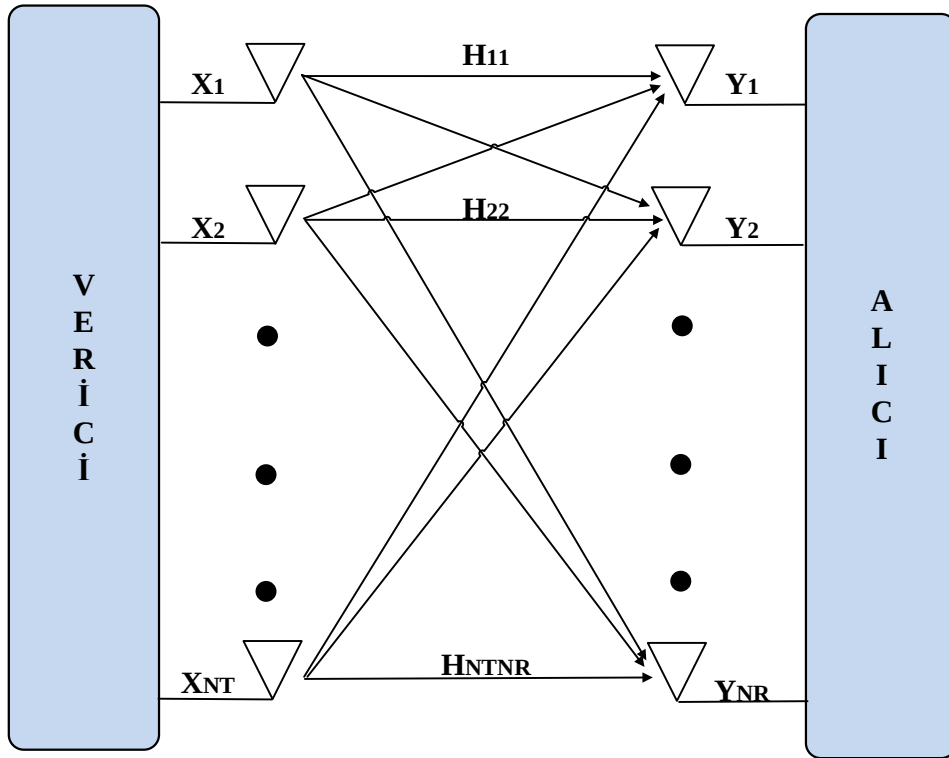
Son bölümde elde edilen çıktılar yorumlanarak, yöntemlerin geliştirilebilir tarafları ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar üzerinde durulmuştur.

2. ÇOKLU GİRİŞ ÇOKLU ÇIKIŞ SEYREK KODLU ÇOKLU ERİŞİM

Çoklu Giriş Çoklu Çıkış yöntemlerinin kapasite artırımına etkisi ve NOMA teknikler ile birlikte değerlendirmesi bu bölümde tanımlanmaktadır.

2.1. Çoklu Giriş Çoklu Çıkış Yöntemi

ÇGÇÇ yapısının en basit tanımı uzaysal boyutlanmayı yüksek veri hızına ulaşmak veya link dayanımını artırmak için yükseltmek, bu işlemi yaparken spektral verimliliği de göz ardı etmemektir [3]. Temel ÇGÇÇ mimarisi Şekil 2.1’de verilmiştir.



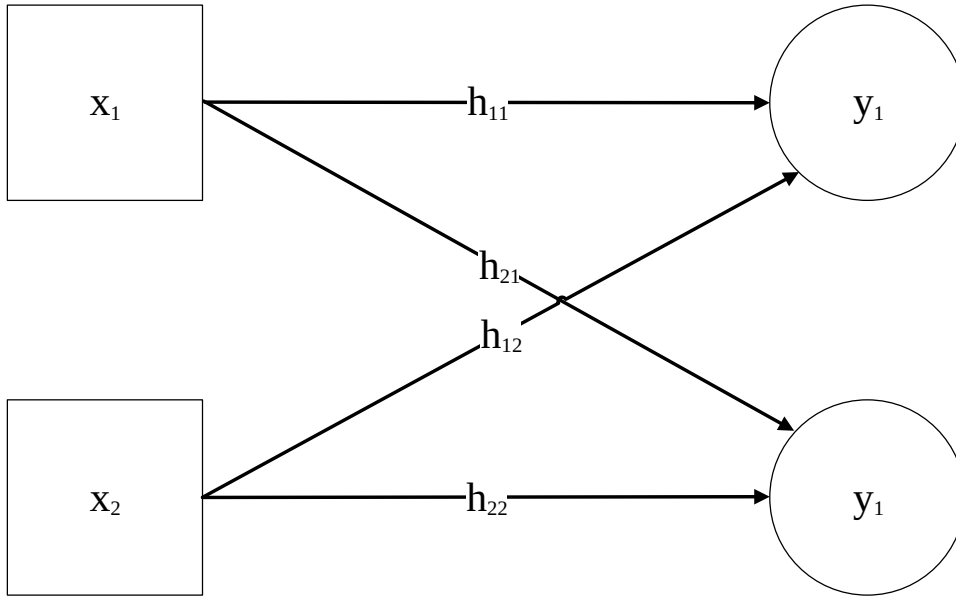
Şekil 2.1. Temel ÇGÇÇ mimarisi

Radyo Frekans (RF) kanalda saçıcılar olması durumunda her bir verici antenden çıkan sinyaller farklı bağımsız sönmülemelere maruz kalarak alıcı antenlere ulaşırlar. Bu durum uzaysal çeşitleme (spatial diversity) olarak adlandırılmaktadır.

Uzaysal çoklama yöntemleri kullanılarak veri hızı katlanmasına bir başka alternatif ise RF kanal dayanımını artırmak için her bir kanaldan aynı yayının gönderilmesidir. Alıcı tarafta gelen sinyallerin işlenmesi için farklı yöntemler uygulanır. Anten anahtarlama ya da

anten ağırlıklandırılması ile birleştirilmesi en çok başvurulan iki yöntemdir [5].

ÇGÇÇ kanal yapısında özdeğer (eigenvalue) ve tekil değer (singular value) parametreleri büyük öneme sahiptir. 2×2 ÇGÇÇ kanal yapısında alıcı tarafındaki sinyali ifade eden y vektörü, gönderilen sinyali ifade eden x vektörünün bir lineer kombinasyonundan oluşmaktadır. RF kanal parametreleri ise H matrisi içinde yer almaktadır.



Şekil 2.2. 2×2 ÇGÇÇ sistemi

$$y_1 = x_1 h_{11} + x_2 h_{12} \quad (2.1)$$

$$y_2 = x_1 h_{21} + x_2 h_{22} \quad (2.2)$$

- y : alıcı tarafındaki elde edilen sinyal
- x : gönderilen sinyal
- U : m satır m sütundan oluşan birim matris
- V : n satır n sütundan oluşan birim matris
- U^H : m satır m sütundan oluşan hermitsel matris
- V^H : n satır n sütundan oluşan hermitsel matris
- Σ : m satır n sütundan oluşan köşegen matris
- Y' : Y sinyalinin U^H ile çarpımı
- X' : Y sinyalinin V^H ile çarpımı

Eş. 2.1 ve Eş.2.2 ile alıcı tarafındaki sinyal, gönderici tarafında iletilen sinyalin kanal parametrelerine göre kombinasyonu olarak 2×2 ÇGÇÇ sistemi için ifade edilmiştir. H kanal matrisini tekil değer ayrışımı (singular value decomposition) ile ifade edersek (U, V birim matris, Σ ise köşegen matris (RF kanal tekil değerlerini içeren));

$$\mathbf{H} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^H \quad (2.3)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} \quad (2.4)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^H \mathbf{X} \quad (2.5)$$

elde ederiz.

Eş. 2.5’de birim matris özelliğini kullanıp Eş. 2.6’yı elde ederiz. Bu sayede 2×2 ÇGÇÇ sistemi tekil değerler cinsinden ifade etmiş oluruz. Bu da kanal parametre hesaplamalarında büyük sadeleşmiş hesaplamalar yapmamızı sağlamaktadır.

$$\mathbf{Y}' = \mathbf{\Sigma}\mathbf{X}' \quad (2.6)$$

2.2. Çoklu Giriş Çoklu Çıkış Spektral Verimlilik Analizi

ÇGÇÇ sistemler için gönderici anten, alıcı anten ve gönderici-alıcı anten değişikliğinin spektral verimliliğe etkisi incelenmiş ve benzetimleri yapılmıştır. Benzetim çalışmaları aşağıdaki parametreler kapsamında yapılmıştır.

- Gönderici anten sayısı $N_T = 1,2,4,8,16$ (baz istasyonu)
- Alıcı anten sayısı $N_R = 1,2$ (mobil alıcı)
- İterasyon sayısı $N = 1000$
- Rayleigh kanal modeli
- Sinyal Güç Oranı (SGO)=0:20dB

Zayıflama kayıpları ihmal edilmiştir

ÇGÇÇ sistemleri, rassal olarak değişen kanal yapılarından oluşmaktadır. H kanal matrisi zamanla değişen bir yapıdan meydana gelmektedir [6]. ÇGÇÇ sistemleri için kanal kapasite hesabı yapılırken zaman ortalamasını kullanabiliriz. Pratikte, rassal kanallar bir ergodik süreç olarak tanımlanmaktadır.

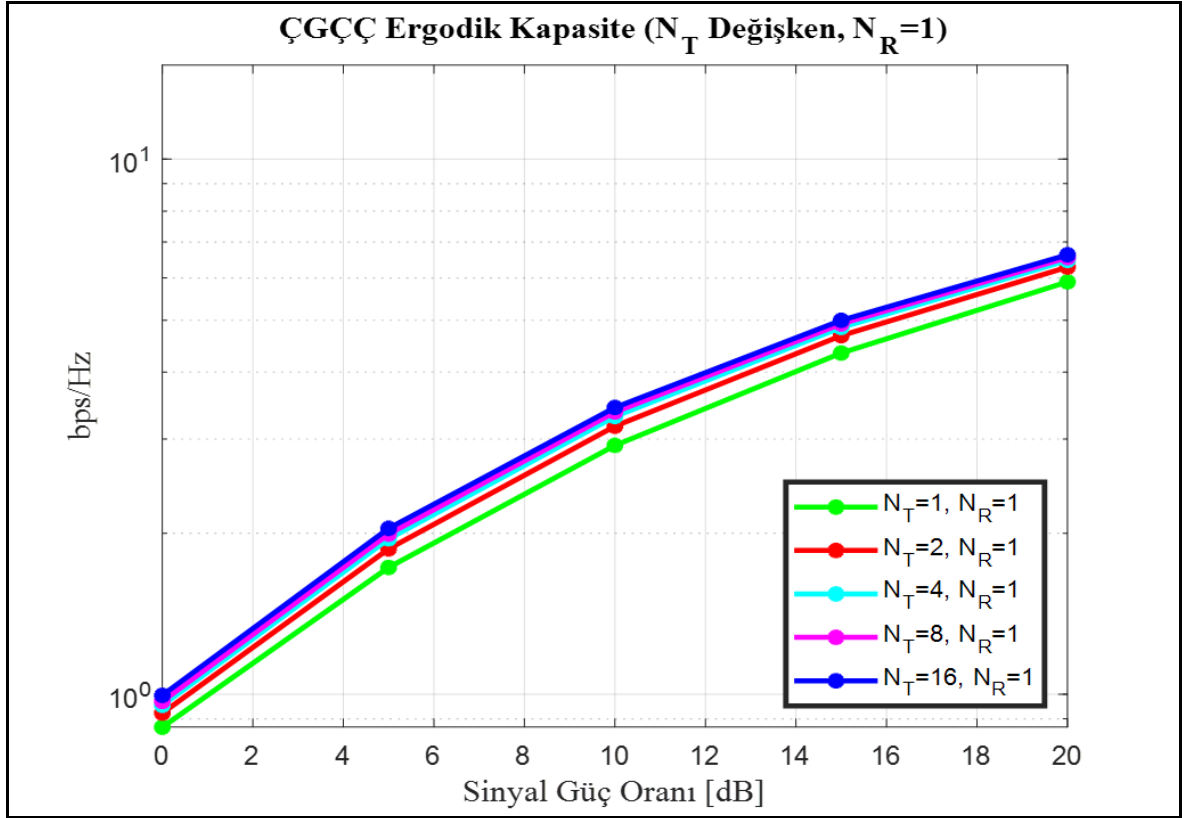
İstatistiksel özellikleri topluluk ortalaması alınmasıyla ya da, zaman ortalaması alınmasıyla hesaplanabilen, başka bir deyişle sürecin tüm özelliklerinin tek bir sonsuz uzunlukta gerçekleşmesiyle öğrenilebilen süreçleri ergodik süreçler olarak tanımlarız. Bir ergodik süreç olan ÇGÇÇ sistemleri için kanal kapasitesini aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz;

- C : kanal kapasitesi
- N_0 : gürültünün güç spektral yoğunluğu
- N_T : toplam gönderici anten sayısı
- E_x : gönderilen sinyalin enerjisi
- I_{N_R} : alıcı anten sayısı ile ilintili oluşturulan birim matris
- R_{xx} : gönderilen sinyalin otokorelasyonu
- $E\{\}$: beklenen değer

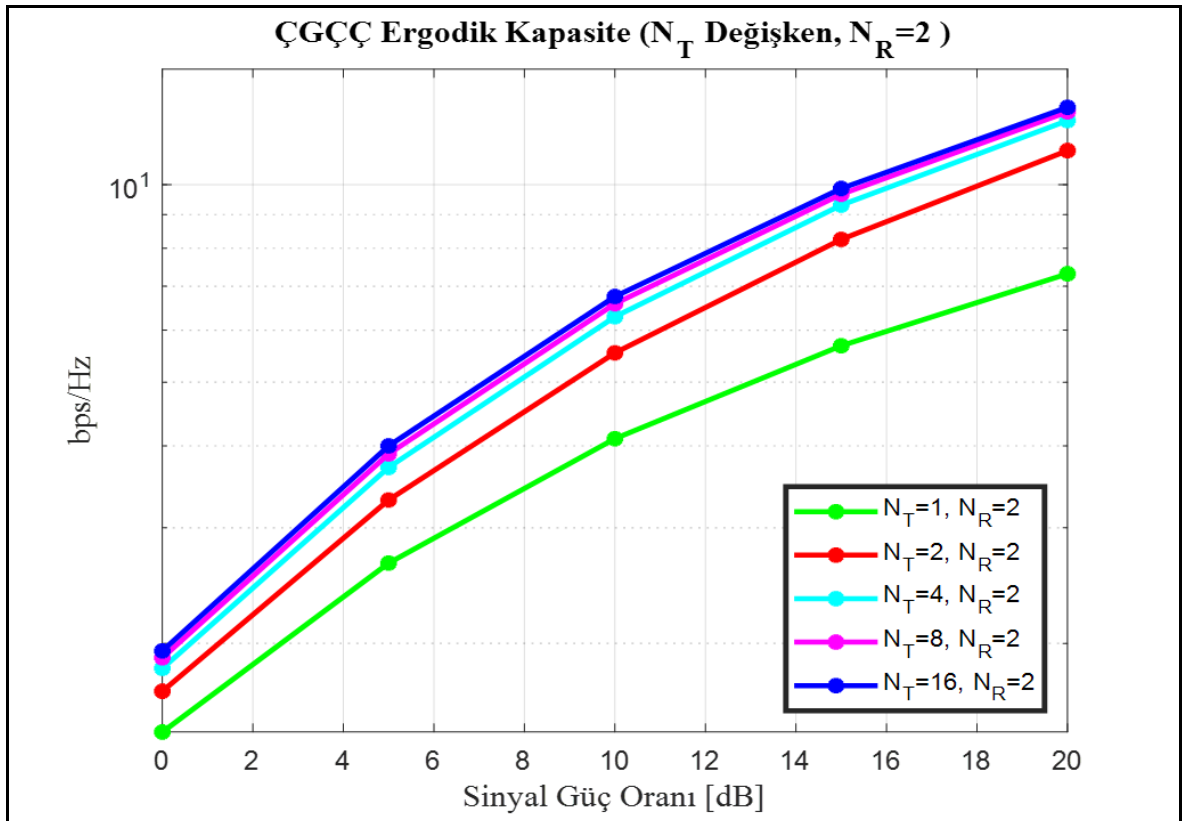
$$C = E\{C(\mathbf{H})\} \quad (2.7)$$

$$C = E\left\{\log_2 \det \left(\mathbf{I}_{N_R} + \frac{E_x}{N_T N_0} \mathbf{H} \mathbf{R}_{xx} \mathbf{H}^H \right) \right\} \quad (2.8)$$

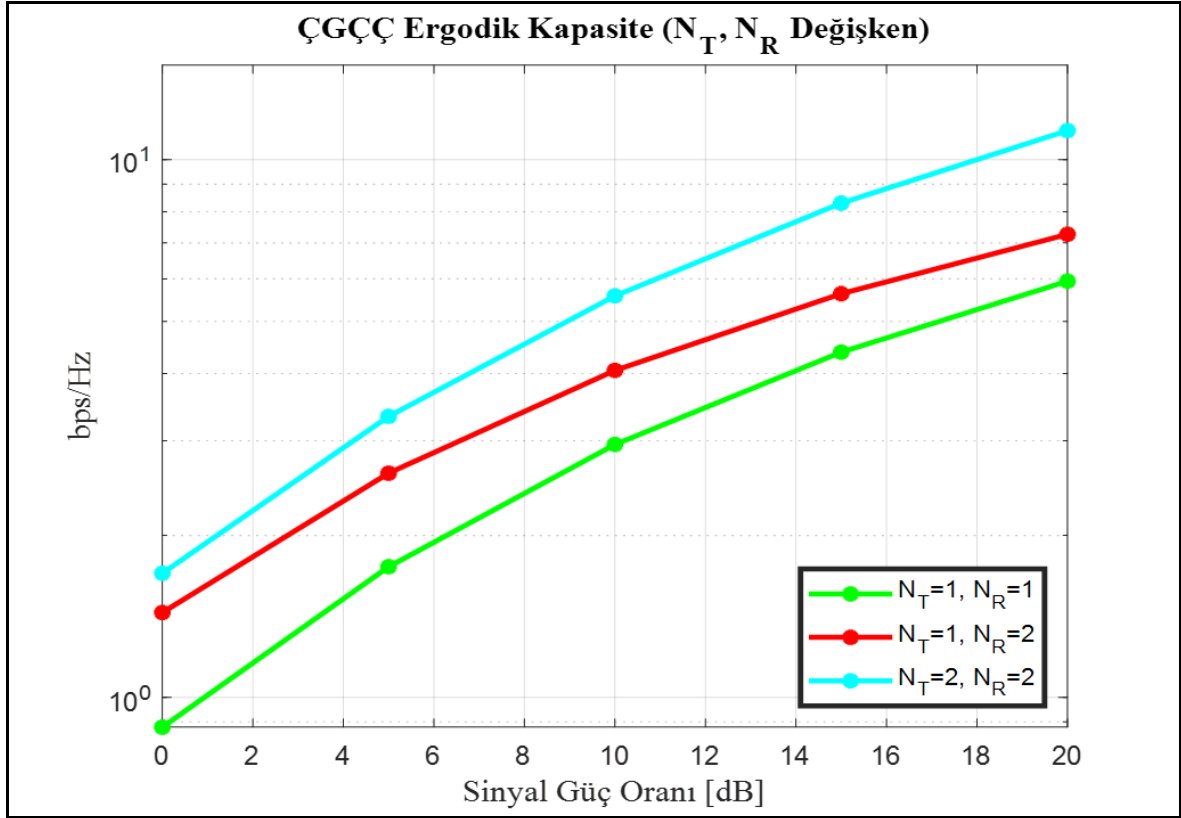
Eş. 2.8’de elde ettiğimiz sonuç ergodik kanal kapasitesi olarak değerlendirilmektedir. Bu bölümde yer alan benzetim sonuçları Matlab ortamında gerçekleştirilen ÇGÇÇ sistemleri için ergodik kanal kapasitelerini içermektedir.



Şekil 2.3. ÇGÇÇ sistemlerde gönderici anten spektral verimlilik etkisi



Şekil 2.4. ÇGÇÇ sistemlerde alıcı anten spektral verimlilik etkisi



Şekil 2.5. ÇGÇÇ sistemlerde gönderici-alıcı anten spektral verimlilik etkisi

Şekil 2.3’de alıcı anten sayısı $N_R = 1$ iken gönderici anten sayısının kanal kapasitesi üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekil 2.4’de ise $N_R = 2$ iken gönderici anten sayısı değişiminin kanal kapasitesi üzerindeki etkisi görülmektedir. Kanal kapasitesi üzerinde büyük etki yaratan faktörün alıcı anten sayısının artırılması olduğu bu iki benzetim sonucundan çıkarılmaktadır.

Gönderici anten ve alıcı anten sayılarının değişiminin kanal kapasite üzerindeki etkisi de Şekil 2.5’de verilmiştir. ÇGÇÇ sistemler için ihtiyaç duyulan veri aktarımını sağlayabilmek için gönderici ve alıcı anten sayılarının doğru seçilmesi bir sistem tasarım kriteri olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.3. Seyrek Kodlu Çoklu Erişim

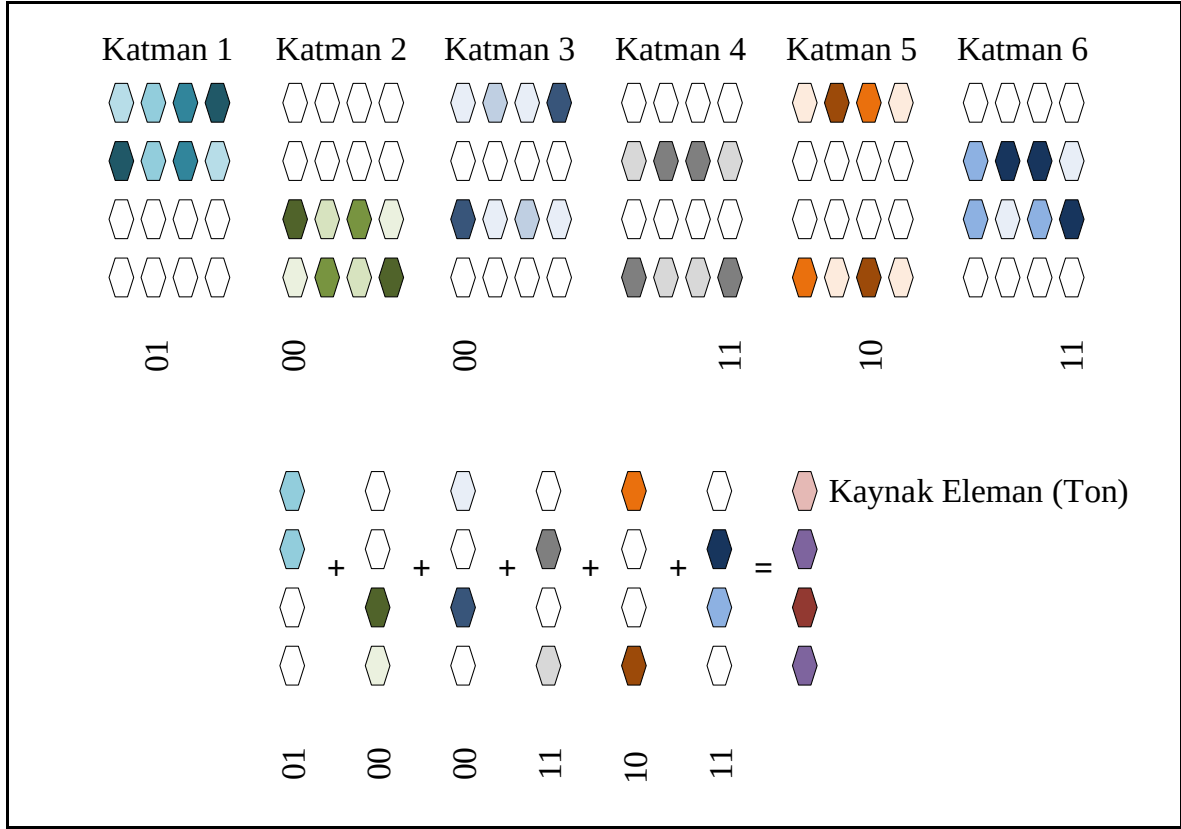
Yeni nesil haberleşme sistemlerinin (5. nesil) temel etkileşimleri Şekil 2.6’da verilmiştir. Bu özellikleri yerine getirebilmek için öne çıkan NOMA tekniklerinden biri de SKÇE yöntemidir. SKÇE yöntemi kapasiteyi artırmasına ek olarak yoğun bağlantı sağladığı için bu alanda önemli bir yer tutma adaydır.



Şekil 2.6. 5. Nesil haberleşme sistemi etkileşimleri

SKÇE yöntemi modüle edici ve seyrek serpiştirici bilgi içeren elemanı, direkt olarak seyrek vektöre aktarır. Bu seyrek vektör kod dizini (codeword) olarak adlandırılmaktadır [7]. SKÇE, kodlanmış bir veri dizisini, çok boyutlu takımyıldız kod kitabı (codebook) kullanıp seyrek kod dizinine çevirmektedir. Çok boyutlu takımyıldızı kullanıyor olması lineer ayırık sekans yöntemine göre büyük avantaj sağlamaktadır.

SKÇE yönteminin avantajları arasında yer alan spektral verimlilik ve kod dizinlerinin ayırık olması, alıcı tarafında kullanılan MGA kompleksliğini azaltmaktadır. SKÇE yapısında 6 katman çok özel bir kod kitabından seçilir. Her bir kod kitabının genişliği 4 olduğundan her bir kod dizini 2 bit ile ifade edilir. Kod dizini uzunluğu 4 ton olarak ifade edilir. 6 seyrek kod dizini birleştirildiği zaman sadece 3 defa üst üste binme gerçekleşir.



Şekil 2.7. SKÇE kod kitabı kod dizini adreslemesi

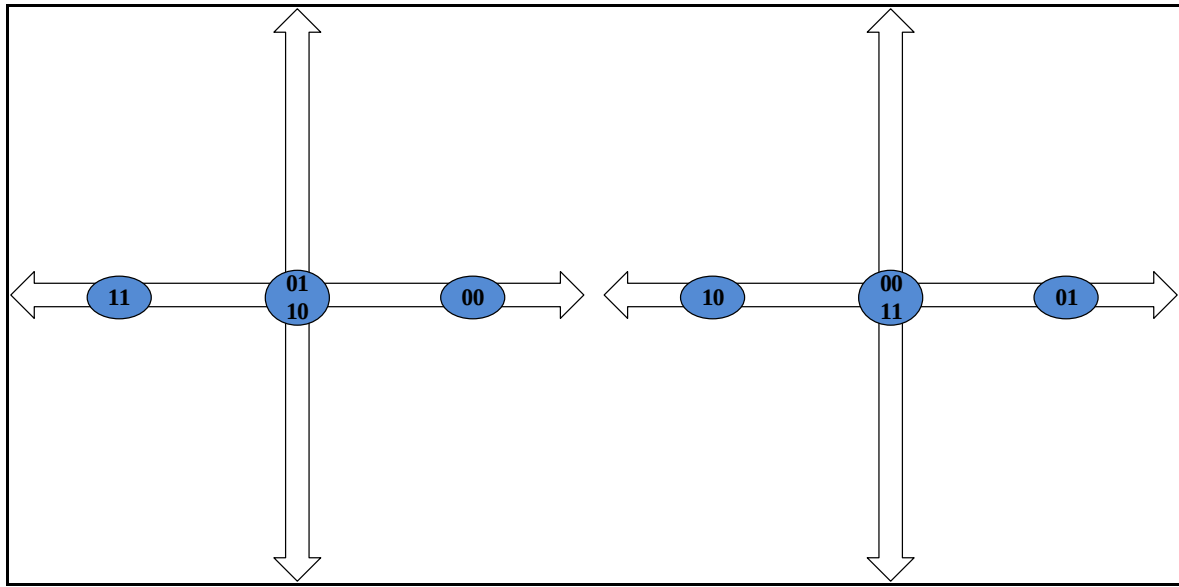
Her bir veri katmanı için Şekil 2.7'deki yapı kullanılmaktadır. Bir veya birden fazla katman, kullanıcı/veri akışı için SKÇE yapısında tahsis edilebilir.

SKÇE olarak oluşturulmuş katmanlar OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) tonlar üzerine bindirilir. 6 katman, 4 ton üzerine %150 aşırı yükleme (overloading) yapılarak taşınır. Her bir kod dizini 2 boş 2 dolu olmayan eleman içerir [8]. SKÇE yapısı ile aşağıdaki avantajlar sağlanır [8].

- Kaynak eleman farklı kullanıcılara ait çoklu sembollerin süper pozisyonu olarak iletilir. Örneğin; 1, 3 ve 5. kullanıcılara ait semboller tek bir alt taşıyıcı (subcarrier) üzerinde üst üste binmiş olarak transfer edilir.
- Seyrek kodlama sayesinde katmanlar arası bozucu sembol çarpışmaları azaltılarak düşürülür ve alıcı kompleksliği azalır.
- Çok boyutlu takımyıldızı dağılımı ile spektral verimlilik artırılmış ve alıcı kompleksliği azaltılmış olur.

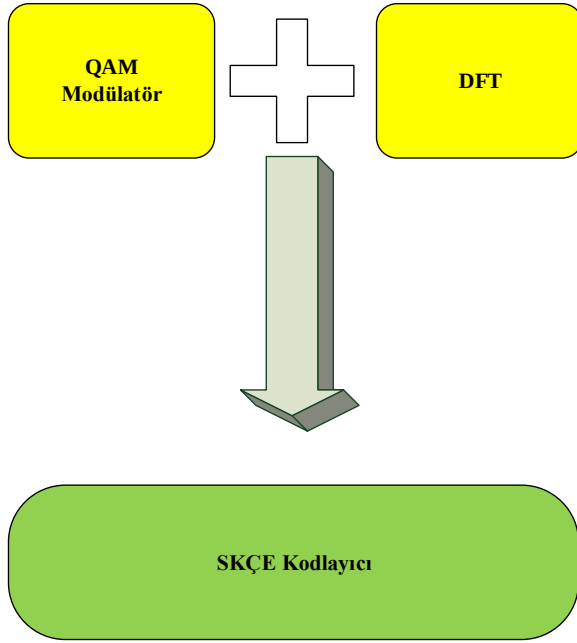
Kod kitabı tasarımı SKÇE için anahtar bir özellik olup diğer çoklu erişim sağlayan dikiel olmayan tekniklerden ayırt edilmesini sağlar. Kod kitabı tasarımı, SKÇE için, seyrek yayma örüntü tasarımı ve çok boyutlu takımyıldızı tasarımının birlikte optimizasyonu olarak gerçekleştirilir. Bu tasarımdaki amaç, çok boyutlu takımyıldızı üzerinde noktasal uzaklığı en iyi şekilde sağlayıp, kodlama/şekillendirme kazancını maksimize etmektir.

SKÇE yöntemine ait diğer bir dikkat çekici özellik ise kaynak eleman üzerine binen izdüşümü eleman sayısını azaltmaktır. Bu sayede alıcı kompleksliği azalmaktadır.



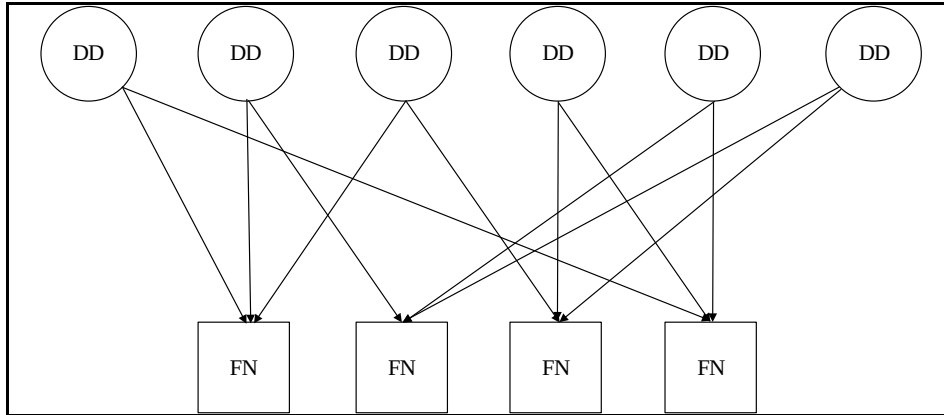
Şekil 2.8. 4 → 3 noktalı düşük kod kitabı projeksiyonu

SKÇE yönteminin link seviyesinde uygulamaları için LTE (Long Term Evolution) yapısı üzerinde küçük modifikasyonlar yapmak yeterli olacaktır. Temel fark SKÇE kodlayıcı (encoder) ve kod çözücü (decoder) birimleridir.



Şekil 2.9. LTE ve SKÇE kodlayıcı yapısı

SKÇE içyapısına yakından baktığımız zaman kodlayıcı içinde her bir veri katmanı değişken düğüm (DD), kaynak elemanı ise fonksiyon düğümü (FD) olarak tanımlanır. Bu sayede kod dizinleri kaynak elemanlar üzerinden alt taşıyıcılar aracılığı ile iletilir [9]. Şekil 2.10’da DD ile FD yapısı 6 katman 4 ton üzerine örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.10. SKÇE kodlayıcı iç yapısı

SKÇE alıcı tarafında dikişel olmayan çoklu erişim yöntemlerinde olduğu gibi üst üste binmiş çoklu veri katmanlarını ayırt etmek için birleşik çok kullanıcılı kod çözüm işlemi yapılır.

Sönümlü kanal yapılarına yönelik haberleşme sistemlerinde kullanılan birden fazla dalga formu bulunmaktadır [10, 11]. Tek kullanıcılı haberleşme sistemlerinde kanal eşitleyici,

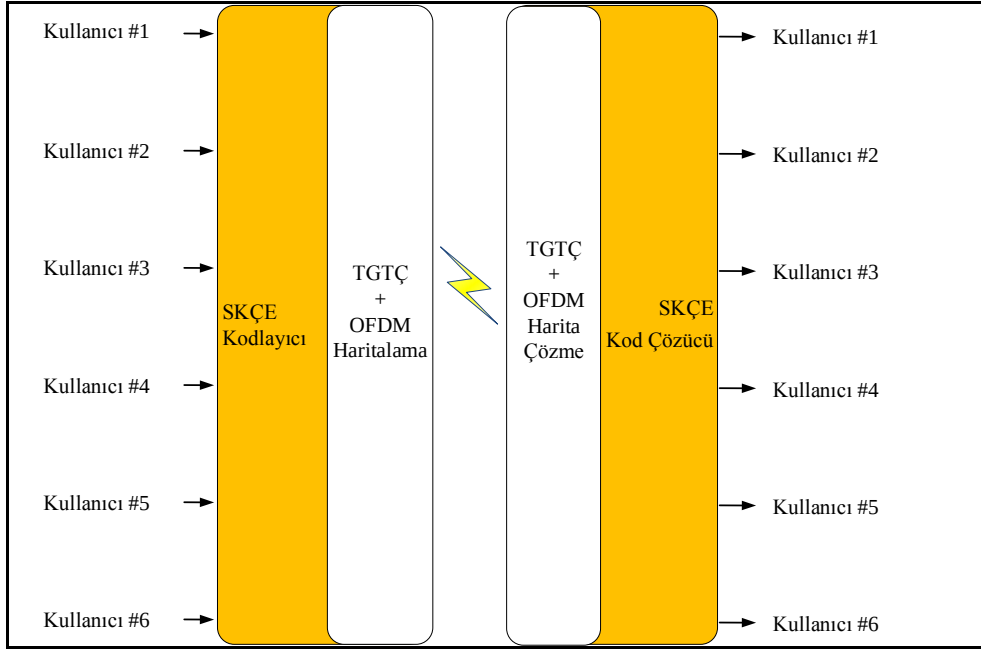
QAM (Quadrature Amplitude Modulation) modölatör çözücü ve IDFT (Discrete Fourier Transform) blokları yerini SKÇE kod çözücüye bırakır. SKÇE yapısı CDMA yapısı ile kıyaslandığı zaman düşük yoğunluk imzası olarak daha iyi performans göstermektedir [12-17].

SKÇE, kod kitabı yapısı sayesinde düşük kompleksliğe sahip MGA içeren alıcı yapısı maksimum olabilirlik performansını yakalamaktadır [16-20]. MGA Tanner dağılımında FD'den DD'e çevrim işlemi tersinir şeklinde gerçekleşir. İterasyonel yapısı gereği kod dizini Logaritmik Olabilirlik Oranı (LOO) ile alınan bitlere uygulanıp, DD değerleri bulunur. Çıkan sonuç sistemde yer alan kod çözücüye (varsa Turbo Kodlayıcı vb.) aktarılır.

SKÇE kod çözücü performansını artırmak için varsa kullanılan kodlayıcı (Turbo kodlayıcı vb.) ile MGA detektör arasında bir geri besleme kurulabilir [8].

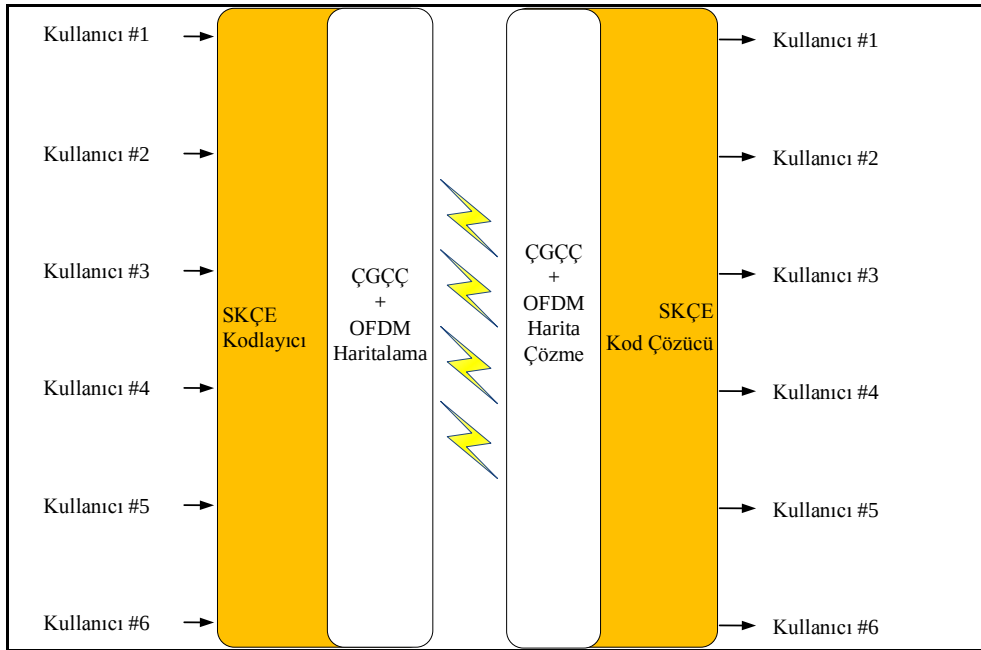
SKÇE yöntemi için 6 kullanıcı girişini, kanal modelini ve gönderici ve alıcı birimlerini içeren sistem mimarisi Tek Giriş Tek Çıkış (TGTC) altında Şekil 2.11'de verilmiştir. Bu sistem mimarisinde kullanıcı verisinin hemen sonrasına ve LOO çıktısının hemen sonrasına Turbo kodlayıcı ve kod çözücü blokları eklenerek performans artırımı sağlanır.

Bu çalışma kapsamında SKÇE sistem mimarisi Rayleigh kanal ve Gaussian gürültü ortamında değerlendirilmiş olup, OFDM kaynak kullanımı Öncül Haritalama ve Öncül Harita Çözme bloklarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.11. TGTÇ SKÇE sistem mimarisi

Şekil 2.12’de ÇGÇÇ altında SKÇE sistem mimarisi verilmiştir. ÇGÇÇ ve SKÇE birleşimi ile ortaya çıkan Kod Uzay Çoklama Yöntemi (KUÇY) kullanılması sonucu, veri hızı katlanması ve link dayanımını artırılması sağlanmış olur. Optimum ve ATASGO algoritmalarında KUÇY bileşenlerinden oluşan ÇGÇÇ ve SKÇE sistem mimari yapısı bu çalışma kapsamında bundan sonraki bölümlerde sıkça kullanılacaktır.



Şekil 2.12. ÇGÇÇ SKÇE (KUÇY) sistem mimarisi

2.4. TGTÇ SKÇE Bit Hata Oranı Analizi

TGTÇ SKÇE sistem yapısı 6 kullanıcı için oluşturulmuş ve Bit Hata Oranı analizleri yapılmıştır.

6 kullanıcı için kod kitabı oluşturulmuştur. Kullanıcı verileri SKÇE kodlayıcı ile Rayleigh kanal üzerinden Gaussian gürültü eklenerek alıcıya iletilmiştir. Alıcı tarafında ise MGA detektörü SKÇE kod çözücü olarak kullanılmış sonrasında LOO bloğuna aktarılmıştır. Kullanıcıya ait orijinal veri ile LOO çıkışları karşılaştırılmış ve BHO hesapları 6 kullanıcı için yapılmıştır.

Kod kitabı tasarımı SKÇE yönteminde oldukça büyük önem taşımaktadır. Oluşturulan kod kitabının birbirleri ile diksellikleri SKÇE yönteminin başarısının temelinde yatmaktadır [15-20]. Eş. 2.9'dan Eş. 2.14'e kadar bu çalışma kapsamında kullanılan kod kitabı matrisleri üç boyutlu matriste tanımlanmıştır. 6 kullanıcı kod kitabı tanımlaması ile 6 katman oluşmaktadır. 4 kaynak eleman kullanımı kod kitabı derinliği ile tanımlanmaktadır. Kod dizinleri ise kod kitabı genişliğini belirlemektedir.

$$KK1 = \begin{bmatrix} 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \\ -0,18 - 0,13i & -0,63 - 0,46i & 0,63 + 0,46i & 0,18 + 0,13i \\ 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \\ 0,78 + 0,0i & -0,22 + 0,0i & 0,22 + 0,0i & -0,78 + 0,0i \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$KK2 = \begin{bmatrix} 0,78 + 0,0i & -0,22 + 0,0i & 0,22 + 0,0i & -0,78 + 0,0i \\ 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \\ -0,18 - 0,13i & -0,46 - 0,63i & 0,46 + 0,63i & 0,18 + 0,13i \\ 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$KK3 = \begin{bmatrix} -0,63 + 0,46i & 0,18 - 0,13i & -0,18 + 0,13i & 0,63 - 0,46i \\ 0,13 - 0,17i & 0,48 - 0,61i & -0,48 + 0,61i & -0,13 + 0,17i \\ 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \\ 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$KK4 = \begin{bmatrix} 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \\ 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \\ 0,78 + 0,0i & -0,22 + 0,0i & 0,22 + 0,0i & -0,78 + 0,0i \\ -0,005 + 0,0i & -0,01 - 0,78i & 0,19 + 0,78i & 0,005 + 0,22i \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

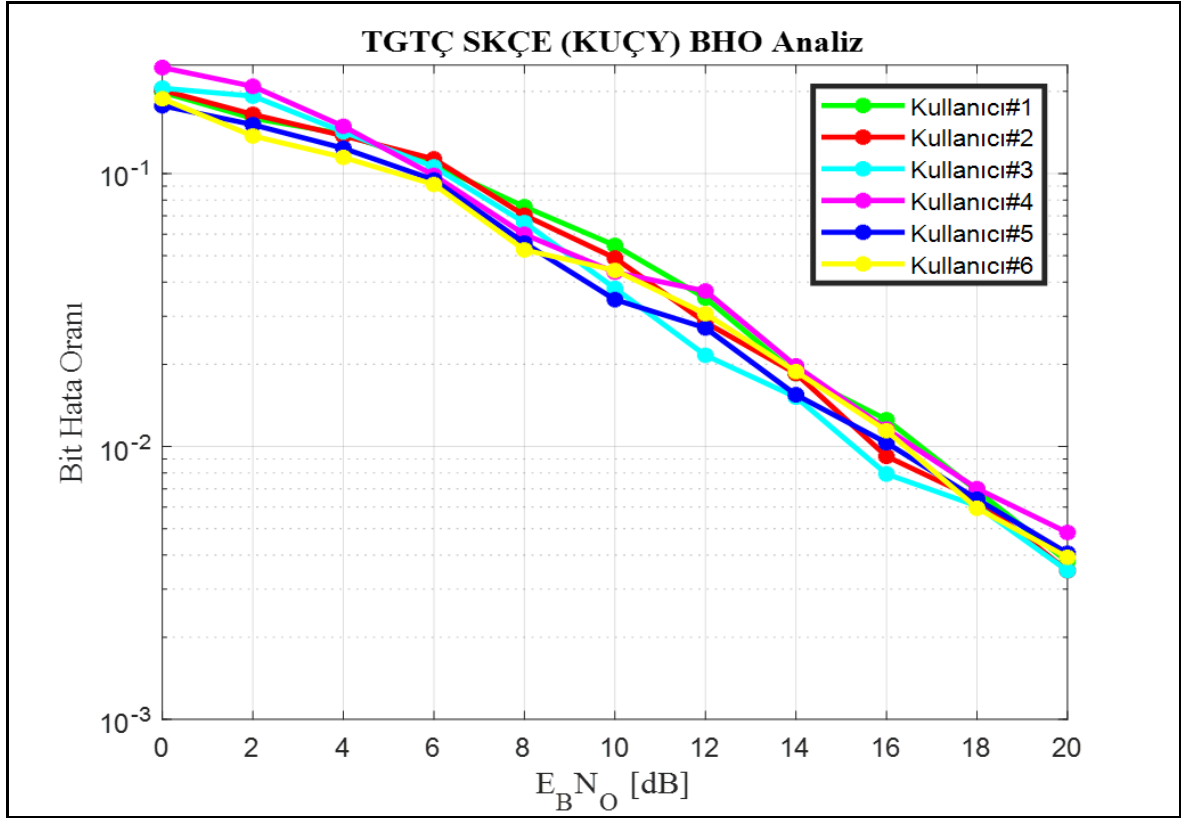
$$KK5 = \begin{bmatrix} -0,005 + 0,22i & -0,01 - 0,78i & 0,01 + 0,78i & 0,005 + 0,22i \\ 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \\ 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \\ -0,63 + 0,46i & 0,18 - 0,13i & -0,18 + 0,13i & 0,63 - 0,46i \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$KK6 = \begin{bmatrix} 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \\ 0,78 - 0,0i & -0,22 - 0,0i & 0,22 + 0,0i & -0,78 + 0,0i \\ 0,13 - 0,17i & 0,48 - 0,61i & -0,48 + 0,61i & -0,13 + 0,17i \\ 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i & 0,0 + 0,0i \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

TGTÇ SKÇE (KUÇY) için BHO ve ergodik kapasite analizleri Matlab ortamında aşağıdaki parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

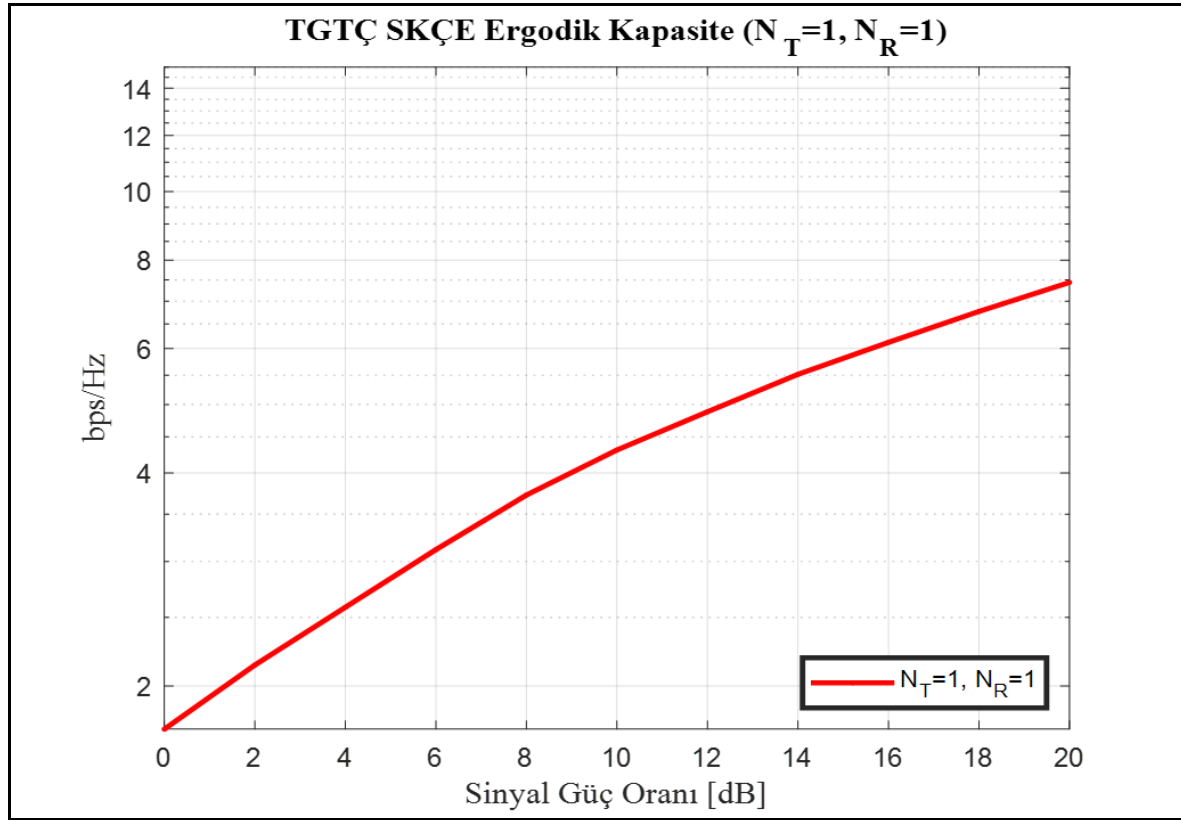
- Gönderici anten sayısı $N_T = 1$ (baz istasyonu)
- Alıcı anten sayısı $N_R = 1$ (mobil alıcı)
- Bit enerji gürültü oranı $E_B N_0 = 0:20\text{dB}$
- İterasyon sayısı $N = 1000$
- Rayleigh kanal modeli, Gaussian gürültü (Additive White Gaussian Noise (AWGN))

TGTÇ SKÇE sistemine ait Bit Hata Oranı (BHO) analizi Şekil 2.13’de yapılmıştır. Bu analiz yapılırken ÇGÇÇ sistemlerine uygun altyapı kullanılmış gönderici ve alıcı anten sayıları $N_R = 1$ ve $N_T = 1$ olarak alınmıştır.



Şekil 2.13. TGTC SKÇE (KUÇY) BHO grafiği

TGTC SKÇE ergodik kapasite hesabı Şekil 2.14'de yapılmıştır. Bu analiz yapılırken ÇGÇÇ sistemlerine uygun altyapı kullanılmış gönderici ve alıcı anten sayıları $N_R = 1$ ve $N_T = 1$ olarak alınmıştır.



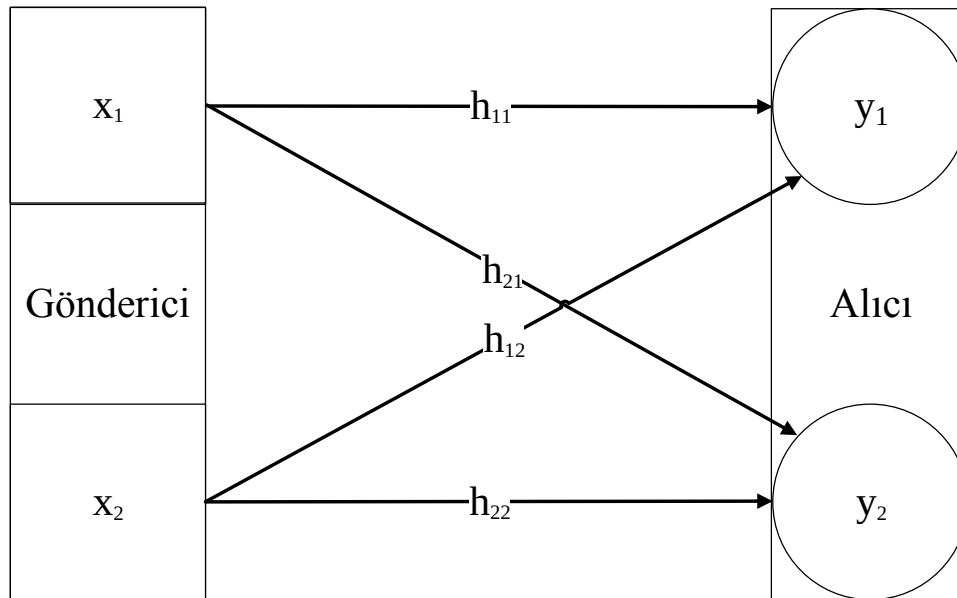
Şekil 2.14. TGTÇ SKÇE (KUÇY) kapasite analizi

3. OPTİMUM VE ATASGO ALGORİTMALARI

Bu bölümde Optimum ve ATASGO ile gönderici ve alıcı anten seçimi yapan algoritmalar ve dayandıkları temeller anlatılmıştır. Optimum gönderici ve/veya alıcı anten seçim algoritması temelde kanal kapasitesini maksimize edecek yapıyı hedeflemek ile birlikte RF kanallara ait kanal durum bilgilerinin gönderici sistemler tarafında olduğu varsayımı üzerine detaylandırılmıştır. ATASGO gönderici ve/veya alıcı anten seçim algoritması ise ikili hata olasılığını (pairwise error probability) temel almış ve RF kanallara ait kanal durum bilgilerinin alıcı sistemler tarafında olduğu varsayımı üzerine kurgulanmıştır. ÇGÇÇ sistemlerinde gönderici ve alıcı tarafında anten seçimi üzerine oldukça fazla çalışma yapılmıştır [21-29].

3.1. Kanal Kapasite Analizi

ÇGÇÇ SKÇE yöntemi ile tasarlanmış bir sistemde N_T gönderici ve N_R alıcı anten için zamanla değişmeyen kablosuz rasgele olmayan kanal H matrisi $N_T \times N_R$ ile ifade edilir.



Şekil 3.1. 2x2 ÇGÇÇ SKÇE kanal modeli

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi gönderilen x sinyali N_T adet sinyalin birleşiminden $x_1, x_2, \dots, x_{N_T}$ oluşan bir sinyal vektörüdür. Alıcı tarafındaki y Eş. 3.1’deki gibi ifade edilebilir. Eş.3.1’de yer alan z gürültü vektörü ZMCSCG (Zero Mean Circular Symmetric

Complex Gaussian) yapıda bir vektördür. Gürültü vektörü z dögüsel simetrik yapıda olup θ değeri için $e^{j\theta}z$ dağılımını göstermektedir. Gönderilen sinyal vektörü x için otokorelasyon tanımı Eş. 3.2’de verildiği gibidir.

- N_T : toplam gönderici anten sayısı
- E_x : gönderilen sinyalin enerjisi

$$\mathbf{y} = \sqrt{(E_x/N_T)}\mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{z} \quad (3.1)$$

$$\mathbf{R}_{xx} = E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^H\} \quad (3.2)$$

Gönderici tarafında kanal durum bilgilerinin bilindiğini kabul ettiğimizde rasgele olmayan kanal kapasite Eş. 3.3’de verildiği gibi ifade edilmektedir. Eş. 3.3’de yer alan $f(x)$ gönderilen sinyale ait olasılık yoğunluk fonksiyonu, $I(x; y)$ ise müşterek bilgi ifadesi olup olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre değişebilmektedir. Bilgi teorisi temel prensiplerini kullanıp, x ve y rasgele sürekli vektörlerinin müşterek bilgi ifadesini Eş. 3.4’de yer aldığı gibi ifade edebiliriz [6, 29].

$$C = \max_{f(x)} I(x; y) \quad (3.3)$$

$$I(x; y) = H(\mathbf{y}) - H\left(\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}}\right) \quad (3.4)$$

Eş. 3.4’te verilen $H(\mathbf{y})$, y vektörüne ait diferansiyel entropi, $H\left(\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}}\right)$ ise x verildiğindeki y ’ye ait koşullu diferansiyel entropi değerini ifade etmektedir. Eş. 3.4 ve Eş. 3.1 arasındaki bağıntıyı kullanıp, sırası ile Eş. 3.5 ve Eş. 3.6’yı yazabiliriz.

$$H\left(\frac{\mathbf{y}}{\mathbf{x}}\right) = H(\mathbf{z}) \quad (3.5)$$

$$I(x; y) = H(\mathbf{y}) - H(\mathbf{z}) \quad (3.6)$$

Eş. 3.6'da $H(z)$ sabit olduğundan, müşterek bilgi ifadesini $H(y)$ 'yi maksimize ettiğimizde elde ettiğimiz gerçeği ile karşılaşıyoruz. Eş. 3.1'i y vektörüne ait otokorelasyon ifadesini hesaplamakta kullanıp, müşterek bilgi ifadesi için maksimum değeri hesaplama yöntemine devam edersek;

$$\mathbf{R}_{YY} = E\{\mathbf{y}\mathbf{y}^H\} \quad (3.7)$$

$$\mathbf{R}_{YY} = E\{(\sqrt{(E_x/N_T)}\mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{z})(\sqrt{(E_x/N_T)}\mathbf{x}^H\mathbf{H}^H + \mathbf{z}^H)\} \quad (3.8)$$

$$\mathbf{R}_{YY} = E\left\{\frac{E_x}{N_T}\mathbf{H}\mathbf{x}\mathbf{x}^H\mathbf{H}^H + \mathbf{z}\mathbf{z}^H\right\} \quad (3.9)$$

$$\mathbf{R}_{YY} = \frac{E_x}{N_T}E\{\mathbf{H}\mathbf{x}\mathbf{x}^H\mathbf{H}^H + \mathbf{z}\mathbf{z}^H\} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{R}_{YY} = \frac{E_x}{N_T}\mathbf{H}E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^H\}\mathbf{H}^H + E\{\mathbf{z}\mathbf{z}^H\} \quad (3.11)$$

$$\mathbf{R}_{YY} = \frac{E_x}{N_T}\mathbf{H}\mathbf{R}_{XX}\mathbf{H}^H + \mathbf{N}_O\mathbf{I}_{N_R} \quad (3.12)$$

elde ederiz.

Eş. 3.12'de yer alan E_x iletilen sinyalin enerjisini, N_O alıcı sistemden önce eklenen gürültüye ait güç spektral yoğunluğunu ifade etmektedir [6, 23]. $H(y)$ difarensiyel entropi değeri y ve x ZMCSCG iken maksimize edilebilir.

$$\mathbf{H}(y) = \log_2\{\det(\pi e\mathbf{R}_{YY})\} \quad (3.13)$$

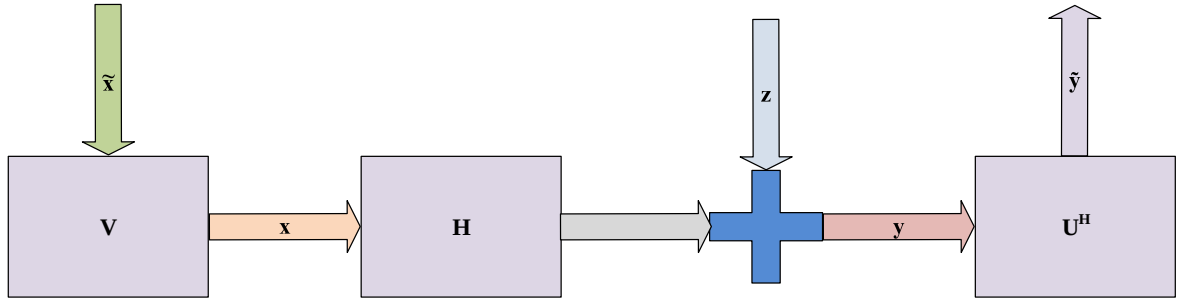
$$\mathbf{H}(z) = \log_2\{\det(\pi e\mathbf{N}_O\mathbf{I}_{N_R})\} \quad (3.14)$$

$$\mathbf{I}(x; y) = \log_2\det\left\{\mathbf{I}_{N_R} + \frac{E_x}{N_T\mathbf{N}_O}\mathbf{H}\mathbf{R}_{XX}\mathbf{H}^H\right\} \quad (3.15)$$

Eş. 3.15'i ÇGÇÇ sistemler için kanal kapasitesini maksimize edici olacak şekilde Eş. 3.16'daki gibi ifade edebiliriz. Eş. 3.16 ÇGÇÇ sistemler için rasgele olmayan kanal kapasite hesabını ifade eder.

$$C = \max_{\text{Tr}(\mathbf{R}_{XX})=N_T} \log_2 \det \left\{ \mathbf{I}_{N_R} + \frac{E_x}{N_T N_O} \mathbf{H} \mathbf{R}_{XX} \mathbf{H}^H \right\} \quad (3.16)$$

Kanal durum bilgilerinin gönderici tarafında bilindiği durumlarda Şekil 3.1'deki gibi kip ayrışma yöntemi kullanılır. Gönderilen x sinyali gönderici tarafında V ile ön işleme tabi tutulur, alıcı tarafında sinyal ise U^H ile ön işleme tabi tutulur. Bu durumda alıcı tarafındaki sinyal Eş. 3.17'de ifade edildiği gibi yazılır.



Şekil 3.2. Gönderici tarafında kanal durum bilgileri ile kip ayrışma yapısı

$$\tilde{y} = \sqrt{(E_x/N_T)} \mathbf{U}^H \mathbf{H} \mathbf{V} \tilde{\mathbf{x}} + \tilde{\mathbf{z}} \quad (3.17)$$

$$\tilde{\mathbf{z}} = \mathbf{U}^H \mathbf{z} \quad (3.18)$$

Eş. 2.3'de yer alan tekil değer ayrışımını Eş. 3.17'de uyguladığımız zaman s adet hayali TGTC kanal için alınan sinyali Eş. 3.20'de olduğu gibi yazabiliriz.

$$\tilde{y} = \sqrt{(E_x/N_T)} \Sigma \tilde{\mathbf{x}} + \tilde{\mathbf{z}} \quad (3.19)$$

$$\tilde{y}_k = \sqrt{(E_x/N_T)} \sqrt{\lambda_k} \tilde{x}_k + \tilde{z}_k, k=1,2,3,\dots,s \quad (3.20)$$

$$\gamma_k = E\{|x_k|^2\} \quad (3.21)$$

$$E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^H\} = N_T \quad (3.22)$$

Eş. 3.21 ve Eş. 3.22'yi kullanarak TGTÇ ve ÇGÇÇ sistemler için kanal kapasite değerlerini Eş. 3.23 ve Eş. 3.24'de olduğu gibi elde ederiz.

$$C_k(\gamma_k) = \log_2 \left(1 + \frac{E_x \gamma_k}{N_T N_0} \lambda_k \right), k = 1, 2, 3, \dots, s \quad (3.23)$$

$$C = \sum_{k=1}^s C_k(\gamma_k) = \sum_{k=1}^s \log_2 \left(1 + \frac{E_x \gamma_k}{N_T N_0} \lambda_k \right) \quad (3.24)$$

Eş. 3.24'de yer alan ifadeyi çözmek için güç tahsisini maksimize edici bir yapı oluşturmak gerekmektedir. Güç tahsisini maksimize edici yapı Eş. 3.25'de yer aldığı gibi bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkar. Eş. 3.27 ve Eş. 3.28'in çözümü için tanınan bir yöntem olan Water Pouring algoritmasına başvurulabilir [6, 22]. Water-Pouring algoritmasında SNR değeri yüksek olan modlara daha fazla güç tahsisi yapan bir yapı kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında eşit güç tahsisi ve uyarlamalı güç tahsisi yöntemleri benzetim çalışmalarında kullanılmıştır.

$$C = \max_{(\gamma_k)} \sum_{k=1}^s \log_2 \left(1 + \frac{E_x \gamma_k}{N_T N_0} \lambda_k \right) \quad (3.25)$$

$$\sum_{k=1}^s (\gamma_k) = N_T \quad (3.26)$$

$$\gamma_k^{\text{opt}} = \left(\mu - \frac{N_T N_0}{E_x \lambda_k} \right)^+, k = 1, \dots, s \quad (3.27)$$

$$\sum_{k=1}^s \gamma_k^{\text{opt}} = N_T \quad (3.28)$$

Genel olarak ÇGÇÇ sistemlerde kanal modeli rasgele bir yapıda meydana gelmekte ve zamanla değişmektedir. Eş. 3.28'i ÇGÇÇ sistemlerin kanal kapasitesinin zaman ortalaması olarak ifade edilebilir [6, 26]. ÇGÇÇ sistemlerinin oluşturduğu rasgele kanalları pratikte bir önceki bölümde belirttiğimiz ergodik kapasite hesabının dayandığı ergodik süreç olarak

kabul edebiliriz. Eş. 3.16'yı Eş. 3.29'a eklediğimizde ÇGÇÇ sistemlerde rasgele olan kanallar için ergodik kanal kapasite hesabını Eş. 3.30'da yer aldığı gibi elde etmiş oluruz. Optimum gönderici anten seçim algoritması için Eş. 3.30'u ÇGÇÇ SKÇE sistemler açısından uygun olarak değerlendirebiliriz.

$$\bar{C} = \{C(\mathbf{H})\} \quad (3.29)$$

$$\bar{C} = \max_{\text{Tr}(\mathbf{R}_{XX})=N_T} \log_2 \det \left\{ \mathbf{I}_{N_R} + \frac{E_x}{N_T N_O} \mathbf{H} \mathbf{R}_{XX} \mathbf{H}^H \right\} \quad (3.30)$$

3.2. İkili Hata Olasılığı

ATASGO algoritmasında alıcı tarafında kanal durum bilgileri yer almakta ve bu bilgilere göre gönderici anten seçimi yapılmaktadır. İkili hata olasılığını ATASGO kapsamında gönderici anten seçimi kriteri olarak kullanabiliriz. Gönderici anten seçimi, hata olasılığını minimize edici şekilde yapılabilir. Eş. 3.31'de yer alan ikili hata olasılığı H kanalından geçen C_i gönderilen sinyalinin kanal çıkışında C_j olarak alınmasını ifade etmektedir [6, 27, 28]. Efektif bir $H_{\{P_1, P_2, \dots, P_Q\}}$ kanalı için Q gönderici anten seçimi yapıldığı zamanki Uzay Zaman Blok Koduna (UZBK) ait ikili hata olasılığının üst sınırı Eş. 3.32'de yer aldığı gibidir [6].

$$\Pr(C_i \rightarrow C_j | \mathbf{H}_{\{P_1, P_2, \dots, P_Q\}}) = Q \left(\sqrt{\frac{\rho \|\mathbf{H}_{\{P_1, P_2, \dots, P_Q\}} \mathbf{E}_{i,j}\|_F^2}{2N_T}} \right) \quad (3.31)$$

$$\Pr(C_i \rightarrow C_j | \mathbf{H}_{\{P_1, P_2, \dots, P_Q\}}) \leq \exp \left(-\frac{\rho \|\mathbf{H}_{\{P_1, P_2, \dots, P_Q\}} \mathbf{E}_{i,j}\|_F^2}{4N_T} \right) \quad (3.32)$$

Eş. 3.32'de yer alan ifadeyi Q adet anten seçimi ile minimize edebiliriz. Bunu yapmak için $\mathbf{E}_{i,j} \mathbf{E}_{i,j}^H = \alpha \mathbf{I}$ kullanıp Eş. 3.33'den Eş. 3.34'ü elde ederiz. Eş. 3.34 bize yüksek norm değerine sahip anten seçimi yapmanın hata oranını minimize edeceğini göstermektedir. Q anten seçildiği zamanki ortalama SGO değeri Eş. 3.35'te verildiği gibi ifade edilmektedir.

- $\mathbf{H}_F$: öncül kodlanmış H matrisi

$$\{p_1^{\text{opt}}, p_2^{\text{opt}}, \dots, p_q^{\text{opt}}\} = \arg \min_{p_1, p_2, \dots, p_Q \in A_Q} \left\| \mathbf{H}_{\{p_1, p_2, \dots, p_Q\}} \mathbf{E}_{i,j} \right\|_F^2 \quad (3.33)$$

$$\{p_1^{\text{opt}}, p_2^{\text{opt}}, \dots, p_q^{\text{opt}}\} = \arg \min_{p_1, p_2, \dots, p_Q \in A_Q} \left\| \mathbf{H}_{\{p_1, p_2, \dots, p_Q\}} \right\|_F^2 \quad (3.34)$$

$$\eta_{\{p_1, p_2, \dots, p_Q\}} = \frac{\rho}{Q} \left\| \mathbf{H}_{\{p_1, p_2, \dots, p_Q\}} \right\|_F^2 \quad (3.35)$$

Eş. 3.35’de yer alan ifadedeki Q anten seçimini N_T grup içinde yaptığımız durumlar için Eş. 3.36’daki eşitsizliği elde ederiz. $Q \leq N_T$ olduğundan Eş. 3.37’yi kullanıp Eş. 3.38’i elde ederiz.

$$\frac{\left\| \mathbf{H}_{\{p_1, p_2, \dots, p_Q\}} \right\|_F^2}{Q} \geq \frac{\left\| \mathbf{H} \right\|_F^2}{N_T} \quad (3.36)$$

$$\left\| \mathbf{H}_{\{p_1, p_2, \dots, p_Q\}} \right\|_F^2 = \left\| \mathbf{H} \right\|_F^2 \quad (3.37)$$

$$\frac{\rho}{Q} \left\| \mathbf{H} \right\|_F^2 \geq \eta_{\{p_1, p_2, \dots, p_Q\}} \geq \frac{\rho}{N_T} \left\| \mathbf{H} \right\|_F^2 \quad (3.38)$$

Eş. 3.38’de yer alan ifade ile alıcı tarafındaki ortalama SGO değerlerinin $\left\| \mathbf{H} \right\|_F^2$ ’nin bir fonksiyonu olduğu gerçeğini ortaya koyan üst ve alt sınırları belirlemiş oluyoruz. ATASGO algoritmasında ÇGÇÇ SKÇE sisteminde oluşan gönderici ve alıcı arasındaki kanalların normlarını hesaplayarak optimum bir gönderici anten seçim algoritmasını kullanmanın sistem yapısı açısından uygun olduğunu ortaya koymuş oluruz.

3.3. Optimum Gönderici Anten Seçim Algoritması

Optimum gönderici anten seçim algoritması kanal kapasite hesabı gerçekleri üzerine önerilmiştir. Eş. 3.30’da ifade edilen ergodik kapasite hesabı bu algoritmanın temel

dayandığı analiz yöntemidir. Algoritma kapsamında kanal durum bilgilerinin gönderici tarafında yer aldığı varsayılmıştır. Algoritma aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır.

- Adım-1: Her bir gönderici-alıcı anten arasındaki ergodik kanal kapasitesi hesaplanır.
- Adım-2: Gönderilen x sinyali için en yüksek kapasite sonucu çıkaran anten/anten grubu gönderici anten olarak seçilir. Bir sonraki pilot çerçeveye kadar bu anten ile sinyal iletimine devam edilir.
- Adım-3: SKÇE mimarisi içinde yer alan her bir kullanıcı için BHO ayrı ayrı hesaplanır.
- Adım-4: Tüm adımlar her bir SGO değeri için tekrarlanır.

3.4. ATASGO Gönderici Anten Seçim Algoritması

ATASGO gönderici anten seçim algoritması ikili hata olasılığını temel almaktadır. Eş. 3.38'deki ifade ile alıcı tarafındaki ortalama SGO değerinin $\|\mathbf{H}\|_F^2$ bir fonksiyonu olduğu gerçeği dikkate alınarak, pilot çerçeve ile gönderici ve alıcı antenler arasında oluşan kanalların norm değerleri kullanılır. Algoritma kapsamında kanal durum bilgilerinin alıcı tarafında yer aldığı varsayılmıştır. Algoritma aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır.

- Adım-1: Gönderici anten olarak varsayılan bir anten/anten grubu belirlenir.
- Adım-2: Pilot çerçeveler için gönderilen x sinyali için gönderici ve alıcı antenler arasındaki kanallara ait norm değerleri hesaplanır. Varsayılan gönderici anten/anten grubunun norm değerleri diğer kanalların ortalama norm değerinden büyük ise bir sonraki pilot çerçeveye kadar bu anten/anten grubu ile sinyal iletimine devam edilir.
- Adım-3: Varsayılan gönderici anten/anten grubunun norm değerleri diğer kanalların ortalama norm değerinden küçük ise en yüksek norm değerine sahip gönderici anten ve anten grubu seçilip, bir sonraki pilot çerçeveye kadar bu anten/anten grubu ile sinyal iletimine devam edilir.
- Adım-4: SKÇE mimarisi içinde yer alan her bir kullanıcı için BHO ayrı ayrı hesaplanır.
- Adım-5: Tüm adımlar her bir SGO değeri için tekrarlanır.

3.5. Optimum Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Algoritması

Optimum gönderici anten seçim algoritmasına alıcı anten seçimleri de eklenmiştir. Bu ekleme yapılırken alıcı tarafında her bir kullanıcı için iki anten kullanılmıştır. Algoritma aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır.

- Adım-1: Her bir gönderici-alıcı anten/anten grubu arasındaki ergodik kanal kapasitesi hesaplanır. Kanal kapasitesi en yüksek olan anten/anten grupları gönderici anten için belirlenir.
- Adım-2: Her bir gönderici anten iki adet alıcı anten ile eşleştiği için seçilen gönderici anten/anten grubu için en iyi alıcı anten seçimi norm hesabı ile bulunur. Gönderici ve alıcı anten seçimleri tamamlandıktan sonra bir sonraki pilot çerçeveye kadar x sinyali bu antenler üzerinden yapılır.
- Adım-3: SKÇE mimarisi içinde yer alan her bir kullanıcı için BHO ayrı ayrı hesaplanır.
- Adım-4: Tüm adımlar her bir SGO değeri için tekrarlanır.

3.6. ATASGO Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Algoritması

ATASGO gönderici anten seçim algoritmasına alıcı anten seçimleri de eklenmiştir. Bu ekleme yapılırken alıcı tarafında her bir kullanıcı için iki anten kullanılmıştır. Algoritma aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır.

- Adım-1: Gönderici ve verici anten/anten grubu olarak varsayılan bir anten/anten grubu belirlenir.
- Adım-2: Pilot çerçeveler için gönderilen x sinyali için gönderici ve alıcı antenler arasındaki kanallara ait norm değerleri hesaplanır.
- Adım-3: Varsayılan gönderici anten/anten grubunun norm değerleri diğer kanalların ortalama norm değerinden büyük ise alıcı anten seçimi her bir gönderici antenin alıcı anten çiftiyle oluşturduğu kanalların norm değerleri ayrı ayrı hesaplanır. Gönderici anten/anten grubu ve alıcı anten seçimleri tamamlandıktan sonra bir sonraki pilot çerçeveye kadar x sinyali seçilen antenler üzerinden gönderilir.
- Adım-4: Varsayılan gönderici anten/anten grubunun norm değerleri diğer kanalların ortalama norm değerinden küçük ise en yüksek norm değerine sahip gönderici anten/anten

grubu seçilip, alıcı anten seçimi her bir gönderici antenin alıcı anten çiftiyle oluşturduğu kanalların norm değerler ayrı ayrı hesaplanır. Gönderici anten/anten grubu ve alıcı anten seçimleri tamamlandıktan sonra bir sonraki pilot çerçeveye kadar x sinyali seçilen antenler üzerinden gönderilir.

- Adım-5: SKÇE mimarisi içinde yer alan her bir kullanıcı için BHO ayrı ayrı hesaplanır.
- Adım-6: Tüm adımlar her bir SGO değeri için tekrarlanır.

3.7. ATASGO Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Algoritması UGT Eklentisi

ATASGO ve optimum gönderici – alıcı anten seçim algoritmalarında gönderici tarafında eşit güç dağılımı yapılmıştır. Gönderici anten sayısı arttıkça BHO değerleri eşit güç dağılımının antenlere dağıtılıyor olmasından dolayı kötüleşmektedir. Bir çözüm olarak her bir gönderici antenin önüne RF ön hat eklenebilir. Diğer bir çözüm ise çıkış gücünü artıran ve duruma göre uyarlayan bir yapı uygulamaktır. ATASGO algoritmasına UGT eklentisi yapılırken alıcı taraftaki kullanıcılar için hedeflenen ortalama BHO değerine göre gönderici tarafında çıkış gücünün artırılıp, azaltılması hedeflenmiştir. Bu sayede RF ön hat ihtiyacının kat kat artırılması önlenip, çıkış gücü üzerinden istenilen sonuca ulaşılabilir.

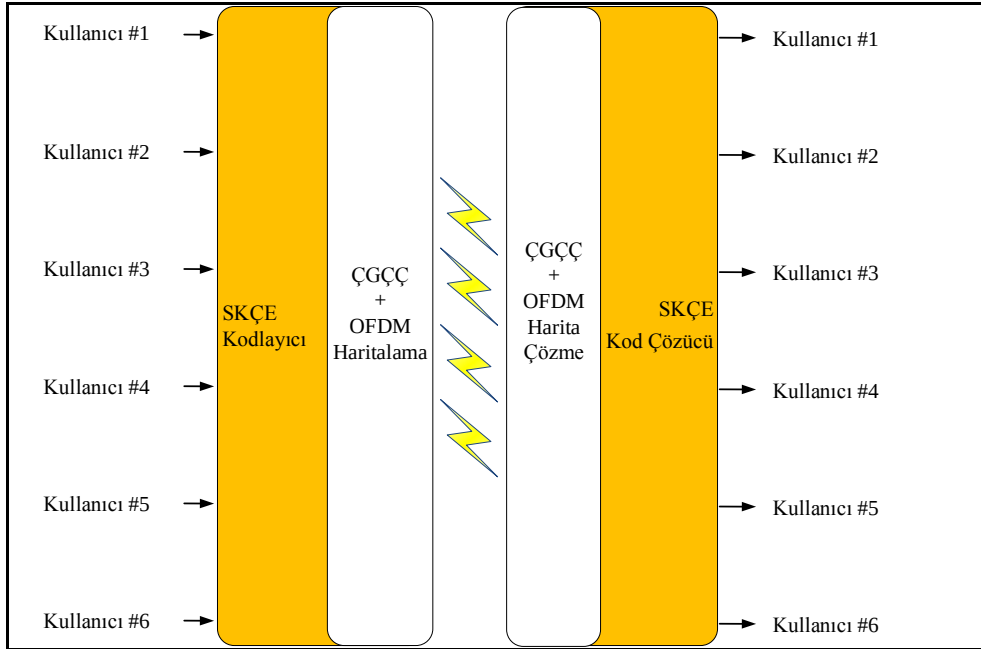
ÇGÇÇ sistemlerindeki anten seçimi sadece RF ön hat maliyetini efektif olmadığından enerji aktarımı zenginleştirilmelidir [11]. Bu açıdan UGT eklentisi uygulanmış ve enerji kullanımı verimli hale getirilmiştir. Algoritma aşağıdaki gibi detaylandırılmıştır. Algoritmanın ilk üç adımı ATASGO algoritması ile aynı şekilde çalışmaktadır.

- Adım-1: Gönderici ve verici anten/anten grubu olarak varsayılan bir anten/anten grubu belirlenir.
- Adım-2: Pilot çerçeveler için gönderilen x sinyali için gönderici ve alıcı antenler arasındaki kanallara ait norm değerleri hesaplanır.
- Adım-3: Varsayılan gönderici anten/anten grubunun norm değerleri diğer kanalların ortalama norm değerinden büyük ise alıcı anten seçimi her bir gönderici antenin alıcı anten çiftiyle oluşturduğu kanalların norm değerler ayrı ayrı hesaplanır. Gönderici anten/anten grubu ve alıcı anten seçimleri tamamlandıktan sonra bir sonraki pilot çerçeveye kadar x sinyali seçilen antenler üzerinden gönderilir.

- Adım-4: Varsayılan gönderici anten/anten grubunun norm değerleri diğer kanalların ortalama norm değerinden küçük ise en yüksek norm değerine sahip gönderici anten/anten grubu seçilip, alıcı anten seçimi her bir gönderici antenin alıcı anten çiftiyle oluşturduğu kanalların norm değerleri ayrı ayrı hesaplanır. Gönderici anten/anten grubu ve alıcı anten seçimleri tamamlandıktan sonra bir sonraki pilot çerçeveye kadar x sinyali seçilen antenler üzerinden gönderilir.
- Adım-5: SKÇE mimarisi içinde yer alan her bir kullanıcı için BHO ayrı ayrı hesaplanır. BHO değerleri o ağ için hedeflenen BHO değerinin altında ise gönderici tarafındaki çıkış gücü %10 artırılır. Eğer o ağ içindeki kullanıcıların ortalama BHO değeri hedeflenen değer üzerinde ise gönderici tarafın çıkış gücü sabit bırakılır.
- Adım-6: Tüm adımlar her bir SGO değeri için tekrarlanır.

4. NÜMERİK SONUÇLAR

Gönderici anten seçiminin yapıldığı (tek alıcı anten ile) Çoklu Giriş Tek Çıkış (ÇGTÇ) SKÇE ve ÇGÇÇ SKÇE mimarisine uygun kanal kapasite analizleri ve BHO analizlerinin gerçekleştirildiği benzetimler bu bölümde anlatılmıştır. Tüm benzetimler Matlab R2018a yazılımı ile Monte Carlo uygulamaları ile gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmalarının çalıştığı donanım 16GB RAM (Random Access Memory) ve i7-8700 CPU (Central Processing Unit) içermektedir. Şekil 4.1’de ÇGTÇ ve ÇGÇÇ SKÇE için kullanılan ortak mimari verilmiştir.



Şekil 4.1. ÇGTÇ ve ÇGÇÇ SKÇE (KUÇY) sistem mimarisi

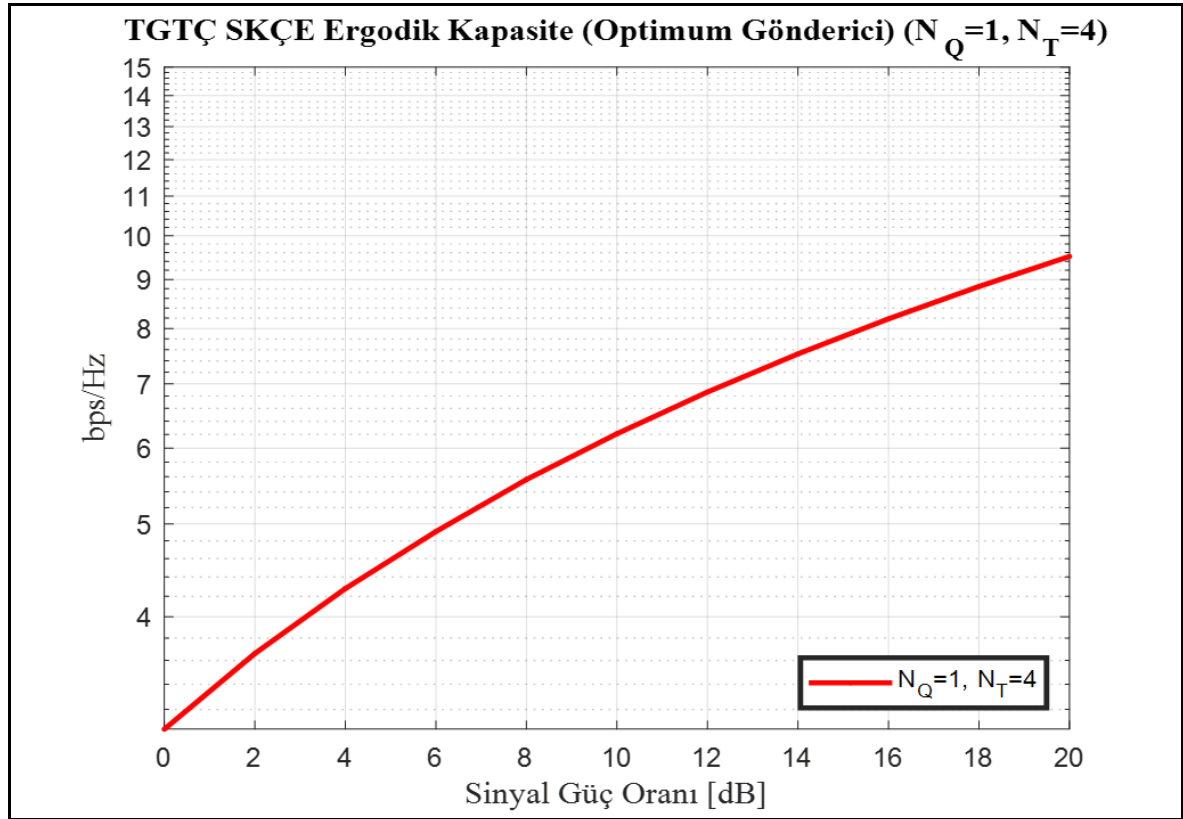
Benzetim çalışmaları kapsamında kullanılan temel parametreler aşağıdaki gibidir.

- Gönderici anten sayısı $N_T = 1,2,3,4$ (baz istasyonu)
- Alıcı anten sayısı $N_R = 1,2$ (mobil alıcı)
- Gönderici tarafında seçilen anten sayısı $N_Q = 1,2,3,4$
- Mobil kullanıcı sayısı (kod kitabı katmanı) $V = 6$
- Kod dizini uzunluğu $M = 4$
- Kaynak eleman sayısı $K = 4$
- $SGO = E_B N_O + 10 \log \left(\frac{\log_2(M)V}{K} \right)$

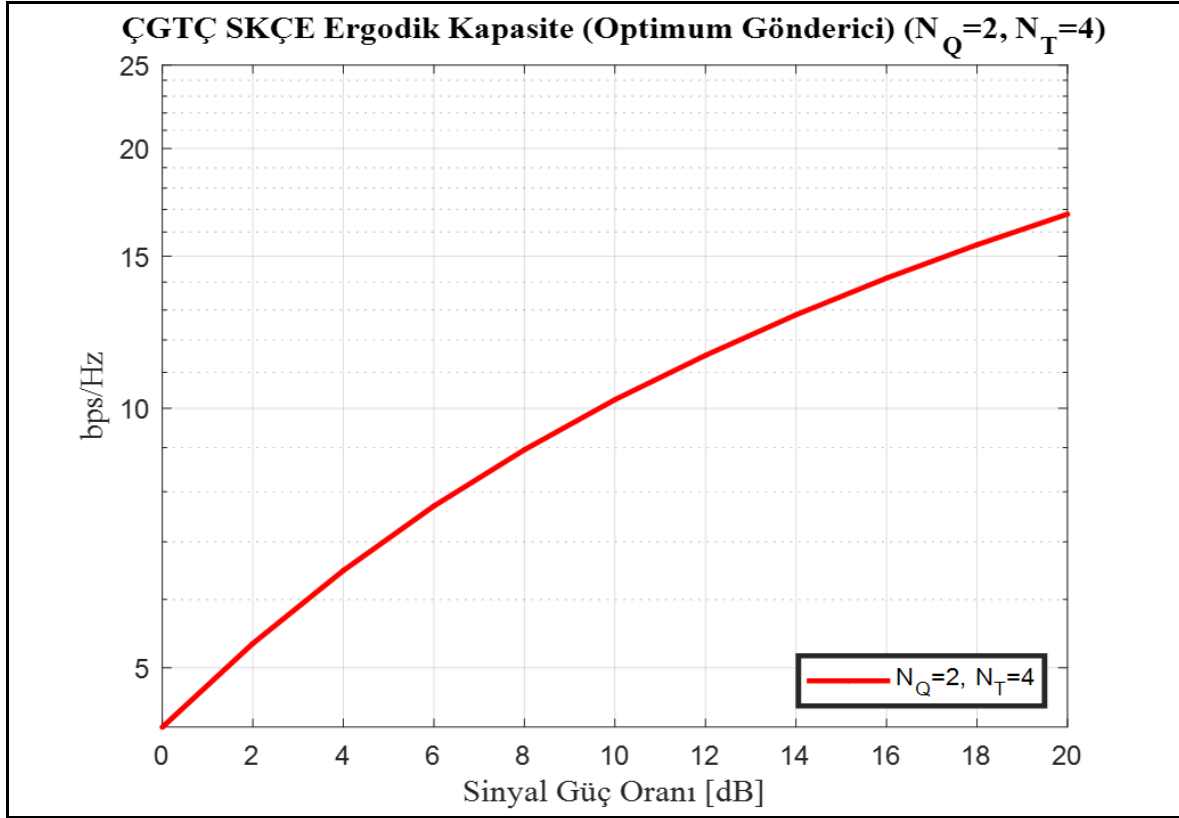
- Bit enerji gürültü oranı $E_B N_0 = 0:18\text{dB}$
- İterasyon sayısı MGA için $N = 10$
- Rayleigh kanal modeli
- Gaussian gürültü (Additive White Gaussian Noise (AWGN) modeli)

4.1. Optimum Gönderici Anten Seçimi Benzetim Sonuçları

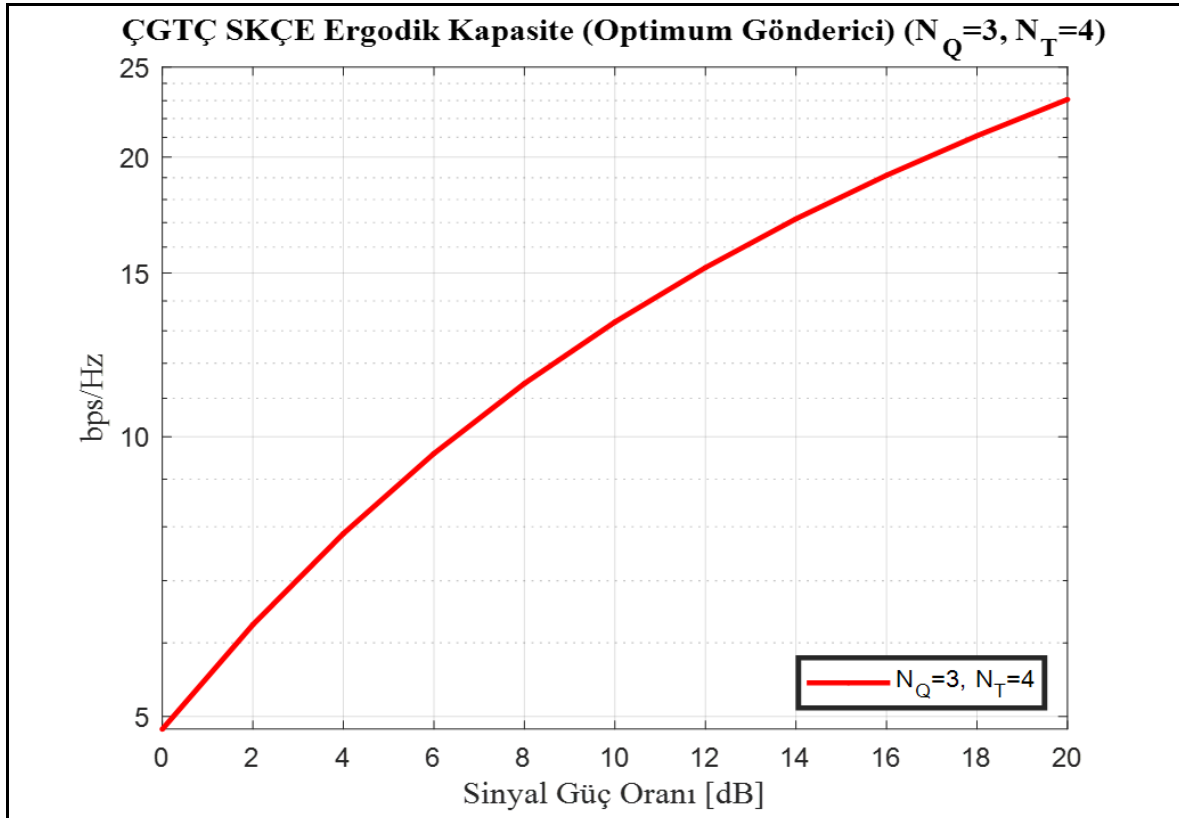
Bu bölümde N_T sayıdaki anten içinde $N_Q = 1,2,3,4$ sayıda seçilebilen değişken anten gönderim benzetimleri yapılmıştır. Benzetim çalışmaları için $N_R = 1$ olarak alınmıştır. Elde edilen kapasite ve BHO grafikleri aşağıda verilmiştir.



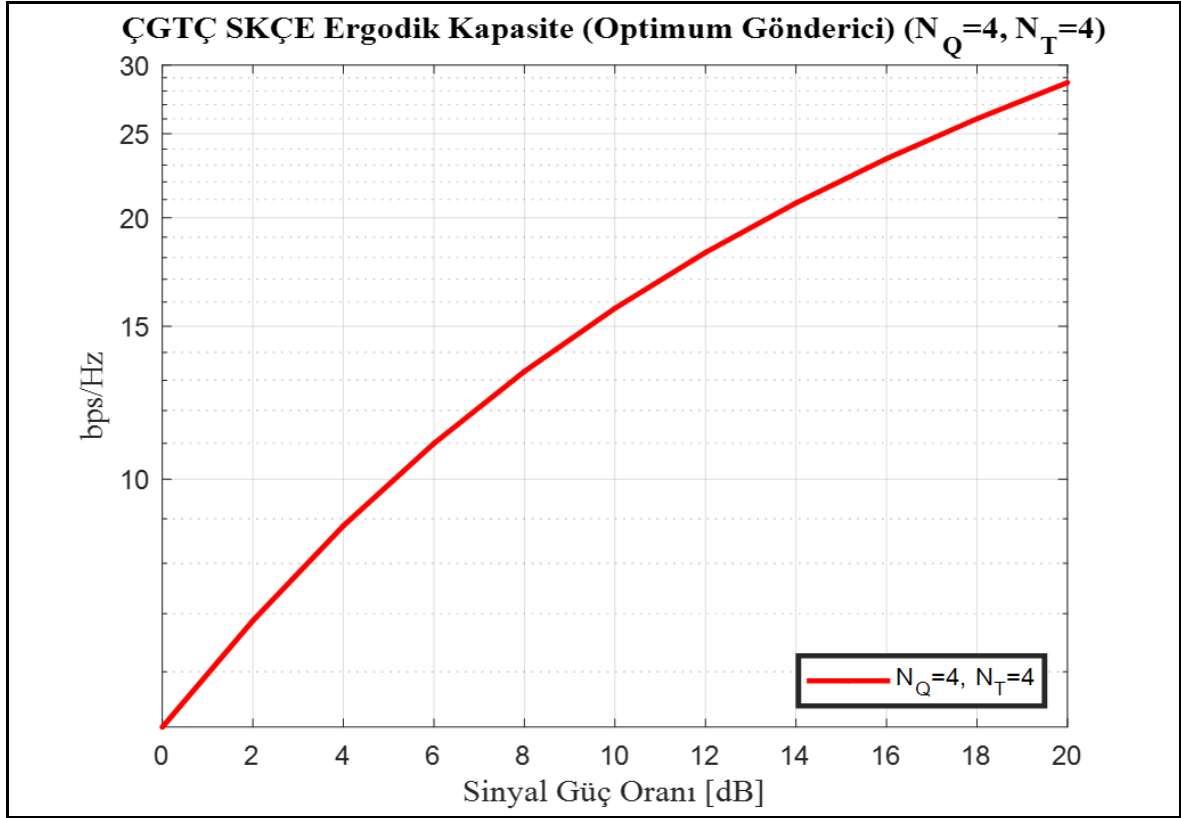
Şekil 4.2. Optimum gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 1$)



Şekil 4.3. Optimum gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 2$)



Şekil 4.4. Optimum gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 3$)

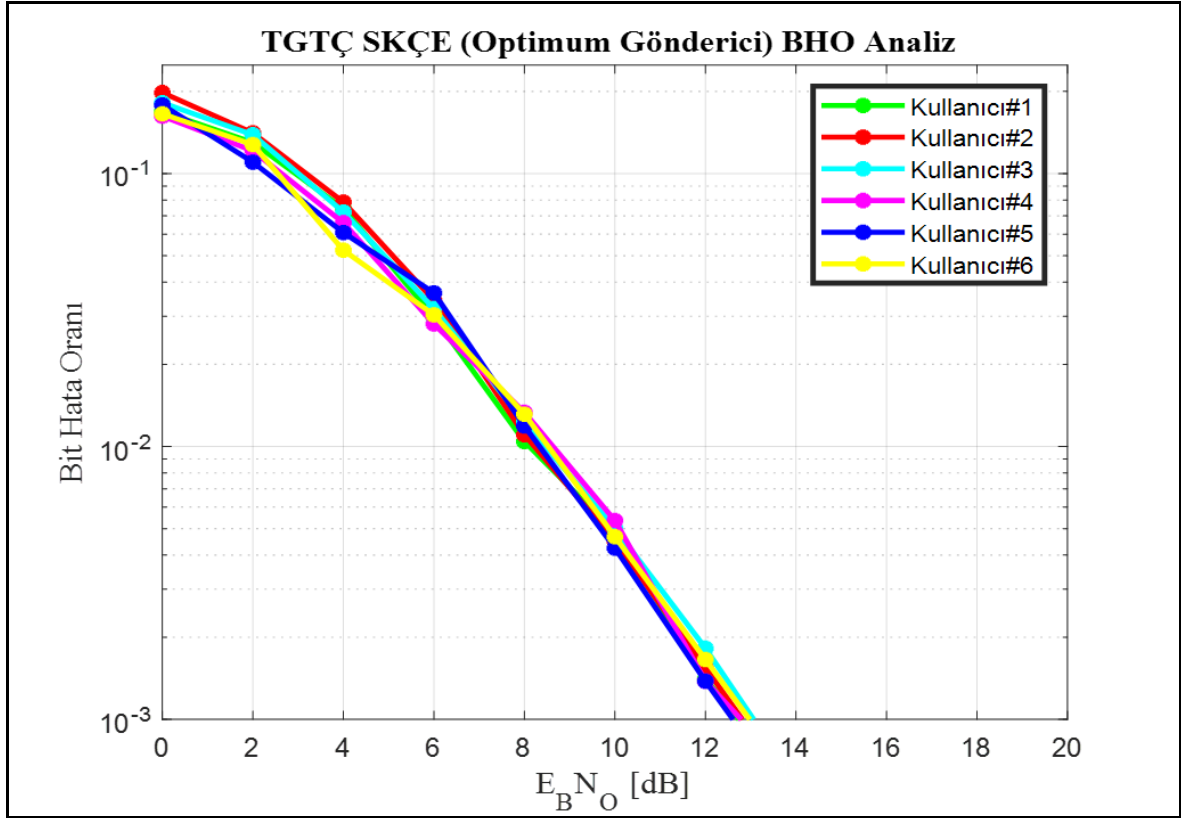


Şekil 4.5. Optimum gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 4$)

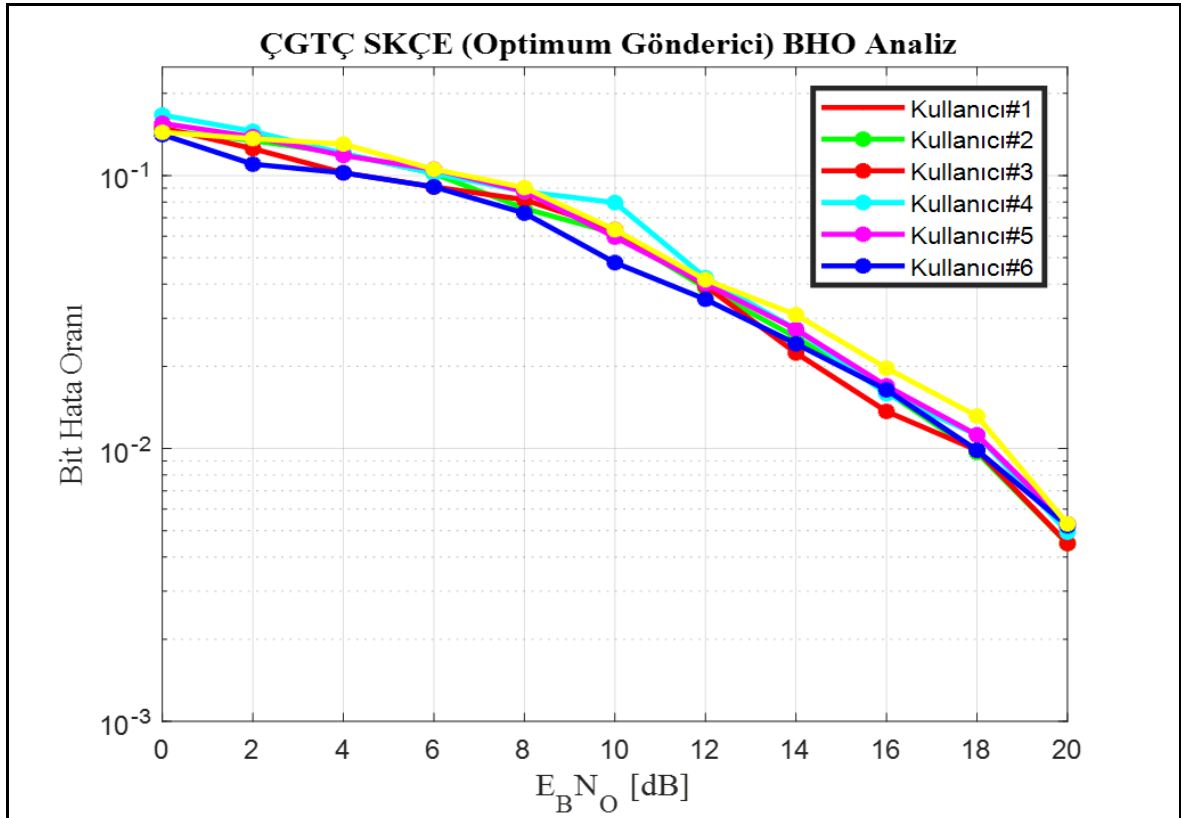
Çizelge 4.1. Optimum gönderici anten seçimi kapasite değerleri (bps/Hz)

N_Q	0 dB	2 dB	4 dB	6 dB	8 dB	10 dB	12 dB	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
1	3,05	3,66	4,28	4,90	5,56	6,21	6,86	7,52	8,18	8,84	9,51
2	4,26	5,33	6,48	7,70	8,94	10,23	11,51	12,83	14,15	15,47	16,78
3	4,84	6,27	7,86	9,59	11,41	13,28	15,20	17,16	19,11	21,08	23,07
4	5,18	6,87	8,83	10,99	13,31	15,73	18,24	20,80	23,39	26,01	28,63

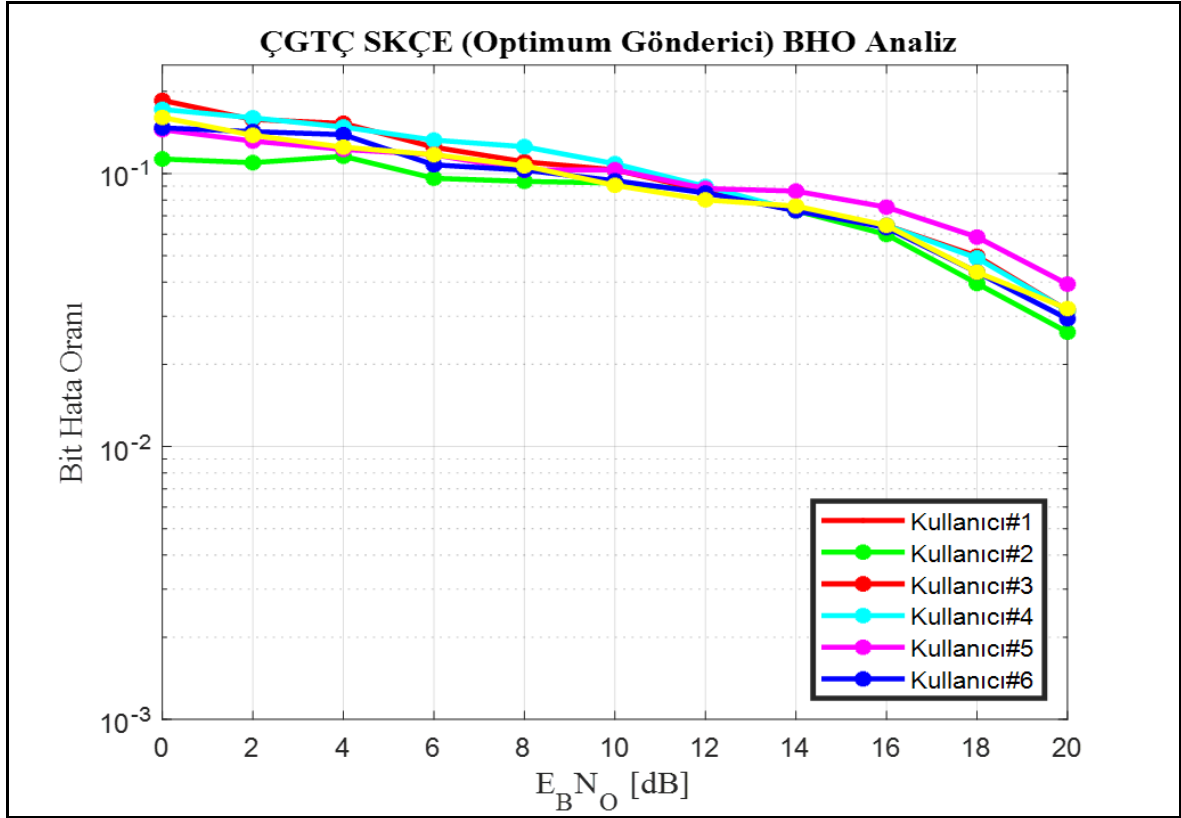
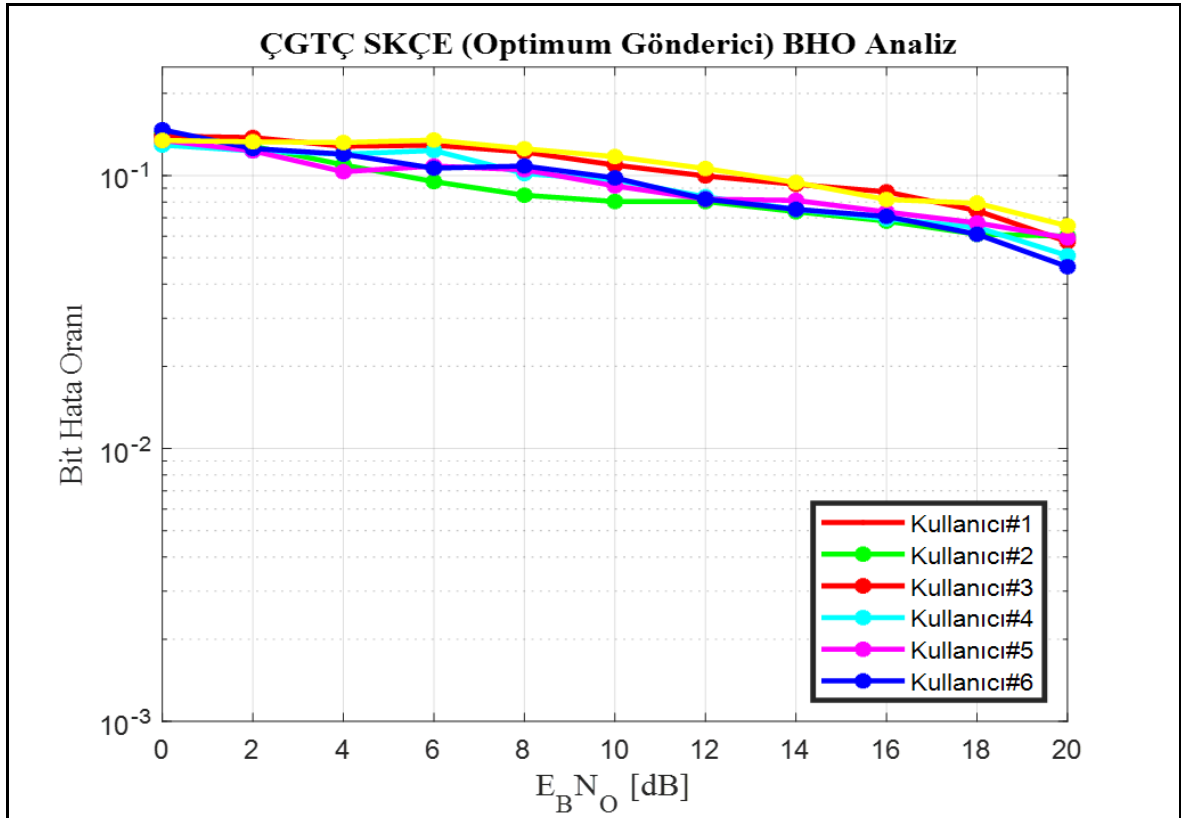
Optimum gönderici anten seçim algoritması ile gönderici tarafında değişken anten seçimi yapılmış ve ergodik kapasite değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Seçilen değişken sayısı arttıkça ergodik kapasite değeri artmasına rağmen alıcı tarafta tek anten olmasından dolayı kapasite artışı sınırlanmaktadır.



Şekil 4.6. Optimum gönderici anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 1$)



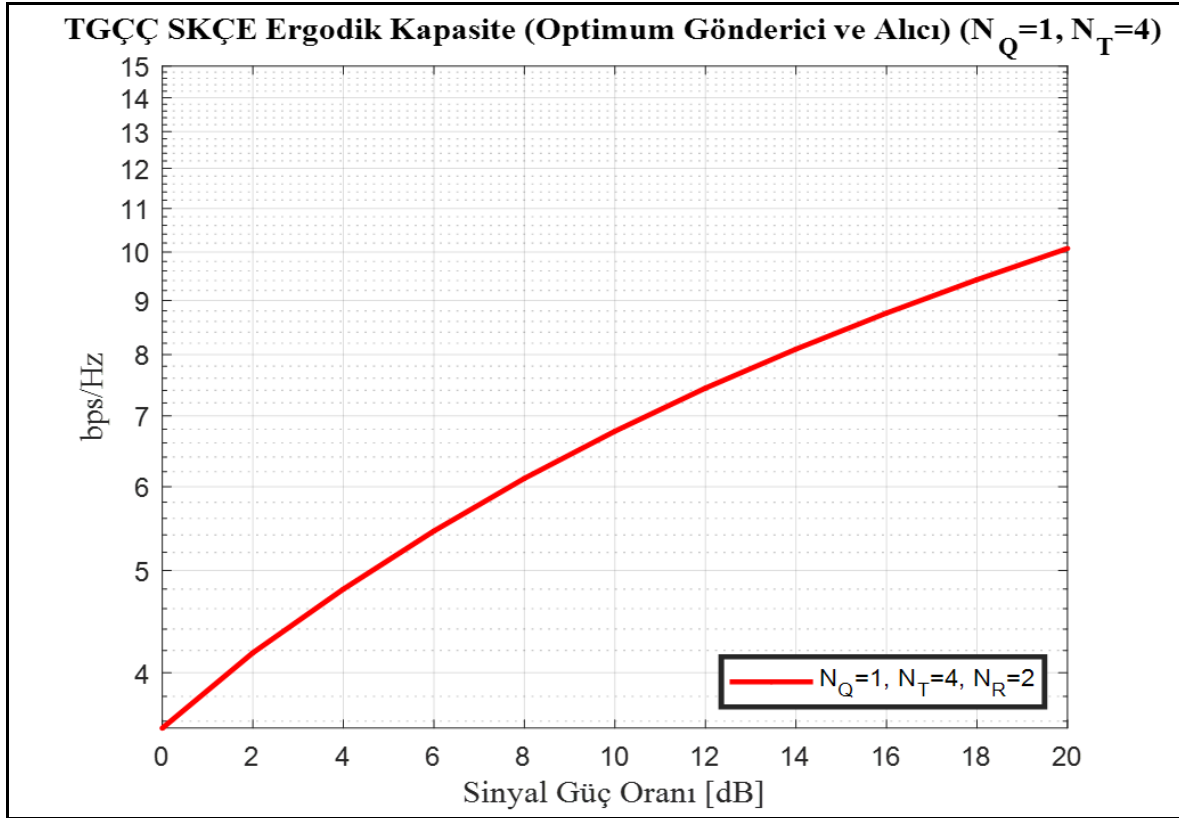
Şekil 4.7. Optimum gönderici anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 2$)

Şekil 4.8. Optimum gönderici anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 3$)Şekil 4.9. Optimum gönderici anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 4$)

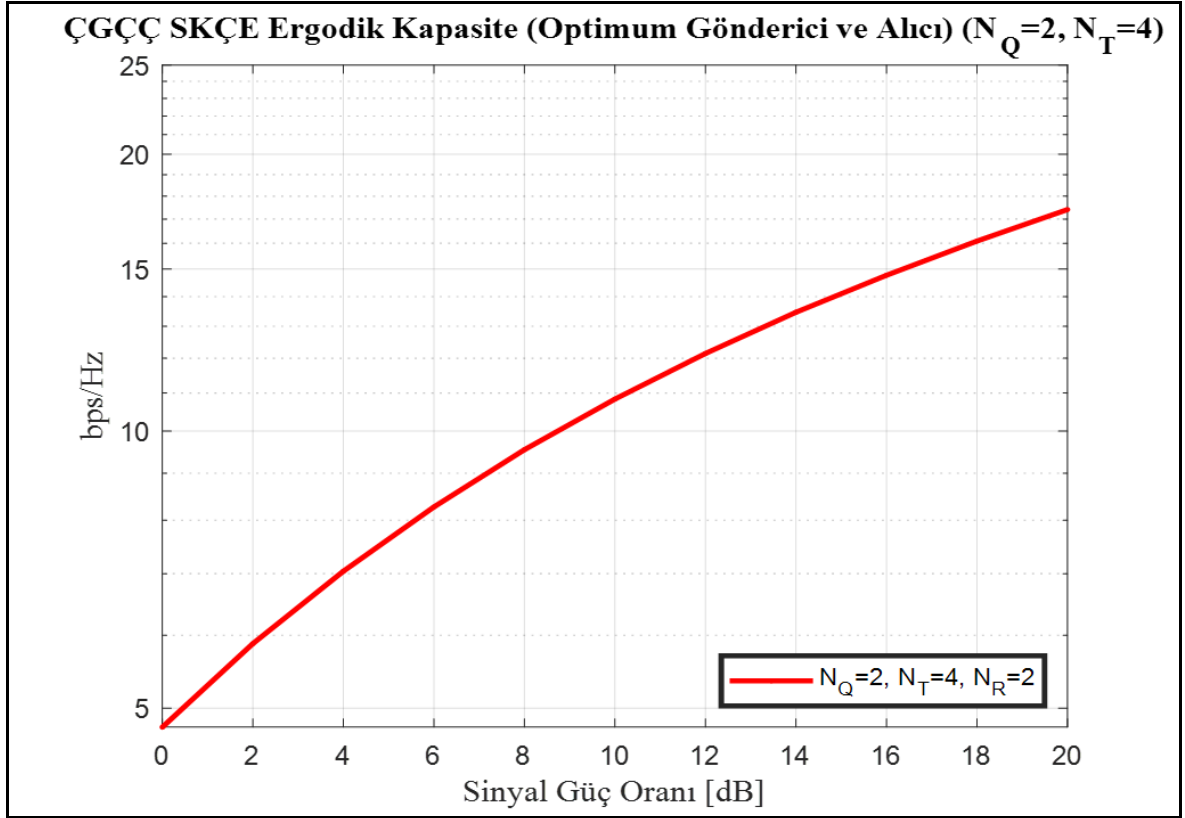
Optimum gönderici anten seçim algoritması ile gönderici tarafında değişken anten seçimi yapılmış, BHO benzetim sonuçları $N_Q = 1, 2, 3, 4$ için ayrı ayrı Şekil 4.6'dan Şekil 4.9'a kadar sunulmuştur. Gönderici anten tarafında çıkış gücü sabit olduğu ve eşit güç tahsisi kullanıldığı için anten sayısı arttıkça BHO grafiklerinde hata oranları yükselmektedir. Diğer taraftan ise anten sayısı arttığı için kanal kapasite değerleri artmaktadır.

4.2. Optimum Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Benzetim Sonuçları

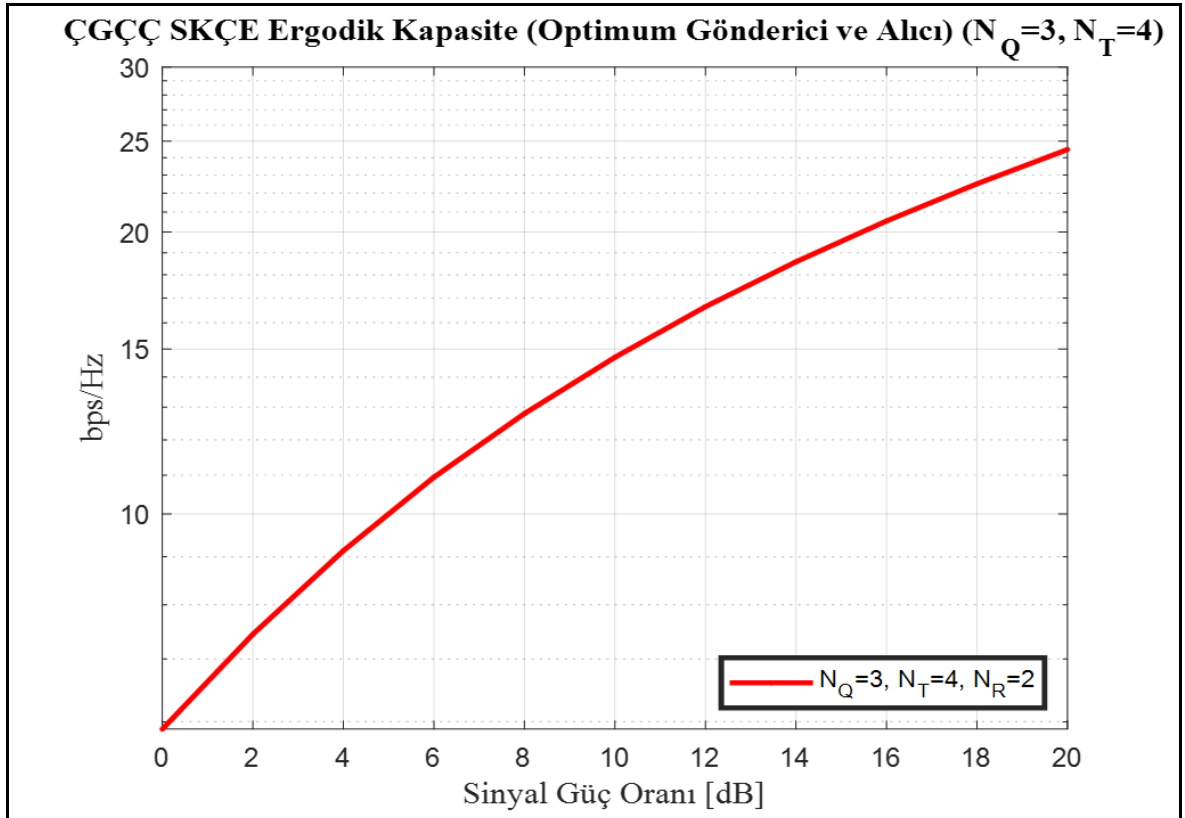
Bu bölümde N_T sayıdaki anten içinde $N_Q = 1, 2, 3, 4$ sayıda seçilebilen değişken anten gönderim benzetimleri yapılmıştır. Benzetim çalışmaları için $N_R = 2$ olarak alınmıştır. Elde edilen kapasite ve BHO grafikleri aşağıda verilmiştir.



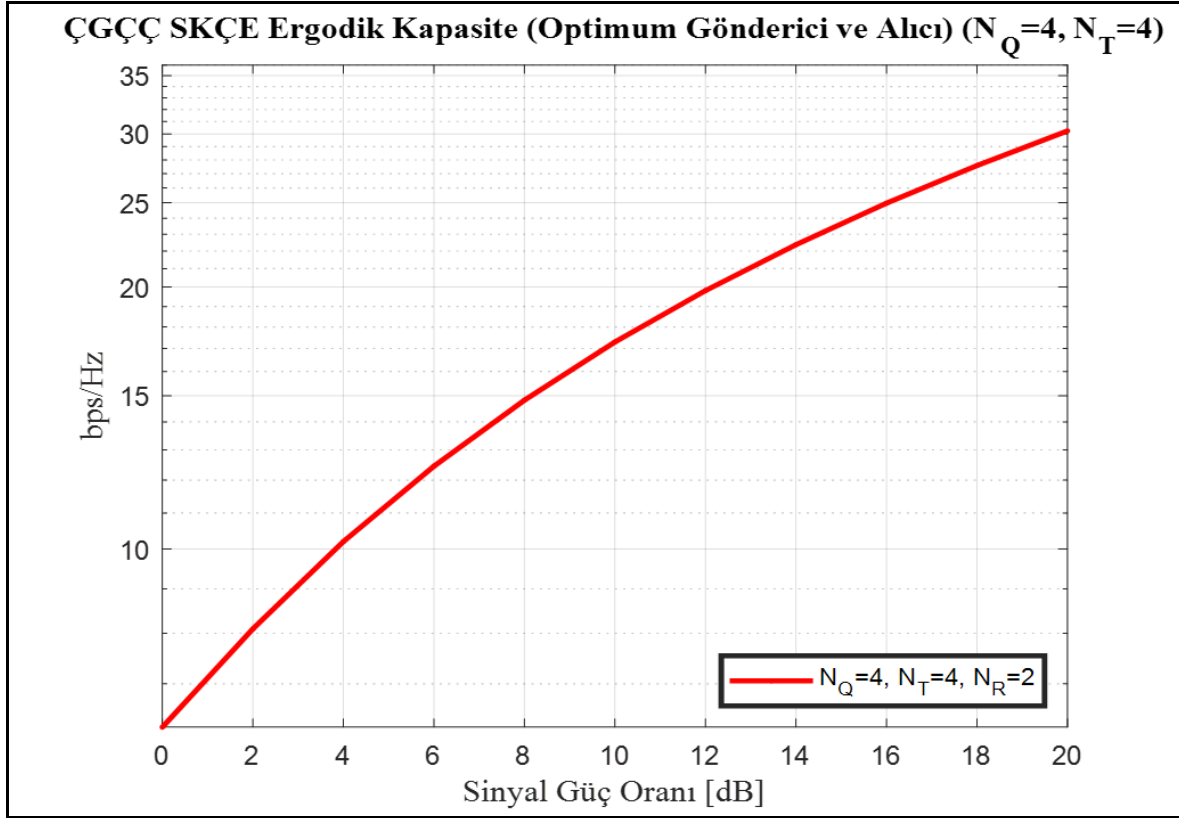
Şekil 4.10. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 1$)



Şekil 4.11. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 2$)



Şekil 4.12. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 3$)

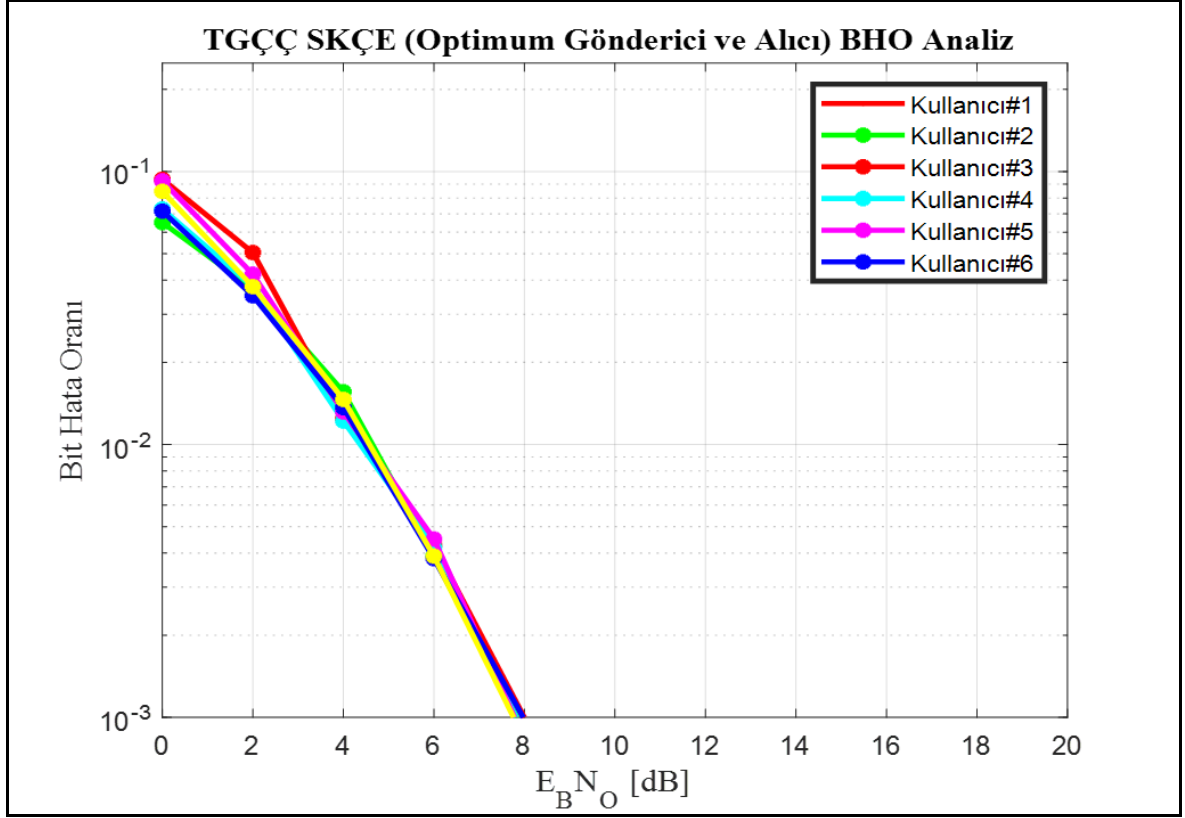


Şekil 4.13. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 4$)

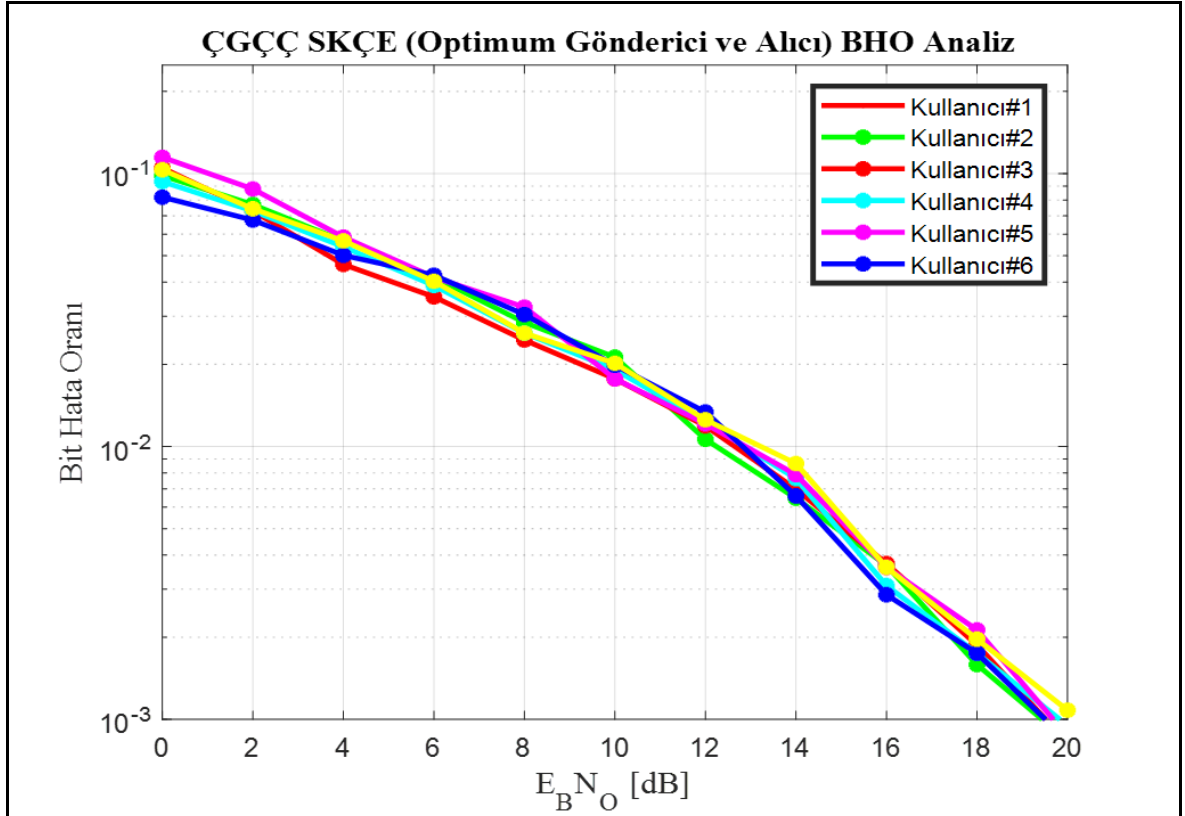
Çizelge 4.2. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi kapasite değerleri (bps/Hz)

N_Q	0 dB	2 dB	4 dB	6 dB	8 dB	10 dB	12 dB	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
1	3,54	4,17	4,79	5,44	6,10	6,77	7,43	8,09	8,75	9,41	10,08
2	5,10	6,22	7,43	8,66	9,94	11,24	12,55	13,87	15,18	16,50	17,82
3	5,89	7,44	9,13	10,94	12,79	14,69	16,64	18,58	20,54	22,51	24,49
4	6,24	8,09	10,2	12,45	14,82	17,29	19,81	22,37	24,97	27,59	30,24

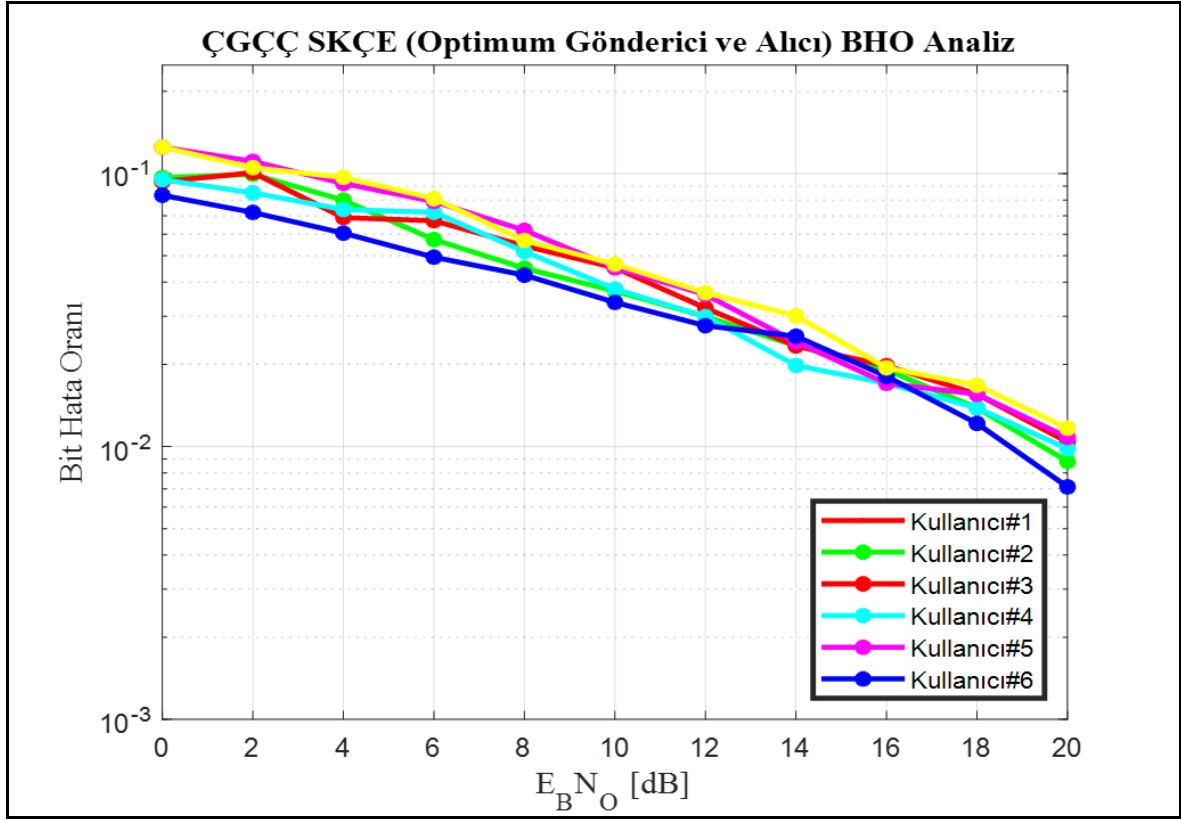
Optimum gönderici ve alıcı anten seçim algoritması ile hem gönderici tarafında hem de alıcı tarafında değişken anten seçimi yapılmış ve ergodik kapasite değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Seçilen değişken gönderici anten sayısı arttıkça ergodik kapasite değeri artması ve alıcı tarafında iki alıcı anten olmasının kapasite artışı üzerine etkisi açıkça görülmektedir.



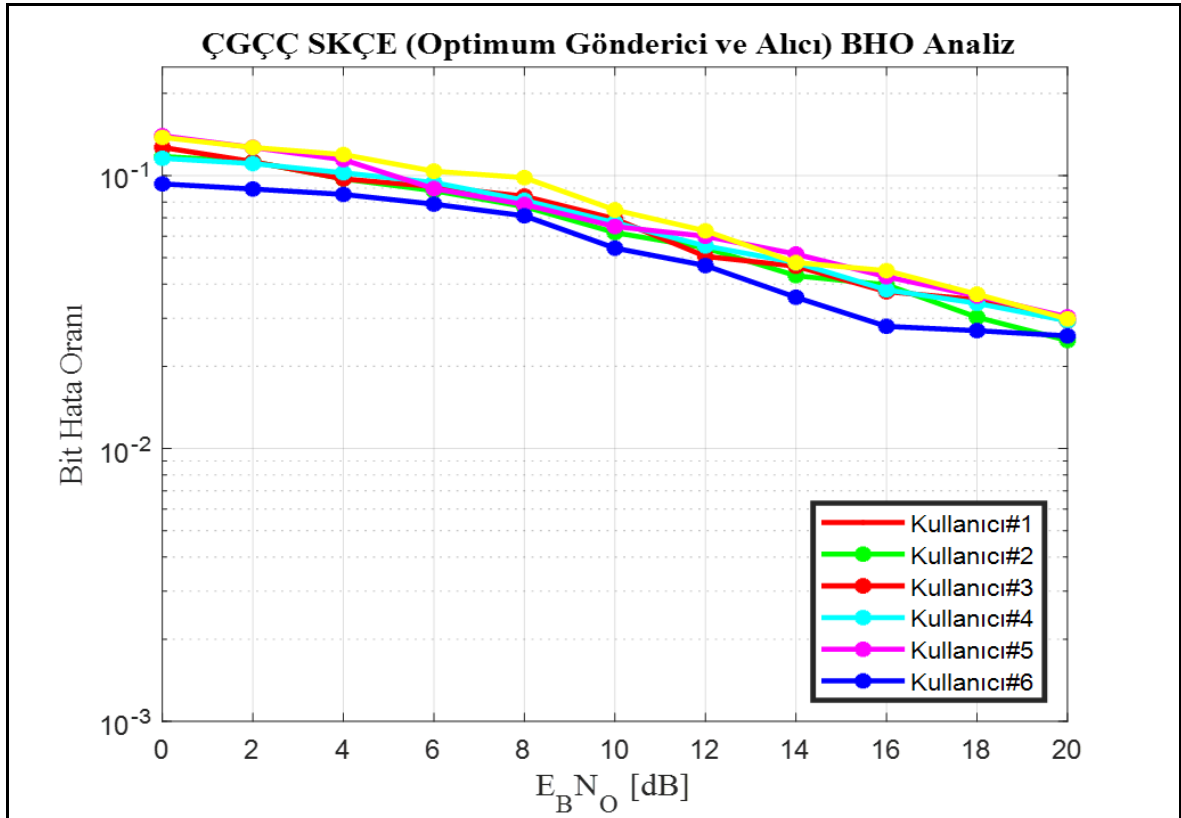
Şekil 4.14. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 1$)



Şekil 4.15. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 2$)



Şekil 4.16. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 3$)

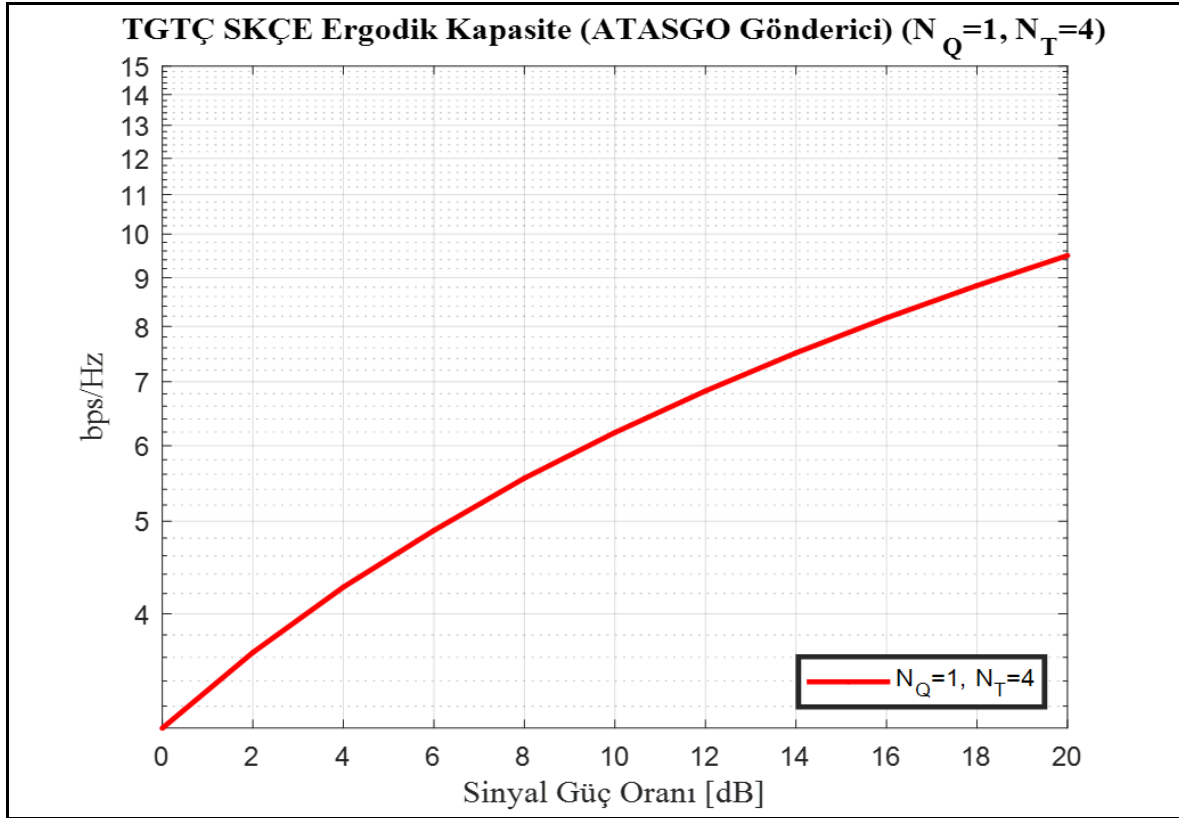


Şekil 4.17. Optimum gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 4$)

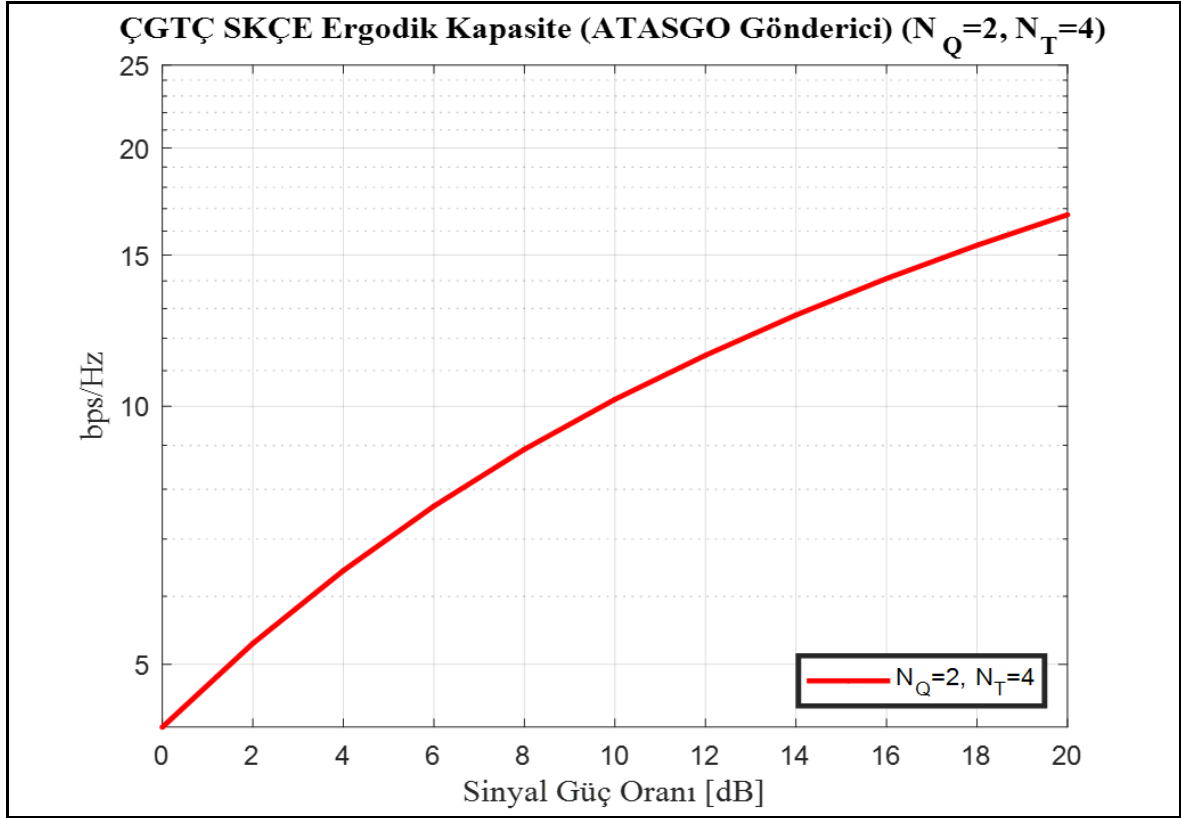
Optimum gönderici ve alıcı anten seçim algoritması ile hem gönderici tarafında hem de alıcı tarafında değişken anten seçimi yapılmış, BHO benzetim sonuçları $N_Q = 1, 2, 3, 4$, $N_R = 2$ için ayrı ayrı Şekil 4.14'den Şekil 4.17'ye kadar sunulmuştur. Gönderici anten tarafında çıkış gücü sabit olduğu ve eşit güç tahsisi kullanıldığı için anten sayısı arttıkça BHO grafiklerinde hata oranları yükselmesi etkisi alıcı tarafında birden fazla anten kullanılması ile iyileştirilebilmektedir.

4.3. ATASGO Gönderici Anten Seçim Benzetim Sonuçları

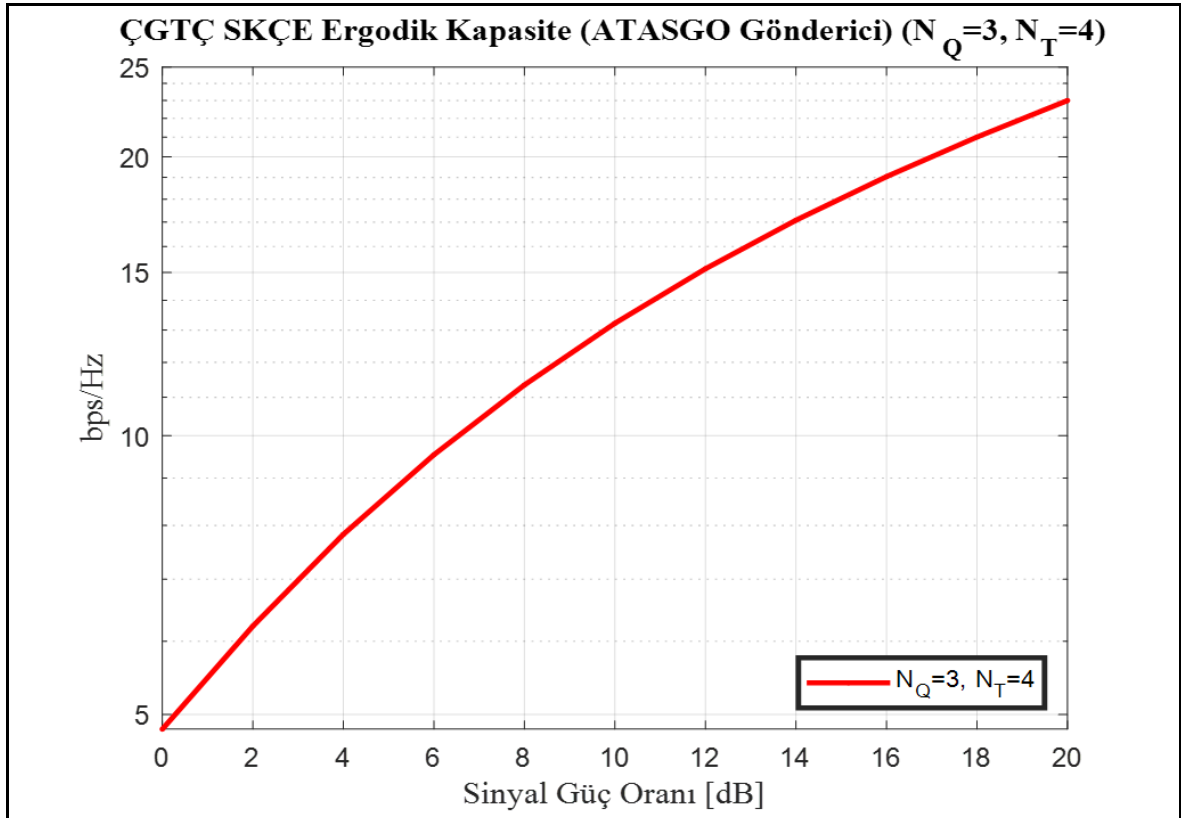
Bu bölümde N_T sayıdaki anten içinde $N_Q = 1, 2, 3, 4$ sayıda seçilebilen değişken anten gönderim benzetimleri yapılmıştır. Benzetim çalışmaları için $N_R = 1$ olarak alınmıştır. Elde edilen kapasite ve BHO grafikleri aşağıda verilmiştir.



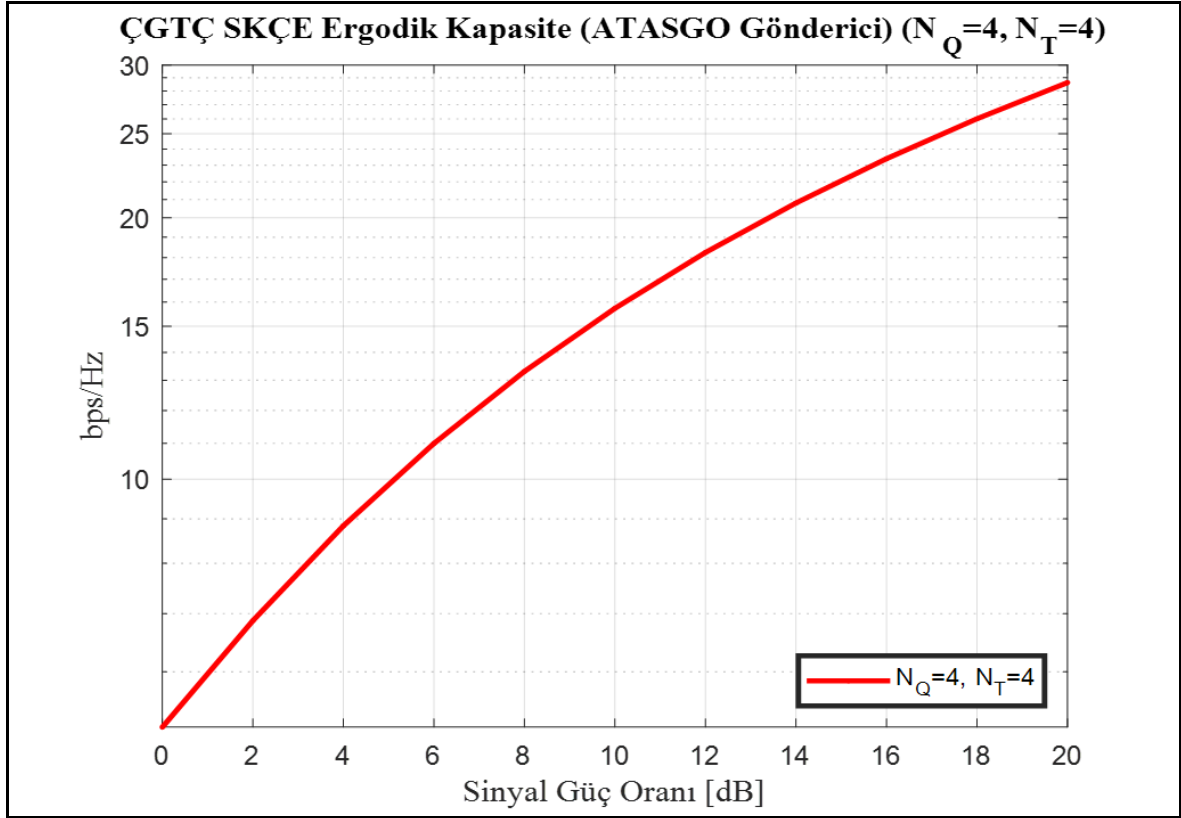
Şekil 4.18. ATASGO gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 1$)



Şekil 4.19. ATASGO gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 2$)



Şekil 4.20. ATASGO gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 3$)

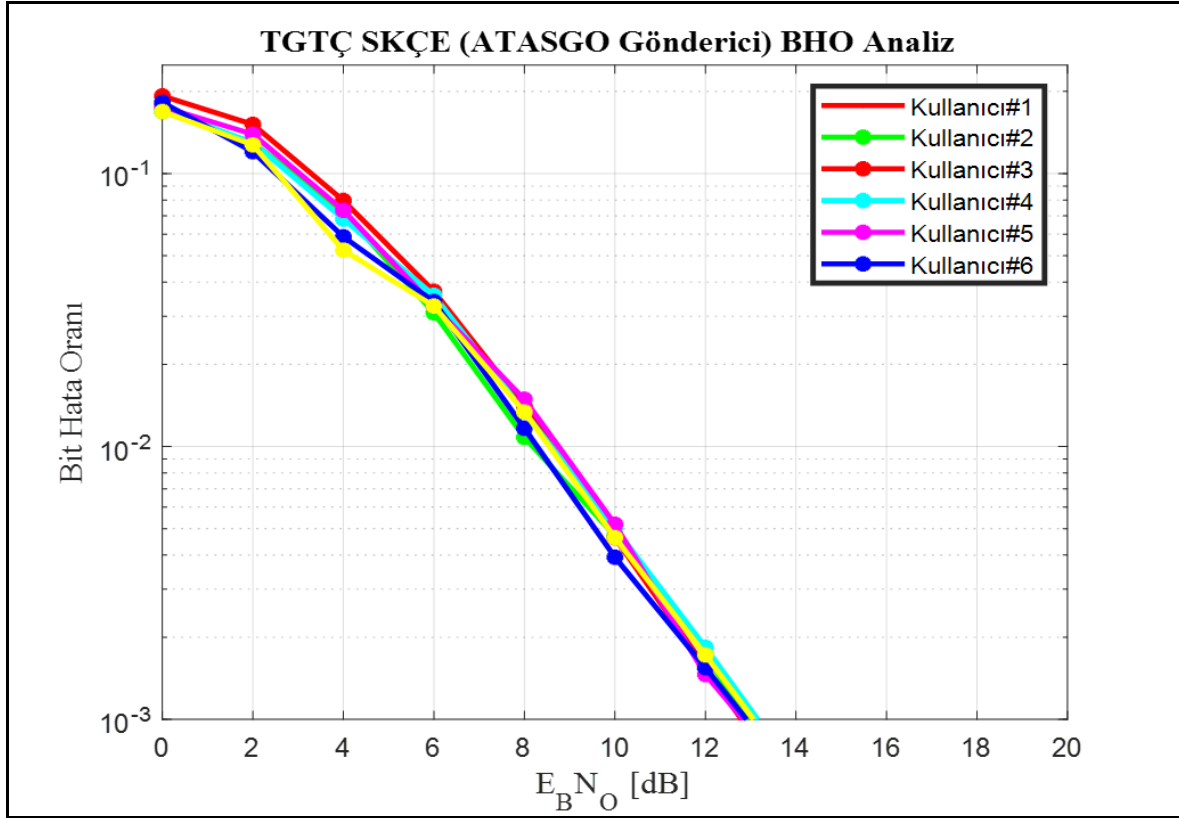


Şekil 4.21. ATASGO gönderici anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 4$)

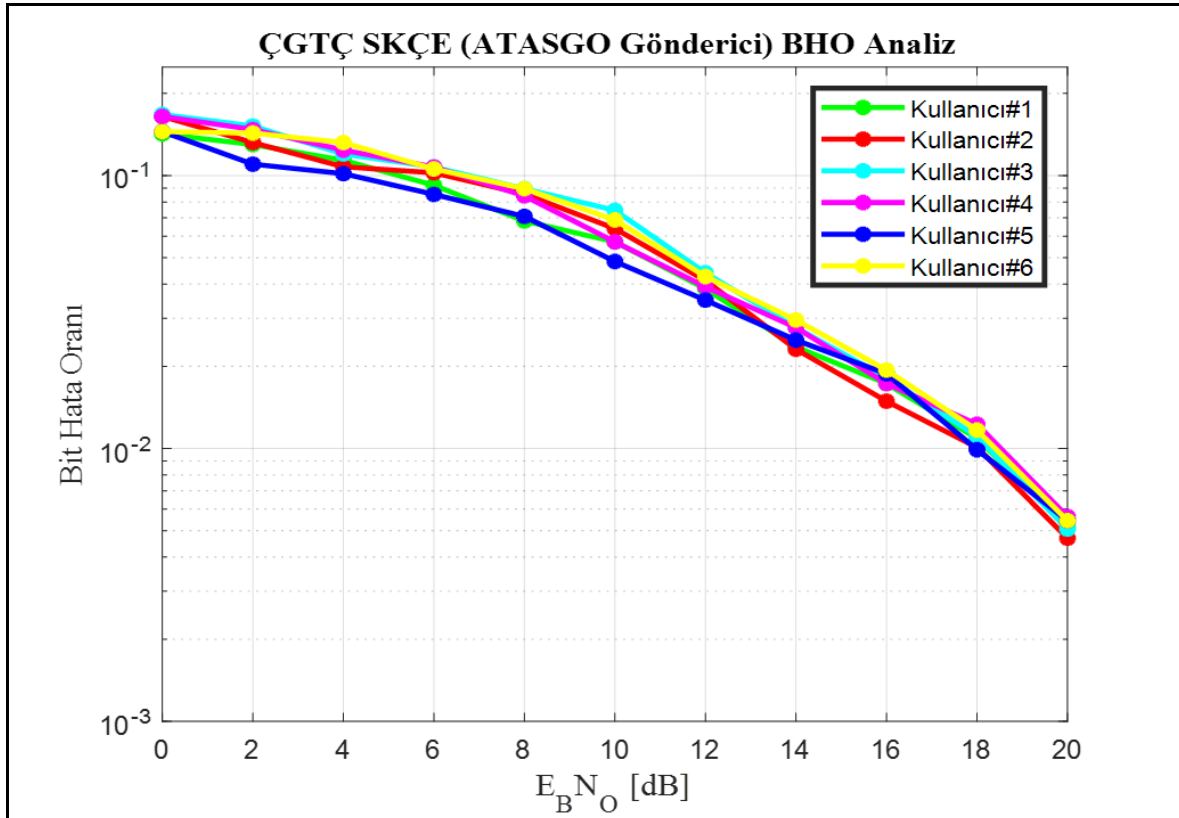
Çizelge 4.3. ATASGO gönderici anten seçimi kapasite değerleri (bps/Hz)

N_Q	0 dB	2 dB	4 dB	6 dB	8 dB	10 dB	12 dB	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
1	3,03	3,64	4,26	4,88	5,54	6,19	6,84	7,50	8,16	8,83	9,49
2	4,22	5,28	6,43	7,64	8,90	10,18	11,46	12,77	14,08	15,40	16,72
3	4,82	6,23	7,82	9,53	11,34	13,22	15,14	17,08	19,03	21,0	23,0
4	5,18	6,87	8,83	10,99	13,31	15,73	18,24	20,80	23,39	26,01	28,63

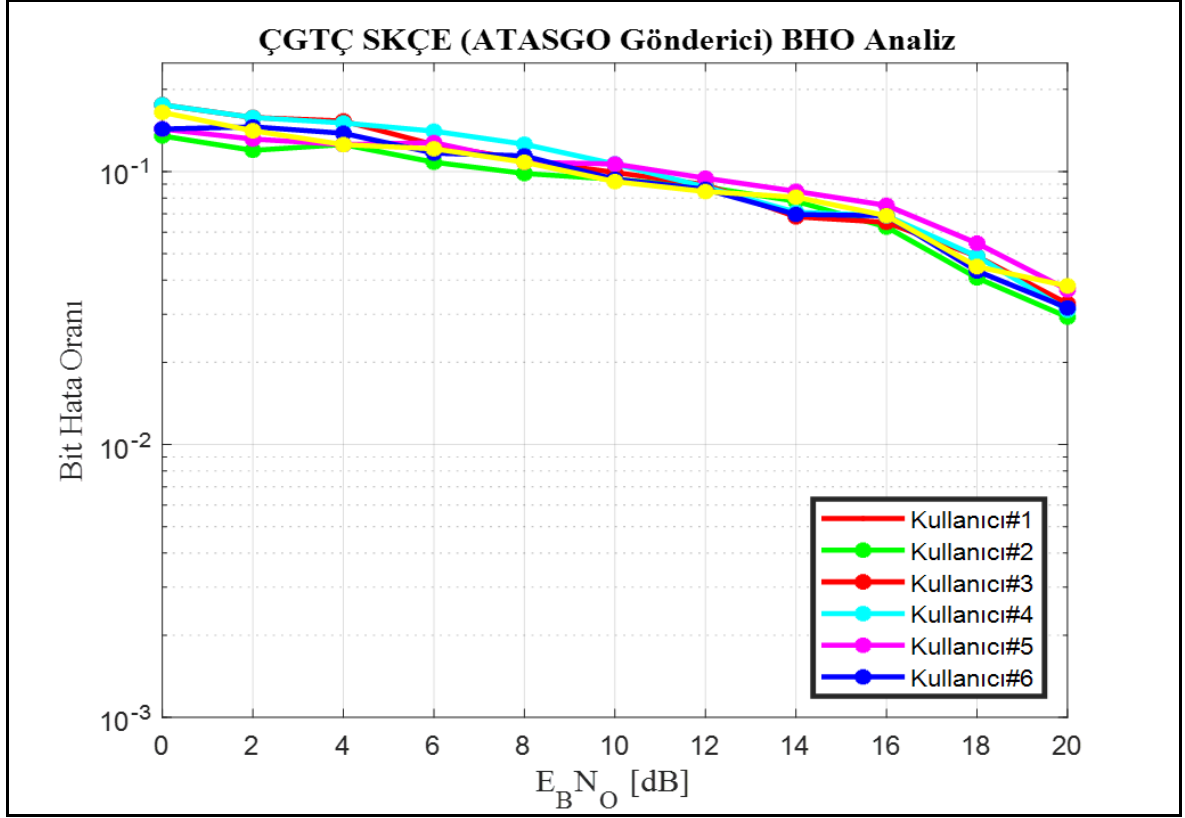
ATASGO gönderici anten seçim algoritması ile gönderici tarafında değişken anten seçimi yapılmış ve ergodik kapasite değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Seçilen değişken sayısı arttıkça ergodik kapasite değeri artmasına rağmen alıcı tarafta tek anten olmasından dolayı kapasite artışı sınırlanmaktadır. Seçilen anten sayısı artışı ile optimum ve ATASGO algoritma sonuçları birbirine yakınsamaktadır.



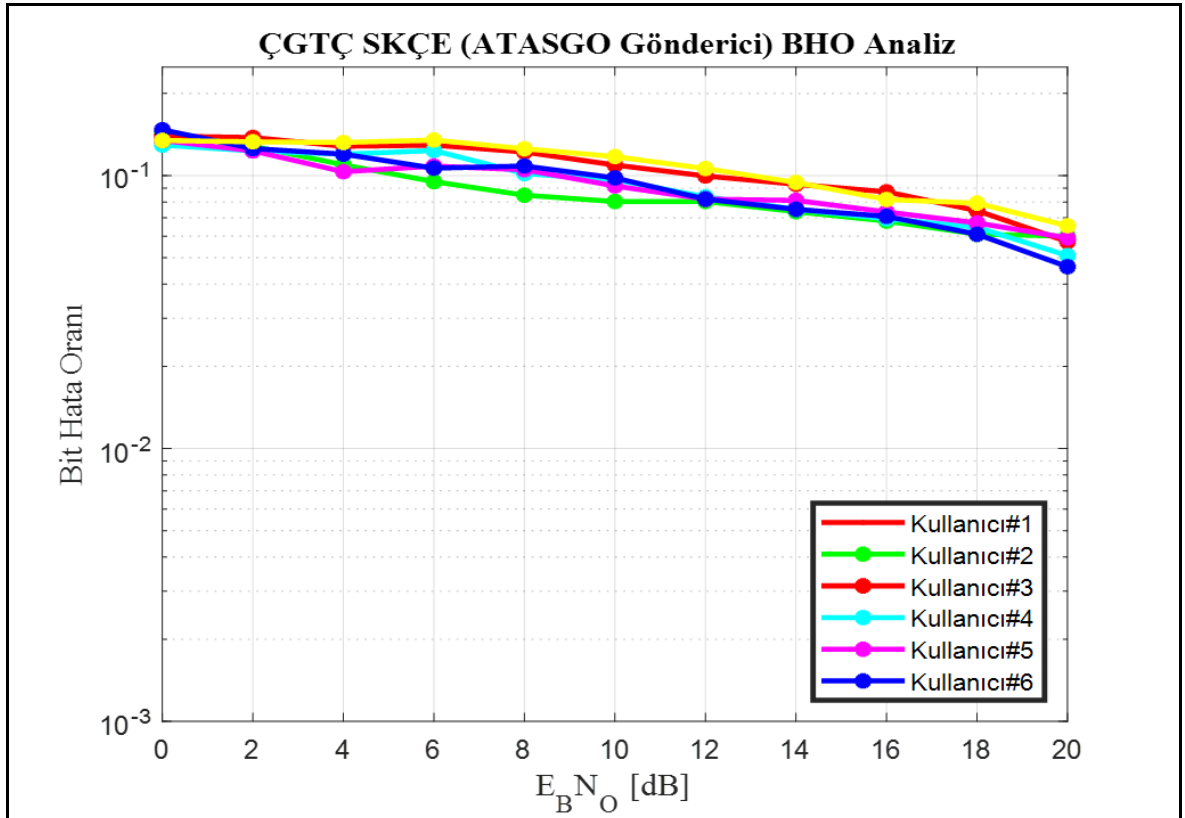
Şekil 4.22. ATASGO gönderici anten seçimi ergodik BHO grafiği ($N_Q = 1$)



Şekil 4.23. ATASGO gönderici anten seçimi ergodik BHO grafiği ($N_Q = 2$)



Şekil 4.24. ATASGO gönderici anten seçimi ergodik BHO grafiği ($N_Q = 3$)

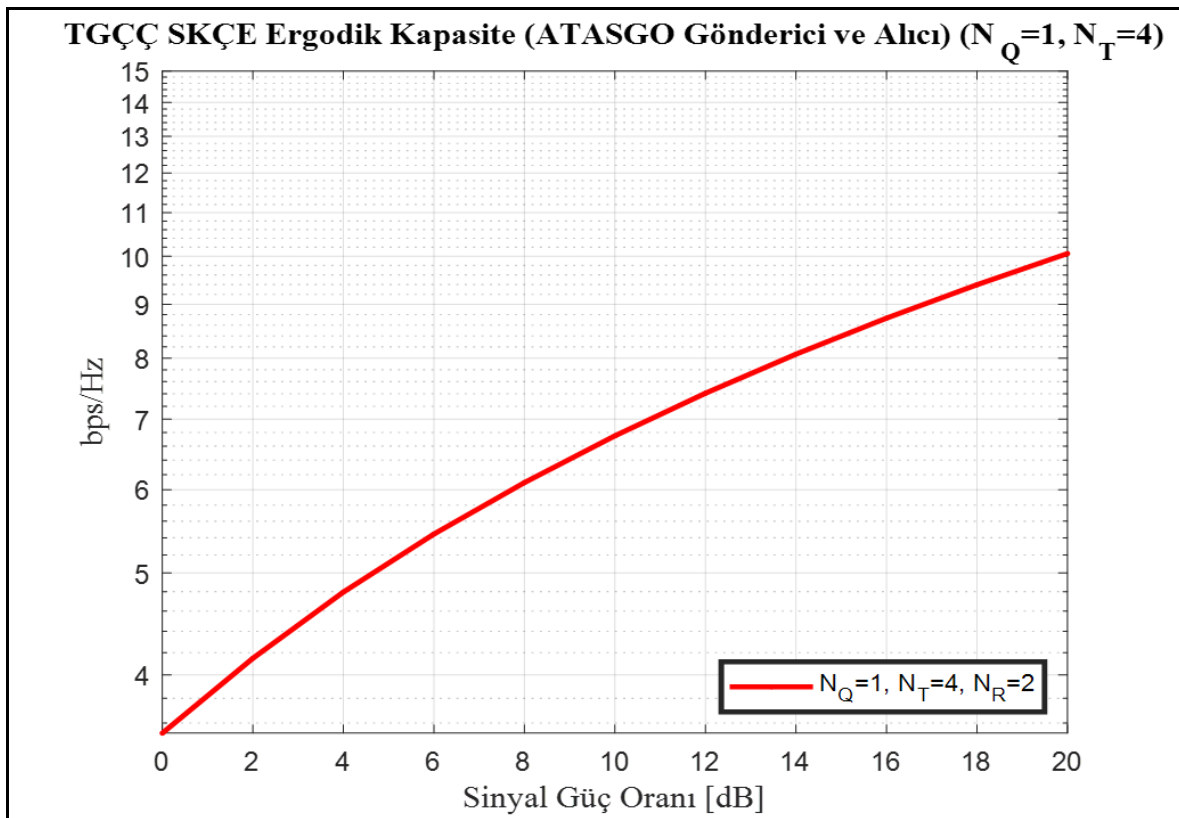


Şekil 4.25. ATASGO gönderici anten seçimi ergodik BHO grafiği ($N_Q = 4$)

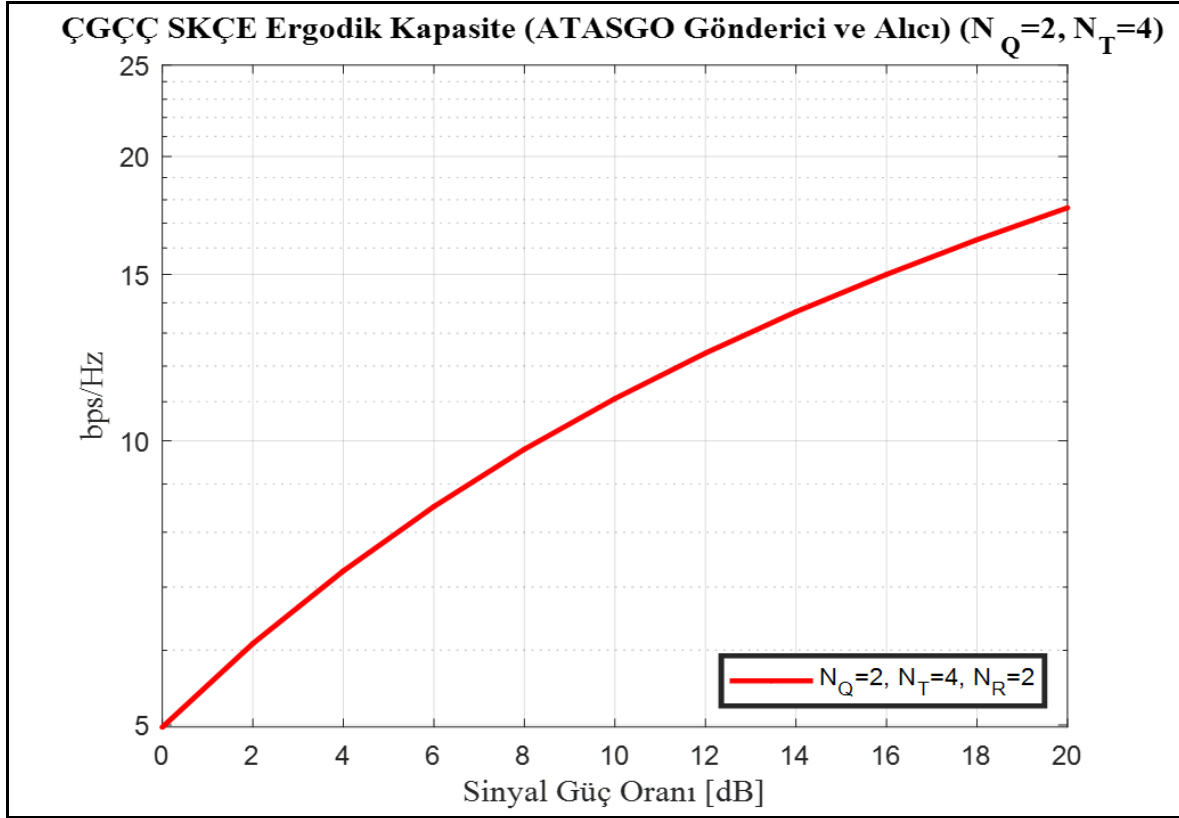
ATASGO gönderici anten seçim algoritması ile gönderici tarafında değişken anten seçimi yapılmış, BHO benzetim sonuçları $N_Q = 1, 2, 3, 4$ için ayrı ayrı Şekil 4.22'den Şekil 4.25'e kadar sunulmuştur. Gönderici anten tarafında çıkış gücü sabit olduğu ve eşit güç tahsisi kullanıldığı için anten sayısı arttıkça BHO grafiklerinde hata oranları yükselmektedir. Diğer taraftan ise anten sayısı arttığı için kanal kapasite değerleri artmaktadır. ATASGO algoritması ile optimum gönderici anten algoritması BHO grafikleri birbirine yakınsamaktadır.

4.4. ATASGO Gönderici ve Alıcı Anten Seçim Benzetim Sonuçları

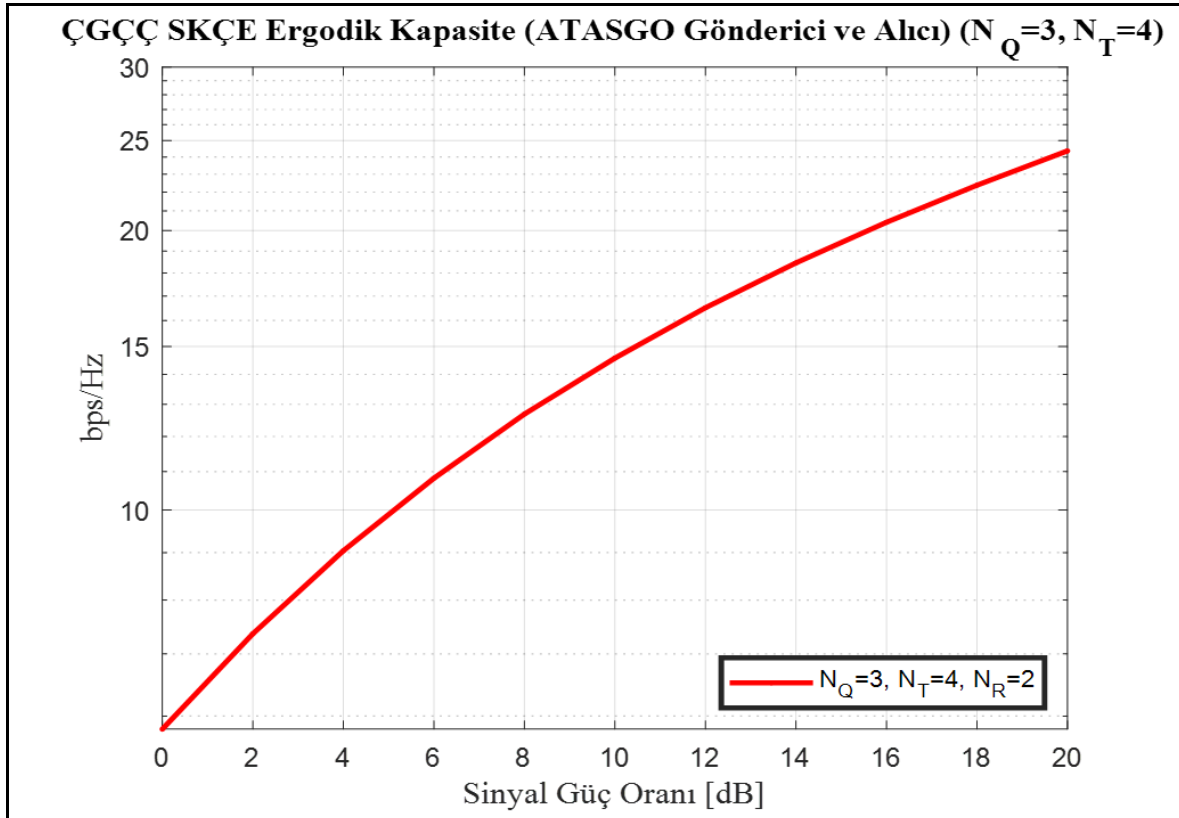
Bu bölümde N_T sayıdaki anten içinde $N_Q = 1, 2, 3, 4$ sayıda seçilebilen değişken anten gönderim benzetimleri yapılmıştır. Benzetim çalışmaları için $N_R = 2$ olarak alınmıştır. Elde edilen kapasite ve BHO grafikleri aşağıda verilmiştir.



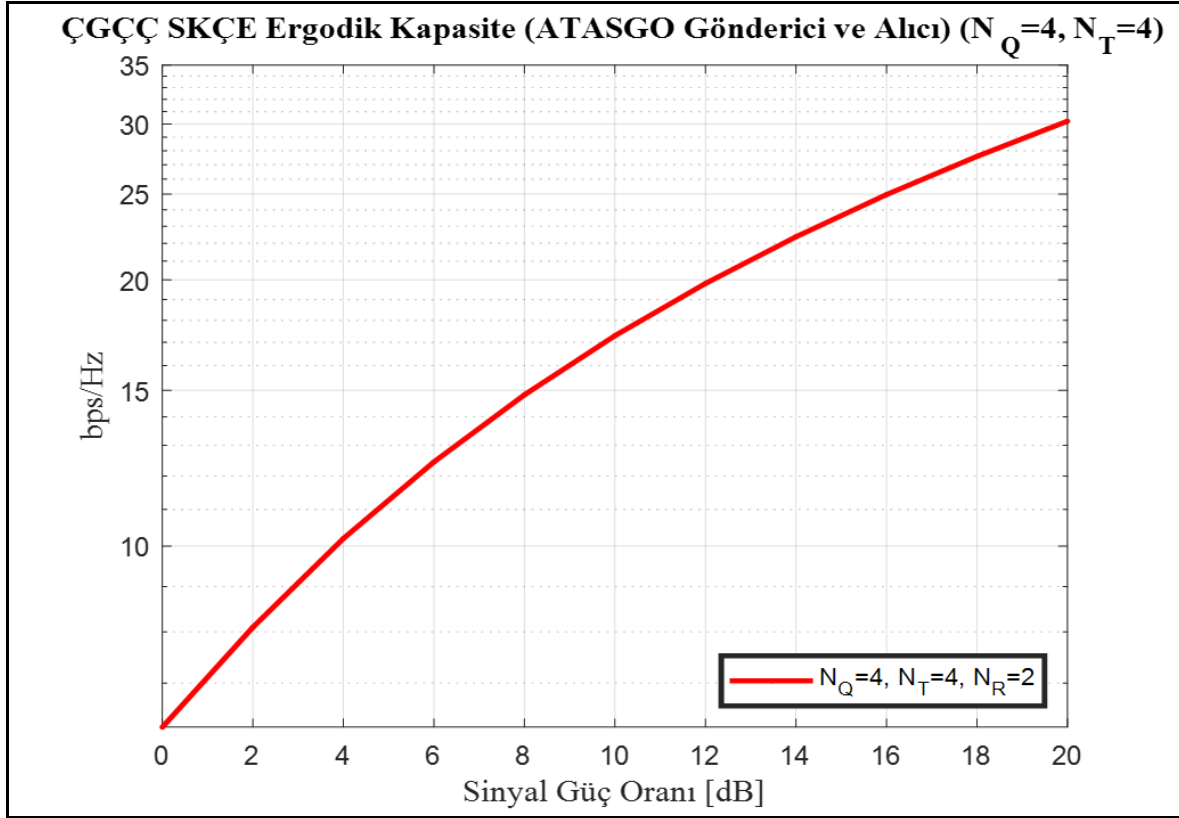
Şekil 4.26. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 1$)



Şekil 4.27. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 2$)



Şekil 4.28. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 3$)

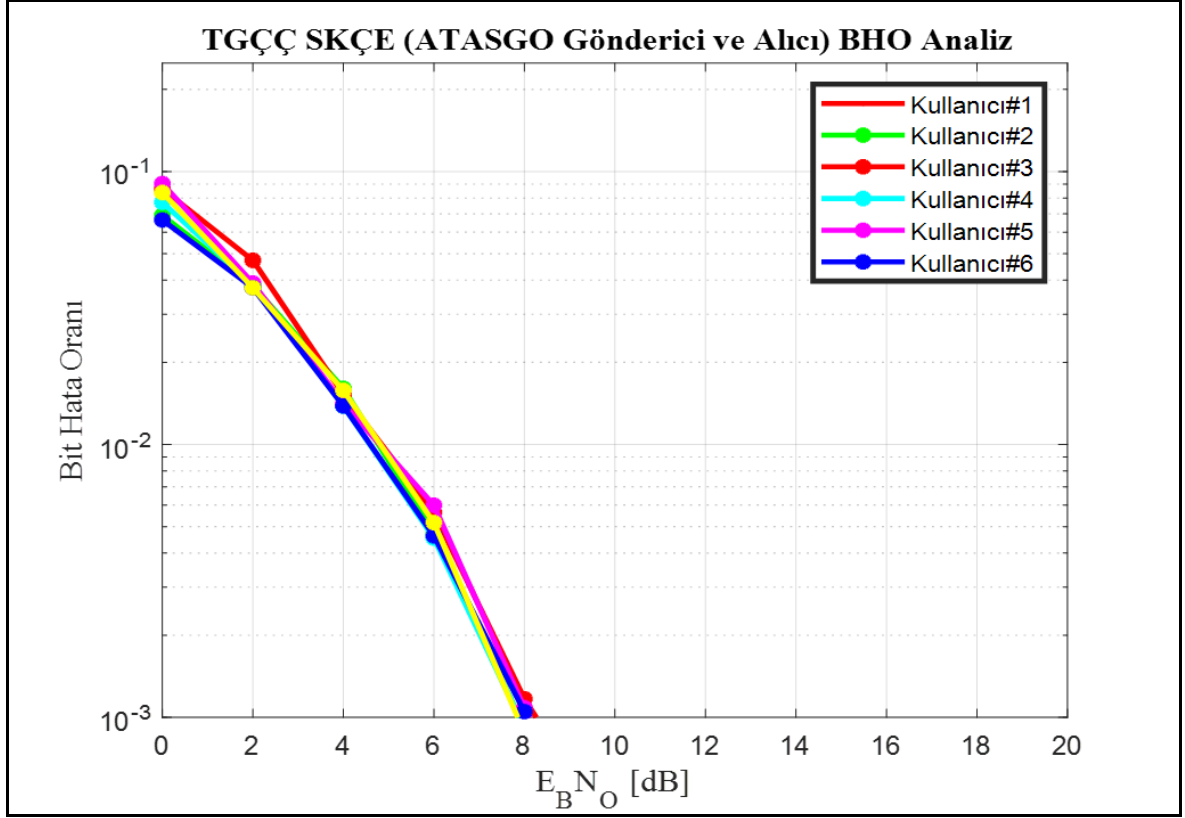


Şekil 4.29. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 4$)

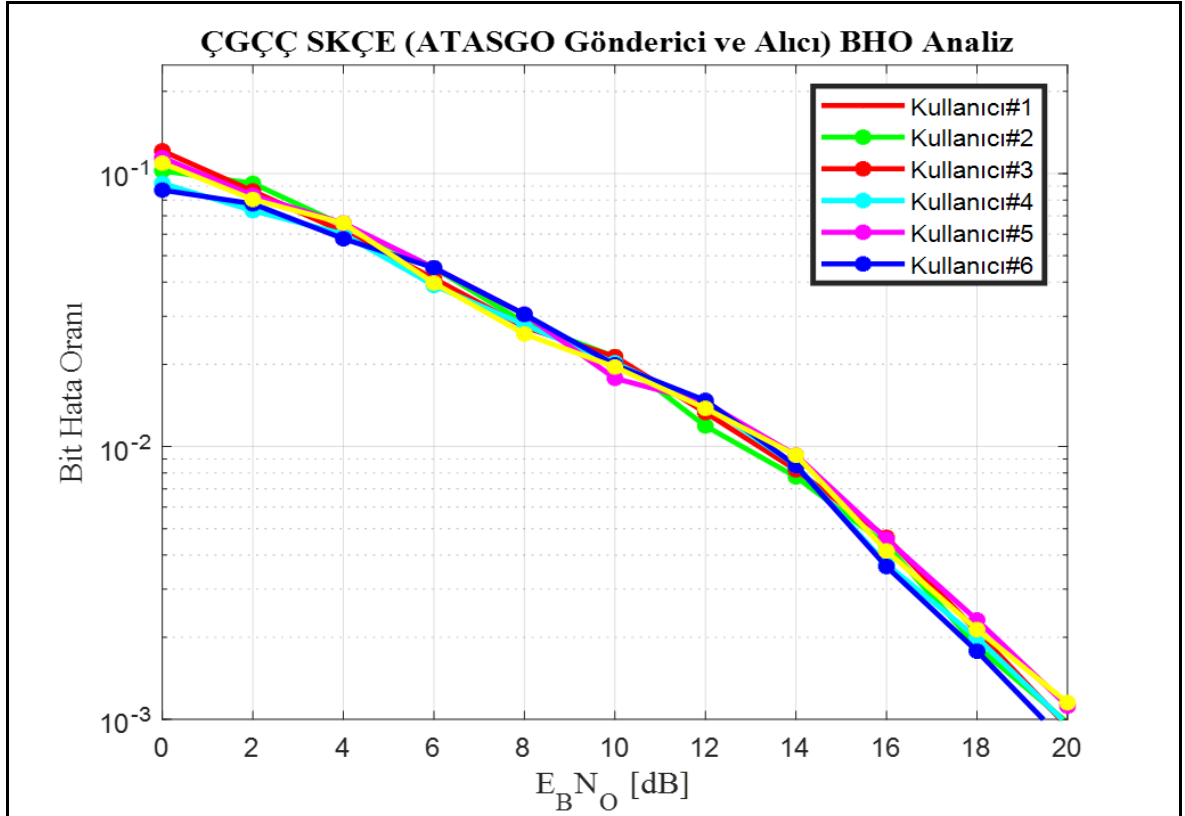
Çizelge 4.4. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi kapasite değerleri (bps/Hz)

N_Q	0 dB	2 dB	4 dB	6 dB	8 dB	10 dB	12 dB	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
1	3,52	4,14	4,79	5,44	6,09	6,75	7,40	8,07	8,73	9,39	10,05
2	5,04	6,17	7,34	8,59	9,87	11,15	12,46	13,78	15,08	16,40	17,73
3	5,80	7,35	9,04	10,82	12,68	14,57	16,51	18,45	20,41	22,38	24,36
4	6,24	8,09	10,2	12,45	14,82	17,29	19,81	22,37	24,97	27,59	30,24

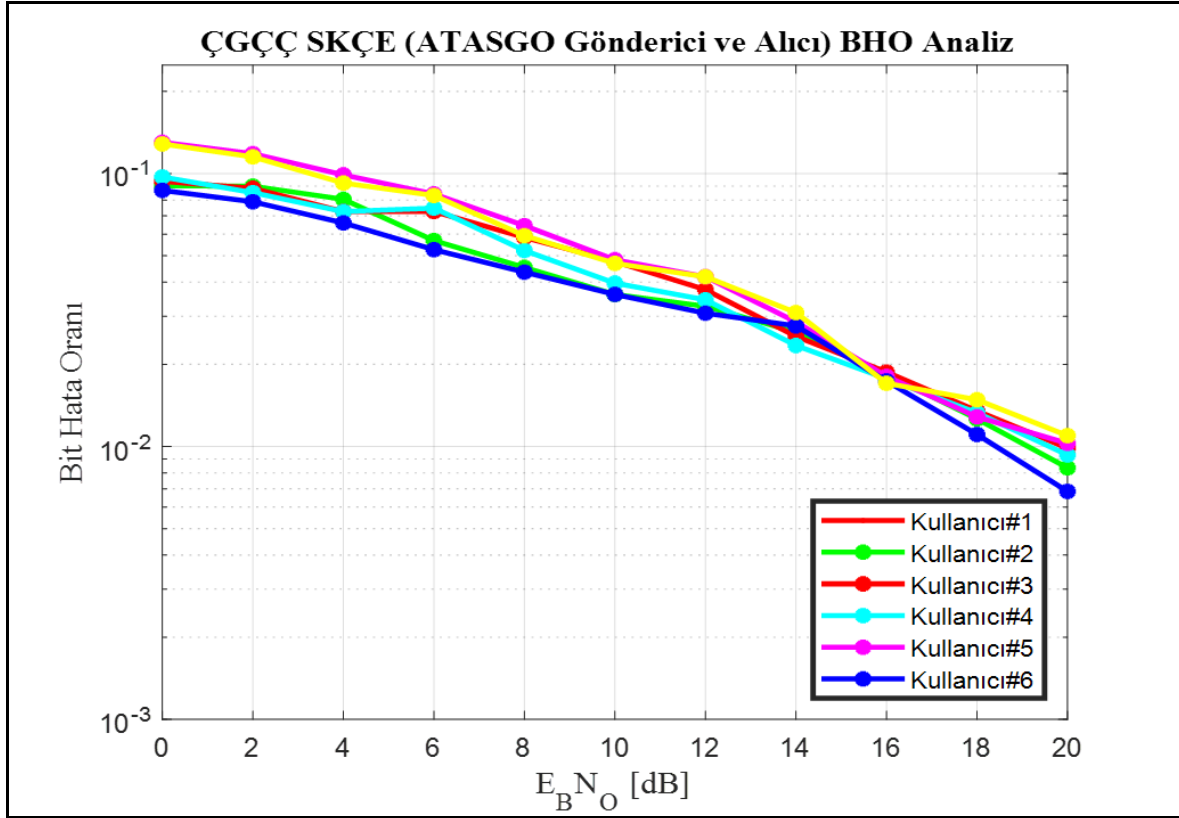
ATASGO gönderici ve alıcı anten seçim algoritması ile hem gönderici tarafında hem de alıcı tarafında değişken anten seçimi yapılmış ve ergodik kapasite değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Seçilen değişken gönderici anten sayısı arttıkça ergodik kapasite değeri artması ve alıcı tarafında iki alıcı anten olmasının kapasite artışı üzerine etkisi açıkça görülmektedir. Seçilen anten sayısı artışı ile optimum ve ATASGO algoritma sonuçları birbirine yakınsamaktadır.



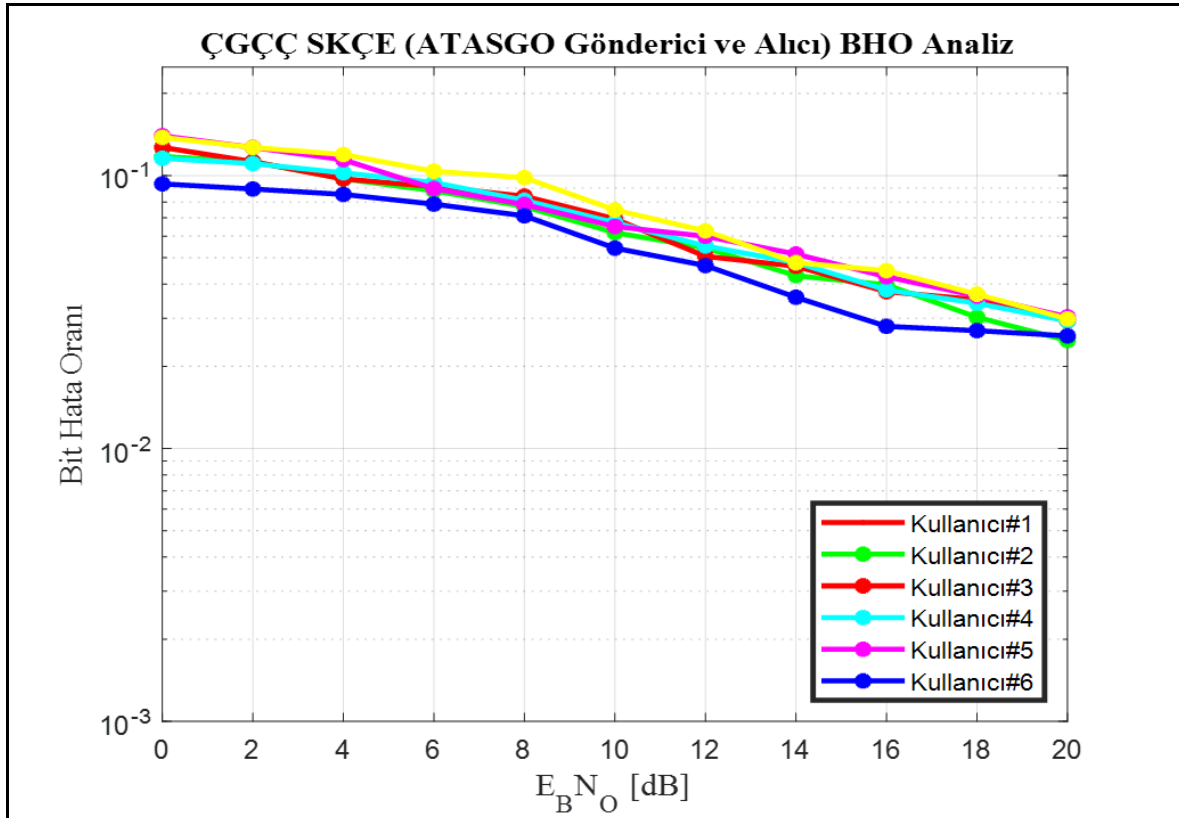
Şekil 4.30. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 1$)



Şekil 4.31. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 2$)



Şekil 4.32. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 3$)

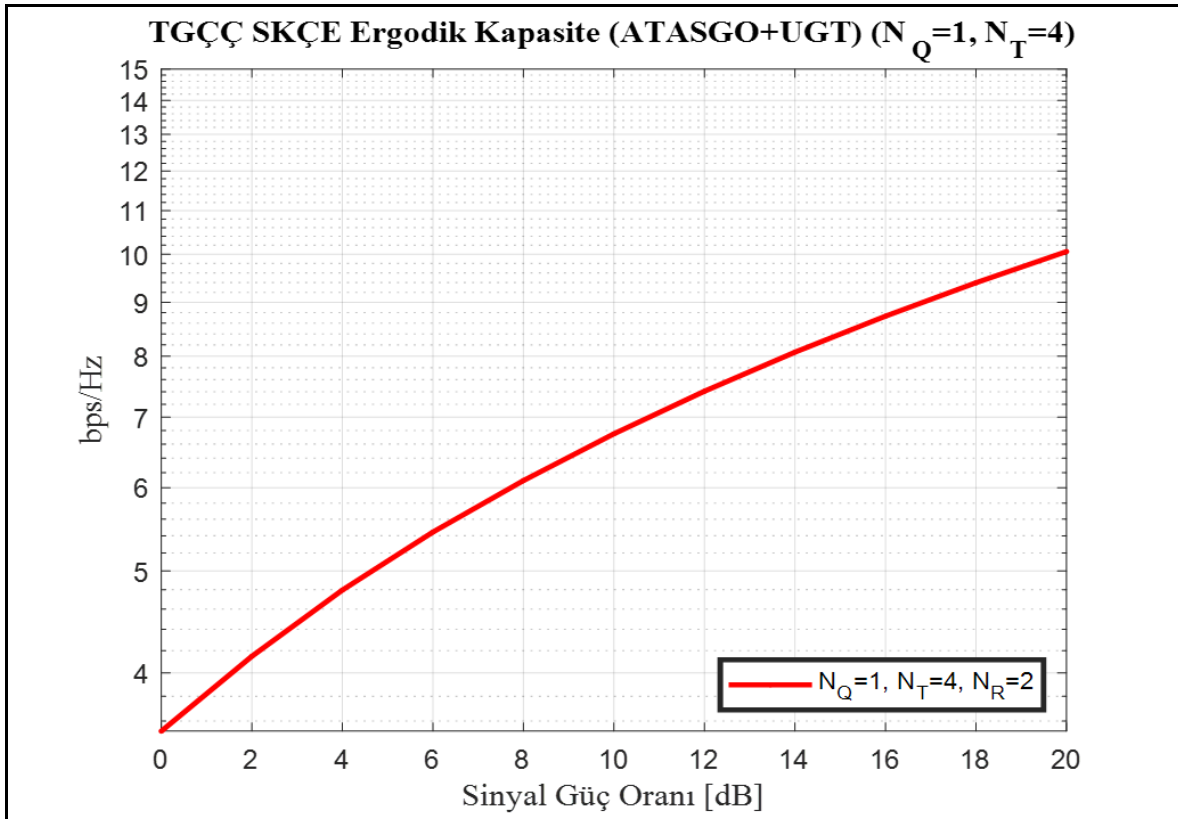


Şekil 4.33. ATASGO gönderici ve alıcı anten seçimi BHO grafiği ($N_Q = 4$)

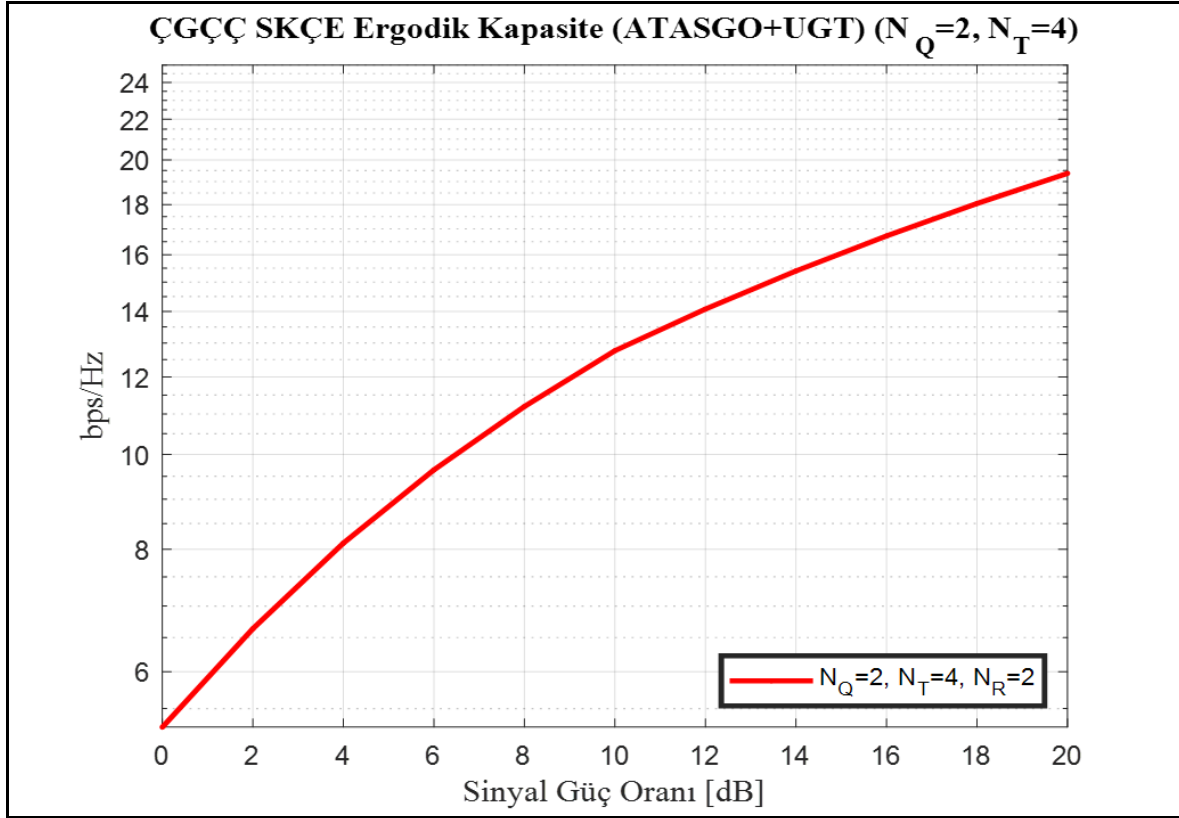
ATASGO gönderici ve alıcı anten seçim algoritması ile hem gönderici tarafında hem de alıcı tarafında değişken anten seçimi yapılmış, BHO benzetim sonuçları $N_Q = 1, 2, 3, 4$, $N_R = 2$ için ayrı ayrı Şekil 4.30'dan Şekil 4.33'e kadar sunulmuştur. Gönderici anten tarafında çıkış gücü sabit olduğu ve eşit güç tahsisi kullanıldığı için anten sayısı arttıkça BHO grafiklerinde hata oranları yükselmesi etkisi alıcı tarafında birden fazla anten kullanılması ile iyileştirilebilmektedir.

4.5. ATASGO Gönderici Alıcı Anten Seçim UGT Eklentisi Benzetim Sonuçları

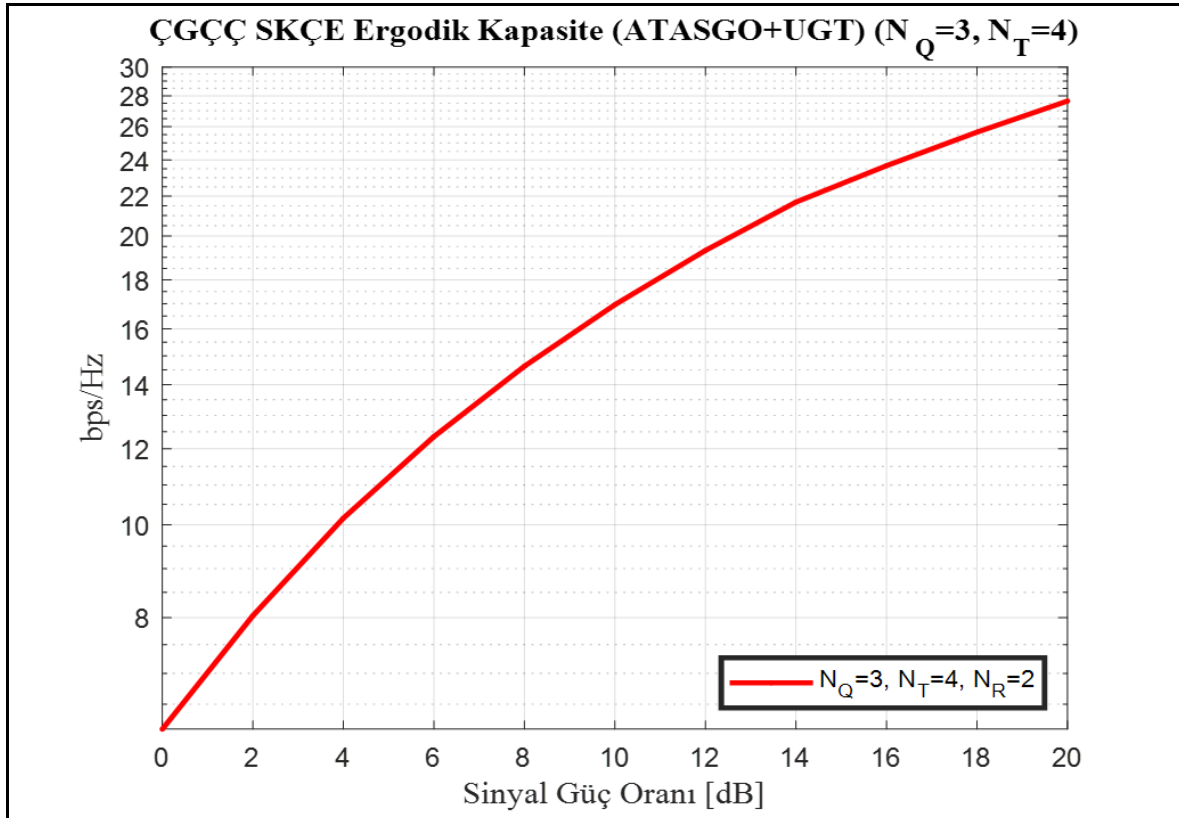
Bu bölümde N_T sayıdaki anten içinde $N_Q = 1, 2, 3, 4$ sayıda seçilebilen değişken anten gönderim benzetimleri yapılmıştır. Benzetim çalışmaları için $N_R = 2$ olarak alınmıştır. Bir önceki bölümden farklı olarak UGT eklentisi yer almaktadır. Elde edilen kapasite ve BHO grafikleri aşağıda verilmiştir.



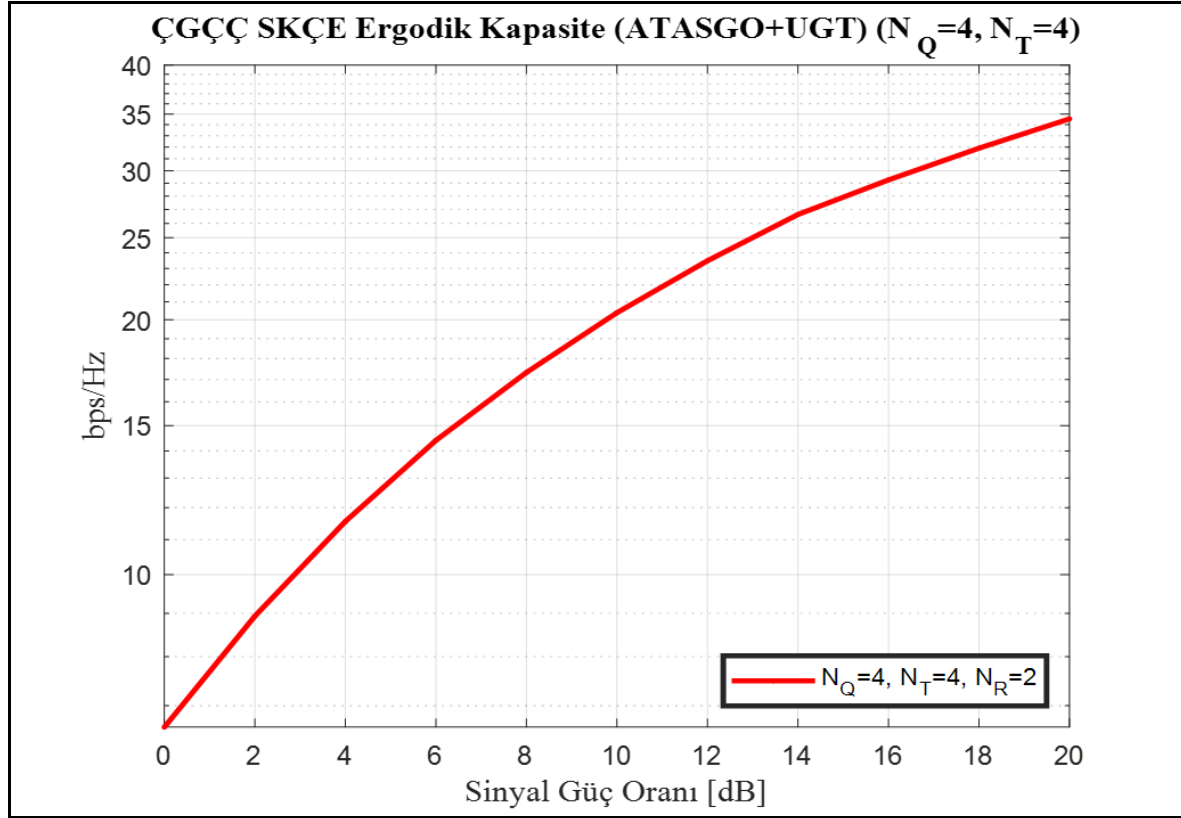
Şekil 4.34. ATASGO, UGT eklentisi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 1$)



Şekil 4.35. ATASGO, UGT eklentisi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 2$)



Şekil 4.36. ATASGO, UGT eklentisi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 3$)



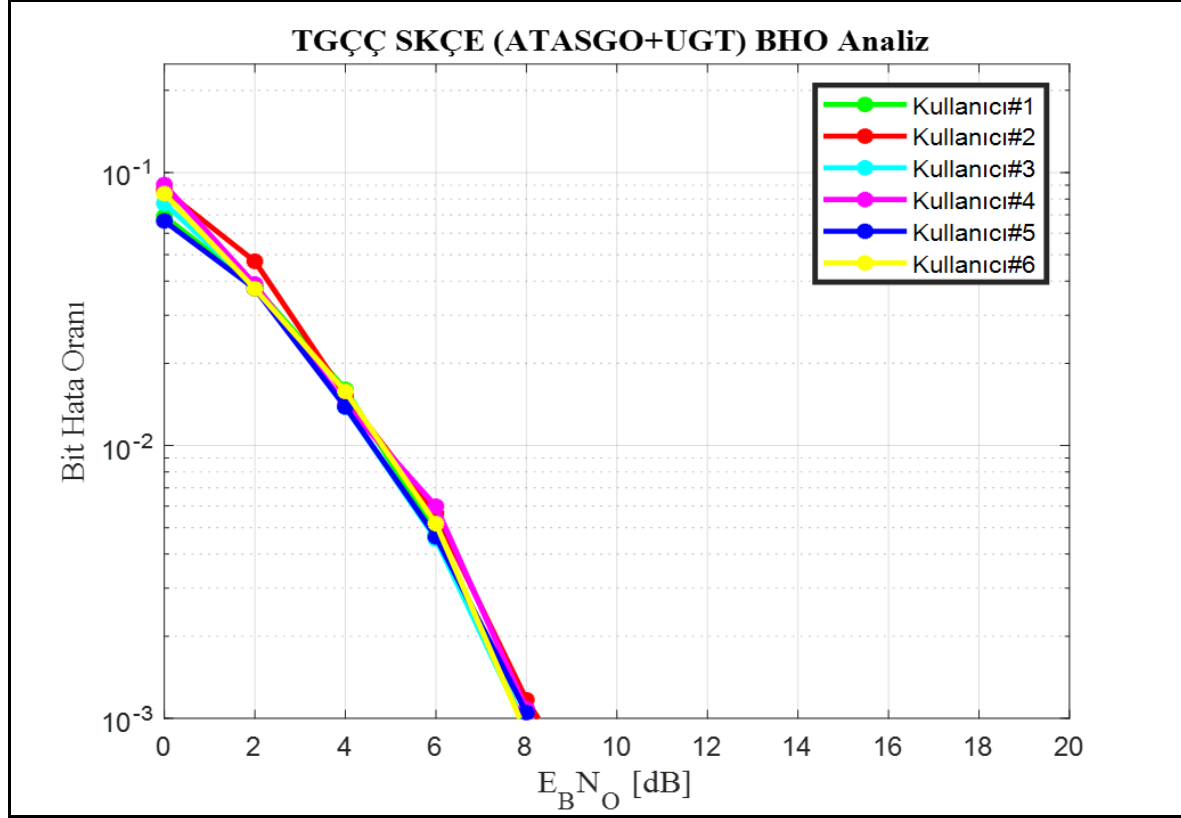
Şekil 4.37. ATASGO, UGT eklentisi ergodik kapasite grafiği ($N_Q = 4$)

Çizelge 4.5. ATASGO, UGT eklentisi kapasite değerleri (bps/Hz)

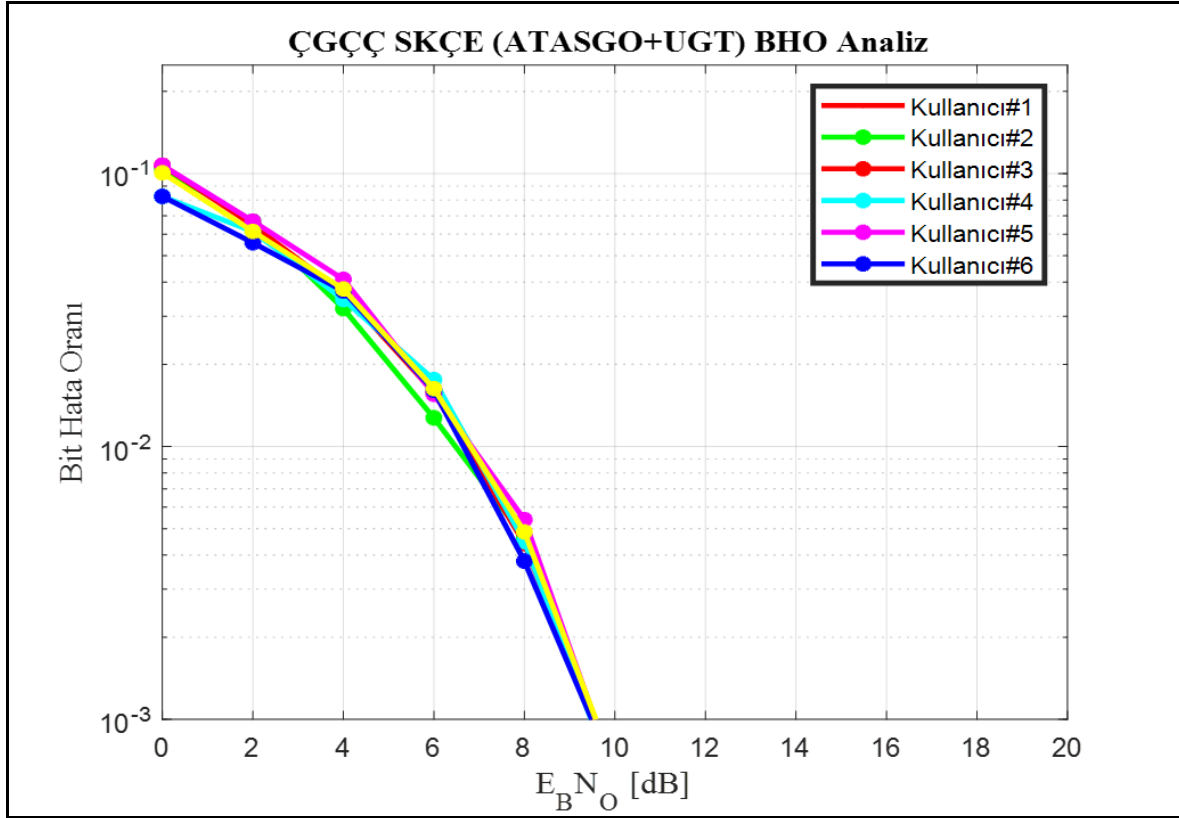
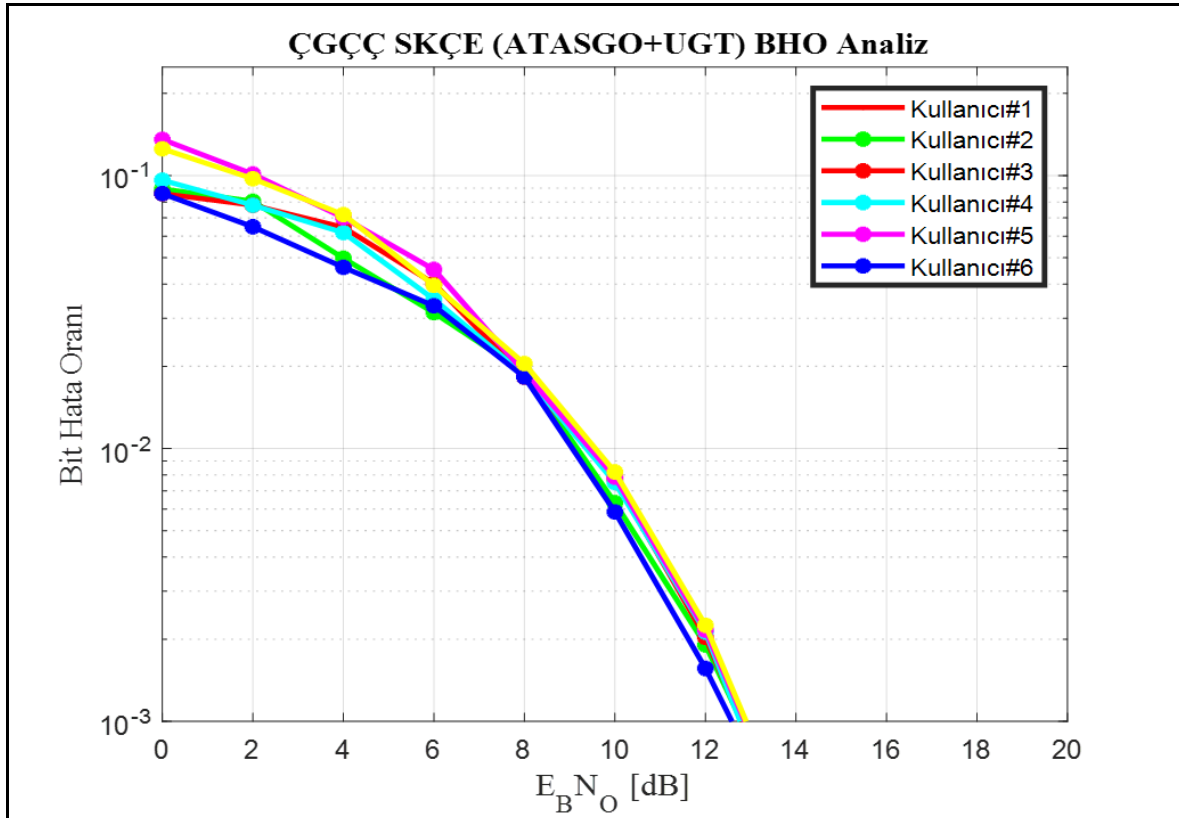
N_Q	0 dB	2 dB	4 dB	6 dB	8 dB	10 dB	12 dB	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
1	3,52	4,14	4,79	5,44	6,09	6,75	7,40	8,07	8,73	9,39	10,05
2	5,26	6,63	8,11	9,64	11,19	12,76	14,07	15,39	16,72	18,04	19,37
3	6,12	8,03	10,1	12,35	14,62	16,95	19,31	21,69	23,67	25,65	27,64
4	6,60	8,93	11,5	14,4	17,33	20,39	23,48	26,63	29,26	31,90	34,55

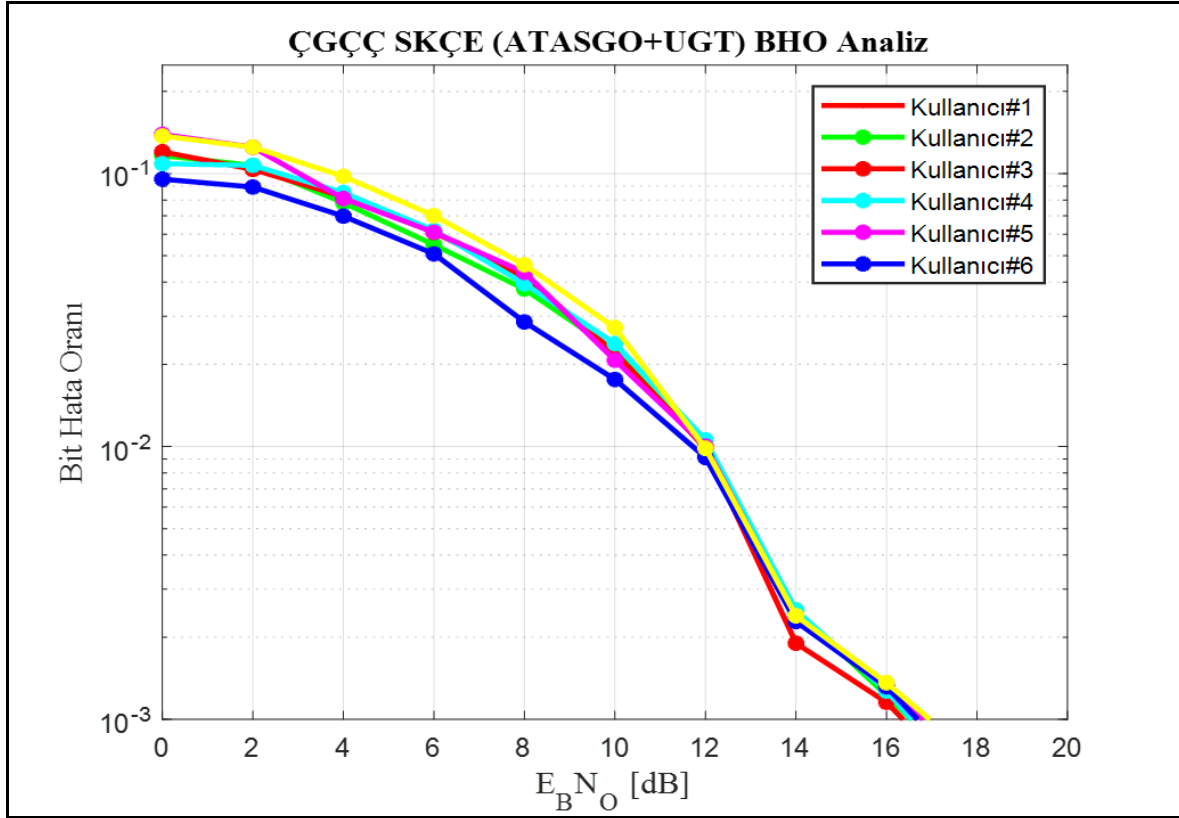
ATASGO gönderici ve alıcı anten seçim algoritması ile hem gönderici tarafında hem de alıcı tarafında değişken anten seçimine UGT eklentisi yapılmış ve ergodik kapasite değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Seçilen değişken gönderici anten sayısı arttıkça ergodik kapasite değeri artması ve alıcı tarafında iki alıcı anten olmasının kapasite artışı üzerine etkisi açıkça ATASGO algoritması ile görülürken, UGT eklentisi ile $N_Q = 2,3,4$ seçimi yapıldığında kapasite değerlerinde %14,%16,%18 varan kapasite artışı

olmaktadır. UGT ile artırımı yapılan çıkış gücü seçilen gönderici antenler arasında eşit dağıtım yapıp, bu sonuçlar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.38. ATASGO, UGT eklentisi BHO grafiği ($N_Q = 1$)

Şekil 4.39. ATASGO, UGT eklentisi BHO grafiği ($N_Q = 2$)Şekil 4.40. ATASGO, UGT eklentisi BHO grafiği ($N_Q = 3$)



Şekil 4.41. ATASGO, UGT eklentisi BHO grafiği ($N_Q = 4$)

ATASGO gönderici ve alıcı anten seçim algoritması ile hem gönderici tarafında hem de alıcı tarafında değişken anten seçimi yapılmış ve UGT eklentili BHO benzetim sonuçları $N_Q = 1,2,3,4$, $N_R = 2$ için ayrı ayrı Şekil 4.38'den Şekil 4.41'e kadar sunulmuştur. Gönderici anten tarafında çıkış gücü, UGT eklentisi ile kullanıcı tarafında hedeflenen ortalama BHO göre güncellenmekte ve gönderici antenler arasında eşit şekilde ($N_Q \geq 2$) tahsis edilmektedir. UGT eklentisi BHO göre çıkış gücü güncellemesi yapıldığı zaman BHO grafiklerinin hedeflenen seviyelere ulaştığı gözlemlenmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, ÇGÇÇ SKÇE (KUÇY) sistem mimarisi altında gönderici ve alıcı anten seçim algoritmalarının gönderici ve alıcı tarafındaki kanal durum bilgilerine göre tasarlanması ve geliştirilmesi yapılmıştır. Sunulan bu algoritmalar hedeflenen kanal kapasite değerini maksimize etmek ve kullanıcı BHO minimize etmek amacıyla tasarlanmış ve geliştirilmiştir. ÇGÇÇ yönteminin kanal kapasite artışı üzerine olumlu etkisi ve temelde dayandığı diksel kaynak kullanımı ihtiyacı, diksel olmayan ve kod kitabı temeli sayesinde kullanıcı bazında iyi sonuçlar veren SKÇE metodu ile birleştiğinde ortaya çıkan KUÇY yeni nesil haberleşme sistemleri için bir esneklik sağlamaktadır. Bu esneklik sayesinde kanal bozulmalarına karşı dayanım, yüksek veri aktarımı sağlanabilmektedir.

Kanal kapasitesi ile BHO arasında her zaman bir getiri-götürü analizinin tüm haberleşme sistemlerinde yapılması gerekmektedir. Birinde yapılan değişiklik diğerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Literatürdeki çalışmalar zor ve problemli olan bu getiri-götürü analizinin bir optimizasyon problemi olduğunu göstermektedir. O nedenle bu çalışmada gönderici tarafında bir optimum algoritma, alıcı tarafında ise optimum algoritma performansına yakınsayacak SGO ölçümlerini kullanan bir algoritma tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Benzetim çıktılarında ATASGO ve optimum algoritma sonuçları, gönderici ve alıcı değişken anten seçimlerine göre sunulmuştur. Her iki algoritmanın BHO ve kanal kapasite değerleri birbirine yakınsamaktadır. Kanal kapasite artışı ile BHO değerlerinin yüksek sonuçlara ulaşması arzu edilen bir sonuç değildir. Bu durumu engellemek amacı ile doğrudan çıkış gücü ve RF ön hat artırımı ÇGÇÇ SKÇE mimarisi için düşünülebilir. Doğrudan RF ön hat artırımı yerine, çıkış gücü üzerinde bir uyarılama yapıp, antenlere daha fazla güç aktarımını birden fazla gönderici anten seçildiği durumda yapabiliriz. Bu sayede hem kapasiteyi artıracak hem de BHO oranını azaltacak şekilde algoritmaları geliştirmiş oluruz. Bu açıdan konu incelenerek UGT eklentisi ATASGO algoritması üzerine eklenmiş ve sonuçlar ortaya konulmuştur.

ÇGÇÇ SKÇE mimarisi için değişken gönderici ve alıcı anten seçimi ile yapılması hedeflenen kapasite artırımı ve BHO azaltıcı sonuçları veren yapıya ATASGO ve optimum

algoritmalarla UGT yapısı ekleyip ulaşabiliriz. UGT yapısı ile BHO iyileştirmeleri için $N_Q = 1, 2, 3, 4$ gönderici anten seçimiyle çıkış gücü (P) $1 \times P, 1, 7 \times P, 2, 14 \times P, 2, 14 \times P$ değerleri altında ulaşılmıştır. Şekil 4.38'den Şekil 4.41'e olan grafiklerde hedeflenen BHO değerlerine ulaştığı gözlemlenmektedir.

İleriye yönelik olarak ÇGÇÇ SKÇE yöntemi için tasarlanıp, geliştirilen optimum ve ATASGO algoritmaları diğer NOMA teknikleri için de analiz edilip, uygulanabilir. Yine ATASGO algoritmasının UGT eklentisi için birden fazla farklı yerlerde konuşlanmış ağ içindeki kullanıcı BHO oranlarına göre anten yön ve anten anahtarlamaları yapılabilir.

Bir diğer uygulama alanı ise meskûn mahalde ya da kırsal, yarı kırsalda görev yapan güvenlik güçlerinin haberleşme altyapısı için SKÇE kullanan haberleşme sistemleri sahip olmaları olabilir. Mobil veya konuşlanabilir baz istasyonları ile belirlenen bölgeye yüksek veri hızı aktarımı değişken gönderici ve alıcı anten mimarisine uygun olarak ve BHO ihtiyaçları dahilinde yüksek hızda veri aktarımını ve yoğun bağlantı imkanını sağlayacak şekilde yapılabilir. Benzeri bir çalışma sivil bölgelerdeki baz istasyonu ya da yoğun veri aktarımı ihtiyacı olan kampus, fabrika gibi alanlarda yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Wu, Y., Wang, C., Chen, Y., Bayesteh, A. (2017). *Sparse code multiple access for 5G radio transmission*. IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), 1-6.
2. Liu, T., Li, X., Qiu, L. (2015). *Capacity for downlink massive MIMO MU-SCMA system*. IEEE International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 1-5.
3. Hiwale A, Ghatol A, Gulhane P. (2007). *Capacity and performance analysis of space-time block coded MIMO systems with receive antenna selection in Rayleigh fading channels*. IET-UK International Conference on Information and Communication Technology in Electrical Sciences, 986-990.
4. Sergienko, A. B., Klimentyev, V. P. (2017). *Spectral efficiency of uplink SCMA system with CSI estimation*. IEEE 20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 391-397.
5. Chen, J. (2014). *MIMO Enhancements for Air-to-Ground Wireless Communications*. PhD Thesis. UCLA.
6. Cho, Yong Soo, et al. (2010). *MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB*. ABD: John Wiley and Sons, 263-318.
7. Kulhandjian, M., D'Amours, C. (2017). *Design of permutation-based sparse code multiple access system*. IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 1-6.
8. Chen, Y., Bayesteh, A., Wu, Y., Han, S., Taherzadeh, M., Chen, D., and Ma, J. (2016). *SCMA: A promising non-orthogonal multiple access technology for 5G networks*. IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC), 1-6.
9. İnternet: Asia, A. I. 1st 5G Algorithm Innovation Competition-ENV1.0-SCMA. URL: <http://www.innovateasia.com/5g/en/gp2.html> Son Erişim Tarihi: 18.03.2018.
10. Xie, Z., Wang, J., Wang, Y., Gao, J. (2008). *Effective antenna selection in MIMO systems under spatial correlated fading*. IEEE 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 1743-1747.
11. Mohammed, H. K., Tripathi, R., Kant, K. (2006). *Performance of adaptive modulation in multipath fading channel*. IEEE 8th International Conference Advanced Communication Technology, 1277-1282.
12. Nikopour H, Baligh H. (2013). *Sparse code multiple access*. IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 332-336.
13. Hanzo, L., Ng, S. X., Webb, W. T., and Keller, T. (2004). *Quadrature amplitude modulation: From basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded OFDM, CDMA and MC-CDMA systems*. ABD: John Wiley.

14. Sergienko, A. B., Klimentyev, V. P. (2016). *SCMA detection with channel estimation error and resource block diversity*. IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 1-5.
15. Wang, Y., Zhang, X., Zhou, S., Lian, J., and Xiao, L. (2016). *User detection and channel estimation for SCMA uplink system in dispersive channel*. IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS), 1-5.
16. Wu, Y., Zhang, S., Chen, Y. (2015, June). *Iterative multiuser receiver in sparse code multiple access systems*. IEEE International Conference on Communications (ICC), 2918-2923.
17. Liu, X., Liu, Y., Wang, X., Lin, H. (2017). Highly efficient 3-D resource allocation techniques in 5G for NOMA-enabled massive MIMO and relaying systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(12), 2785-2797.
18. Wang, H., Zhang, W., Liu, Y., Xu, Q., and Pan, P. (2014). On design of non-orthogonal pilot signals for a multi-cell massive MIMO system. *IEEE Wireless Communications Letters*, 4(2), 129-132.
19. Zhang, S., Xu, X., Lu, L., Wu, Y., He, G., and Chen, Y. (2014). *Sparse code multiple access: An energy efficient uplink approach for 5G wireless systems*. IEEE Global Communications Conference, 4782-4787.
20. Nikopour, H., Yi, E., Bayesteh, A., Au, K., Hawryluck, M., Baligh, H., and Ma, J. (2014). *SCMA for downlink multiple access of 5G wireless networks*. IEEE Global Communications Conference, 3940-3945.
21. Bereyhi, A., Asaad, S., Müller, R. R. (2018). *Stepwise transmit antenna selection in downlink massive multiuser MIMO*. 22nd International ITG Workshop on Smart Antennas, 1-8.
22. Li, H. J., Bai, W. L., Zhang, W. (2017). *A novel antenna selection algorithm based on capacity maximization in massive MIMO system*. 7th International Conference on Information Communication and Management, 32-35.
23. Molisch, A. F., Mehta, N. B., Zhang, H., Almers, P., and Zhang, J. (2006). *Implementation aspects of antenna selection for MIMO systems*. IEEE First International Conference on Communications and Networking in China, 1-7.
24. Sanayei, S., Nosratinia, A. (2004). Antenna selection in MIMO systems. *IEEE Communications Magazine*, 42(10), 68-73.
25. Gharavi-Alkhansari, M., Gershman, A. B. (2004). Fast antenna subset selection in MIMO systems. *IEEE transactions on signal processing*, 52(2), 339-347.
26. Foschini, G. J., Gans, M. J. (1998). On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas. *Wireless personal communications*, 6(3), 311-335.

27. Rupp, M., Mecklenbrauker, C. F. (2002). On extended Alamouti schemes for space-time coding. *IEEE 5th international symposium on wireless personal multimedia communications*, 115-119.
28. Gorokhov, A., Gore, D. A., Paulraj, A. J. (2003). Receive antenna selection for MIMO spatial multiplexing: theory and algorithms. *IEEE Transactions on signal processing*, 51(11), 2796-2807.
29. Molisch, A. F., Win, M. Z., Choi, Y. S., Winters, J. H. (2005). Capacity of MIMO systems with antenna selection. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 4(4), 1759-1772.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CİVİL, Musa
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.01.1984, Çankaya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 864 58 90
 e-mail : musacivil@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2012
Lisans	Gazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2007
Lise	Gölbaşı Anadolu Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	HAVELSAN	Sistem Mühendisi
2008-2019	TUSAŞ	Baş Mühendisi
2007-2008	ARMAS	Sistem Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Civil, M., Ertuğ Ö. (2019). *A New Algorithm with Adaptive Power Allocation (APA) for Variable Transmit Antenna Selection under MISO-SCMA Systems*. International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, 1-5.

Hobiler

Yürüme, kitap okuma



GAZİ GELECEKTİR...