



**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SERPİŞTİRME BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM
SİSTEMLERİNİN YENİ SERPİŞTİRME YAKLAŞIMLARI
İLE BİT HATA ORANI BAŞARIMININ İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Mehmet BİLİM**

**Danışman
Doç. Dr. İbrahim DEVELİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2012
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**SERPİŞTİRME BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM
SİSTEMLERİNİN YENİ SERPİŞTİRME YAKLAŞIMLARI
İLE BİT HATA ORANI BAŞARIMININ İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

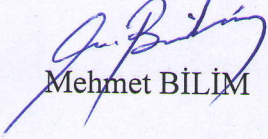
**Hazırlayan
Mehmet BİLİM**

**Danışman
Doç. Dr. İbrahim DEVELİ**

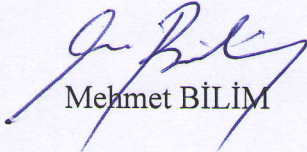
**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FBY-11-3681 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Temmuz 2012
KAYSERİ**

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

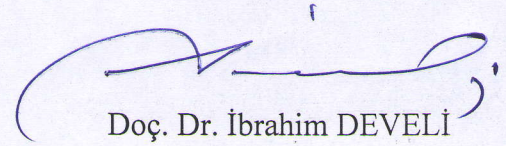

Mehmet BİLİM

“Serpiştirme Bölmeli oklu Erişim Sistemlerinin Yeni Serpiştirme Yaklaşımları ile Bit Hata Oranı Başarımının İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.



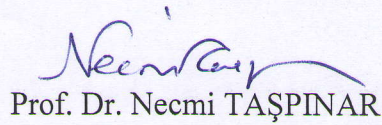
Mehmet BİLİM

Tezi Hazırlayan



Do. Dr. İbrahim DEVELİ

Danışman



Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

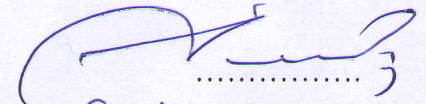
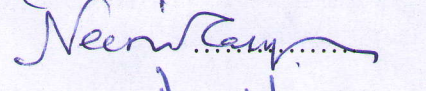
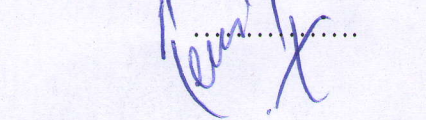
Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Doç. Dr. İbrahim DEVELİ danışmanlığında **Mehmet BİLİM** tarafından hazırlanan “**Serpiştirme Bölmeli Çoklu Erişim Sistemlerinin Yeni Serpiştirme Yaklaşımları ile Bit Hata Oranı Başarımının İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

24/07/2012


JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. İbrahim DEVELİ
Üye : Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR
Üye : Prof. Dr. Recai KILIÇ


.....

.....

.....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **07/08/2012** tarih ve **2012/34-21** sayılı kararı ile onaylanmıştır.


07 / 08 / 2012

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez dönemimin tüm aşamalarında sahip olduğu bilgileri paylaşarak, getirdiği özgün yaklaşımlar ve yorumlarıyla, güven aşılayıcı, özverili ve sabırlı tutumuyla bana büyük katkıda bulunan değerli hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim DEVELİ' ye teşekkürü bir borç bilirim. Bununla birlikte, bursiyeri olduğum Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) ve tez çalışmamı destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FBY-11-3681) ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamdaki yardımlarından dolayı Sayın Arş. Gör. Rifat KURBAN' a teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni her daim destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet BİLİM

Kayseri, Temmuz 2012

SERPIŞTİRME BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM SİSTEMLERİNİN YENİ SERPIŞTİRME YAKLAŞIMLARI İLE BİT HATA ORANI BAŞARIMININ İNCELENMESİ

Mehmet BİLİM

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2012

Danışman: Doç. Dr. İbrahim DEVELİ

KISA ÖZET

Serpiştirme bölmeli çoklu erişim (SBÇE) son yıllarda yayılı spektrum haberleşme sistemleri için önerilmiş yeni bir çoklu erişim tekniğidir. SBÇE tekniğinin başarımı açısından kullanılacak olan serpiştiricinin tayini önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla bu çalışmada, SBÇE sistemleri için çeşitli serpiştirici yapıları önerilmiştir. Bu tasarımlar rastgele serpiştirici yaklaşımlarından olan Rayleigh ve Weibull serpiştiriciler, daha önce turbo kodlar için önerilmiş olan karma serpiştirici, benzer şekilde daha önce serpiştirme bölmeli çoğullama sistemleri için önerilmiş olan Helical serpiştirici ve son olarak yeni bir serpiştirici tekniği olan uyarlanmış blok serpiştiricilerdir. Bu serpiştirici tasarımlarının SBÇE sistemlerindeki bit hata oranı (BHO) başarımına etkisi MATLAB yardımıyla incelenmiştir. SBÇE sistemlerinde, Rayleigh ve Weibull serpiştiricileri normal rastgele serpiştiricilerden daha üstün bir performans sergilediği görülmüştür. Uyarlanmış blok serpiştiricinin SBÇE sistemlerindeki başarımı rastgele serpiştiricilerin başarımına oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Eşzamanlı kullanıcı sayısının artışı ile karma serpiştiricinin başarımının düştüğü gözlenmiştir. Son olarak Helical serpiştiricinin SBÇE sistemlerindeki başarımı diğer serpiştirici tasarımlarına kıyasla oldukça kötü olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Serpiştirme bölmeli çoklu erişim; Rayleigh serpiştirici; Weibull serpiştirici; Helical serpiştirici; karma serpiştirici; uyarlanmış blok serpiştirici.

**INVESTIGATION OF THE BIT ERROR RATE (BER) PERFORMANCE OF
THE INTERLEAVE-DIVISION MULTIPLE ACCESS SYSTEM WITH NEW
INTERLEAVER APPROACHES**

Mehmet BİLİM

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, July 2012

Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim DEVELİ

ABSTRACT

A new multiple access technique so-called Interleave-Division Multiple Access (IDMA) is proposed for spread spectrum communication systems in recent years. Assignment of interleaver has an important role for the performance of IDMA technique. For that purpose, various interleaver design methods are proposed for IDMA systems in this study. These interleaver methods are listed as follows: Rayleigh and Weibull interleavers which are new random approaches, mixed and Helical interleavers which were previously used for turbo codes and for interleave-division multiplexing, respectively. Finally we proposed a new interleaver design which is called adapted block interleaver. The bit error rate (BER) performances of the IDMA systems are investigated for the proposed interleaver designs with the help of MATLAB simulation program. Simulation results show that, the Rayleigh and Weibull interleavers mostly outperform the random interleaver in the IDMA systems and the adapted block interleaver has a similar performance to random interleaver. Furthermore, the BER performances of Rayleigh and Weibull interleavers mostly outperform the mixed interleaver when the number of simultaneous user is large. Finally, it can be observed that the other interleaver design methods perform better than the BER performance of the IDMA system which uses the Helical interleaver scheme in most cases.

Keywords: Interleave-division multiple access; Rayleigh interleaver; Weibull interleaver; Helical interleaver; mixed interleaver; adapted block interleaver.

İÇİNDEKİLER

SERPİŞTİRME BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM SİSTEMLERİNİN YENİ SERPİŞTİRME YAKLAŞIMLARI İLE BİT HATA ORANI BAŞARIMININ İNCELENMESİ

	Sayfa No
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
KISA ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLO ve ŞEKİL LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR TARAMASI

2. BÖLÜM

SERPİŞTİRME BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM SİSTEMİ

2.1. SBÇE ve KBÇE Sistemlerinin Kıyaslanması	9
2.2. SBÇE Sisteminin Verici Yapısı.....	10
2.3. SBÇE Sisteminin Alıcı Yapısı	11
2.4. TİK Fonksiyonunun Hesaplanması.....	13
2.4.1. Maksimum Sonsal Olasılık (MSO) Yaklaşımı.....	13
2.4.2. Gauss Yaklaşımı.....	14

2.5. Kodlanmamış SBÇE Sistemleri için KÇ Fonksiyonunun Hesaplanması	16
2.6. Kodlanmış SBÇE Sistemleri için KÇ Fonksiyonunun Hesaplanması.....	17
2.7. Kırmık Kırmık Algılama (KKA) Algoritmaları.....	18
2.7.1. Paralel KKA Algoritması	18
2.7.2. Seri KKA Algoritması.....	19

3. BÖLÜM

SERPİŞTİRİCİ TASARIMLARI

3.1. Rayleigh Serpiştirici Tasarımı	24
3.2. Weibull Serpiştirici Tasarımı.....	25
3.3. Karma Serpiştirici Tasarımı	26
3.4. Helical Serpiştirici Tasarımı	28
3.5. Uyarlanmış Blok Serpiştirici Tasarımı	30

4. BÖLÜM

BAŞARIM ANALİZLERİ

4.1. Paralel ve Seri KKA Algoritmalarının BHO Başarım Analizleri	33
4.2. SBÇE Sistemlerinde Rayleigh Serpiştiricinin BHO Başarım Analizi.....	34
4.3. SBÇE Sistemlerinde Weibull Serpiştiricinin BHO Başarım Analizi	36
4.4. SBÇE Sistemlerinde Karma Serpiştiricinin BHO Başarım Analizi.....	38
4.5. SBÇE Sistemlerinde Uyarlanmış Blok Serpiştiricinin BHO Başarım Analizi.	40
4.6. SBÇE Sistemlerinde Helical Serpiştiricinin BHO Başarım Analizi.....	41
4.7. SBÇE Sistemlerinde Farklı Serpiştiricilerin BHO Başarımlarının Karşılaştırılması	43

5. BÖLÜM

BULGULAR

5.1. SBÇE Sistemlerinde Kırmık Seviyeli Rayleigh Serpiştiricinin BHO Başarımının Sayısal Analizi	46
--	----

5.2. SBÇE Sistemlerinde Kırmık Seviyeli Weibull Serpiştiricinin BHO Başarımının Sayısal Analizi	47
5.3. SBÇE Sistemlerinde Kırmık Seviyeli Karma Serpiştiricinin BHO Başarımının Sayısal Analizi	48
5.4. SBÇE Sistemlerinde Kırmık Seviyeli Uyarlanmış Blok Serpiştiricinin BHO Başarımının Sayısal Analizi	49
5.5. SBÇE Sistemlerinde Kırmık Seviyeli Helical Serpiştiricinin BHO Başarımının Sayısal Analizi	49
5.6. Farklı Kırmık Seviyeli Serpiştirici Tasarımlarının SBÇE Sistemlerindeki BHO Başarımının Sayısal Analizi	50

6. BÖLÜM

SONUÇLAR-TARTIŞMA ve ÖNERİLER

KAYNAKÇA	54
ÖZGEÇMİŞ.....	64

TABLO ve ŞEKİL LİSTESİ

Tablo 5.1. Rayleigh ve rastgele kırkık seviyeli serpiştiricilerin $K=8$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımının sayısal analizi.....	46
Tablo 5.2. Weibull ve rastgele kırkık seviyeli serpiştiricilerin $K=4$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımının sayısal analizi.....	47
Tablo 5.3. Farklı $(m \times n \times G)$ parametrelerine sahip kırkık seviyeli karma serpiştiricilerin $K=10$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımının sayısal analizi	48
Tablo 5.4. Uyarlanmış ve Rastgele Kırkık Seviyeli Serpiştiricilerin $K=16$ eşzamanlı kullanıcıya sahip $R=1/4$ hızlı tekrarlamalı kodlama ile kodlanmış SBÇE sistemindeki BHO başarımının sayısal analizi.....	49
Tablo 5.5. Helical ve rastgele kırkık seviyeli serpiştiricilerin $K=4$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımının sayısal analizi.....	50
Tablo 5.6. Farklı kırkık seviyeli serpiştirici tasarımlarının $K=8$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımının sayısal analizi	51
Şekil 2.1. KBÇE ve SBÇE sistemlerinin genel verici yapıları	10
Şekil 2.2. K eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sisteminin verici yapısı.....	11
Şekil 2.3. K eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sisteminin alıcı yapısı.....	12
Şekil 3.1. $\pi = (2, 0, 4, 1, 5, 3)$ 'e göre serpiştirme işleminin temsili gösterimi	23
Şekil 3.2. Herhangi bir k kullanıcıya ait kırkık uzunluğu 12 olan serpiştirici dizisi için $(2 \times 2 \times 3)$ karma serpiştirici prosedürü	27
Şekil 3.3. a) $\pi = [20, 6, 7, \dots, 18, 8, 16]$ master serpiştirme dizisi indekslerinin matris formunda gösterilmesi. b) Birinci Helical serpiştiricinin oluşturulması. c) İkinci Helical serpiştiricinin oluşturulması	29
Şekil 3.4. $J=16$, $N_r=4$ ve $N_c=4$ için a) Her bir kullanıcının serpiştirme dizisi indekslerinin matris formunda gösterilmesi. b) Uyarlanmış blok serpiştirme stratejisinin uygulanması.....	31
Şekil 4.1. SBÇE sistemlerindeki seri ve paralel KKA algoritmalarının $K=10$ ve $K=48$ için BHO başarımı	34

Şekil 4.2. $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 32$, $It = 30$ ve $B = 1000$ olarak alınan SBÇE sistemlerinde farklı kullanıcı sayıları için normal rastgele serpiştirici ile Rayleigh serpiştiricinin karşılaştırılması	35
Şekil 4.3. $N_{\text{bilgi}} = 256$, $S = 32$, $It = 30$ ve $B = 1000$ olarak alınan SBÇE sistemlerinde farklı kullanıcı sayıları için normal rastgele serpiştirici ile Rayleigh serpiştiricinin karşılaştırılması	36
Şekil 4.4. Rastgele ve Weibull serpiştiricilerinin $K = 1$ için SBÇE sistemindeki BHO başarımı	37
Şekil 4.5. Rastgele ve Weibull serpiştiricilerinin $K = 4$ ve $K = 28$ için SBÇE sistemindeki BHO başarımı	37
Şekil 4.6. Rastgele ve Karma serpiştiricilerinin $K = 4$ ve $K = 28$ için SBÇE sistemindeki BHO başarımı	38
Şekil 4.7. Rastgele ve çeşitli Karma serpiştiricilerinin $K = 10$ için SBÇE sistemindeki BHO başarımı.....	39
Şekil 4.8. $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 20$ ve $B = 1000$ için kodlanmamış SBÇE sistemlerinde rastgele ve uyarlanmış blok serpiştiricinin karşılaştırılması..	40
Şekil 4.9. $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 30$ ve $B = 1000$ için hızı $R = \frac{1}{4}$ olan tekrarlamalı kodlama ile kodlanmış SBÇE sistemlerinde rastgele ve uyarlanmış blok serpiştiricinin karşılaştırılması	41
Şekil 4.10. $K = 1$, $K = 4$ ve $K = 12$ için kodlanmamış SBÇE sistemindeki rastgele ve Helical serpiştiricilerinin BHO başarım analizi	42
Şekil 4.11. $K = 16$ ve $K = 32$ için hızı $R = \frac{1}{4}$ olan tekrarlamalı kodlama ile kodlanmış SBÇE sistemindeki rastgele ve helical serpiştiricilerinin BHO başarım analizi	42
Şekil 4.12. $K = 8$ için kodlanmamış SBÇE sistemindeki farklı serpiştirici tasarımlarının BHO başarımlarının birbirlerine göre kıyaslanması	44

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
K	Sistemdeki toplam eşzamanlı kullanıcı sayısı
d_k	k . kullanıcının giriş bilgi dizisi
b_k	k . kullanıcının kodlanmış bilgi dizisi
\hat{d}_k	k . kullanıcıya ait giriş bilgi dizisinin sistem çıkışındaki kestirimi
c_k	k . kullanıcının serpiştirilmeden önceki dizisi
x_k	k . kullanıcının serpiştirilmeden sonraki dizisi
π_k	k . kullanıcının serpiştirilme işlemi
$r(j)$	alıcıda algılanan toplam işaret
h_k	k . kullanıcının kanal katsayısı
$n(j)$	AWGN gürültüsü
$E(\cdot)$	ortalama değer
$\text{Var}(\cdot)$	varyans
$\zeta_k(j)$	k . kullanıcıya etki eden girişim ve gürültü toplamı

J	kırmık uzunluğu
T	transpoz
$e_{ESE}(x_k(j))$	k . kullanıcının TİK fonksiyonu için İLOO değeri
$e_{DEC}(c_k(j))$	k . kullanıcının KÇ fonksiyonu için İLOO değeri
c	Weibull serpiştirici için sönümlenme parametresi
γ	Weibull serpiştirici için ölçekleme parametresi
G	Karma serpiştirici için alt grup dizisi uzunluğu
m	Karma serpiştirici için sarmal serpiştirme parametresi
n	Karma serpiştirici için sarmal serpiştirme parametresi
N_r	Uyarlanmış blok ve Helical serpiştiricilerin matris oluşumundaki satır sayısı
N_c	Uyarlanmış blok ve Helical serpiştiricilerin matris oluşumundaki sütun sayısı
H	Helical serpiştirici için kayma faktörü
N_{bilgi}	Başarım analizlerinde bilgi dizisi uzunluğu
S	Başarım analizlerinde yayma dizisi uzunluğu
It	Başarım analizlerinde iterasyon sayısı
B	Başarım analizlerinde simüle edilen blok sayısı
R	Tekrarlamalı kodlamanın hızı

Kısaltmalar	Açıklama
SBÇE	Serpiştirme Bölmeli Çoklu Erişim
KBÇE	Kod Bölmeli Çoklu Erişim
DD-KBÇE	Doğrudan Dizili Kod Bölmeli Çoklu Erişim
ÇEG	Çoklu Erişim Girişimi
SAG	Sembollerarası Girişim
ÇKA	Çok Kullanıcılı Algılama
BHO	Bit Hata Oranı
İGO	İşaret Gürültü Oranı
AMPS	İleri Gezgin Telefon Servisi
IS-95	Uluslararası Standartlar 95
GSM	Gezgin Haberleşme için Küresel Sistem
ITU	Telekomünikasyon Birliği
IMT-2000	Uluslararası Gezgin Telekomünikasyon
TİK	Temel İşaret Kestiricisi
KÇ	Kod Çözücü
KKA	Kırmık Kırmık Algılama
İYHD	İleri Yönlü Hata Düzeltme
EBOB	En Büyük Oranlı Birleştirme
DYED	Düşük Yoğunluklu Eşlik Denetim
DYÜM	Düşük Yoğunluklu Üreteç Matrisi
DFBÇ	Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama

AWGN	Toplanabilir Beyaz Gauss Gürültüsü
SO-KÇ	Sonsal Olasılıklı Kod Çözücü
BPSK	İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama
İLOO	İkincil Logaritmik Olasılıksal Oran
MSO	Maksimum Sonsal Olasılık

GİRİŞ

Kablosuz haberleşme sistemleri, kullanıcıya sağladığı avantajlardan dolayı telekomünikasyon endüstrisinde çok hızlı bir şekilde gelişim göstermektedir. Her geçen gün yeni bir kablosuz haberleşme tekniği ortaya çıkmaktadır. Bütün bunlara paralel olarak, kablosuz hücreli haberleşme sistemleri de gelişim göstermektedir.

Hücreli haberleşme sistemleri ilk olarak 1970'lerde, AT&T firması tarafından ileri gezgin telefon servisi (AMPS) adı altında analog hücreli haberleşme sistemleri olarak Amerika Birleşik Devleti'nde geliştirilmiştir. Bu sistemlere birinci nesil hücreli haberleşme sistemleri de denilmektedir. Bu tür sistemler, tamamı ses verisi olan bir veri trafiğini desteklemektedir. 1980'lerin sonlarında bu sistemlerin yerini sayısal hücreli haberleşme sistemleri olan ikinci nesil haberleşme sistemleri almıştır. Dünyada en yaygın olarak kullanılan ikinci nesil hücreli haberleşme sistemleri sırasıyla, uluslararası standartlar 95 (IS-95) ve gezgin haberleşme için küresel sistem olarak adlandırılan GSM sistemleridir. IS-95 sistemleri Birleşik Devletlerde geliştirilmiş, buna karşın GSM sistemleri ise Avrupa ülkeleri tarafından ortaya atılmıştır. Bu tür sistemler de yine ses bazlı trafiğe hizmet etmekte, fakat teknolojileri sayısal ilkelere dayanmaktadır.

Günümüz hücreli haberleşme sistemlerine bakıldığında, ikinci nesil hücreli haberleşme sistemleri yerini, büyük oranda üçüncü ve hatta dördüncü nesil hücreli haberleşme sistemlerine bıraktığı gözlenmektedir. Üçüncü nesil hücreli haberleşme sistemleri için gerekli olan standartlar uluslararası telekomünikasyon birliği (ITU) tarafından belirlenmiştir. Üçüncü nesil sistemler ses, veri ve çoğulortam trafiğinin desteklenmesini sağlayacak teknolojiye sahiptir. Üçüncü nesil sistemler ilk olarak 2001 yılında Japonya'da ortaya çıkmıştır. Üçüncü nesil sistemler diye adlandırılan uluslararası gezgin telekomünikasyon (IMT-2000), kod bölmeli çoğullama / kod bölmeli çoklu erişim yöntemiyle sürekli servis sağlamasının yanı sıra, hem devre

anahtarlamalı hem de paket anahtarlamalı servisleri de desteklemektedir. Bütün bu gelişmeler daha fazla eşzamanlı kullanıcıya daha yüksek hızlarda veri aktarımı gereksinimi karşılamak için ortaya çıkmıştır. Yukarıda bahsedilen bu gelişmeler incelendiğinde son onbeş yılda yayılı spektrum kablosuz hücreli haberleşme sistemlerinde önemli gelişmelerin meydana geldiği görülmektedir. Bu gelişmelerin en önemlilerinden birisi “kod bölmeli çoklu erişim (KBÇE)” sistemleridir. KBÇE hem daha fazla sayıda eşzamanlı kullanıcıya hem de yüksek hızlarda veri haberleşmesini gerçekleştiren kullanımı yaygın bir haberleşme sistemidir. KBÇE sistemlerinin performansı genel olarak çoklu erişim girişimi (ÇEG) ve sembollerarası girişim (SAG) ile sınırlıdır. Turbo kodların gösterdiği başarıyla birlikte, ÇEG ve SAG'ın neden olduğu olumsuz etkiyi önlemek için turbo tipli tekrarlamalı çok kullanıcılı algılama (ÇKA) yöntemleri geliştirilmiştir. KBÇE sisteminde var olan ÇEG ve SAG dezavantajlarının üstesinden gelmek için son zamanlarda “serpiştirme bölmeli çoklu erişim (SBÇE)” sistemi diye adlandırılan yeni bir yayılı spektrum çoklu erişim tekniği de önerilmiştir. Bu yayılı spektrum tekniği, doğrudan dizili kod bölmeli çoklu erişim (DD-KBÇE) sistemine oldukça benzemektedir. SBÇE sisteminde, DD-KBÇE sistemlerindeki kullanıcıya özgü benzersiz yayma dizileri yerine, kullanıcıların ayırt edilmesi için kullanıcıya özgü benzersiz serpiştiriciler kullanılmaktadır. Bu sebeple serpiştiriciler SBÇE sistemlerinin işleyişi açısından çok önemli bir role sahiptir. SBÇE sisteminin alıcı kısmında ise kullanıcı ayırımı tekrarlı ÇKA ile gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, SBÇE tekniğinin sistem yapısını oluşturan bloklar ayrı ayrı MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu bloklardan bahsetmek gerekirse, sistemin verici kısmında, yayıcı, serpiştirici, modülatör bloğu yapıları; kanal kısmında, kanal katsayılarının etkisinin gözlendiği çok erişim kanalı bloğu; alıcı kısmında ise, temel işaret kestiricisi (TİK) ve eşzamanlı kullanıcı adedi kadar kod çözücünden (KÇ) oluşan tekrarlı ÇKA işlemlerini gerçekleştiren bloklar bulunmaktadır. Buna ilaveten bu tez çalışmasına özgünlük kazandırmak için SBÇE sistemlerine ait farklı kırmık seviyeli serpiştirici yaklaşımları tasarlanmış ve önerilen kırmık seviyeli serpiştiricilerin SBÇE sisteminin bit hata oranı (BHO) başarımına olan etkisi gösterilmiştir. Serpiştirici tasarımları ayrı ayrı verilmiş ve tasarım aşamaları detaylı olarak açıklanmıştır. Önerilen serpiştiriciler üretim türlerine göre rastlantısal ve cebirsel olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada sunulan serpiştirici tasarımları, Rayleigh, Weibull, karma, Helical ve

uyarlanmış blok serpiştirici olarak adlandırılmaktadır. Önerilen bu serpiştiricilerin türleri, rastlantısal, cebirsel ve hem rastlantısal hem de cebirsel türleri kapsamaktadır. SBÇE sistemlerinde, çeşitli senaryolarla birlikte tasarlanan bu serpiştiricilerin başarımları analizi sonuçları sunulmuştur. Bu sonuçlar yardımı ile serpiştiricilerin birbirlerine göre kıyaslaması yapılmıştır. Önerilen serpiştiricilerin kullanıldığı SBÇE sistemlerinde elde edilen BHO başarımları analizleri sonucunda, serpiştiricilerin sistem performansı açısından etkisi detaylı olarak irdelenmiştir.

Bu tez çalışmasının organizasyonu ise şu şekilde verilmektedir; birinci bölümde literatürde var olan SBÇE çalışmalarının neler olduğu ve çalışmanın özgünlük açısından önemi vurgulanmaktadır. İkinci bölümde, SBÇE sisteminin çalışma ilkeleri ve bu ilkelerin dayandığı matematiksel analizler sunulmaktadır. Üçüncü bölümde bu tez çalışmasına ait kırmık seviyeli serpiştirici tasarım örneklerinin detaylı bir biçimde açıklanması ve önerilen bu kırmık seviyeli serpiştirici tasarımlarının matematiksel yaklaşımları açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde önerilen bu kırmık seviyeli serpiştirici tasarımları ile oluşturulan senaryolarla birlikte SBÇE sistemlerinin BHO başarımları analizleri ayrı ayrı gösterilmektedir. Beşinci bölümde ise sunulan BHO başarımları sonuçları ile ilgili detaylı yorumlar, bu sonuçlarla ilgili sayısal analizler ve sayısal analizlere ilişkin tablolar verilmektedir. Son olarak altıncı bölümde tartışma, sonuç ve öneriler bulunmaktadır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR TARAMASI

Serpiştirme bölmeli çoklu erişim (SBÇE), doğrudan dizili kod bölmeli çoklu erişim (DD-KBÇE) sistemlerine benzer biçimde son zamanlarda önerilmiş yeni bir çoklu erişim tekniğidir. Bu çoklu erişim tekniğinde sisteme adını veren serpiştirici bloğu sistem performansı açısından çok önemli bir rol üstlenmektedir.

SBÇE sistemleri ilk olarak Ping ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [1-6]. Ping ve arkadaşları KBÇE sistemlerinde var olan ÇEG ve SAG problemlerinin önüne geçmek ve olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için SBÇE çoklu erişim tekniğini önermişlerdir. Turbo kodların gösterdiği başarıyla birlikte [7], KBÇE sistemlerinin bu iki dezavantajını ortadan kaldırmak için turbo tipli çok kullanıcılı algılama (ÇKA) yöntemleri üzerine yaygın bir şekilde çalışmalar gerçekleştirilmiştir [8-15]. Bu çalışmalarla birlikte Mahadevappa ve Proakis [16]'daki çalışmada, kodlanmamış KBÇE sistemleri için kırmık seviyeli serpiştirme modelini önererek SAG probleminin engellenebileceğini göstermişlerdir. [17-22]'de sunulan çalışmalarda da KBÇE sistemlerinde serpiştirme işlemi uygulamaları gösterilmiştir. Ping ve Liu [5, 23]'de hem serpiştirme hem de turbo tipli tekrarlı ÇKA işleminin avantajlarını dikkate alarak SBÇE sistemlerinin temellerini oluşturmuşlardır. SBÇE sistemlerinin alıcı kısmında turbo tipli tekrarlı ÇKA işlemi gerçekleştirilirken kırmık kırmık algılama (KKA) algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma diğer algılama tekniklerine göre az miktarda işlem gerektirirken, çok daha iyi performans sergileyen bir algılama algoritmasıdır. [23]'deki çalışmada, KKA algoritmasının performansının KBÇE sistemlerine de uygulanarak diğer algılama algoritmalarına oranla daha iyi olduğu gösterilmiştir. Bütün bunlarla birlikte, SBÇE sistemleri, KBÇE sistemlerinin sahip olduğu, çok-yollu sönümlenmeye karşı kalitenin yüksek olması, dinamik kanal paylaşımı, eşzamansız iletim, hücrelerarası girişiminin azaltılması gibi avantajların tümüne de içermektedir [4].

SBÇE sistemlerine DD-KBÇE teknolojisinin özel bir formu da denilmektedir. Diğer bir deyişle SBÇE sisteminde, DD-KBÇE sistemlerindeki kullanıcıya özgü benzersiz yayma dizileri yerine, kullanıcıların ayırt edilmesi için kullanıcıya özgü benzersiz serpiştiriciler kullanılmaktadır [24]. SBÇE sistemlerinin verici kısmındaki serpiştirme işlemi uygulanmadan önce bir yayma işlemi gerçekleştirilir. Bu yayma işlemi bütün kullanıcılar için aynı olabilmektedir [4, 5]. Serpiştirme işleminden önce sadece basit bir yayma işlemi uygulanıyorsa, bu tür bir SBÇE sistemine “kodlanmamış SBÇE” sistemi denilmektedir. Eğer yayma işlemi ile birlikte bilgi bitleri, ayrıca bir hata kontrol veya düzeltme kodlamasına tabi tutulursa buna “kodlanmış SBÇE” sistemi denilmektedir. Bu yayma ve kodlama işlemlerinin her ikisine birden “ileri yönlü hata düzeltme (İYHD)” denilmektedir [1-4].

Literatürde SBÇE sistemleri ile ilgili birçok önemli çalışma mevcuttur. SBÇE ve KBÇE sistemlerinin kapsamlı bir şekilde karşılaştırması ile ilgili çalışmalar [23-28]’de verilmektedir. [29]’da verilen çalışmada ise kablosuz hücreli sistemler için dikgen ve dikgen olmayan yaklaşımların karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca [30]’da sunulan çalışmada SBÇE/KBÇE birleşiminden oluşan karma bir çoklu erişim tekniği önerilmiştir. Liu ve arkadaşları [31]’deki çalışmada simulink tabanlı olarak SBÇE sistemlerini gerçekleştirmişlerdir. [32]’de sunulan çalışmada ise SBÇE ve KBÇE sistemleri simulink tabanlı olarak oluşturulmuş ve karşılaştırılması yapılmıştır. SBÇE sistemleri için farklı alıcı teknikleri ile ilgili çalışmalar [33-46]’da sunulmuştur. Hong ve Rasmussen [33, 34]’de yaptıkları çalışmada, SBÇE sistemleri için tekrarlı ve anahtarlamalı yeni bir algılayıcı tekniği geliştirmişlerdir. [35-37]’de sunulan çalışmalarda SBÇE sistemleri için alıcı kısımlarının karmaşıklığını azaltma amaçlı farklı stratejiler oluşturulmuştur. [38]’de verilen çalışmada ise SBÇE sistemleri için hızlı yakınsama özelliğine sahip bir ÇKA işlemi sunulmuştur. Nagy ve arkadaşları [39]’da, SBÇE işaretlerinin optimum şekilde algılanmasına yönelik bir çalışma sunmuşlardır. [40]’daki çalışmada ise eş zamanlı olmayan SBÇE sistemleri için yeni bir alıcı tekniği önerilmiştir. [41]’deki çalışmada, tekrarlı SBÇE alıcıları için çeşitleme tekniklerinden en büyük oranlı birleştirme (EBOB) yönteminin performansı incelenmiştir. Houcke ve arkadaşları [42]’de verilen çalışmada, blok kodlu SBÇE sistemleri için kör algılama prensibinin uygulanışını sunmuşlardır. Bu çalışmalara ek olarak, Cristea ve arkadaşları SBÇE sistemleri için turbo alıcı yöntemlerini geliştirmişlerdir.

[43]. [44]'deki çalışmada farklı bir tekrarlı algılayıcı stratejisi sunulmuş, [45]'te verilen çalışmada ise çok taşıyıcılı SBÇE sistemlerine yönelik karma bir ÇKA yöntemi geliştirilmiştir. Alıcı çalışmalarına son olarak, [46]'da kodlanmamış SBÇE sistemlerinde seri ve paralel girişim önleyici tekniği verilmektedir.

SBÇE sistemlerinde güç tahsisi ve optimizasyon ile ilgili çalışmalar da gerçekleştirilmiştir [47-61]. Li ve arkadaşları [47] ve [48]'deki çalışmalarda SBÇE haberleşme sistemlerinin optimizasyon ve analizini gerçekleştirmişlerdir. Lau ve arkadaşları SBÇE sistemlerine eşit güç tahsisinin uygulanabilirliğini ve farklı bir güç tahsisi yöntemini sırasıyla [49] ve [50]'de göstermişlerdir. [51]'deki çalışmada ise SBÇE sistemlerinin optimum eşit güç tahsisine yönelik bir çalışma verilmiştir. SBÇE sistemleri için tekrarlı ÇKA yöntemi ile hız optimizasyonu çalışmaları [52] ve [53]'de verilmiştir. SBÇE'nin güç minimizasyonu ile ilgili yeni bir metod ise Lau ve arkadaşları tarafından öne sürülmüştür [54]. [55]'de sunulan çalışmada, tek taşıyıcılı SBÇE sistemleri için yayma faktörü optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. [56]'da verilen çalışmada radyo ve tv yayın kanalları üzerinde kodlu SBÇE'nin güç tahsisi ile ilgili bir çalışma bulunmaktadır. Wang ve arkadaşları [57, 58]'de kodlanmış SBÇE sistemlerinin optimum güç tahsisi çalışmalarını sunmuşlardır. Tassing ve arkadaşları [59]'da yaptıkları çalışmada SBÇE sistemlerindeki güç optimizasyonu problemine diferansiyel gelişim algoritması metodunu uygulamışlardır. Ping ve Liu, [60]'da yaptıkları çalışmada güç tahsisi problemini ele alırken işaret-gürültü oranı (İGO) değerlendirme yöntemini temel almışlardır. Ayrıca İGO değerlendirme yöntemi [23]'te yapılan çalışmada da detaylı olarak anlatılmaktadır. Güç tahsisi ile ilgili son olarak Rosberg, SBÇE sistemlerinin alıcı kısmı ile ilgili değil de verici kısmındaki optimal güç kontrolü ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir [61].

Bu çalışmaların yanı sıra SBÇE sistemlerinde kodlama çalışmaları da bulunmaktadır [62-71]. SBÇE sistemlerinde, İYHD kodlamanın türüne göre sistemin başarımı değişim göstermektedir. Çalışma [62-64]'te verilen kodlama türleri, sırasıyla çalışma [5] ve [23]'te SBÇE sistemlerine uygulanmıştır. Zhang ve arkadaşları [65]'te verilen çalışmada düşük yoğunluklu eşlik denetim (DYED) kodlu SBÇE sistemlerini ele almışlardır. [66]'da sunulan çalışmada ise düşük hızlı ve katmanlı düşük yoğunluklu üreteç matrisi (DYÜM) ile kodlanmış SBÇE sistemi incelenmiştir. Düzensiz DYED kodlamasının SBÇE sistemlerine uygulayarak performans iyileşimi [67]'deki çalışmada

verilmiştir. [68]'deki çalışmada ise SBÇE sistemleri için yeni bir İYHD tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yang ve arkadaşları, yarı durgun Rayleigh sönümlü kanallarda uzay zamanlı blok kodlama (UZBK) ile kodlanmış SBÇE sisteminin performans analizini yapmışlardır [69]. Çalışma [70]'de DYED kodlu SBÇE sistemi için basit bir alıcı tasarımı ve çalışma [71]'de ise yine DYED kodlu SBÇE sisteminin eşit ve eşit olmayan yayma durumlarını karşılaştıran çalışmalar verilmiştir.

SBÇE sistemlerinin bir başka uygulaması ise “dikgen frekans bölmeli çoğullama (DFBÇ)” teknolojisi ile birleştirilerek gerçekleştirilmiş ve buna “DFBÇ tabanlı SBÇE (DFBÇ-SBÇE)” denilmiştir [72, 73]. Bu çalışmalarda SBÇE sisteminin DFBÇ yöntemi ile birleştirilerek performansının iyileştiği gösterilmiştir. Çalışma [74]'te pasif optik ağlarda yukarı yönlü iletim için DFBÇ-SBÇE sistemi kullanımı detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu çalışmaya ilaveten, yukarı yönlü DFBÇ-SBÇE işaretlerini algılamak için geliştirilmiş bir algılayıcı yöntemi [75]'teki çalışmada verilmiştir. Ayrıca DFBÇ-SBÇE sistemleri için geliştirilmiş İGO değerlendirme yöntemi ise çalışma [76]'da sunulmuştur. SBÇE ve DFBÇ-SBÇE sistemleri için kanal kestirimi algoritmaları ile ilgili çalışmalar sırasıyla [77] ve [78]'de verilmiştir. Bütün bu çalışmalara ek olarak [79]'daki çalışmada, çok taşıyıcılı SBÇE sistemleri için genelleştirilmiş yeni bir alıcı-verici yapısı önerilmiştir. Xiong ve arkadaşları ters zamanlı SBÇE sistemlerine ait verimli bir yukarı yönlü iletişim tekniği önermişlerdir [80]. [81-83]'teki çalışmalarda SBÇE sistemini temel alan işbirlikli haberleşme sistemleri ele alınmıştır. Bu çalışmalarda işbirlikli haberleşmenin sağladığı avantajların SBÇE sistemlerine yansımaları gösterilmiştir.

Literatürde SBÇE sisteminin serpiştirici tasarımı ile ilgili de birçok çalışma mevcuttur. Pupeza ve arkadaşları [84]'teki çalışmada, SBÇE sistemleri için farklı üretim teknikleri kullanarak çeşitli serpiştirici tasarımları gerçekleştirmiştir. Ayrıca bu çalışmada serpiştiriciler arasındaki ilintiyi belirlemeye yardımcı olan sınır şartı da önerilmiştir. Bir diğer çalışmada, serpiştirme bölmeli çoğullama (SBÇ) sistemleri için “Helical serpiştirici” tasarımı sunulmuştur [85]. SBÇE sistemleri için “kuvvet serpiştirici” tasarımı ve sistemin başarımlı incelemesi [86]'daki çalışmada verilmiştir. Shukla ve arkadaşları [87-89]'daki çalışmalarda, optimum güç tahsisini kullanan SBÇE sistemleri için benzetim olarak ağaç tabanlı serpiştirici tasarımlarını önermişlerdir. Buna ek olarak [90]'daki çalışmada SBÇE sisteminde tekrarlı alıcılar için optimum serpiştirici tasarımı

ve analizi yapılmıştır. Çalışma [91] ve [92]'de sırasıyla iki boyutlu serpiştirici ile paralel serpiştirici tasarım örnekleri verilmiştir. [93]'te verilen çalışmada asal sayı tabanlı serpiştirici tasarım tekniği önerilmiştir. Han ve arkadaşları [94]'teki çalışmada matris olarak dönüşsel ve kaydırmalı serpiştirici tasarımını ele almışlardır. Çalışma [95]'te ise yüksek derecede yaymalı serpiştiricileri kullanan SBÇE sistemlerinin performansı incelemiştir. Son olarak, SBÇE sistemleri için periyodik olarak kayan serpiştirici tasarımı [96]'daki çalışmada önerilmiştir. Bütün bu serpiştirme tasarımı çalışmaları incelendiğinde, serpiştirme bloğunun önerilen metodlara göre değiştirilmesiyle, SBÇE sisteminin BHO başarımında, serpiştirme için kullanılan hafıza miktarında, serpiştirici üretim zamanında veya sistemin başarım analizi için gerekli olan zaman diliminde olumlu ya da olumsuz değişikliklerin gerçekleştiği görülmüştür.

Bu çalışmada, birbirinden farklı kırkık seviyeli serpiştirici tasarımları yapılmış olup, MATLAB ortamında SBÇE sistemlerinin BHO başarım analizleri önerilen kırkık seviyeli serpiştirici tasarımları ile gerçekleştirilmektedir. Bu serpiştirici tasarımlarından ilk ikisi, Rayleigh ve Weibull dağılımlı bir raslantı değişkenini temel alan sırasıyla Rayleigh ve Weibull rastlantısal serpiştiricileridir. Ayrıca uyarlanmış blok serpiştirici diye adlandırılan, rastlantısal ve cebirsel yapının her ikisine de sahip olan serpiştirici tasarımı da önerilmektedir. Bunun yanı sıra [97]'de verilmiş olan ve turbo kodların başarımına olumlu yönde etki eden karma serpiştiricinin SBÇE sistemlerine göre yeniden oluşturulması ve etkisinin incelenmesi de yapılmaktadır. Bunlara ilaveten [85]'te sunulan Helical serpiştirici tasarımının SBÇE sistemlerinin BHO başarımına etkisi de incelenmektedir. Bütün bu serpiştirici yaklaşımlarının SBÇE sistemlerine uygulanması ile oluşan bu tez çalışması literatürde ilk kez yapılmaktadır.

2. BÖLÜM

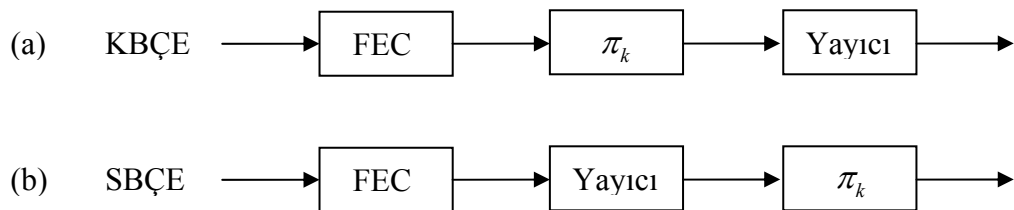
SERPİŞTİRME BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM SİSTEMİ

KBÇE sistemlerinde kırmık seviyeli serpiştiricilerin kullanılmasıyla ÇEG ve SAG etkilerinin azaltılması, buna ek olarak sistemin performansının da artması [16]'da verilen çalışmada gösterilmiştir. Bu çalışmaya ek olarak geleneksel KBÇE sistemlerinde ÇKA işlemleri ile sistemin alıcı performansının gelişimi [7-15]'teki çalışmalarda detaylı olarak izah edilmiştir. Bu çalışmaları temel alarak geliştirilen SBÇE sisteminde, yüksek spektral verimlilik ve düşük alıcı karmaşıklığı hedeflenmiştir [1-6, 23]. Bu çoklu erişim tekniğinde farklı kullanıcılardan gelen farklı işaretler, kırmık seviyeli serpiştirme işlemine bağlı olarak ayırt edilmektedir [1-5, 24]. SBÇE, KBÇE sistemlerinin sahip olduğu, dinamik kanal paylaşımı, iletim hızında yüksek derecede esneklik, yumuşak eldeğiştirme, sönümlenmeye karşı dayanıklılık, diğer hücrelerden kaynaklanan girişim problemini azaltma gibi avantajlara sahiptir [4, 5, 23]. Bütün bu avantajlara ek olarak, hesapsal karmaşıklığı düşük bir yöntem olan KKA tekrarlı ÇKA alıcı stratejine de sahiptir. Her bir kullanıcı için genelleştirilmiş ÇKA işleminin karmaşıklığı, toplam K kullanıcı sayısından bağımsızdır [5, 23].

2.1. SBÇE ve KBÇE Sistemlerinin Kıyaslanması

Bir önceki bölümde belirtildiği gibi, SBÇE sistemlerine KBÇE sistemlerinin özel bir formu da denilmektedir. Bununla beraber KBÇE'nin yukarıda bahsedilen eksikliklerinin giderilmesi için SBÇE tekniği önerilmiştir. Bu sebeple, SBÇE ile KBÇE sistemleri arasındaki farklılıkların gösterilmesi önemlidir. Buna göre, SBÇE sisteminin KBÇE sistemlerinden farklılıkları şu şekilde sıralanmaktadır:

- KBÇE’de kullanıcıların ayırt edilmesi her bir kullanıcıya ait birbirinden farklı yayma dizilerine bağlı iken SBÇE’de ise her bir kullanıcıya ait birbirinden farklı kırmık seviyeli serpiştirme dizilerine bağlıdır,
- SBÇE sistemlerinde de KBÇE sistemlerindeki gibi yayma işlemi gerçekleştirilmektedir. Fakat bu yayma işlemi bütün kullanıcılar için aynı olmakla beraber bandgenişliği yayılmasında kullanılan bir fonksiyon olarak görev yapmaktadır,
- KBÇE tekniklerinden olan bir turbo KBÇE sistemi ile SBÇE modeli kıyaslandığında, Şekil 2.1’den de görüldüğü gibi, serpiştirici bloğu pozisyonlarının birbirine göre farklı olduğu görülmektedir,
- Turbo KBÇE sistemlerinde serpiştiriciler, İYHD (FEC) kodlayıcı ile yayıcı arasındadır. Serpiştirme işlemi ise bit seviyesinde yapılmaktadır,
- Bir SBÇE sisteminde ise serpiştirici bloğu, İYHD ve yayıcıdan sonra gelmektedir. Bu sebeple, serpiştirme işlemi kırmık seviyesinde gerçekleştirilmektedir [23],
- Son olarak en önemli farklılıklardan bir tanesi ise, SBÇE sistemlerinin alıcı kısmında hesapsal karmaşıklığı az olan KKA algoritması uygulanmasıdır.



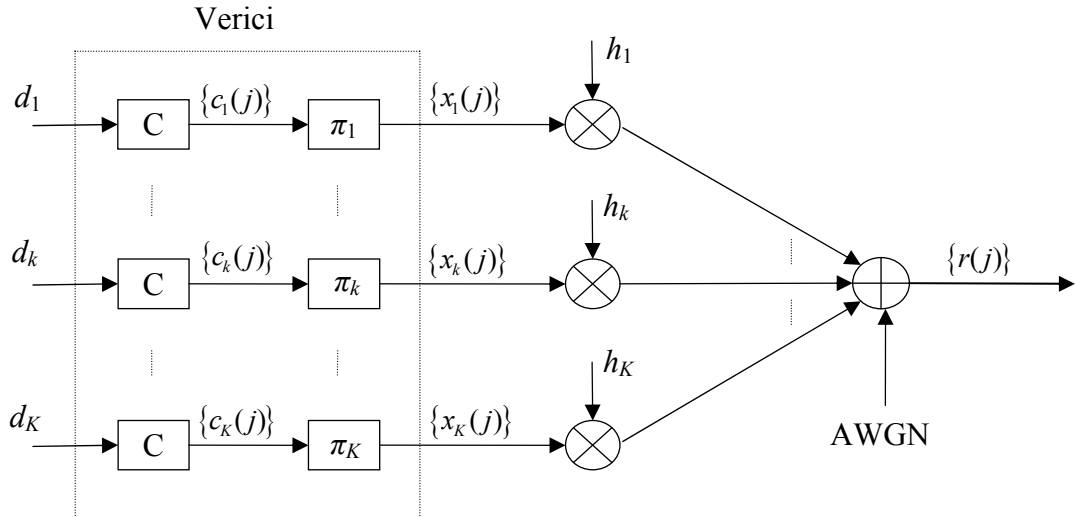
Şekil 2.1. (a) KBÇE ve (b) SBÇE sistemlerinin genel verici yapıları [23].

2.2. SBÇE Sisteminin Verici Yapısı

Eşzamanlı K adet kullanıcıya sahip kodlanmamış SBÇE sisteminin genel olarak verici yapısı Şekil 2.2’de verildiği gibidir. Burada gösterilen d_k dizisi, k . kullanıcının giriş bilgi dizisini ifade etmekte ve d_k dizisi C genelleştirilmiş kodlayıcı tarafından kodlanmaktadır. Kodlanmamış SBÇE sistemi ele alındığı zaman, giriş bilgi dizisi basit bir Walsh-Hadamard yayma kodu ile kodlanmaktadır. Eğer sistemde herhangi bir kanal kodlama türü kullanılırsa giriş bilgi dizisi kanal kodlama ile kodlandıktan sonra yayma işlemine tabi tutulmaktadır. Kodlanmamış SBÇE sistemi ele alınırsa, C yayma dizisinin

çıkışında $c_k \equiv [c_k(1), \dots, c_k(j), \dots, c_k(J)]^T$ dizisi elde edilmektedir. Burada J çerçeve uzunluğu, T ise transpozunu ifade etmektedir. Bu aşamadan sonra sisteme adını veren kırık seviyeli serpiştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. π_k , kırık seviyeli serpiştirme işleminden sonra $x_k \equiv [x_k(1), \dots, x_k(j), \dots, x_k(J)]^T$ dizisi elde edilmektedir.

Buradaki x_k dizisinin her bir elemanına geleneksel KBÇE’de olduğu gibi “kırık” denilmektedir. SBÇE’nin temel ve en önemli prensibi, π_k kırık seviyeli serpiştirme işleminin her kullanıcı için birbirinden farklı olmasıdır. Ayrıca kırık seviyeli serpiştirme işlemlerinin birbirinden bağımsız ve rastgele bir şekilde gerçekleştirildiği kabul edilmektedir. Birbirinden bağımsız kırık seviyeli serpiştirici bloklarının kullanılması, SBÇE sistemlerinde kullanıcılara farklı yayma dizilerinin atanmasının, sistem performansına olumlu veya olumsuz herhangi bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir. Vericideki kırık seviyeli serpiştirme işleminin ardından çoklu erişim kanalı vasıtasıyla gönderme işlemi tamamlanmaktadır.



Şekil 2.2. K eşzamanlı kullanıcıya sahip kodlanmamış SBÇE sisteminin verici yapısı.

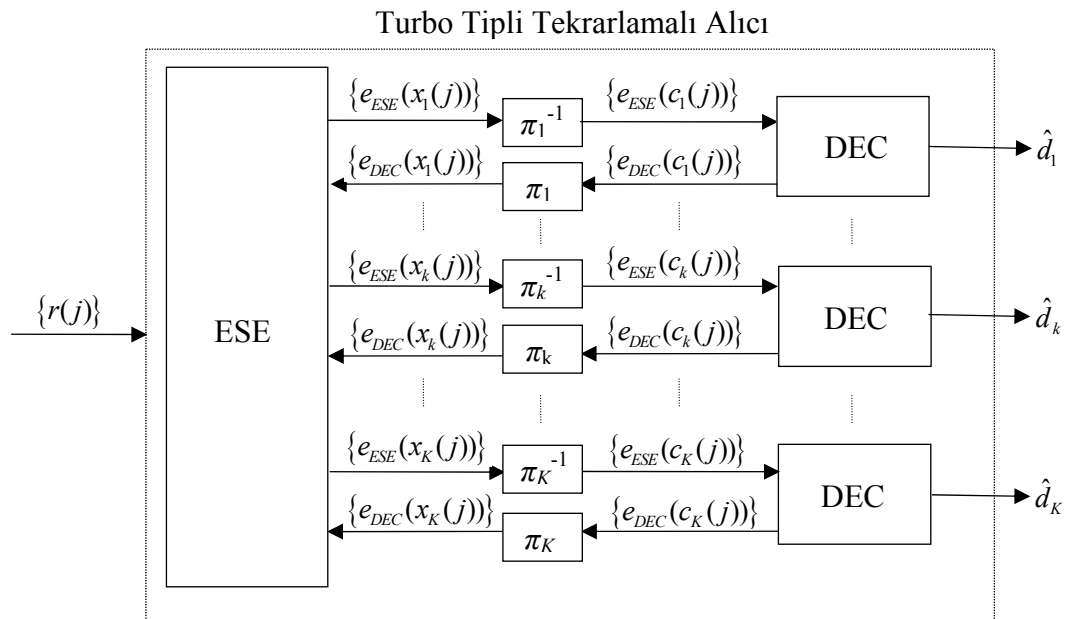
2.3. SBÇE Sisteminin Alıcı Yapısı

K adet eşzamanlı kullanıcıya sahip kodlanmamış SBÇE sisteminin genel olarak alıcı yapısı Şekil 2.3’teki gibidir. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi verici kısımdan gönderilen dizi toplamsal beyaz Gauss gürültülü (AWGN) bir kanal üzerinden alıcıya ulaşmaktadır.

Şekil 2.2’de h_k , k . kullanıcıya ait olan kanal katsayısını belirtmektedir. Alıcı tarafta alınan $r(j)$ toplam işareti ifade etmek için herhangi bir k kullanıcıya ait olan J kırmıklı bir çerçeveye yoğunlaştırılması gerekmektedir [2, 5, 6, 23]. Bütün bunlar dikkate alınarak, kırmık hızında örneklemeden sonra $r(j)$ aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$r(j) = \sum_{k=1}^K h_k x_k(j) + n(j), \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (2.1)$$

Burada $x_k(j)$, k . kullanıcı tarafından iletilen j . kırmık, h_k , k kullanıcısı ile ilgili kanal katsayısı ve $n(j)$, ortalaması sıfır ve varyansı $\sigma^2 = N_0 / 2$ olan bir AWGN sürecidir. Basitlik açısından h_k kanal katsayılarının alıcı tarafta önceden bilindiği kabul edilmektedir.



Şekil 2.3. K eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sisteminin alıcı yapısı.

Çalışma [7-9, 11] ve [13]’te gösterilen turbo algılama prensipleri izlenerek, Şekil 2.3’te gösterilen alternatif turbo tekrarlı bir alıcı, SBÇE sistemleri için önerilmiştir [5, 6]. ÇKA yönteminin kullanıldığı SBÇE sisteminin alıcı kısmı, bir adet temel işaret kestiricisi (TİK) ve K adet kod çözücünden (KÇ) oluşmaktadır. Alıcının temel çalışma prensibi “kırmık kırmık algılama (KKA)” yöntemine dayanmaktadır [3, 5, 6]. Bu yönteme göre TİK ve K adet sonsal olasılıklı (SO-KÇ) tekrarlı bir şekilde işlem yapmaktadır. Sistemde ikili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK) modülasyonunun

kullanıldığı düşünülmektedir. Buna göre $x_k(j) \in \{+1, -1\}$, $\forall k, j$ şeklindedir. TİK ve KÇ'lerin $\{x_k(j)\}$ ile ilgili çıkışları, ikincil logaritmik olasılıksal oranlar (İLOO) diye tanımlanmaktadır. TİK için $\{x_k(j), \forall k, j\}$ ile ilgili İLOO şu şekilde ifade edilir,

$$e_{ESE}(x_k(j)) \equiv \log \left(\frac{\Pr(x_k(j) = +1)}{\Pr(x_k(j) = -1)} \right), \forall k, j. \quad (2.2)$$

Benzer şekilde KÇ için $\{c_k(j), \forall k, j\}$ ile ilgili İLOO ise aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$e_{DEC}(c_k(j)) \equiv \log \left(\frac{\Pr(c_k(j) = +1)}{\Pr(c_k(j) = -1)} \right), \forall k, j. \quad (2.3)$$

Burada $\{x_k(j), j = 1, 2, \dots, J\}$ ifadesi $\{c_k(j), j = 1, 2, \dots, J\}$ ifadesinin kırmık seviyeli serpiştirilmiş formudur. Elde edilen İLOO değerleri, TİK veya KÇ'lere bağlı olarak alt indis ile $e_{ESE}(x_k(j))$ veya $e_{DEC}(c_k(j))$ şeklinde belirtilmektedir [5, 60, 86].

Tekrarlı işlemler boyunca, TİK ve KÇ'ler tarafından üretilen İLOO ikincil bilgi değerleri TİK veya KÇ'lerde sonsal bilgi olarak uygun serpiştirme ve düzenleme (deinterleave) işlemlerine tabi tutularak kullanılmaktadır ($e_{ESE}(x_k(j)) \Rightarrow e_{ESE}(c_k(j))$ ve $e_{DEC}(c_k(j)) \Rightarrow e_{DEC}(x_k(j))$ dönüşümleri).

2.4. TİK Fonksiyonunun Hesaplanması

2.4.1. Maksimum Sonsal Olasılık (MSO) Yaklaşımı

Eşitlik (2.1)'deki alınan $r(j)$ toplam işaretinin iletilen $\{x_1(j), x_2(j), \dots, x_K(j)\}$ kırmıkları üzerinde koşullu bir Gauss dağılımına sahip olduğu saptanmaktadır [23]. Buna göre bu olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi verilebilir:

$$p(r(j)|x_1(j), \dots, x_K(j)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left(-\frac{(r(j) - \sum_{k=1}^K h_k x_k(j))^2}{2\sigma^2} \right) \quad (2.4)$$

burada σ^2 , Eşitlik (2.1)'deki $n(j)$ AWGN gürültüsünün varyansını belirtmektedir. Bayes kuralını kullanarak $x_k(j)$ ile ilgili TİK fonksiyonu şu şekilde elde edilebilir [23]:

$$e_{ESE}(x_k(j)) = \log \left(\frac{p(r(j)|x_k(j)=+1)}{p(r(j)|x_k(j)=-1)} \right) \\ = \log \frac{\sum_{X_j^+} p(r(j)|x_1(j), \dots, x_K(j)) \prod_{k' \neq k} \Pr(x_{k'}(j))}{\sum_{X_j^-} p(r(j)|x_1(j), \dots, x_K(j)) \prod_{k' \neq k} \Pr(x_{k'}(j))} \quad (2.5)$$

burada $p(r(j)|x_1(j), \dots, x_K(j))$, Eşitlik (2.4)'te tanımlanan olasılık yoğunluk fonksiyonunu, $\Pr(x_k(j))$, $x_k(j)$ 'nin öncül olasılığını ve son olarak X_j^+ , $\{[x_1(j), x_2(j), \dots, x_K(j)]\}$ dizisindeki $x_k(j)=+1$ olan elemanları ifade etmektedir. Benzer şekilde X_j^- ise, $\{[x_1(j), x_2(j), \dots, x_K(j)]\}$ dizisindeki $x_k(j)=-1$ olan elemanları belirtmektedir. MSO yaklaşımının hesapsal karmaşıklığının aşırı derecede fazla olmasından dolayı Gauss yaklaşımı tercih edilmektedir [23].

2.4.2. Gauss Yaklaşımı

MSO yaklaşımının hesapsal karmaşıklığını azaltmak için TİK fonksiyonu bulunmasında Gauss yaklaşımı çalışmaları gerçekleştirilmiştir [1-6, 23]. Bu sebeple, $x_k(j)$ ifadesinin sırasıyla ortalama ve varyans ifadeleri Eşitlik (2.6) ve (2.7)'de verildiği gibidir [13],

$$E(x_k(j)) = \frac{\exp(e_{DEC}(x_k(j))) - 1}{\exp(e_{DEC}(x_k(j))) + 1} = \tanh(e_{DEC}(x_k(j)) / 2) \quad (2.6)$$

$$\text{Var}(x_k(j)) = 1 - (E(x_k(j)))^2 \quad (2.7)$$

Belirli bir k kullanıcısı için Eşitlik (2.1) yeniden yazılırsa,

$$r(j) = h_k x_k(j) + \zeta_k(j) \quad (2.8)$$

burada,

$$\zeta_k(j) = \sum_{\substack{k \neq k' \\ k=1}}^K h_{k'} x_{k'}(j) + n(j) \equiv r(j) - h_k x_k(j) \quad (2.9)$$

$\{x_k(j), \forall k\}$ kırımlarının bağımsız ve düzgün dağılımlı rastgele değişkenler olduğu kabul edilmektedir. Merkezi limit teoremi kullanılarak, $\zeta_k(j)$ bir Gauss değişkeni gibi karakterize edilebilmektedir, buna göre $\zeta_k(j)$ 'nin ortalama ve varyans ifadeleri aşağıdaki gibidir,

$$\begin{aligned} E(\zeta_k(j)) &= E(r(j)) - h_k E(x_k(j)) \\ &= \sum_{\substack{k \neq k' \\ k=1}}^K h_{k'} E(x_{k'}(j)), \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(\zeta_k(j)) &= \text{Var}(r(j)) - |h_k|^2 \text{Var}(x_k(j)) \\ &= \left(\sum_{\substack{k' \neq k \\ k=1}}^K |h_{k'}|^2 \text{Var}(x_{k'}(j)) \right) + \sigma^2. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Eşitlik (2.8)'e Gauss yaklaşımı uygulanırsa Eşitlik (2.5)'teki $e_{ESE}(x_k(j))$ ifade şu şekilde elde edilir [23],

$$\begin{aligned} e_{ESE}(x_k(j)) &= \log \frac{\exp\left(-\frac{(r(j) - E(\zeta_k(j)) - h_k)^2}{2\text{Var}(\zeta_k(j))}\right)}{\sqrt{2\pi\text{Var}(\zeta_k(j))}} - \log \frac{\exp\left(-\frac{(r(j) - E(\zeta_k(j)) + h_k)^2}{2\text{Var}(\zeta_k(j))}\right)}{\sqrt{2\pi\text{Var}(\zeta_k(j))}} \\ &= 2h_k \cdot \frac{r(j) - E(\zeta_k(j))}{\text{Var}(\zeta_k(j))} \\ &= 2h_k \cdot \frac{r(j) - E(r(j)) + h_k E(x_k(j))}{\text{Var}(r(j)) - |h_k|^2 \text{Var}(x_k(j))} \end{aligned} \quad (2.12)$$

burada,

$$E(r(j)) = \sum_{k'=1}^K h_{k'} E(x_{k'}(j)), \quad (2.13)$$

$$\text{Var}(r(j)) = \left(\sum_{k'=1}^K |h_{k'}|^2 \text{Var}(x_{k'}(j)) \right) + \sigma^2. \quad (2.14)$$

Eşitlik (2.12)'de tanımlanan formülasyon ile MSO yaklaşımına oranla hesapsal karmaşıklığı oldukça az olan bir TİK fonksiyonu elde edilmiş olunur.

2.5. Kodlanmamış SBÇE Sistemleri için KÇ Fonksiyonunun Hesaplanması

Kodlanmamış SBÇE sistemlerinde KÇ fonksiyonun hesaplanması için herhangi bir İYHD kodlayıcının bulunmadığı, sadece bir yayıcının var olduğu duruma göre işlemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. k . kullanıcının birinci bilgi biti olan $d_k(1)$ için KÇ hesaplaması gösterildiğinde diğer bilgi bitleri için de aynı yol izlenerek hesaplamalar tamamlanabilmektedir. Buna göre $d_k(1)$ bilgi biti ilk olarak yayma dizisi ile yayılmaktadır $d_k(1)\mathbf{s}_k = \{c_k(j), j = 1, 2, \dots, S\}$. Burada $\mathbf{s}_k = \{s_k(j), j = 1, 2, \dots, S\}$, ikili $\{+1, -1\}$ 'lerden oluşan bir yayma dizisidir. k . kullanıcı için kırmık seviyeli serpiştirme fonksiyonu $\pi_k(j) = j'$ şeklinde tanımlanmakta olup buna göre $x_k(j) = c_k(j') = c_k(\pi_k(j'))$ şeklinde kırmık seviyeli olarak serpiştirilmiş ifade gösterimi yapılabilmektedir. Daha sonra $e_{DEC}(c_k(j))$ ifadesi şu şekilde elde edilebilir [23],

$$\begin{aligned} L(d_k(1)) &\equiv \log \left(\frac{\Pr(d_k(1) = +1 | \mathbf{r})}{\Pr(d_k(1) = -1 | \mathbf{r})} \right) \\ &= \log \left(\frac{\prod_{j=1}^S \Pr(c_k(j) = s_k(j))}{\prod_{j=1}^S \Pr(c_k(j) = -s_k(j))} \right) \\ &= \sum_{j=1}^S \log \left(\frac{\Pr(c_k(j) = s_k(j))}{\Pr(c_k(j) = -s_k(j))} \right) \\ &= \sum_{j=1}^S s_k(j) e_{DEC}(c_k(j)) = \sum_{j=1}^S s_k(j) e_{ESE}(x_k(\pi_k(j))) \end{aligned} \quad (2.15)$$

burada \mathbf{r} , alınan toplam işareti temsil eden vektörü belirtmektedir. [16]'da verilen çalışmadaki mantık uygulanarak, $s_k(j) = +1$ ise $c_k(j) = +1$, diğer durumlarda $c_k(j) = -1$ olarak alınır ve $d_k(1)$ için $e_{DEC}(c_k(j))$ ifadesi şu şekilde elde edilebilir [23],

$$e_{DEC}(c_k(j)) = s_k(j)L(d_k(1)) - e_{ESE}(c_k(j)). \quad (2.16)$$

KÇ çıkışında elde edilen bu çıkış fonksiyonu ise daha sonra serpiştirilerek TİK'e tekrar beslenmektedir. Bu tekrarlı işlem önceden belirlenmiş olan iterasyon sayısı kadar devam etmektedir.

2.6. Kodlanmış SBÇE Sistemleri için KÇ Fonksiyonunun Hesaplanması

Kodlanmış SBÇE sistemlerinde KÇ fonksiyonun hesaplanması için bir İYHD kodlayıcı ve bir yayıcının var olduğu durum gözönüne alınmaktadır. Bu durumda ilk olarak k . kullanıcının giriş bilgi dizisi bir İYHD kodlayıcı tarafından kodlanmaktadır ve $\{b_k(i), i = 1, 2, \dots\}$ dizi oluşturulmaktadır. Bölüm 2.5'e benzer şekilde, k . kullanıcının birinci bilgi biti olan $d_k(1)$ için KÇ hesaplaması gösterildiği takdirde diğer bilgi bitleri de aynı şekilde hesaplanabilmektedir. Kodlanan giriş bilgi dizisi daha sonra $b_k(1)s_k$ şeklinde yayma işlemine maruz kalmakta, $\{c_k(j), j = 1, 2, \dots, S\}$ dizisi elde edilmektedir. BPSK işaretlemesi için sırasıyla aşağıda sıralanan adımlar gerçekleştirilerek KÇ fonksiyonu elde edilir:

1. $e_{ESE}(c_k(j))$ 'ye dayalı olarak her bir $b_k(i)$ 'nin kestirimini gerçekleştirmek için $\{e_{ESE}(x_k(j))\}$ 'nin düzenlenmiş hali gözönüne alınmaktadır. Ayrıca $e_{ESE}(c_k(j))$ ifadesinin kırmık seviyeli serpiştirme işleminden dolayı ilintisiz olduğu kabul edilmektedir. Şekil 2.2'den $x_k(j) = c_k(\pi_k(j))$ şeklinde olduğu görülmektedir. Bu açıklamalardan sonra $b_k(1)$ için öncül İLOO değeri hesaplaması şu şekilde yapılabilmektedir [23],

$$L(b_k(1)) = \sum_{j=1}^S s_k(j)e_{ESE}(x_k(\pi_k(j))). \quad (2.17)$$

2. Elde edilen $L\{b_k(i)\}$ ifadesini bir giriş gibi kullanarak İYHD kodlama için standart SO kod çözme işlemi uygulanmaktadır ve $\{b_k(i)\}$ ifadesi için bir öncül İLOO ifadesi $\{L_{APP}(b_k(i))\}$ oluşturulmaktadır.

3. $c_k(j) = s_k(j)b_k(1)$ $j = 1, 2, \dots, S$ olduğundan dolayı $e_{DEC}(c_k(j))$ ifadesi şu şekilde elde edilebilmektedir [23],

$$e_{DEC}(c_k(j)) = s_k(j)L_{APP}(b_k(1)) - e_{ESE}(c_k(j)), \quad j = 1, \dots, S \quad (2.18)$$

Bu şekilde İYHD kodlama kullanılan SBÇE sistemleri için $e_{DEC}(c_k(j))$ İLOO değeri hesaplanmış olunur. KÇ çıkışında elde edilen bu ifade bölüm 2.5'teki gibi yine serpiştirilerek TİK'ye beslenmektedir. Bu tekrarlı süreç önceden belirlenmiş iterasyon sayısı kadar devam etmektedir.

2.7. Kırmık Kırmık Algılama (KKA) Algoritmaları

SBÇE sistemlerinde uygulanan turbo tipli tekrarlamalı KKA algoritması iki türlü gerçekleştirilmektedir. Bunlar seri ve paralel KKA algoritmalarıdır [23]. Paralel KKA algoritmasında bütün kullanıcılar tekrarlamalı sürece aynı anda devam ederken, seri KKA algoritmasında ise bu süreç her kullanıcı için ayrı ayrı ve sırayla gerçekleşmektedir. Yani bir kullanıcı için tekrarlı süreç yapıp bittikten sonra bir sonraki kullanıcının tekrarlı algılama işlemine geçilmektedir. Başarım analizlerinin verildiği bölümde seri ve paralel KKA algoritmalarının kıyaslamasına ilişkin sonuçlar verilmektedir.

2.7.1. Paralel KKA Algoritması

Tek yönlü AWGN kanalındaki SBÇE sistemi için paralel KKA algoritması şu şekildedir:

1. **Adım:** Başlangıçta, $e_{DEC}(x_k(j)) = 0, \forall k, j$ olarak alınır. Bunun da anlamı tekrarlı sürece başlanırken KÇ'lerden herhangi bir geribeslemenin olmadığı kabulünü vurgulamaktadır [1, 5].
2. **Adım:** Aşağıda sıralanmış olan TİK işlemleri gerçekleştirilir,

$$E(x_k(j)) = \tanh(e_{DEC}(x_k(j))/2), \quad \forall k, j, \quad (2.19)$$

$$\text{Var}(x_k(j)) = 1 - (\text{E}(x_k(j)))^2, \forall k, j, \quad (2.20)$$

$$\text{E}(r(j)) = \sum_{k=1}^K h_k \text{E}(x_k(j)), \forall j, \quad (2.21)$$

$$\text{Var}(r(j)) = \left(\sum_{k=1}^K |h_k|^2 \text{Var}(x_k(j)) \right) + \sigma^2, \forall j, \quad (2.22)$$

$$e_{ESE}(x_k(j)) = 2h_k \cdot \frac{r(j) - \text{E}(r(j)) + h_k \text{E}(x_k(j))}{\text{Var}(r(j)) - |h_k|^2 \text{Var}(x_k(j))}, \forall k, j. \quad (2.23)$$

Elde edilen $e_{ESE}(x_k(j))$ serpiştirilerek KÇ'lere beslenmektedir.

3. Adım: KÇ işlemleri uygulanır, SO kod çözme işlemi yapılarak sonrasında $e_{DEC}(c_k(j)) \Rightarrow e_{DEC}(x_k(j))$ serpiştirilip TİK'e tekrar beslenir.

4. Adım: 1. Adım'a geri dönülür.

Önceden belirlenmiş olan iterasyon sayısı kadar bu tekrarlı süreç devam etmektedir. İterasyon sayısı tamamlandıktan sonra k . kullanıcının bilgi biti ile ilgili kesin sonuca karar verilmektedir.

2.7.2. Seri KKA Algoritması

Paralel KKA algoritmasına benzer şekilde, tek yönlü AWGN kanalındaki SBÇE sistemi için seri KKA algoritması şu şekildedir:

1. Adım: Başlangıçta $e_{DEC}(x_k(j)) = 0, \forall k, j, \text{E}(r(j)) = 0$ ve $\text{Var}(r(j)) = \sigma_n^2 + \sum_{k=1}^K |h_k|^2$,

$\forall j$ olarak alınır. Bunun da sebebi, yine tekrarlı sürece başlanırken KÇ'lerden herhangi bir geribeslemenin olmamasıdır.

2. Adım: TİK işlemleri gerçekleştirilir,

$$e_{ESE}(x_k(j)) = 2h_k \cdot \frac{r(j) - \text{E}(r(j)) + h_k \text{E}(x_k(j))}{\text{Var}(r(j)) - |h_k|^2 \text{Var}(x_k(j))}, \forall j. \quad (2.24)$$

$e_{ESE}(x_k(j)) \Rightarrow e_{ESE}(c_k(j))$ güncellemesi yapılır ve $e_{DEC}(c_k(j))$ ifadesinin hesaplanması için SO kod çözme işlemi uygulanır. Daha sonra tekrardan $e_{DEC}(c_k(j)) \Rightarrow e_{DEC}(x_k(j))$ serpiştirilmesi ile TİK'ye geri besleme yapılır.

$$E(x_k(j)) = \tanh(e_{DEC}(x_k(j))/2), \forall j, \quad (2.25)$$

$$\text{Var}(x_k(j)) = 1 - (E(x_k(j)))^2, \forall j, \quad (2.26)$$

$$E(r(j)) = E(r(j)) + h_k \Delta E(x(j)), \forall j, \quad (2.27)$$

$$\text{Var}(r(j)) = \text{Var}(r(j)) + |h_k(j)|^2 \Delta \text{Var}(x(j)), \forall j. \quad (2.28)$$

Eşitlik (2.27) ve (2.28)'deki $\Delta E(x(j))$ ile $\Delta \text{Var}(x(j))$ ifadeleri sırasıyla şu şekildedir,

$$\Delta E(x(j)) = E(x_k(j)) \Big|_{\text{güncel iterasyon}} - E(x_k(j)) \Big|_{\text{birönceki iterasyon}}, \quad (2.29)$$

$$\Delta \text{Var}(x(j)) = \text{Var}(x_k(j)) \Big|_{\text{güncel iterasyon}} - \text{Var}(x_k(j)) \Big|_{\text{birönceki iterasyon}}. \quad (2.30)$$

3. Adım: Eğer $k = K$ ise $k = 1$ alınmakta, diğer durumlarda k değeri 1 arttırılıp, 1. Adım'a geri dönülür.

SBÇE sistemleri için geliştirilmiş olan KKA algoritmaları direk olarak KBÇE sistemlerine de uygulanabilmektedir [23]. Seri ve paralel KKA algoritmaları hemen hemen aynı karmaşıklığa sahiptir. Bununla birlikte performans olarak yakınsama hızları da birbirine göre farklılıklar göstermektedir. Fakat SBÇE sistemlerinde her iki KKA algoritması birbirine yakın BHO başarımı sergilemektedir. Bu karşılaştırma ile ilgili detaylı analizler BHO başarımlarının verildiği bölümde sunulmaktadır. KKA algoritmaları, işlemsel karmaşıklığının K eşzamanlı kullanıcı sayısından bağımsız olması gibi büyük bir avantaja sahiptir. Fakat bununla beraber her bilgi bitinin algılanmasındaki işlemsel karmaşıklığının ise bandgenişiği faktörü ile lineer bir şekilde artış göstermesi gibi bir dezavantaja da sahiptir [4, 5, 23].

3. BÖLÜM

SERPIŞTİRİCİ TASARIMLARI

Serpiştirici uygulamaları ilk olarak turbo kodların üretim aşamalarında, iki özyinelemeli kodlayıcı arasında kullanılmıştır [7]. Serpiştirme kavramının çoklu erişim sistemlerine uygulanması ile performans iyileşimi ve ÇEG sorununun engellenmesi yönünden avantajları çalışma [16]'da gösterilmiştir. Bu nedenle, KBÇE sistemlerinin özel bir formu olan SBÇE sistemleri ortaya çıkmıştır [5, 23]. SBÇE sistemleri daha öncede belirtildiği gibi kullanıcının ayırt edilme işlemini serpiştirme ilkelerine dayalı olarak gerçekleştirmektedir [1-3]. Bit seviyeli ve kırmık seviyeli serpiştiriciler olmak üzere serpiştirici blokları iki türlü işlem görmektedir. Eğer serpiştirici bloğu direk olarak bilgi dizisinin bitlerine uygulanıyorsa bit seviyeli serpiştirme, yayılmış olan J kırmıklı diziye uygulanıyorsa kırmık seviyeli işlem gördüğü ifade edilmektedir [23].

Literatürde, SBÇE sistemleri için daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi kırmık seviyeli birçok serpiştirme tekniği geliştirilmiştir. Bunlardan biraz daha detaylı olarak bahsetmek gerekirse, Pupeza ve arkadaşları [84]'teki çalışmada, serpiştirme bloklarının üretimini iki temel kriter üzerine kurmuşlardır. Bunlardan ilki, serpiştirme bloğunun kolay ve basit bir şekilde üretilmesi, diğeri ise oluşturulan herhangi iki serpiştirici dizisinin birbirine göre çakışma göstermemesidir. Bu kavramlar gözetilerek, “ortogonal (veya dikgen),” “sözde (yalancı) rastgele” ve “iç-içe” serpiştirici diye adlandırdıkları farklı kırmık seviyeli serpiştirici tekniklerini sunmuşlardır. Bu üretim tekniklerine ilaveten, kırmık seviyeli serpiştiricilerin birbirlerine göre ilintilerini belirlemede kullanılmak üzere, bir sınır kuralı önermişlerdir. [85]'te sunulan çalışmada ise Hao ve Hoehner serpiştirme bölmeli çoğullama sistemlerine yönelik “Helical serpiştirici” diye adlandırılan sarmal yapıda kırmık seviyeli bir serpiştirici önermiştir. Serpiştirme bölmeli çoğullama sistemlerinin önerilen bu kırmık seviyeli serpiştirici ile başarımları analiz edilmiştir. Başarım analizi sonucunda literatürde temel alınan normal rastgele

kırmık seviyeli serpiştiricinin kullanıldığı serpiştirme bölmeli çoğullama sistemi ile aynı başarıyı gösterdiği ancak kırmık seviyeli Helical serpiştiricinin üretim zamanının diğer kırmık seviyeli serpiştirici türlerine oranla daha üstün olduğu vurgulanmıştır. Wu ve arkadaşları [86]'daki çalışmada SBÇE sistemlerine yönelik “kuvvet serpiştiricisi” diye adlandırılan yeni bir kırmık seviyeli serpiştirme mantığı geliştirmişlerdir. Kuvvet serpiştirici bloğunun kullanımı ile sistem performansı rastgele kırmık seviyeli serpiştiriciye benzer fakat kırmık seviyeli serpiştirici bloğu için kullanılan hafıza miktarında bir azalma olduğu tespit edilmiştir. [87-90]'da sunulan çalışmalarda benzetim olarak ağaç tabanlı yeni bir kırmık seviyeli serpiştirici bloğu tasarımı sunulmuştur. Bu çalışmalarda da kullanılan hafıza miktarında elde edilen avantajlardan bahsedilmiştir. [91-97]'de çalışmalarda da benzer kırmık seviyeli serpiştirici tasarım örnekleri verilmiştir.

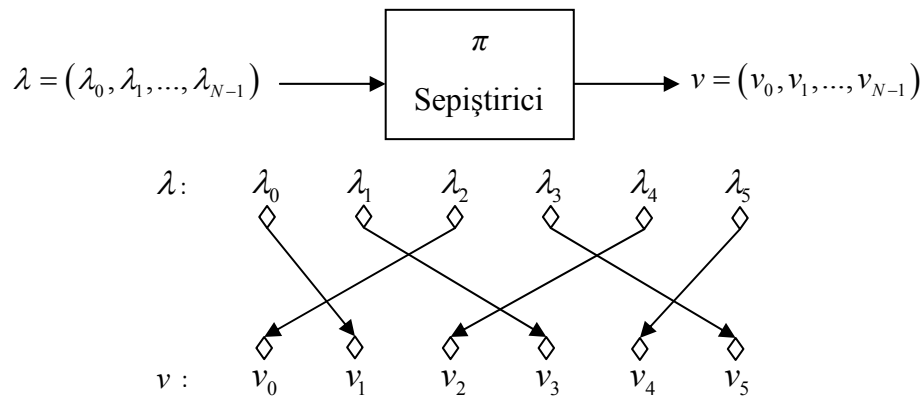
Genel olarak tanımlama yapmak gerekirse bir serpiştirici, bilgi kaynağının ürettiği N uzunluklu dizideki simgelerin yerlerini değiştirerek serpiştirme bloğu çıkışında, girişindeki bilgi dizisi ile ilişkisi minimum düzeyde olan yeni bir dizi oluşturmaktadır. Bu amaçla literatürde yukarıda ve birinci bölümde de bahsedildiği gibi, çeşitli kırmık seviyeli serpiştirici üretme yöntemleri geliştirilmiştir. Oluşturulma yöntemlerine göre serpiştiriciler rastlantısal ve cebirsel olarak iki gruba ayrılmaktadırlar. Farklı uzunluklu diziler için bu serpiştiricilerin hata başarımları değişiklik göstermektedir. Genellikle rastgele serpiştiriciler büyük uzunluklu dizilerde, cebirsel olanlar ise düşük uzunluklu dizilerin serpiştirilmelerinde iyi sonuçlar vermektedir [97].

Bir başka tanımlama yapmak gerekirse bir serpiştirici, önceden belirlenmiş fonksiyonu sayesinde girişindeki dizide var olan bitlerin yerlerini değiştirerek çıkışında, giriş dizisiyle olabildiğince ilişkisiz bir dizi üreten yapıdır. Giriş dizisinde birbirine komşu veya yakın olan bitler serpiştiricinin çıkışında birbirlerinden uzaklaştırılarak giriş dizisiyle çıkış dizi arasındaki ilişki azaltılmaktadır [97]. Örneğin Şekil 3.1 incelendiğinde, bir serpiştirici bloğunun N uzunluklu giriş bilgi dizisi $\lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{N-1})$ şeklinde kabul edilmektedir. Serpiştirici bloğunun çıkışında λ dizisinin her elemanını $\nu = (\nu_0, \nu_1, \dots, \nu_{N-1})$ 'nin her bir biti ile eşleştirildiği görülmektedir. Bir başka deyişle, ν dizisi, λ dizisinin elemanlarının bir permütasyonudur. Eğer ν ve λ dizileri Şekil 3.1'de gösterildiği gibi N uzunluklu

vektör şeklinde olduğu düşünülürse, λ dizisinin her elemanı ile ν dizisinin her elemanı arasında $\lambda_i \Leftrightarrow \nu_i$ bire bir eşleşme durumu söz konusudur. Şekil 3.1'den de görüldüğü gibi belirli bir düzene göre λ dizisi ν dizisine dönüşmektedir. Bununla birlikte, uzunluğu N olan dizinin elemanlarının indislerini gösteren küme $\Lambda = \{0, 1, 2, 3, \dots, N-1\}$ şeklinde belirtilerek indis eşleme fonksiyonu $\pi(i) = j; i, j \in \Lambda$ şeklinde tanımlanırsa, serpiştirme vektörü şu şekilde gösterilebilir [97],

$$\vec{\pi}_N = [\pi(0), \pi(1), \pi(2), \dots, \pi(N-1)] \quad (3.1)$$

$\pi(i)$ fonksiyonu $0 \leq i < N$ için $0 \leq j < N$ çıkışını veren bir serpiştirme fonksiyonudur. Yani bu fonksiyon farklı i değerleri için farklı j değerleri veren bir fonksiyondur. Bu durum ise $\pi(i) \neq \pi(j), \forall i \neq j$ şeklinde ifade edilmektedir. Serpiştirme bloklarının serpiştirme fonksiyonları belirli bir olasılık dağılım fonksiyonuyla rastlantısal ya da cebirsel olarak oluşturabilmektedir [97]. Cebirsel serpiştirici örneklerinin serpiştirme fonksiyonları formüleştirebilir fonksiyonlardır. Rastlantısal serpiştiriciler de belli bir olasılık dağılım fonksiyonu sayesinde tasarlanarak rastgele sayıların üretimi ile gerçekleştirilmektedirler.



Şekil 3.1. $\pi = (2, 0, 4, 1, 5, 3)$ 'e göre serpiştirme işleminin temsili gösterimi [98].

Küçük uzunluklu diziler için serpiştirme vektörü oluşturulurken, ardışık iki komşu bitin konumlarının birbirlerinden uzaklaşma olasılığının küçük olmasından dolayı, küçük uzunluklu diziler için rastlantısal serpiştiricilerin başarımı cebirsel serpiştiricilerin başarımından kötü olduğu ifade edilmektedir. Büyük uzunluklu diziler için ise tam tersi bir durum söz konusu olmaktadır [97].

Literatürde SBÇE sistemleri için temel alınan normal rastgele kırmık seviyeli serpiştiriciler, adresleme işlemini gerçekleştirirken 0 ile 1 arasında üretilen düzgün dağılımlı bir rastgele rastlantı değişkenini kullanmaktadır. Bu çalışmada ise SBÇE sistemlerinde her kullanıcının J kırmık uzunluğuna sahip dizilerinin yeniden adreslenmesi sırasında Rayleigh dağılımlı rastgele rastlantı değişkenleri temel alan ve “Rayleigh serpiştirici” diye adlandırılan yeni bir rastgele kırmık seviyeli serpiştirici yaklaşımı önerilmiştir. Bunun yanı sıra, rastlantısal serpiştiricilere bir diğer örnek olarak, Weibull dağılımlı rastgele rastlantı değişkenleri temel alan ve “Weibull serpiştirici” diye adlandırılan yeni bir kırmık seviyeli serpiştirici tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Üretim türüne göre hem rastlantısal hem de cebirsel özellikleri taşıyan kırmık seviyeli karma ve uyarlanmış blok serpiştirici tasarımları da sunulmuştur. Bunlara ek olarak, serpiştirme bölmeli çoğullama sistemleri için tasarlanmış olan ve [85]’te verilen Helical kırmık seviyeli serpiştiricinin SBÇE sistemlerine uyarlaması yapılmıştır. Bu kırmık seviyeli serpiştirici tasarımlarının hepsi MATLAB benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir. Kırmık seviyeli serpiştirici tasarımlarının detayları bu bölümün alt başlıklarında sırasıyla açıklanmaktadır.

3.1. Rayleigh Serpiştirici Tasarımı

Normal bir rastgele kırmık seviyeli serpiştirici, adresleme işlemini gerçekleştirirken 0 ile 1 arasında üretilen düzgün dağılımlı bir rastgele rastlantı değişkenini kullanmaktadır. Önerilen rastgele serpiştirici yaklaşımında ise adresleme işlemi sırasında Rayleigh dağılımlı rastgele rastlantı değişkenlerini kullanan bir kırmık seviyeli serpiştirici tasarımı gerçekleştirilmektedir [98]. Buna göre SBÇE sistemlerindeki her bir kullanıcının J uzunluklu dizilerinin yeniden adreslenmesi için Rayleigh rastlantı değişkeni esas alınmaktadır. Rayleigh dağılımlı rastlantı değişkeni şu şekilde elde edilebilir,

$$x = \sigma \sqrt{-2 \ln(1-U)} \quad (3.2)$$

burada U , (0,1) aralığında düzgün dağılımlı bir değişken olarak belirtilmektedir. σ ise standart sapma olarak ifade edilmektedir. Eşitlik (3.2) ile tanımlanan Rayleigh dağılımlı rastlantı değişkeni tasarım gerçekleştirilirken MATLAB ortamında adresleme

işlemlerinde kullanılmaktadır. Bunun sonucunda eşitlik (3.2)'de belirtilen Rayleigh dağılımlı rastgele rastlantı değişkeni kullanılarak elde edilen kırmık seviyeli serpiştiricinin SBÇE sistemlerindeki BHO başarımı normal kırmık seviyeli rastgele serpiştiricinin kullanıldığı sistemin BHO başarımından daha üstün olduğu dördüncü bölümde sunulan başarımların analizleri ile gösterilmiştir. Böylelikle Rayleigh kırmık seviyeli serpiştirici ile serpiştirme işleminin rastgeleliğinde artış olduğu yorumu yapılabilmektedir.

3.2. Weibull Serpiştirici Tasarımı

Bu kırmık seviyeli serpiştirme modelinde, adresleme işlemini gerçekleştirirken 0 ile 1 arasında üretilen düzgün dağılımlı bir rastgele rastlantı değişkeninin yerine Weibull dağılımlı bir rastlantı değişkeni kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı bu kırmık seviyeli rastgele serpiştirici yaklaşımına “Weibull serpiştirici” denilmektedir. Adresleme işlemi sırasında Eşitlik (3.3)'te tanımlanan Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak üretilen Weibull rastlantı değişkeni kullanılmaktadır. Buna göre Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıda gösterildiği gibi ifade edilmektedir,

$$f_x(x) = \frac{cx^{c-1}}{\gamma} \exp\left(-\frac{x^c}{\gamma}\right) \quad (3.3)$$

burada c sönümlenme parametresi ve γ ölçekleme parametresidir [99]. c sönümlenme ve γ ölçekleme parametrelerinin aldığı değerlere göre Weibull dağılımı, Nakagami- m ve Rayleigh dağılımı durumlarına dönüşmektedir. Bu kırmık seviyeli rastgele Weibull serpiştirici tasarımı MATLAB ortamında gerçekleştirilirken, eşitlik (3.3)'te tanımlanan olasılık yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak Weibull dağılımlı rastlantı değişkeni üreten ve programda mevcut olan gömülü bir komuttan yararlanılmaktadır.

SBÇE sistemlerinde, Weibull serpiştiricinin kullanılması ile elde edilen BHO başarımı performansları bir sonraki bölümde verilmektedir. Bu başarımların sonuçları ele alındığında Weibull serpiştiricinin SBÇE sistemlerine uyumlu ve iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

3.3. Karma Serpiştirici Tasarımı

Bu kısımda anlatılan serpiştirici tasarımı örneğinde, daha önce [97]'de turbo kodların başarımına olumlu olarak etki eden, cebirsel ve rastlantısal serpiştirici birleşimi olan karma serpiştirici tasarımı ele alınmaktadır. SBÇE sistemleri için gerçekleştirilen kırkık seviyeli karma serpiştirici tasarımı dört aşamadan meydana gelmektedir. Bunlardan ilki, SBÇE sistemlerindeki her kullanıcıya ait olan serpiştirme dizilerinin ayrı ayrı ele alınması ve her bir kullanıcıya ait serpiştirme dizilerine diğer üç aşamanın uygulanması olarak sıralanmaktadır. İkinci aşamada, J uzunluklu dizi simge uzunluğu G olan ve $G < J$ olacak şekilde alt gruplara ayrılmaktadır. Üçüncü aşamada bu alt gruplar kendi aralarında seçilen cebirsel serpiştirme ilkesine göre serpiştirilmektedir. Serpiştirme yeteneği bakımından en iyi cebirsel serpiştiricilerden olan sarmal serpiştirici, kırkık seviyeli karma serpiştiricinin alt gruplarının kendi aralarındaki serpiştirilmesinde kullanılmaktadır. Son olarak dördüncü aşamada, her G uzunluklu gruplardan rastgele bir biçimde konumlar seçilmektedir [97].

Tasarımın üçüncü aşamasındaki alt grupların kendi aralarında serpiştirilmesini detaylandırmak gerekirse, burada daha öncede belirtildiği gibi cebirsel serpiştiricilerden olan sarmal serpiştirici kullanılmakta ve bu sarmal serpiştirici için $(m \times n)$ 'lik matris tanımlaması gerekmektedir.

$$k_0 = \frac{m+n}{2} \rightarrow \begin{cases} \beta_x = \begin{cases} 0 & m - k_0 \leq 0, \\ m - k_0 & m - k_0 > 0 \end{cases} \\ \beta_y = \begin{cases} 0 & n - k_0 \leq 0, \\ n - k_0 & n - k_0 > 0 \end{cases} \end{cases} \rightarrow \beta = \beta_x + \beta_y \times m \quad (3.4)$$

Burada elde edilen β ifadesi ile eşitlik (3.5)'de belirtildiği gibi alt grupların yerleri değiştirilmektedir.

$$G_b = [G_a \times (m+1) + \beta] \bmod(m \times n), \quad (3.5)$$

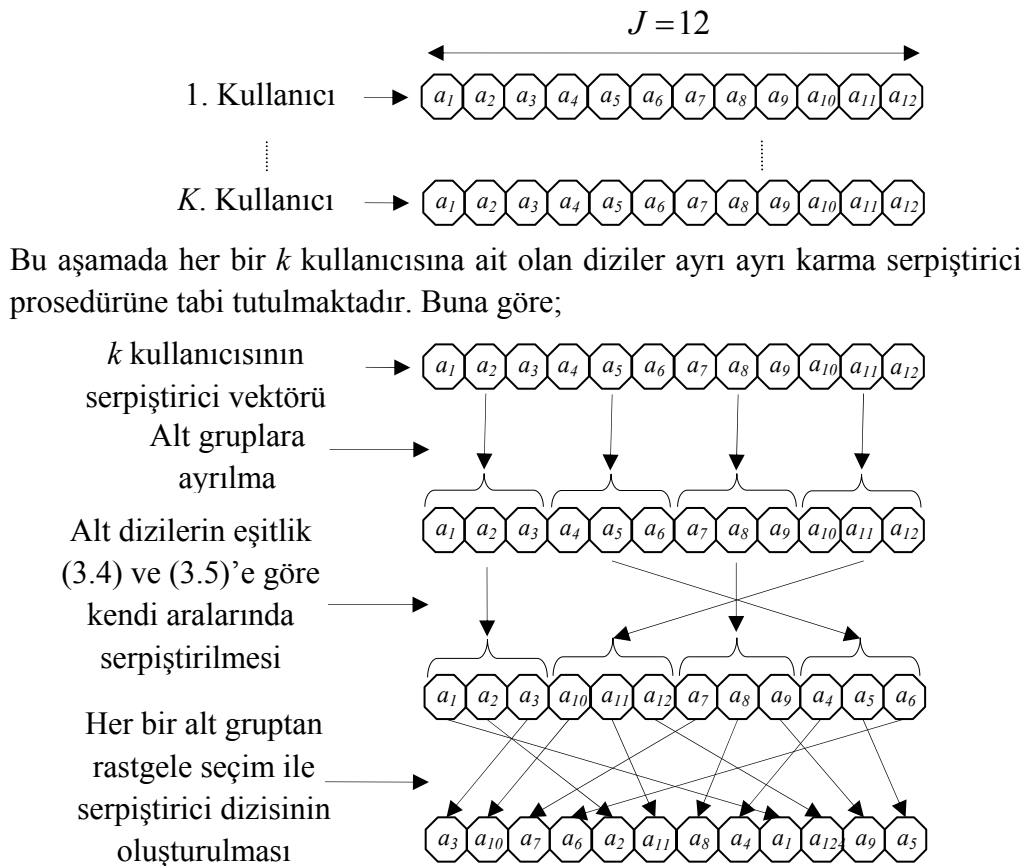
$$a = \{0, 1, \dots, J_G - 1\}$$

Sarmal serpiştirici, tanımlanan bu $(m \times n)$ 'lik matrise dayalı olarak serpiştirme yapmaktadır. Bu serpiştirme Eşitlik (3.4) ve (3.5)'te verilen bağıntılar yardımı ile

gerçekleştirilmektedir. Eşitlik (3.5)'e göre J uzunluklu dizi içinde $J_G = (m \times n)$ tane alt gruptan G_b alt grubunun konumunu G_a alt grubunun konumuyla yer değiştirmektedir. Bu aşamadan sonra son aşamadaki her gruptan bir konumu rastgele bir biçimde seçme işlemi yapılmaktadır. Bunun için $\text{Rand}(\cdot)$ komutu kullanılarak $a = i \bmod(G)$ alt bloğundaki G tane konum arasından birini rastgele seçmektedir. Buna göre,

$$j = \pi(i) = \text{Rand}(G_{i \bmod(G)}), \quad i = \{0, 1, 2, 3, \dots, J-1\} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir [97]. Böylelikle kırkık seviyeli karma serpiştirici işlemi tamamlanmaktadır.



Şekil 3.2. Herhangi bir k kullanıcıya ait kırkık uzunluğu 15 olan serpiştirici dizisi için $(2 \times 2 \times 3)$ karma serpiştirici prosedürü [99].

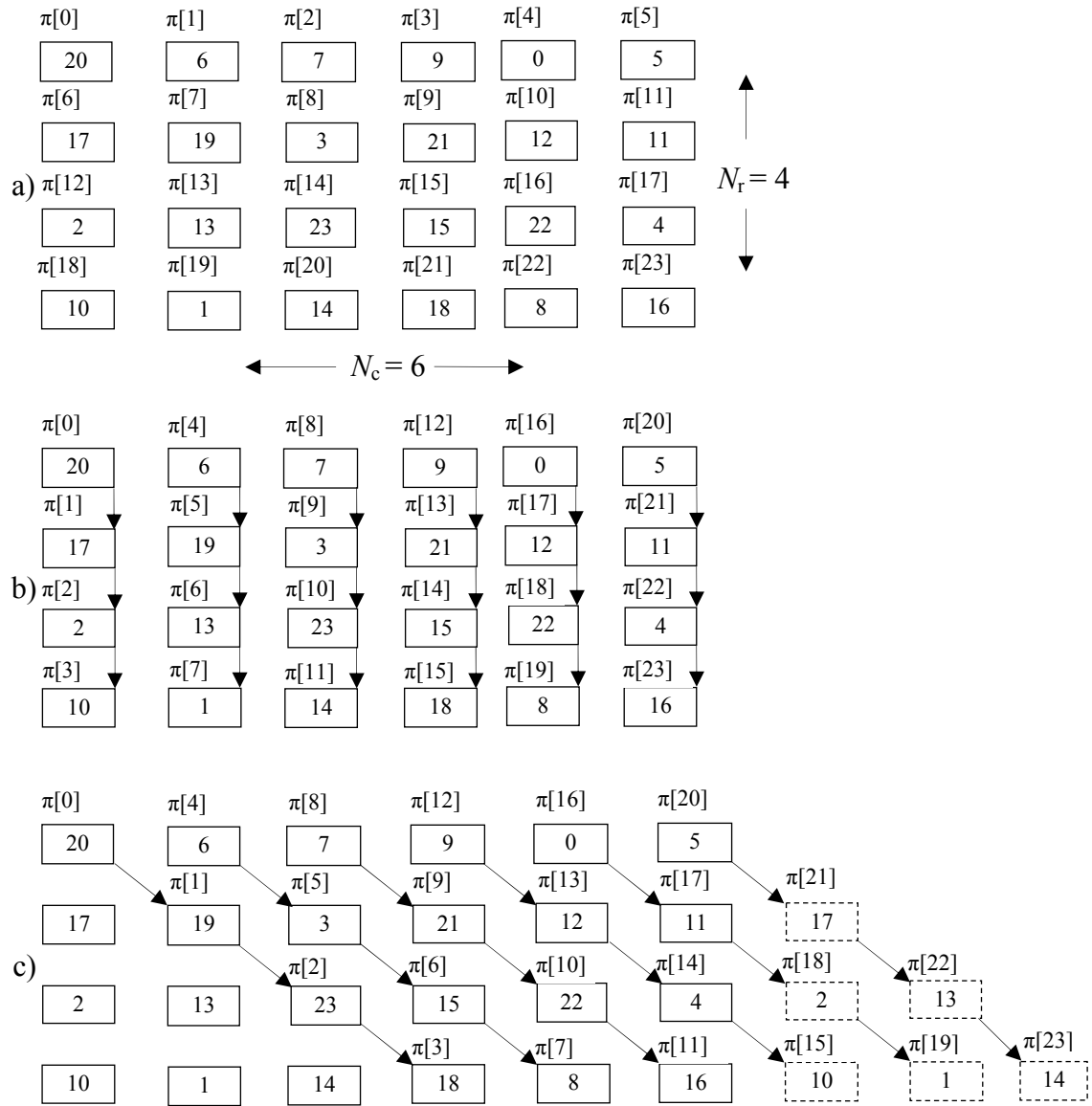
Kırmık seviyeli karma serpiştiricinin tasarım aşamasının daha iyi anlaşılması için $(m \times n) = (2 \times 2)$ ve 4 tane alt gruptan oluşan ve her bir alt grubun uzunluğu $G=3$ olan dizinin karma serpiştirilme ilkesinin şematik gösterimi Şekil 3.2'deki gibidir. İncelenen SBÇE sisteminde serpiştirilen her bir dizi bir kullanıcıya ait olmaktadır. Diğer bir ifadeyle serpiştirilen diziler $(K \times J)$ 'lik bir matris oluşturmaktadır. Burada K eşzamanlı kullanıcı sayısını, J ise kırmık uzunluğunu ifade etmektedir. SBÇE sistemlerinde grup sayısı sabit tutulduğunda, karma serpiştiricinin J kırmık uzunluğu arttıkça, G alt grup uzunluğunun da büyümesi sağlanmış olmaktadır. Eğer G alt grup uzunluğu sabit tutulursa, grupların sayısında artış meydana gelmektedir. Karma serpiştiricinin küçük uzunluklu diziler için en kötü hata başarımı, içinde barındırdığı cebirsel serpiştiricinin hata başarımına eşittir [97].

Küçük uzunluklu diziler için alt grup uzunluğu en kötü durumda $G=1$ olmaktadır. Bu durumda karma serpiştirici sarmal serpiştiriciye dönüşmekte ve hata başarımı küçük uzunluklu gruplar için yine de iyi kaldığı gözlenmektedir. Kırmık seviyeli karma serpiştiricinin de MATLAB benzetim ortamı yardımıyla gerçekleştirilen SBÇE sistemlerindeki BHO hata başarımı ile ilgili sonuçlar dördüncü bölümde verilmektedir.

3.4. Helical Serpiştirici Tasarımı

Hao ve Hoehner [85]'teki çalışmada, serpiştirme bölmeli çoğullama sistemleri için verimli bir kırmık seviyeli serpiştirici tasarımını sunmaktadır. Bu kırmık seviyeli serpiştiricinin adı "Helical serpiştirici" olarak belirlenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde kırmık seviyeli Helical serpiştiricinin SBÇE sistemlerinin BHO başarımına etkisini incelenmek için SBÇE sistemlerindeki uygulamasına yönelik açıklamalar verilmektedir. Başlangıçta temel bir serpiştirici dizi içeriğinin oluşturulması ve bu temel serpiştirici dizisinin her bir kullanıcıya ait serpiştirme dizileri için kullanılması, kırmık seviyeli Helical serpiştirici üretiminin kolay bir stratejiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu temel serpiştirici dizisine "master serpiştirici" denilmektedir. Bu temel serpiştiriciden diğer serpiştirici indeksleri oluşturulmaktadır. Buna göre Helical serpiştiricinin $J = 24$ kırmık uzunluğuna sahip bir SBÇE sistemi için birinci ve ikinci kullanıcıya ait serpiştirici dizilerinin üretim aşamaları Şekil 3.3'te gösterildiği gibidir. Kırmık seviyeli

Helical serpiştiricilerinin oluşturulmasından detaylı olarak bahsetmek gerekirse, ilk aşamada master serpiştirici rastgele bir biçimde oluşturulmaktadır.



Şekil 3.3. a) $\pi = [20, 6, 7, \dots, 18, 8, 16]$ master serpiştirme dizisi indekslerinin matris formunda gösterilmesi. b) Birinci Helical serpiştiricinin oluşturulması. c) İkinci Helical serpiştiricinin oluşturulması ($J = 24$, $N_r = 4$ ve $N_c = 6$ için) [85].

Daha sonra bir sonraki alt başlıkta anlatılan kırmık seviyeli uyarlanmış blok serpiştiriciye benzer şekilde bu master serpiştirici matris formunda yazılmaktadır. Bu matris formunun satır ve sütun sayıları sırasıyla burada N_r ve N_c ile ifade

edilmektedir. Bir sonraki aşamada ise sistemdeki kullanıcı sayısı kadar kırmık seviyeli Helical serpiştirici indeksleri aşağıda tanımlanan ifadeler yardımıyla elde edilmektedir [85],

$$\pi_k [i] = \pi \left[l_{\text{mod } J} \right], 0 \leq i \leq J, \quad (3.7)$$

burada,

$$l = i_{\text{mod } N_r} \cdot N_c + \left(\left\lfloor \frac{i}{N_r} \right\rfloor + (i_{\text{mod } N_r} \cdot (k-1)) \right)_{\text{mod } N_c}. \quad (3.8)$$

Bu şekilde elde edilen kırmık seviyeli Helical serpiştiriciler, SBÇE sistemindeki her bir kullanıcıya atanarak serpiştirme işlemini tamamlamaktadır. Buna ek olarak k . kullanıcıya ait serpiştirme indeksleri oluşturulurken aşağıda verilen ifade ile eşitlik (3.7) genelleştirilebilmektedir.

$$\pi_k [i] = \pi \left[(l + k \cdot H)_{\text{mod } J} \right], \quad (3.9)$$

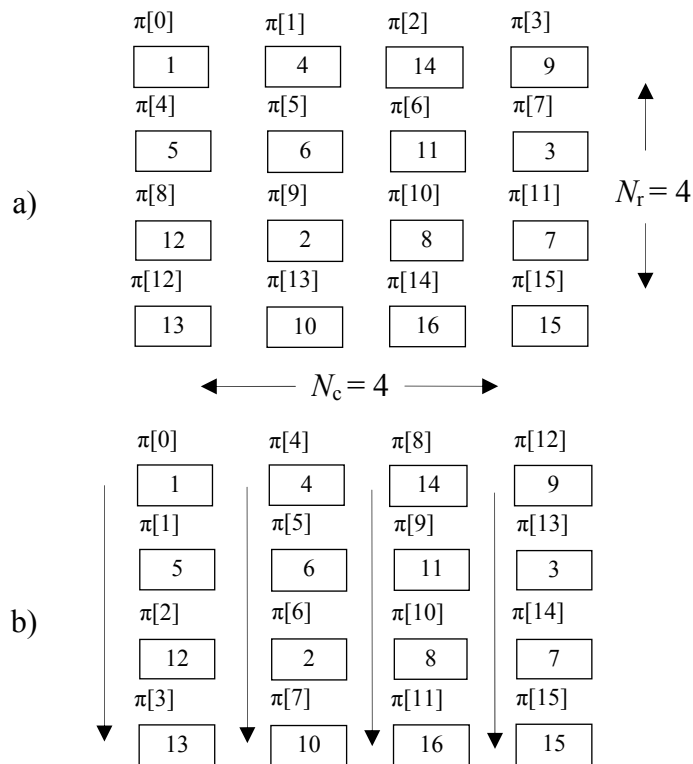
burada H sabit bir tam sayıdır ve serpiştiriciler arasındaki kaymayı tanımlamaktadır. Bu sebepten dolayı H kayma faktörü diye adlandırılmaktadır. Bu arada gerçekleşen kırmık seviyeli Helical serpiştirici için bütün anlatılan işlemler MATLAB ortamında SBÇE sistemlerine uyarlanarak gerçekleştirilmiştir. $\pi = [20, 6, 7, \dots, 18, 8, 16]$ master serpiştiricisi için kırmık seviyeli birinci ve ikinci Helical serpiştiricilerinin oluşumunun temsili gösterimi Şekil 3.3'te verilmektedir.

3.5. Uyarlanmış Blok Serpiştirici Tasarımı

Bir serpiştirici temel olarak, bir dizide bulunan komşu bitleri birbirleriyle en az seviye ilişkide bulunacak şekilde yerlerini değiştirmektedir. Bu amaç doğrultusunda [100]'de verilen klasik blok serpiştirici yapısı göz önüne alınarak, SBÇE sistemlerine yönelik yeni bir kırmık seviyeli serpiştirici bloğu tasarımı çalışmanın bu bölümünde sunulmaktadır. Önerilen bu yeni kırmık seviyeli serpiştirici modeline “uyarlanmış blok serpiştirici” adı verilmektedir. Bu kırmık seviyeli serpiştirici modeli Şekil 3.4'te

gösterildiği gibi, SBÇE sistemlerinde kullanıcıya özgü serpiştirici dizisinin oluşturması açısından oldukça basit bir stratejiye sahiptir.

Kırmık seviyeli uyarlanmış blok serpiştirme modeli de daha önceki alt başlıklarda anlatılan kırmık seviyeli karma serpiştiriciye benzer olarak, oluşturulma yöntemine göre hem raslantısal hem de cebirsel özellikleri taşımaktadır.



Şekil 3.4. $J=16$, $N_r=4$ ve $N_c=4$ için a) Her bir kullanıcının serpiştirme dizisi indekslerinin matris formunda gösterilmesi. b) Uyarlanmış blok serpiştirme stratejisinin uygulanması.

SBÇE sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış olan kırmık seviyeli uyarlanmış blok serpiştirici oluşturulma yöntemi şu şekilde özetlenebilir:

- 1. Adım:** Başlangıçta, SBÇE sistemindeki her bir kullanıcının serpiştirme dizilerinin indeksleri rastgele bir şekilde yer değiştirilip, elde edilen tek boyutlu vektörler her bir kullanıcıya ayrı ayrı atanmaktadır. Bu işlemin MATLAB ortamında gerçekleştirilmesi için adresleme bilgilerini rastgele sıralayan ve programda gömülü

olarak bulunan bir komut kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu aşamadaki serpiştirme işlemi rastlantısal olarak, birbirlerine göre bağımsız ve ilintisiz bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

2. **Adım:** Her kullanıcıya atanan bu serpiştirme dizilerinin indeksleri Şekil 3.4a 'da gösterildiği gibi matris formunda yazılmaktadır. Burada N_c ve N_r sırasıyla matrisin sütun ve satır sayılarını ifade etmekte, ayrıca $J = N_c \cdot N_r$ şeklindedir.
3. **Adım:** Matris formunda oluşturulan her bir serpiştiricinin indeksleri blok serpiştirme prosedürüne göre Şekil 3.4b'de gösterildiği gibi, sütun sütun okunup blok olarak serpiştirme işlemi tamamlamaktadır.

k . kullanıcıya ait kırmık seviyeli uyarlanmış blok serpiştiricinin matematiksel olarak ifadesi aşağıda gösterildiği gibidir,

$$\pi_k [i] = \pi \left[\left(i_{\text{mod } N_r} \cdot N_c + \left\lfloor \frac{i}{N_r} \right\rfloor_{\text{mod } N_c} \right)_{\text{mod } J} \right], 0 \leq i \leq J. \quad (3.10)$$

4. **Adım:** Son olarak elde edilen serpiştirici indeksleri ilgili kullanıcıya atanır. Bu işlem ile birlikte kırmık seviyeli uyarlanmış blok serpiştirici süreci tamamlanmış olmaktadır. Bütün kullanıcıların serpiştirme dizileri için bu işlemler tekrarlanmaktadır.

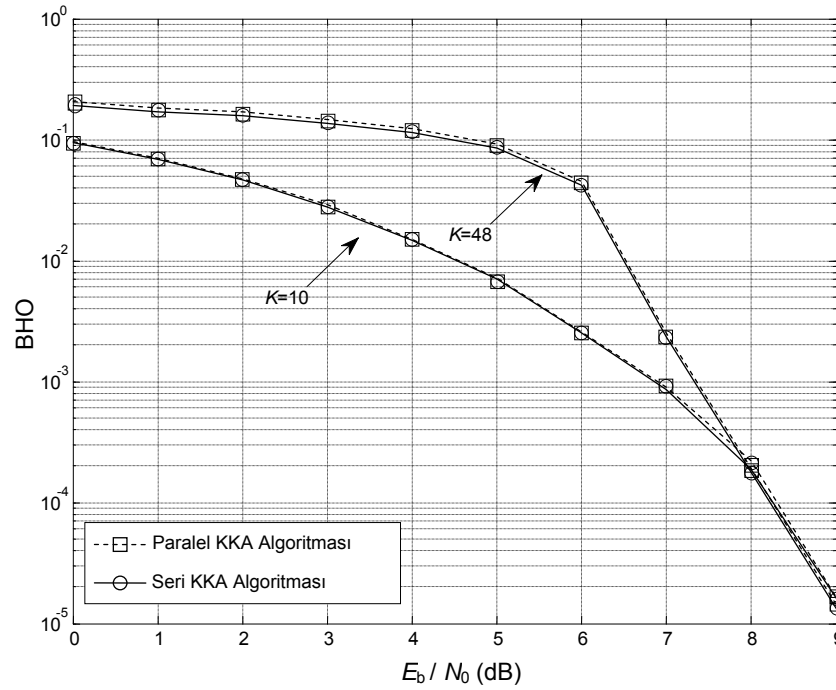
4. BÖLÜM

BAŞARIM ANALİZLERİ

Bu kısımda ilk olarak ikinci bölümde matematiksel olarak açıklamaları yapılan paralel ve seri KKA algoritmalarının BHO başarımları kıyaslanmıştır. Daha sonrasında ise üçüncü bölümde tanıtılan Rayleigh, Weibull, karma, uyarlanmış blok ve Helical kırık seviyeli serpiştiricilerin sistem BHO başarımları üzerindeki analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. Önerilen serpiştirici tasarımları çeşitli senaryolarla birlikte ele alınmıştır. Son olarak, serpiştiricilerin birbirlerine göre kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Bütün başarımlar analizlerinde, N_{bilgi} eşzamanlı kullanıcılara ait bilgi uzunluğunu, S Walsh-Hadamard yayma dizilerinin uzunluğunu, It iterasyon sayısını, B başarımlar analizi için simüle edilen blok sayısını ve K ise eşzamanlı kullanıcı sayısını ifade etmektedir. Ayrıca başarımlar analizlerinde SBÇE sistemleri için BPSK işaretlemesi kullanıldığı ve iletimlerin AWGN kanalı üzerinden gerçekleştiği kabul edilmektedir.

4.1. Paralel ve Seri KKA Algoritmalarının BHO Başarımlar Analizleri

Çalışmanın bu alt başlığında, paralel ve seri KKA algoritmalarının kodlanmamış SBÇE sistemlerindeki BHO başarımları incelenmiştir. Şekil 4.1'de kodlanmamış SBÇE sistemlerindeki paralel ve seri KKA algoritmalarının kıyaslaması verilmiştir. Şekil 4.1'deki kıyaslama çalışmasında literatürde temel alınan normal kırık seviyeli rastgele serpiştirici kullanılmıştır. N_{bilgi} , S , It ve B değerleri sabit alınmış, K eşzamanlı kullanıcı sayısı ise değiştirilmiştir. Sırasıyla bu başarımlar analizinde $N_{\text{bilgi}} = 64$, $S = 32$, $It = 15$ ve $B = 100$ olarak alınmıştır. Bununla beraber $K = 10$ ve $K = 48$ kullanıcı sayıları için seri ve paralel KKA algoritmalarının kodlanmamış SBÇE başarımları verilmiştir.



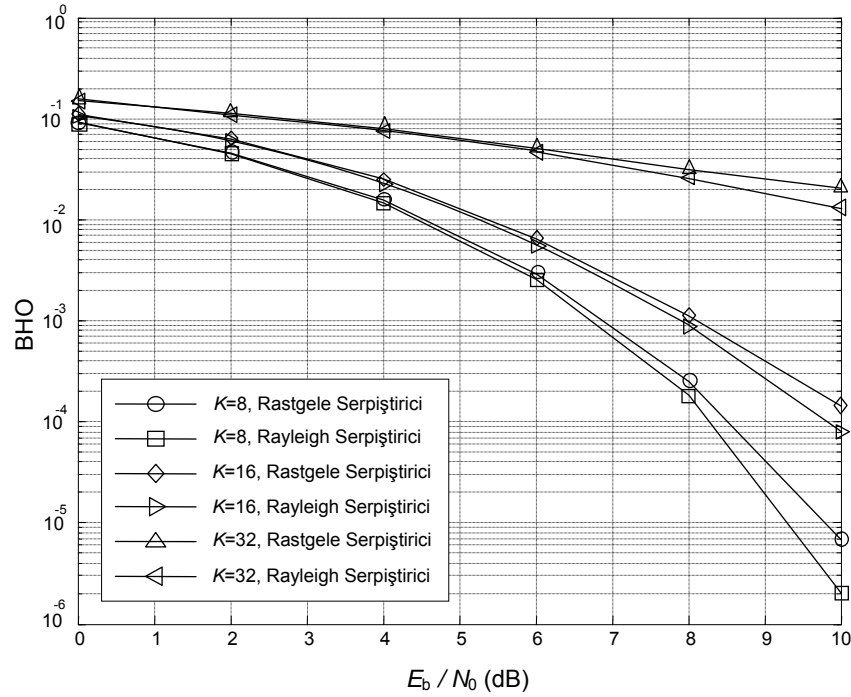
Şekil 4.1. SBÇE sistemlerindeki seri ve paralel KKA algoritmalarının $K = 10$ ve $K = 48$ için BHO başarımı.

Şekil 4.1, SBÇE sistemlerinde seri ve paralel KKA algoritmalarının BHO başarımlarının birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir. Bu sebeple SBÇE sistemlerinin BHO başarımı analizi gerçekleştirilirken seri veya paralel KKA algoritmalarının kullanılmasının, sistemin BHO performansına herhangi bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Fakat seri veya paralel KKA algoritmalarının kullanılması, başarımların elde edilmesi için gerekli olan zaman dilimlerinde farklılıklar göstermektedir. Seri KKA algoritması, paralel KKA algoritmasına oranla, biraz daha hızlı bir şekilde sonuca yakınsamaktadır.

4.2. SBÇE Sistemlerinde Rayleigh Serpiştiricinin BHO Başarımların Analizi

Çalışmanın bu kısmında ise, seri tekrarlı KKA algoritması kullanan kodlanmamış SBÇE sistemlerinde, üçüncü bölümde tasarımı gerçekleştirilen Rayleigh kırık seviyeli serpiştiricinin BHO başarımı üzerindeki etkisi incelenmektedir. Bu inceleme yapılırken SBÇE sistemleri için literatürde temel alınan normal rastgele kırık seviyeli serpiştirici ile önerilen Rayleigh kırık seviyeli serpiştiricinin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4.2’te verilen başarımların analizinde, $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 32$, $It = 30$ ve $B = 1000$ alınarak K eşzamanlı kullanıcı sayısı değiştirilmiştir. Sırasıyla K eşzamanlı kullanıcı sayıları 8,

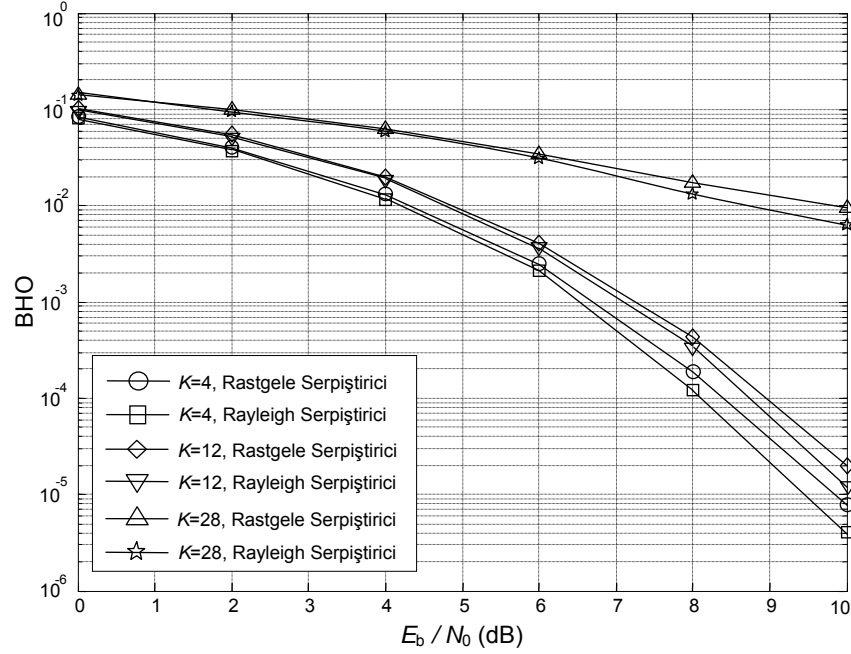
16, ve 32 alınmıştır. Oluşturulan bu senaryo ile SBÇE sisteminin normal rastgele serpiştirici ve Rayleigh serpiştirici kullandığı durumlar için elde edilen BHO başarımı analizleri sunulmuştur.



Şekil 4.2. $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 32$, $It = 30$ ve $B = 1000$ olarak alınan SBÇE sistemlerinde farklı kullanıcı sayıları için normal rastgele serpiştirici ile Rayleigh serpiştiricinin karşılaştırılması [98].

Buna göre Şekil 4.2’de, SBÇE sistemlerinin önerilen Rayleigh serpiştirici ile normal rastgele serpiştiriciye kıyasla daha iyi bir BHO başarım analizi sergilediği açık bir şekilde görülmektedir. Rayleigh serpiştiricinin BHO başarımının iyi olması, K kullanıcı sayısı arttıkça biraz daha azalmaktadır. Yani $K = 8$ iken 8-10 dB aralığındaki BHO başarımı farkı, $K = 32$ durumu için aynı dB aralığındaki BHO başarımına kıyasla daha belirgin bir şekilde olduğu görülmektedir. Şekil 4.3’teki başarım analizinde ise, $N_{\text{bilgi}} = 256$, $S = 32$, $It = 30$ ve $B = 1000$ alınmış olup K eşzamanlı kullanıcı sayıları 4, 12 ve 28 alınarak elde edilen başarım gösterilmiştir. Buradaki senaryoda, Şekil 4.2’te sunulan senaryoya göre kullanıcıların bilgi bitlerinin sayısı iki katına çıkarılmıştır. Bu başarım analizi de incelendiği zaman, Rayleigh serpiştiricinin normal rastgele serpiştiriciye oranla daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 4.2 ve 4.3’te gözlenen daha iyi performans durumunun sebebi olarak, Rayleigh serpiştiricinin tasarımı bölümünde izah

edildiği gibi önerilen kırık seviyeli serpiştiricinin rastgeleliğinin daha iyi olması gösterilmektedir.



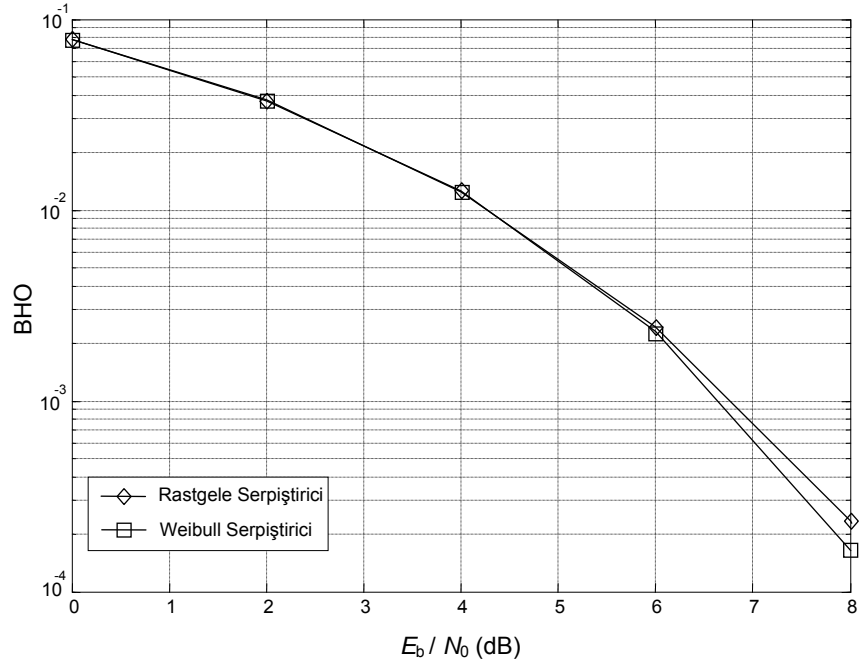
Şekil 4.3. $N_{\text{bilgi}} = 256$, $S = 32$, $It = 30$ ve $B = 1000$ olarak alınan SBÇE sistemlerinde farklı kullanıcı sayıları için normal rastgele serpiştirici ile Rayleigh serpiştiricinin karşılaştırılması [98].

Bu performans iyileşmesine karşılık Rayleigh serpiştiricinin adresleme işlemini gerçekleştirirken hesapsal karmaşıklığının normal rastgele serpiştiriciye göre daha fazla olduğunu vurgulamak gerekmektedir. Bu hesapsal karmaşıklık, her bitin yeniden adreslenmesi için yapılan işlemlere ek olarak fazladan iki tane çarpma ve bir tane çıkarma işlemi olarak belirtilmektedir. Bu durum, $J = 8192$ kırık uzunluğuna sahip bir dizinin serpiştirilmesi için düşünülürse fazladan 24576 daha işlem gerektiğinin göstergesidir. Sonuç olarak, Rayleigh serpiştiricinin BHO başarımının üstün olması için hesapsal karmaşıklığın fazlalığı ödenen bir bedel olarak gösterilebilmektedir.

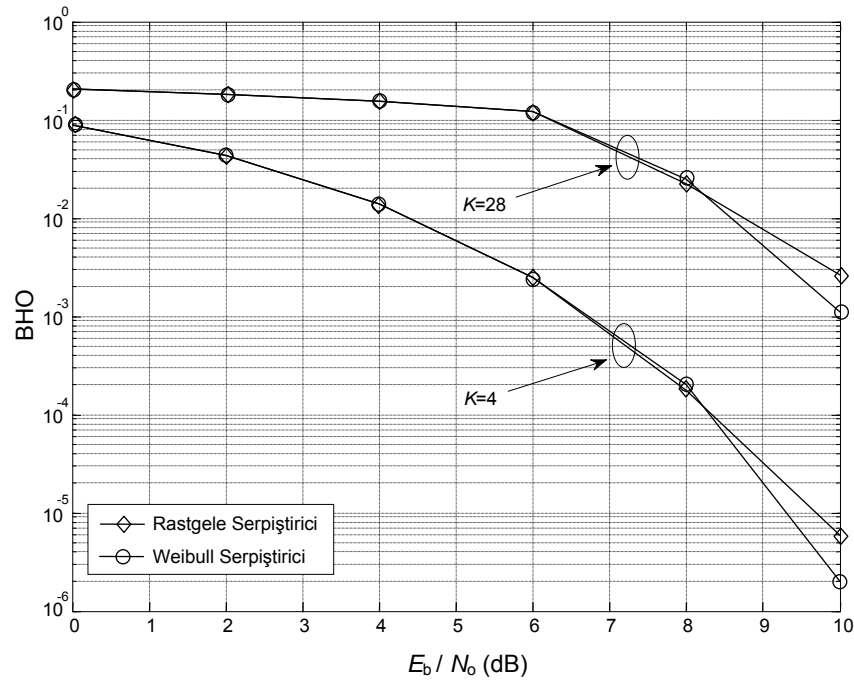
4.3. SBÇE Sistemlerinde Weibull Serpiştiricinin BHO Başarım Analizi

Kodlanmamış SBÇE sistemlerinde bir önceki bölümde tasarımı anlatılan Weibull serpiştiricinin BHO başarımı üzerindeki etkisinin detaylı analizi bu kısımda açıklanmaktadır. Bu inceleme ele alınırken Rayleigh serpiştiricinin BHO incelemesine

benzer şekilde, SBÇE sistemleri için literatürde temel alınan normal rastgele serpiştirici ile kıyaslaması yapılmıştır.



Şekil 4.4. Rastgele ve Weibull serpiştiricilerinin $K = 1$ için SBÇE sistemindeki BHO başarımı.

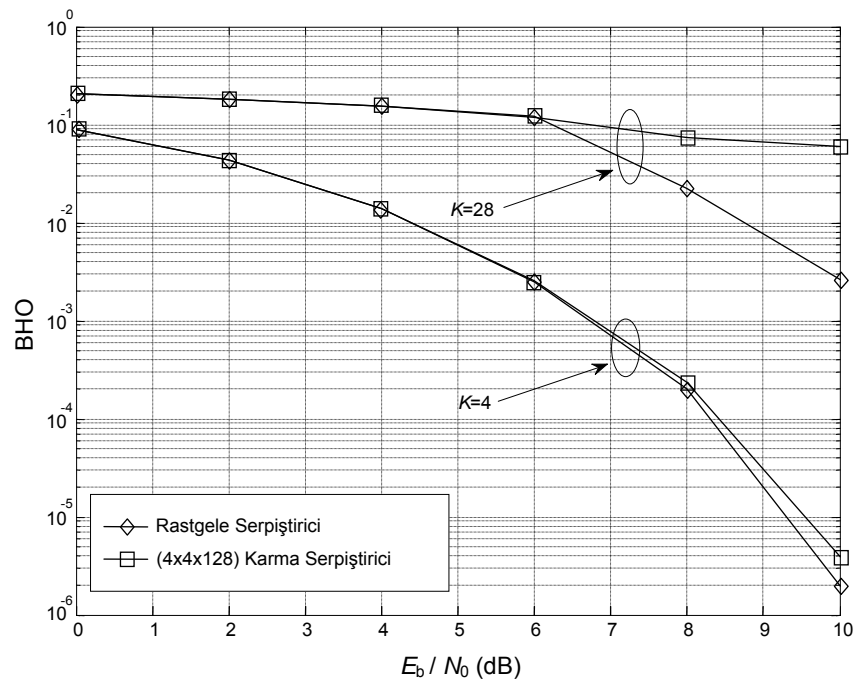


Şekil 4.5. Rastgele ve Weibull serpiştiricilerinin $K = 4$ ve $K = 28$ için SBÇE sistemindeki BHO başarımı.

Şekil 4.4'te, $K = 1$ alınarak Rastgele ve Weibull serpiştiricilerinin kullanıldığı SBÇE sistemi karşılaştırılmıştır. Weibull serpiştirici için $c = 2.5$, $\gamma = 1$ olarak alınmıştır. Buna ek olarak, $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 30$ ve $B = 1000$ alınmıştır. Şekil 4.4'teki başarımların analizine göre, SBÇE sistemi Weibull serpiştirici ile 6 dB'den sonra bir miktar daha iyi başarımlar göstermektedir. Şekil 4.5'te ise $K = 4$ ve $K = 28$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemleri karşılaştırılmıştır. Bu başarımların analizi de incelendiği zaman, Weibull serpiştiricinin rastgele serpiştiriciye oranla nispeten daha başarılı olduğu gözlenmektedir.

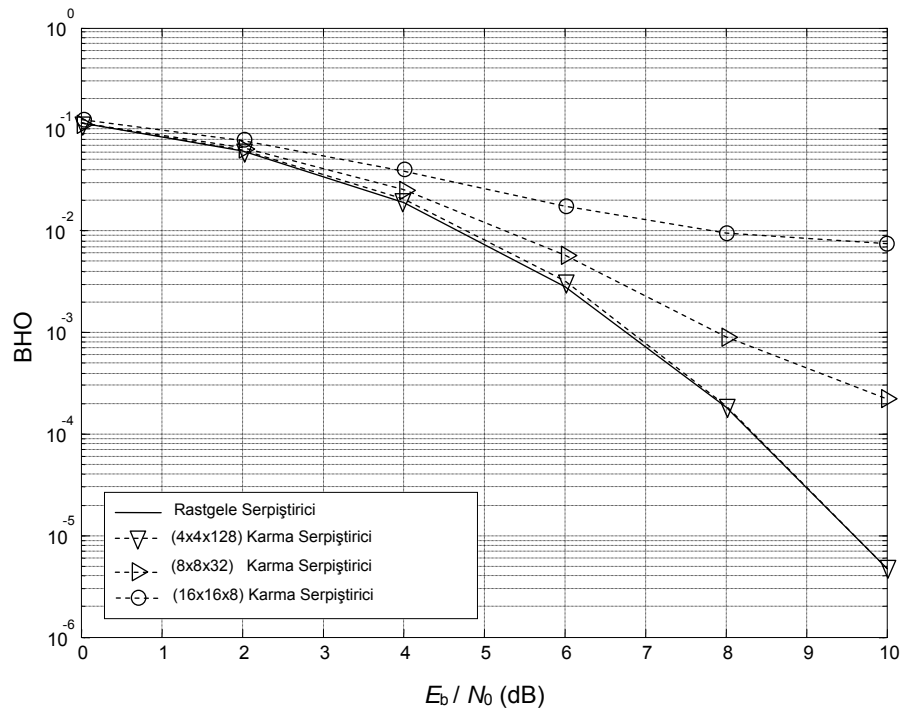
4.4. SBÇE Sistemlerinde Karma Serpiştiricinin BHO Başarımların Analizi

Şekil 4.6'da sunulan başarımların analizinde, daha önce [97]'de turbo kodlar için önerilmiş olan karma serpiştiricinin kodlanmamış SBÇE sistemlerine uyarlaması gerçekleştirilerek normal rastgele serpiştirici ile kıyaslanması verilmiştir. Bu başarımların analizinde karma serpiştirici için $(m \times n \times G)$, $(4 \times 4 \times 128)$ olarak alınmıştır. Bunun anlamı her bir alt grubun uzunluğu 128, bu alt gruplarının sarmal serpiştiriciye göre serpiştirilmesi için gerekli olan m ve n değerleri ise sırasıyla 4 olarak alınmış demektir.



Şekil 4.6. Rastgele ve Karma serpiştiricilerinin $K = 4$ ve $K = 28$ için SBÇE sistemindeki BHO başarımlarını.

Bu başarımlar analizinde $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 30$ ve $B = 1000$ değerleri alınmış olup, $K = 4$ ve $K = 28$ eşzamanlı kullanıcı sayılarına göre BHO başarımları değerlendirilmiştir. Buna göre K kullanıcı sayısı arttıkça karma serpiştiricinin başarımları dikkat çekici bir şekilde azalmaktadır. Bunun da nedeni, her bir kullanıcının serpiştirici dizilerinin aynı şekilde alt gruplara ayrılması ve yine aynı alt gruplardan rastgele konumların seçilmesi olarak belirtilebilir. Diğer bir ifadeyle, eşzamanlı kullanıcı sayısı arttıkça serpiştirici matrisinin satır sayısı artmakta ve serpiştirilen her bir dizi benzer yolla serpiştirildiği için adresleme dizilerinin birbirlerine yakınlığı artmaktadır.



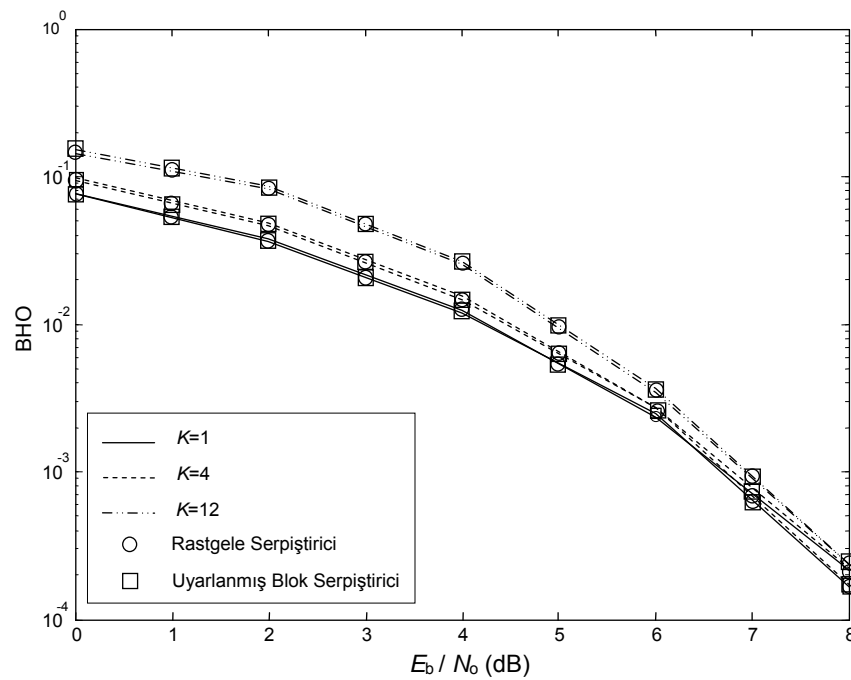
Şekil 4.7. Rastgele ve çeşitli Karma serpiştiricilerinin $K = 10$ için SBÇE sistemindeki BHO başarımları [99].

Dolayısıyla her kullanıcının serpiştirici dizisinin birbirine göre rastgeleliği azalmaktadır. Özellikle Şekil 4.6'daki karma serpiştiricinin BHO başarımları 6 dB'den sonra belirgin bir şekilde kötüleşmektedir. $K = 28$ için bu kötüleşme çok daha açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.7'de verilen başarımlar analizinde ise $K = 10$ alınarak, rastgele serpiştirici ile farklı $(m \times n \times G)$ parametrelili karma serpiştiricilerinin SBÇE sistemlerindeki başarımları karşılaştırılmıştır. Bu başarımlar analizi sonucunda, (4x4x128)

parametrelerine sahip karma serpiştiricinin SBÇE sistemindeki başarımı rastgele serpiştiricinin başarımına oldukça yakındır. Bunun da nedeni, alt grupların dizi uzunluklarının azaltılması, kullanıcıların serpiştirici dizileri arasındaki rastgeleliğin azalmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla alt grup sayısının daha düşük sayıda seçilmesi karma serpiştiricinin SBÇE sistemindeki başarımını arttırmaktadır.

4.5. SBÇE Sistemlerinde Uyarlanmış Blok Serpiştiricinin BHO Başarım Analizi

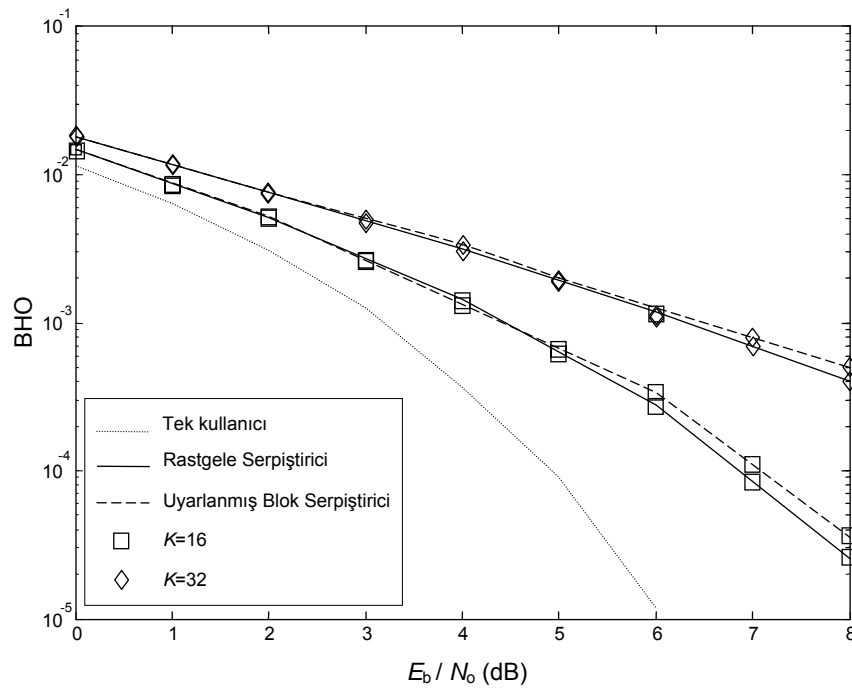
Şekil 4.8’de ele alınan senaryoda $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 20$ ve $B = 1000$ değerleri ile kodlanmamış SBÇE sistemi göz önüne alınmıştır. Bununla beraber, K eşzamanlı kullanıcı sayıları sırasıyla 1, 4 ve 12 alınarak BHO başarımları değerlendirilmiştir.



Şekil 4.8. $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 20$ ve $B = 1000$ için kodlanmamış SBÇE sistemlerinde rastgele ve uyarlanmış blok serpiştiricinin karşılaştırılması.

Ayrıca kırk seviyeli uyarlanmış blok serpiştiricisi için gerekli olan N_r ve N_c parametreleri sırasıyla 16 ve 128 alınmıştır. Buna göre literatürdeki rastgele serpiştirici ile önerilen uyarlanmış blok serpiştiricinin birbirlerine oldukça yakın bir performans sergilediği görülmektedir.

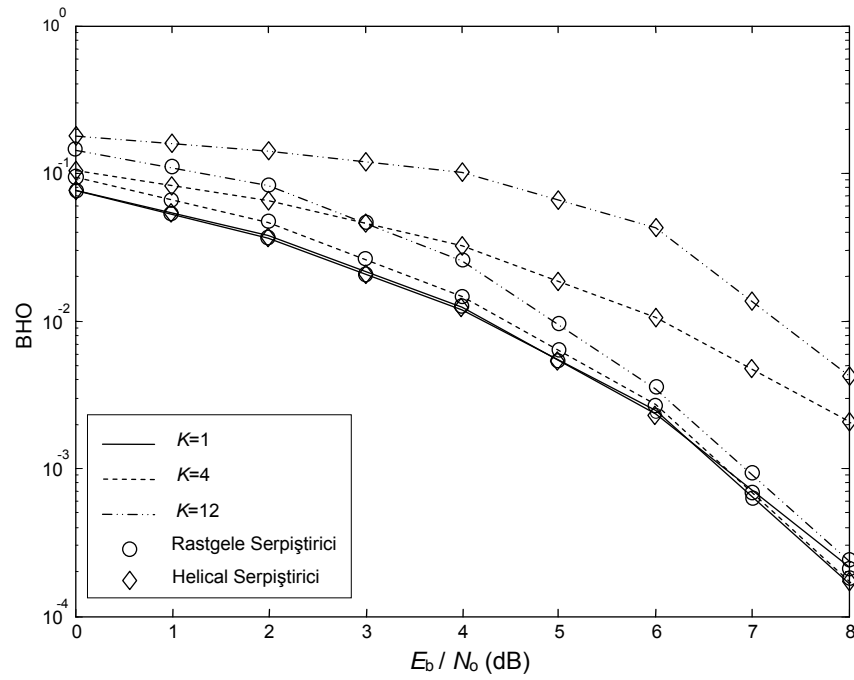
Ele alınan bir diğer senaryoda ise $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 30$ ve $B = 1000$ olarak alınmış ve $R = 1/4$ hızlı tekrarlamalı kodlama ile kodlanmış SBÇE sistemi analiz edilmiştir. $R = 1/4$ tekrarlamalı kodlamalı SBÇE sistemindeki normal rastgele ve uyarlanmış blok serpiştirici kıyaslaması Şekil 4.9'daki başarımlar analizinde verilmiştir. Buna göre, uyarlanmış blok serpiştiricisinin BHO başarımı rastgele serpiştiricinin BHO başarımına benzer davranış gösterdiği bu senaryoda da görülmektedir.



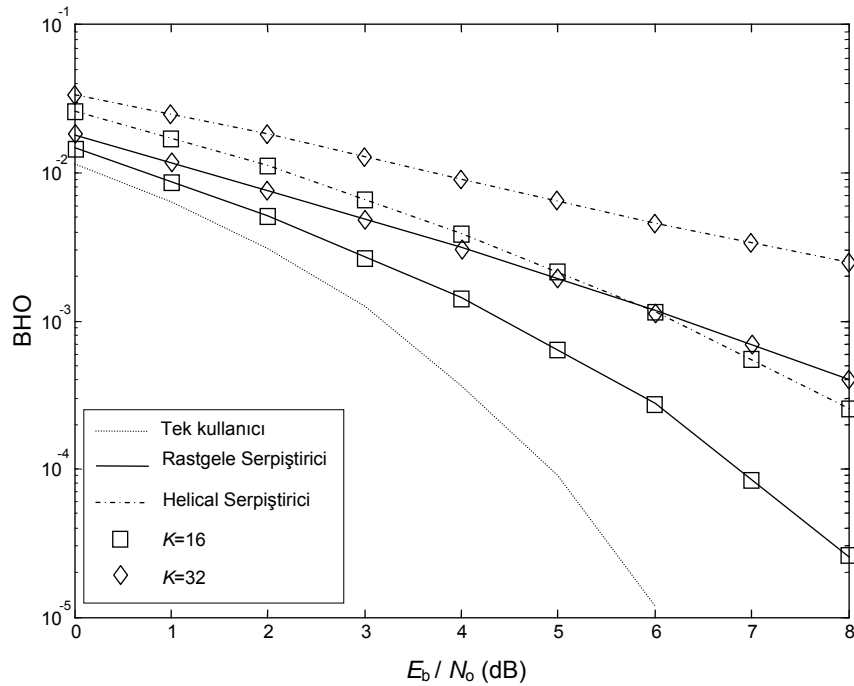
Şekil 4.9. $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 30$ ve $B = 1000$ için hızlı $R = 1/4$ olan tekrarlamalı kodlama ile kodlanmış SBÇE sistemlerinde rastgele ve uyarlanmış blok serpiştiricinin karşılaştırılması.

4.6. SBÇE Sistemlerinde Helical Serpiştiricinin BHO Başarım Analizi

Başarım analizleri sonuçlarının bu alt başlığında ise daha önce literatürde önerilen Helical serpiştiricilerin SBÇE sistemlerinin BHO başarımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Uyarlanmış blok serpiştirici analizlerinde gösterildiği gibi, iki farklı senaryo göz önüne alınmıştır. Bu senaryolar sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de sunulmuştur. Şekil 4.10'da kodlanmamış SBÇE sistemleri için $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 20$ ve $B = 1000$ olarak alınmıştır. Ayrıca Helical serpiştiriciler için tanımlanması



Şekil 4.10. $K = 1$, $K = 4$ ve $K = 12$ için kodlanmamış SBÇE sistemindeki rastgele ve Helical serpiştiricilerinin BHO başarımları.



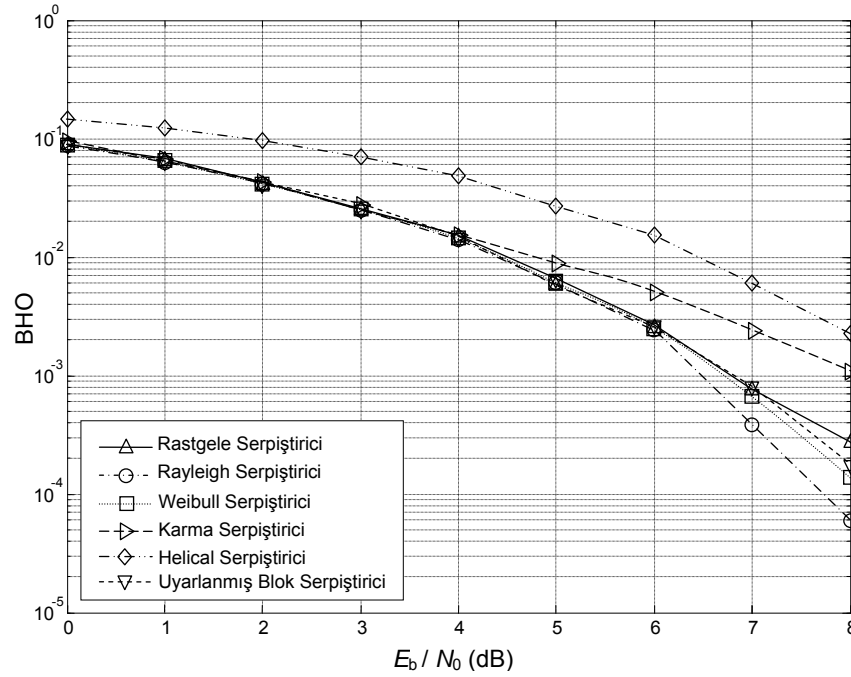
Şekil 4.11. $K = 16$ ve $K = 32$ için hızı $R = 1/4$ olan tekrarlamalı kodlama ile kodlanmış SBÇE sistemindeki rastgele ve helical serpiştiricilerinin BHO başarımları.

gerekli olan N_r ve N_c parametreleri sırasıyla 16 ve 128 alınmıştır. Bunun yanı sıra H kayma fktr ise sıfır alınarak etkisi gözardı edilmiştir. Şekil 4.11'deki başarım analizinde ise, $R = \frac{1}{4}$ hızlı tekrarlamalı kodlama ile kodlanmış SBÇE sistemi $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 30$ ve $B = 1000$ değerleri alınarak gösterilmiştir. Şekil 4.10'da gerçekleştirilen kıyaslamaya bakıldığı zaman, Helical serpiştiricinin rastgele serpiştiriciye oranla oldukça kötü bir BHO başarımı sergilediği görülmektedir. Sayısal olarak açıklama yapmak gerekirse, $K = 12$ durumunda 10^{-2} 'lik BHO başarımı için rastgele serpiştirici kullanıldığında ≈ 5 dB'lik bir E_b / N_0 değeri gerekli iken aynı BHO başarımı için Helical serpiştirici ile SBÇE sisteminin ≈ 7.2 dB'lik bir E_b / N_0 değerine ihtiyaç duyduğu gözlenmektedir. Şekil 4.11'deki kodlanmış SBÇE sistemi için de aynı durum söz konudur. Rastgele serpiştiricinin Helical serpiştiriciden daha üstün bir BHO başarımı vardır. Bu başarım analizine göre, Helical serpiştirici kullanan $K = 32$ kullanıciya sahip $\frac{1}{4}$ tekrarlamalı kodlanmış SBÇE sistemlerinde 10^{-2} 'lik bir BHO başarımı için ≈ 3.7 dB'lik bir E_b / N_0 'a gerek duyulmaktadır. Buna karşılık aynı sistem rastgele serpiştirici ile göz önüne alınırsa aynı BHO başarıma erişmek için gerekli olan E_b / N_0 değeri ≈ 1.4 dB kadardır. Bütün bunlar dikkate alınırsa, Helical serpiştiricinin SBÇE sistemlerinde kullanımının uygun olmadığı açık bir Şekilde görülmektedir.

4.7. SBÇE Sistemlerinde Farklı Serpiştiricilerin BHO Başarımlarının Karşılaştırılması

Bu alt başlığa kadar karşılaştırmaları yapılan BHO başarım analizleri, hep literatürde temel alınan rastgele kırmık seviyeli serpiştirici ile gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde ise önerilen bütün serpiştiricilerin kodlanmamış SBÇE sistemindeki karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 4.12'de verilen başarım analizinde bu tez çalışmasında ele alınan birbirinden farklı altı serpiştirici yaklaşımı incelenmiştir. Bu başarım analizinde, SBÇE sistemi için $N_{\text{bilgi}} = 64$, $S = 32$, $It = 10$ ve $B = 100$, $K = 8$ olarak alınmış ve sonuca hızlı erişme özelliğinden dolayı seri KKA algoritması kullanılmıştır. Buna göre, başarım analizindeki sonuç Rayleigh serpiştiricinin ≈ 6 dB'den sonra en iyi performansı

sergilediğini göstermektedir. Weibull serpiştirici Rayleigh serpiştiriciye oranla nispeten daha kötü ama diğer serpiştiricilerden daha üstün bir performans göstermektedir.



Şekil 4.12. $K = 8$ için kodlanmamış SBÇE sistemindeki farklı serpiştirici tasarımlarının BHO başarımlarının birbirlerine göre kıyaslanması.

Uyarlanmış blok ve Helical serpiştiricileri için tanımlanması gerekli olan N_r ve N_c parametreleri sırasıyla 16 ve 128 alınmıştır. Helical serpiştirici için H kayma faktörü sıfır alınmıştır. Buna göre uyarlanmış blok serpiştirici daha önceki başarımlar analizlerindeki karakteristik özelliğini koruyarak rastgele serpiştiricinin BHO başarımlarına oldukça yakın bir performans göstermektedir. $(m \times n \times G)$ parametreleri sırasıyla $(4 \times 4 \times 128)$ olarak alınan karma serpiştiricinin gösterdiği performansın ise ≈ 4 dB 'den sonra Helical serpiştirici hariç diğer serpiştiricilerden kötü bir performans olduğu açık bir şekilde gözlenmektedir. Bunun da nedeni kullanıcı sayısının $K = 8$ olarak alınmasıdır. Çünkü daha önce de belirtildiği gibi SBÇE sistemindeki eşzamanlı kullanıcı sayısı arttıkça karma serpiştiricinin performansı kötüleşmektedir. Bu karşılaştırma çalışmasında son olarak, Helical serpiştiricinin BHO performansı incelenirse yine en kötü performansın sergilendiği görülmektedir. Sonuç olarak, SBÇE sistemleri için Helical serpiştiricinin en başarısız BHO performansına sahip olduğu bu senaryoda da gerçekleşmiştir.

Böylelikle tez çalışmasında SBÇE sistemleri için tasarımları önerilen bütün kırkiki seviyeli serpiştiricilerin BHO başarımları analizleri MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu BHO başarımları analizleri farklı senaryolarla birlikte SBÇE sistemlerinde detaylı olarak ele alınmıştır. Bütün serpiştirici tasarımlarının birbirlerine ve literatürde temel alınan rastgele serpiştiricilere göre BHO kıyaslamaları ayrı ayrı başlıklar halinde sunulmuştur. Bir sonraki bölümde gerçekleştirilen bu BHO başarımları analizleri ile ilgili detaylı sayısal değerlendirmeler sunulacaktır.

5. BÖLÜM

BULGULAR

Bu bölümde, SBÇE sistemlerinde tasarımı gerçekleştirilen kırmık seviyeli serpiştirici tasarımlarının BHO başarımlarına ilişkin sayısal analizler verilecektir. Yapılan bu sayısal analizler, bir önceki bölümde verilen BHO başarımlarına göre gerçekleştirilmiştir.

5.1. SBÇE Sistemlerinde Kırmık Seviyeli Rayleigh Serpiştiricinin BHO Başarımlarının Sayısal Analizi

Önerilen Rayleigh kırmık seviyeli serpiştirici ile normal rastgele kırmık seviyeli serpiştiricinin SBÇE sistemlerindeki BHO başarımlarına ilişkin analiz Şekil 4.2’de verilmektedir. Buradaki SBÇE sistemi için $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 32$, $It = 30$ ve $B = 1000$ olarak alınmıştır. K eşzamanlı kullanıcı sayıları ise sırasıyla 8, 16, ve 32 alınarak karşılaştırmalar verilmiştir.

Tablo 5.1. Rayleigh ve rastgele kırmık seviyeli serpiştiricilerin $K = 8$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımlarının sayısal analizi.

	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
Rastgele Serpiştirici	≈ 4.6 dB	≈ 6.9 dB	≈ 8.6 dB	≈ 9.8 dB
Rayleigh Serpiştirici	≈ 4.5 dB	≈ 6.7 dB	≈ 8.3 dB	≈ 9.2 dB

Tablo 5.1’de Rayleigh ve normal rastgele kırmık seviyeli serpiştiricilerin Şekil 4.2’teki başarımlarına ilişkin sayısal analizleri verilmektedir. Burada verilen tabloda BHO

oranına karşılık, hangi serpiştiricinin ne kadarlık E_b / N_0 değeri gerektiği gösterilmiştir. Yaklaşık olarak belirtilen bu E_b / N_0 değerleri incelendiğinde, Rayleigh serpiştiricinin rastgele serpiştiriciye oranla genel olarak daha az E_b / N_0 değerlerine ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Bu da Rayleigh kırık seviyeli serpiştiricinin üstünlüğünü açık bir şekilde göstermektedir.

5.2. SBÇE Sistemlerinde Kırık Seviyeli Weibull Serpiştiricinin BHO Başarımının Sayısal Analizi

Bu bölümde, önerilen Weibull ve normal rastgele kırık seviyeli serpiştiricilerin SBÇE sistemlerindeki BHO başarımlarının analizi ile ilgili sayısal sonuçlar verilmektedir. Bu sayısal sonuçlar için $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 30$ ve $B = 1000$ olarak alınmıştır. Belirtilen bu parametreler kullanılarak elde edilen BHO başarımlarının analizi Şekil 4.5'te verilmektedir. $K = 4$ eşzamanlı kullanıcı sayısı için Tablo 5.2'de Weibull ve normal rastgele kırık seviyeli serpiştiricilerin sayısal analizleri gösterilmektedir. Yine bu tabloda da Weibull ve rastgele serpiştiricileri ile elde edilen BHO başarımlarının ne kadar E_b / N_0 değeri kullanılarak elde edildiği gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Weibull ve rastgele kırık seviyeli serpiştiricilerin $K = 4$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımlarının sayısal analizi.

	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
Rastgele Serpiştirici	≈ 4.3 dB	≈ 6.7 dB	≈ 8.3 dB	≈ 9.7 dB
Weibull Serpiştirici	≈ 4.3 dB	≈ 6.7 dB	≈ 8.3 dB	≈ 9.2 dB

Görüldüğü gibi kırık seviyeli Weibull serpiştiricinin başarımları kırık seviyeli rastgele serpiştirici ile oldukça benzerdir. Fakat kırık seviyeli Weibull serpiştiricinin 10^{-5} 'lik BHO başarımları için rastgele serpiştiriciye oranla ≈ 0.5 dB'lik daha az E_b / N_0 değeri gerektirdiği tablodaki analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır.

5.3. SBÇE Sistemlerinde Kırmık Seviyeli Karma Serpiştiricinin BHO Başarımının Sayısal Analizi

Bu bölümde ise, kırmık seviyeli karma serpiştiricinin SBÇE sistemlerindeki BHO başarımına ilişkin sayısal yorumlar verilmektedir. Şekil 4.7’de gösterilen BHO başarım analizi incelenmektedir. $K = 10$ eşzamanlı kullanıcı sayısına sahip SBÇE sistemlerindeki farklı karma serpiştiricilerin kıyaslaması ele alınmaktadır. Tablo 5.3’te birbirinden farklı parametrelere sahip kırmık seviyeli karma serpiştiricilerin sayısal analizleri gösterilmektedir. 10^{-2} ’lik BHO başarımına karşılık sırasıyla $(4 \times 4 \times 128)$, $(8 \times 8 \times 32)$ ve $(16 \times 16 \times 8)$ parametrelili karma serpiştiricileri için gerekli olan E_b / N_0 değerleri incelenmektedir.

Tablo 5.3. Farklı $(m \times n \times G)$ parametrelerine sahip kırmık seviyeli karma serpiştiricilerin $K = 10$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımının sayısal analizi.

	$(4 \times 4 \times 128)$	$(8 \times 8 \times 32)$	$(16 \times 16 \times 8)$
	Karma	Karma	Karma
	Serpiştirici	Serpiştirici	Serpiştirici
10^{-2}	≈ 4.7 dB	≈ 5.2 dB	≈ 7.8 dB

Tablo 5.3’e göre 10^{-2} ’lik bir BHO başarımı için $(4 \times 4 \times 128)$ parametrelili karma serpiştirici için gerekli olan E_b / N_0 değeri, $(8 \times 8 \times 32)$ parametrelili karma serpiştiricinin E_b / N_0 değerinden ≈ 0.5 dB, $(16 \times 16 \times 8)$ parametrelili karma serpiştiricinin E_b / N_0 değerinden ise ≈ 3.1 dB daha az olduğu belirlenmektedir. Buradaki karşılaştırmalarda kullanılan SBÇE sistemi için $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 30$ ve $B = 1000$ olarak alınmıştır.

5.4. SBÇE Sistemlerinde Kırmık Seviyeli Uyarlanmış Blok Serpiştiricinin BHO Başarımının Sayısal Analizi

Bu bölümde ise, $R = \frac{1}{4}$ hızlı tekrarlamalı kodlama ile kodlanmış SBÇE sistemindeki kırmık seviyeli uyarlanmış blok serpiştirici ile kırmık seviyeli rastgele serpiştiricilerin

kıyaslaması sayısal olarak verilmektedir. Şekil 4.10'daki $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $I_t = 30$ ve $B = 1000$ alınarak gerçekleştirilen SBÇE sistemi için sayısal inceleme Tablo 5.4'te sunulmaktadır.

Tablo 5.4. Uyarlanmış ve Rastgele Kırmık Seviyeli Serpiştiricilerin $K = 16$ eşzamanlı kullanıcıya sahip $R = \frac{1}{4}$ hızlı tekrarlamalı kodlama ile kodlanmış SBÇE sistemindeki BHO başarımının sayısal analizi.

	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
Rastgele Serpiştirici	≈ 0.8 dB	≈ 4.5 dB	≈ 6.8 dB
Uyarlanmış Blok Serpiştirici	≈ 0.8 dB	≈ 4.5 dB	≈ 7 dB

Ayrıca bu tablodaki sayısal analizler için $K = 16$ eşzamanlı kullanıcı sayısının var olduğu durum gözönüne alınmaktadır. Buna göre kırmık seviyeli rastgele serpiştirici ile uyarlanmış blok serpiştiricinin kullanıldığı SBÇE sistemlerinin farklı BHO'ları için gerekli olan yaklaşık E_b/N_0 değerleri kıyaslandığı zaman birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

5.5. SBÇE Sistemlerinde Kırmık Seviyeli Helical Serpiştiricinin BHO Başarımının Sayısal Analizi

SBÇE sistemlerindeki kırmık seviyeli Helical serpiştirici rastgele serpiştiricilerin sayısal değerlerle kıyaslaması Tablo 5.5'te verilmektedir. Bu tabloda rastgele olarak 10^{-2} 'lik bir BHO başarımı ele alınmıştır.

Tablo 5.5. Helical ve rastgele kırmık seviyeli serpiştiricilerin $K = 4$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımının sayısal analizi.

	Rastgele Serpiştirici	Helical Serpiştirici
10^{-2}	≈ 4.5 dB	≈ 6.1 dB

Bu kıyaslama çalışmasında, $K = 4$ eşzamanlı kullanıcı sayısının var olduğu durum ile $N_{\text{bilgi}} = 128$, $S = 16$, $It = 20$ ve $B = 1000$ olarak alındığı SBÇE sistemleri incelenmektedir. Bu durumun BHO başarımlarını analiz eden bölümde Şekil 4.10'da sunulmaktadır. Tablo 5.5'e bakıldığı zaman, kırmık seviyeli rastgele serpiştirici ile Helical serpiştiricinin kullanıldığı SBÇE sistemlerinin 10^{-2} 'lik bir BHO başarımları için gerekli E_b / N_0 değerleri arasında ≈ 1.6 dB'lik bir fark olduğu görülmektedir.

5.6. Farklı Kırmık Seviyeli Serpiştirici Tasarımlarının SBÇE Sistemlerindeki BHO Başarımlarının Sayısal Analizi

Son olarak, önerilen beş farklı serpiştiricinin kıyaslamasını gösteren Şekil 4.12'deki BHO başarımlarını analizine göre yapılan sayısal inceleme ele alınmaktadır. Burada kullanılan değerler şu şekildedir: $N_{\text{bilgi}} = 64$, $S = 32$, $It = 10$ ve $B = 100$, $K = 8$ olarak alınmıştır. Ayrıca uyarlanmış blok ve Helical serpiştiriciler için tanımlanması gereken N_r ve N_c parametreleri sırasıyla 16 ve 128 alınmıştır. Bununla beraber, Helical serpiştirici için H kayma faktörü sıfır alınmıştır. Karma serpiştirici için $(m \times n \times G)$ parametreleri sırasıyla $(4 \times 4 \times 128)$ olarak alınmıştır. Tablo 5.6'da, rastgele şekilde seçilmiş olan 10^{-2} 'lik bir BHO başarımlarına karşılık hangi serpiştirici tasarımı için yaklaşık olarak ne kadarlık E_b / N_0 değeri kullanıldığı gösterilmektedir. Tablo 5.6'ya göre 10^{-2} 'lik bir BHO başarımları için Rayleigh, Weibull ve uyarlanmış blok serpiştiricileri literatürde temel alınan rastgele serpiştiriciye göre yaklaşık aynı E_b / N_0 değerini kullanmaktadır. Fakat $(4 \times 4 \times 128)$ parametrelili karma ve Helical serpiştiriciler aynı BHO başarımları için sırasıyla ≈ 0.5 dB ve ≈ 2.1 dB'lik daha fazla bir E_b / N_0 değerine ihtiyaç duyduğu görülmektedir.

Tablo 5.6. Farklı kırmık seviyeli serpiştirici tasarımlarının $K = 8$ eşzamanlı kullanıcıya sahip SBÇE sistemindeki BHO başarımlarının sayısal analizi.

	Rastgele Serpiştirici	Rayleigh Serpiştirici	Weibull Serpiştirici	$(4 \times 4 \times 128)$ Karma Serpiştirici	Uyarlanmış Blok Serpiştiricisi	Helical Serpiştirici
10^{-2}	≈ 4.4 dB	≈ 4.4 dB	≈ 4.4 dB	≈ 4.9 dB	≈ 4.4 dB	≈ 6.5 dB

Son olarak verilen bu sayısal analiz çalışması ile SBÇE sistemleri için önerilmiş olan birbirinden farklı kırmık seviyeli serpiştirici tasarımlarının BHO başarımlarının detaylı analizi hem bir önceki bölümde sunulan grafiklerle hem de bu bölümdeki tablolar yardımıyla sayısal olarak gerçekleştirilmiştir.

6. BÖLÜM

SONUÇLAR-TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Kablosuz hücre sel haberleşme sistemleri alanında özellikle son yirmi yıl içerisinde önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmelerin en önemlilerinden bir tanesi KBÇE sistemleridir. KBÇE teknolojisi çeşitli avantajlara sahiptir. Bunlar: çok-yollu sönümlenmeye karşı KBÇE'nin kalitesinin yüksek olması, dinamik kanal paylaşımı, eşzamansız iletim, hücrelerarası girişiminin azaltılması olarak sıralanabilmektedir. KBÇE'nin avantajlarının yanında, ÇEG ve SAG diye adlandırılan iki büyük dezavantajı da mevcuttur. Bu iki dezavantaj, temel kablosuz hücre sel haberleşme sistemlerinin performansını olumsuz yönde etkilemektedir. KBÇE haberleşme sistemlerinde bu iki dezavantajın üstesinden gelmek için SBÇE diye adlandırılan yeni bir sistem yapısı geliştirilmiştir. SBÇE sistemleri KBÇE teknolojisinin geliştirilmiş hali olduğu için KBÇE'nin sahip olduğu avantajların hepsini kapsamaktadır. Bunun yansısı, SBÇE'nin alıcı yapısında kullanılan ÇKA yöntemi ile ÇEG ve SAG etkileri büyük oranda azaltılmıştır. Özetle KBÇE sistemlerinin eksik yönlerinin giderilmeye çalışılması sonucunda SBÇE sistemleri ortaya çıkmıştır. SBÇE sistemlerinin başarımı açısından, sistemde kullanılan serpiştiricinin tayini önemli bir rol üstlenmektedir.

Bu çalışmada, SBÇE sistemlerinin verici, kanal ve alıcı yapılarındaki bloklar detaylı bir biçimde analiz edilmiş ve MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Bununla beraber, SBÇE sistemleri için bu çalışmaya özgün birbirinden farklı üç adet kırmık seviyeli serpiştirici tasarımı önerilmiştir. Buna ek olarak, daha önce farklı uygulamalarda kullanılan iki adet kırmık seviyeli serpiştiricinin de SBÇE sistemine uyarlaması gerçekleştirilmiştir. Bu serpiştirici tasarımlarının gerçekleştirilmesi matematiksel ifadelerle birlikte detaylı bir şekilde izah edilmiştir. Önerilmiş olan kırmık seviyeli serpiştirici tasarımlarının SBÇE sistemlerinde oluşturulan farklı senaryolarla birlikte BHO başarımların analizleri sunulmuştur. Elde edilen BHO başarımların analizlerine bağlı olarak sistem başarımı ile ilgili önemli değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca SBÇE

sistemlerinin alıcı kısmında kullanılan ÇKA yöntemleri arasında bulunan tekrarlı seri ve paralel KKA algoritmalarının MATLAB ortamındaki kıyaslamaları verilmiştir. Bütün bu çalışmalara bakılarak, önerilen serpiştirici tasarımlarından Rayleigh serpiştiricinin BHO sistem başarımı literatürde temel alınan rastgele kırmık seviyeli serpiştirici ve diğer dört serpiştiriciye oranla daha üstün bir performans sergilediği görülmüştür. Fakat bu üstün performansa karşılık, serpiştirici dizilerinin üretimi için gerekli olan hesapsal karmaşıklık da artmıştır. Weibull kırmık seviyeli serpiştirici tasarımı ise Rayleigh serpiştirici hariç diğer serpiştiricilere göre sisteme daha iyi bir performans sağlamıştır. Üretim bakımından rastlantısal ve cebirsel serpiştirici türlerini kapsayan ve uyarlanabilir blok serpiştiricisi diye adlandırılan yeni bir serpiştirici tasarımı sunulmuştur. Bu yeni serpiştirici tasarımı kullanan SBÇE sistemleri ise rastgele serpiştirici kullanan SBÇE sistemlerine benzer performans sonuçları sergilemiştir. Bu tasarım çalışmalarına ek olarak, turbo kodlardaki başarımı iyi olan karma serpiştirici ve yine aynı şekilde serpiştirme bölmeli çoğullama sistemlerindeki başarımı iyi olan Helical serpiştiricilerin SBÇE sistemlerine göre MATLAB ortamındaki uyarlamaları gerçekleştirilmiştir. Bu iki tasarım çalışması ile SBÇE sistemlerindeki BHO analizinin yapılması sağlanmıştır. Fakat yapılan karma ve Helical serpiştirici tasarımları diğer önerilen tasarımlardan daha kötü bir BHO performansı sergilemiştir. Özellikle Helical serpiştiricinin BHO başarımının diğer serpiştirici tasarımlarına göre belirgin bir şekilde daha kötü olduğu gözlenmiştir. Karma serpiştiricinin başarımı Helical serpiştiriciye kıyasla nispeten daha olumlu fakat eşzamanlı kullanıcı sayısının artış göstermesiyle diğer serpiştiricilerden çok daha kötü bir başarıma sahip olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, önerilen bu serpiştirici tasarımlarından Rayleigh ve Weibull serpiştiricileri SBÇE sistemleri için BHO başarımı gelişimi ile kırmık seviyeli rastgele serpiştiricilerin yerine kullanılabilir. Bununla beraber, SBÇE sisteminin BHO başarımında herhangi bir kayıp olmaksızın uyarlanmış blok serpiştiricisi, rastgele serpiştiricinin yerine alternatif olarak kullanılabilir. Fakat bütün bu önerilere ek olarak, SBÇE sistemlerindeki Helical ve karma serpiştirici tasarımlarının diğer serpiştiricilere kıyasla açık bir şekilde başarısız olduğu yorumu yapılabilir.

KAYNAKÇA

1. Ping, L., Liu, L., Leung, W.K., 2003. A simple approach to near-optimal multiuser detection: interleaved-division multiple-access, pp. 391-396. *WCNC 2003, Wireless Communications and Networking, March 16-20, 2003, New Orleans USA*.
2. Ping, L., Liu, L., Wu, K.Y., Leung, W.K., 2004. On interleaved-division multiple access, pp. 2869-2873. *ICC'04, IEEE International Conference on Communications, June 20-24, 2004, Paris*.
3. Ping, L., Liu, L., Wu, K.Y., Leung, W.K., 2003. Interleaved-division multiple access (IDMA) communications, pp. 173-180. *Proc. 3rd International Symposium on Turbo Codes and Related Topics, December 1-4, 2004, Brest, France*.
4. Ping, L., 2005. Interleaved-division multiple access and chip-by-chip iterative multi-user detection. **IEEE Communications Magazine**, **43**(6):19-23.
5. Ping, L., Liu, L., Wu, K.Y., Leung, W.K., 2006. Interleaved-division multiple access. **IEEE Transaction on Wireless Communications**, **5**(4):938-947.
6. Ping, L., Liu, L., Wu, K.Y., Leung, W.K., 2006. Approaching the capacity of multiple Access channels using interleaved low-rate codes. **IEEE Communications Letters**, **8**(1):4-6.
7. Berrou, C., Glavieux, A., Thitimajshima, P., 1993. Near shannon limit error correcting coding and decoding: turbo codes, pp. 1064-1070. *ICC 93, Proceedings of International Conference on Communications. 1993, Geneva, Switzerland*.
8. Moher, M., Guinand, P., 1998. An iterative algorithm for asynchronous coded multiuser detection. **IEEE Communications Letters**, **2**(8):229-231.
9. Moher, M., 1998. An iterative multiuser decoder for near-capacity communications. **IEEE Transaction on Communications**, **46**(7):870-880.
10. Shi, Z., Schlegel, C., 2001. Joint iterative decoding of serially concatenated error control coded CDMA. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, **19**(8):1646-1653.
11. Reed, M.C., Schlegel, C.B., Alexander, P.D., Asenstorfer, J.A., 1998. Iterative multiuser detection for CDMA with FEC: near-single-user performance. **IEEE Transaction on Communications**, **46**(12):1693-1699.

12. Alrustamani, A.A., Damnjanovic, D.A., Vojcic, B.R., 2001. Turbo greedy multiuser detection. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, **19(8)**:1638-1645.
13. Wang, X., Poor, H.V., 1999. Iterative (turbo) soft interference cancellation and decoding for coded CDMA. **IEEE Transaction on Communications**, **47(7)**:1046-1060.
14. Liu, L., Leung, W.K., Ping, L., 2003. Simple iterative chip-by-chip multiuser detection for CDMA systems, pp. 2157-2161. *VTC'03, IEEE Vehicular Technology Conference, October 6-9, 2003, Orlando, USA*.
15. Verdu, S., 1998. Multiuser Detection. Cambridge University, U.K., 451 s.
16. Mahadevappa, R.H., Proakis, J.G., 2002. Mitigating multiple access interference and intersymbol interference in uncoded CDMA systems with chip-level interleaving. **IEEE Transaction on Wireless Communications**, **1(4)**:781-792.
17. Tarable, A., Montorsi, G., Benedetto, S., 2005. Analysis and design of interleavers for iterative multiuser receivers in coded CDMA systems. **IEEE Transaction on Information Theory**, **51(5)**:1650-1666.
18. Zhou, S., Giannakis, G.B., Le Martret, C., 2002. Chip-interleaved block spread code division multiple access. **IEEE Transaction on Communications**, **50(2)**:235-247.
19. Brück, S., Sorger, U., Stolte, N., 2000. Interleaving for outer convolutional codes in DS-CDMA systems. **IEEE Transaction on Communications**, **48(7)**:1100-1107.
20. Liu, L., Tong, J., Ping, L., 2006. Analysis and optimization of CDMA systems with chip-level interleavers. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, **24(1)**:141-149.
21. Liu, L., Ping, L., 2004. Iterative detection of chip interleaved CDMA systems in multipath channels. **IET Electronics Letters**, **40(14)**:884-886.
22. Tarable, A., Montorsi, G., Benedetto, S., 2001. Analysis and design of interleavers for CDMA systems. **IEEE Communications Letters**, **5(10)**:420-422.
23. Liu, L., 2005. Interleave Division Multiple Access. City University of Hong Kong, Department of Electronics Engineering, Phd Thesis, Hong Kong, 167 s.

24. Kusume, K., Bauch, G., Utschick, W., 2012. IDMA vs. CDMA: analysis and comparison of two multiple access schemes. **IEEE Transaction on Wireless Communications**, **11**(1):78-87.
25. Kusume, K., Bauch, G., 2005. IDMA and CDMA: iterative multiuser detections for near-far asynchronous communications, pp. 426-431. *PIMRC 2005 IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, September 11-14, 2003, Berlin, Germany.*
26. Kusume, K., Bauch, G., Utschick, W., 2005. IDMA vs. CDMA: detectors, performance and complexity, pp. 1-8. *GLOBECOM 2009 IEEE Globe Telecommunications Conference, December 1-4, 2009, Hawaii, USA.*
27. Tseng, S.M., Kuo, Y.C., 2008. Deterministic IDMA and Deterministic CDMA: a comparison, pp. 1-3. *APCC 2008, 14th Asia-Pacific Conference on Communications, October 14, 2008, Tokyo, Japan.*
28. Suyuma, S., Zhang, L., Suzuki, H., Fukawa, K., 2008. Performance of iterative multiuser detection with channel estimation for MC-IDMA and comparison with chip-interleaved MC-CDMA, pp. 1-5. *GLOBECOM 2008 IEEE Globe Telecommunications Conference, December 1-4, 2008, New Orleans USA.*
29. Wang, P., Xiao, J., Ping, L., 2006. Comparison of orthogonal and non-orthogonal approaches to future wireless cellular systems. **IEEE Vehicular Technology Magazine**, **1**(4):4-11.
30. Xiong, X., Hu, J., Ling, X., 2008. IDMA/CDMA: a hybrid multiple access scheme, pp. 512-514. *2008 International Conference on MultiMedia and Information Technology, July 3-5, 2008, Chiang Mai, Thailand.*
31. Liu, X., Xiong, X., Yang, P., 2009. Modeling and simulation for IDMA systems based on simulink, pp. 213-216. *2009 Pasific-Asia Conference on Circuits, Communications and Systems, May 16-17, 2009, Chengdu, China.*
32. Liu, X., Xiong, X., Yang, P., 2010. Performance comparison of IDMA and CDMA systems based on simulink, pp. 1-4. *WICOM 2010, 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing, September 23-25, 2010, Chengdu, China.*
33. Hong, Y., Rasmussen, L.K., 2007. Iterative switched-decoding for interleave-division multiple-access systems, pp. 76-81. *AUSCTW, Proceeding 8th Communication Theory Workshop, February, 2007, Australian.*

34. Hong, Y., Rasmussen, L.K., 2008. Iterative switched-decoding for interleave-division multiple-access systems. **IEEE Transaction on Vehicular Technology**, **57**(3):1939-1944.
35. Xiong, X., Hu, J., 2008. A simplified downlink transmission and receiving scheme for IDMA, pp. 157-161. *ICCCAS 2008, International Conference on Communications, Circuits and Systems, May 25-27, 2008, Fujian, China.*
36. Kusume, K., Bauch, G., 2006. A simplified complexity reduction strategy for interleave division multiple access, pp. 1-5. *VTC 2006 IEEE 64th Vehicular Technology Conference, September 25-28, 2006, Montreal, Canada.*
37. Mahafeno, I.M., Langlais, C., Jegou, C., 2006. Reduction complexity iterative multi-user detector for IDMA (interleave division multiple access) system, pp. 1-5. *GLOBECOM 2006 IEEE Globe Telecommunications Conference, December 1-4, 2006, San Francisco, USA.*
38. Xiong, X., Hu, J., Tian, L., 2007. A fast converging multi-user detection for IDMA based on time-reversal, pp. 1-4. *6th International Conference on Information, Communication and Signal Processing, December 10-13, 2007, Singapore.*
39. Nagy, O., Reed, M.C., Shi, Z., 2007. Optimal detection of IDMA signals, pp. 1236-1240. *WCNC 2007, Wireless Communications and Network Conference, March 11-15, 2007, Hong Kong.*
40. Senanayake, B., Reed, M.C., Shi, Z., 2009. An optimal asynchronous IDMA receiver, pp. 28-32. *AUSCTW, Proceeding 10th Communication Theory Workshop, February, 2009, Sydney.*
41. Shukla, M., Shukla, A., Srivastava V.K., Tiwari, S., 2009. Performance evaluation of MRC diversity scheme for iterative IDMA receivers, pp. 1-4. *INDICOM 2009, IEEE India Conference, December 18-20, 2009, India.*
42. Houcke, S., Sicot, G., Debbah, M., 2006. Blind detection for block coded interleaved division multiple access, pp. 1-5. *GLOBECOM 2006 IEEE Globe Telecommunications Conference, December 1-4, 2006, San Francisco, USA.*
43. Cristea, B., Roviras, D., Escrig, B., 2009. Turbo receivers for interleave-division multiple access systems. **IEEE Transaction on Communications**, **57**(7):2090-2097.

44. Weitkemper, P., Kammeyer, K.D., 2009. Analysis and performance of an efficient iterative detection strategy for IDMA systems. **Multi-Carrier Spread Spectrum 2007**, 1:87-96.
45. Zhang, R., Xu, L., Chen, S., Hanzo, L., 2010. EXIT-chart aided hybrid multiuser detector for multicarrier interleave-division multiple access. **IEEE Transaction on Vehicular Technology**, **59**(3):1563-1567.
46. Nagy, O., Reed, M.C., Shi, Z., 2008. Performance analysis of a generic system model for uncoded IDMA using serial and parallel interference cancellation. **European Transaction on Telecommunications**, **19**(5):511-522.
47. Li, K., Wang, X., Ping, L., 2007. Analysis and optimization of interleave-division multiple-access communication systems. **IEEE Transaction on Wireless Communications**, **6**(5):1973-1983.
48. Li, K., Wang, X., Ping, L., 2005. Analysis and optimization of interleave-division multiple-access communication systems, pp. 917-920. *ICASSP 2005 Acoustic, Speech and Signal Processing Conference, March 23-25, 2005, Philadelphia, USA.*
49. Lau, M.K., Yue, W., Ping, L., 2009. Equal power allocation of IDMA systems: feasibility, optimality and throughput. **IEEE Transaction on Wireless Communications**, **8**(2):746-756.
50. Lau, M.K., Yue, W., Wang, P., 2008. On a power allocation method for IDMA systems. **IEEE Transaction on Wireless Communications**, **7**(8):2905-2910.
51. Lau, M.K., Yue, W., 2007. Optimality and feasibility of equal power allocation of IDMA systems, pp. 1-7. *5th International symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks and Workshops, April 16-20, 2007, Limassol, Cyprus.*
52. Yang, T., Yuan, J., Shi, Z., 2009. Rate optimization for IDMA systems with iterative multi-user decoding, pp. 1-5. *GLOBECOM 2009 IEEE Globe Telecommunications Conference, December 1-4, 2009, Hawaii, USA.*
53. Yang, T., Yuan, J., Shi, Z., 2009. Rate optimization for IDMA systems with iterative multi-user decoding. **IEEE Transaction on Wireless Communications**, **8**(3):1148-1153.

54. Lau, M.S.K., Yue, W., Wang, P., Ping, L., 2008. A branch-and-bound method for power minimization of IDMA. **IEEE Transaction on Vehicular Technology**, **57(6)**:3525-3537.
55. Zhang, R., Hanzo, L., 2007. EXIT-chart based joint code-rate and spreading-factor optimisation of single-carrier interleave division multiple access, pp. 735-739. *WCNC 2007 Wireless Communications and Networking Conference, March 15-17, 2007, Hong Kong.*
56. Wang, P., Chen, Q., Ping, L., Liu, L., 2006. Power allocation for practically coded IDMA systems over broadcast channels, pp. 673-677. *ITW 2006 Proceedings of IEEE Information Theory Workshop, January 15, 2006 Chengdu, China.*
57. Wang, P., Ping, L., Liu, L., 2006. Optimized power allocation for multiple access systems with practical coding and iterative multi-user detection, pp. 1-6. *Proc. 6th International Symposium on Turbo Codes and Related Topics, April 3-7, 2006, Munich, Germany.*
58. Wang, P., Ping, L., Liu, L., 2006. Power allocation for multiple access systems with practical coding and iterative multi-user detection, pp. 4971-4976. *ICC 2006, IEEE International Conference on Communications, June 11-15, 2006, Istanbul, Turkey.*
59. Tassing, R., Zhu, G., Lin, P., Yang, Y., 2008. Power optimization in IDMA with SNR and differential evolutions, pp. 1-5. *WICOM 2008, 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, October 12-14, 2008, Dalian, China.*
60. Ping, L., Liu, L., 2004. Analysis and design of IDMA systems based on SNR evolution and power allocation, pp. 1068-1072. *VTC 2004 IEEE 62th Vehicular Technology Conference, September, 2004, Los Angeles, USA.*
61. Rosberg, Z., 2007. Optimal transmitter power control in interleave division multiple access (IDMA) spread spectrum uplink channels. **IEEE Transaction on Wireless Communications**, **6(1)**:192-201.
62. Ping, L., Leung, W.K., Wu, K.Y., 2003. Low-rate turbo-hadamard codes. **IEEE Transaction on Information Theory**, **49(12)**:3213-3224.
63. Raymond, W.K., Yue, G., Ping, L., Wang, X., 2006. Concatenated zigzag hadamard codes. **IEEE Transaction on Information Theory**, **52(4)**:1711-1723.

64. Ping, L., Huang, X., Phamdo, N., 2001. Zigzag codes and concatenated zigzag codes. **IEEE Transaction on Information Theory**, **47(2)**:800-807.
65. Zhang, X., Bie, Z.H., Wu, W., 2008. Boosts to LDPC-coded IDMA systems. **IET Electronics Letters**, **44(4)**:306-307.
66. Araujo, F.J, Lopez, M.G., Castedo, L., Frias J.G., 2010. Interleave-division multiple access (IDMA) using low-rate layered LDGM codes. **Wireless Communications and Mobile Computing**, DOI:10.1002/wcm.1055.
67. Zhang, J., Bie, Z., Wu, W., 2010. Enhancing the performance of IDMA system by irregular LDPC codes, pp. 113-116. *ICWMNN 2010, IET 3rd International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks, September 26-29, 2010, Beijing, China.*
68. Eroz, M., Lee, L.N., 2010. On FEC design for interleave division multiple access, pp. 1-4. *VTC 2010 IEEE 71th Vehicular Technology Conference, May 16-19, 2010, Taipei, Taiwan.*
69. Yang, S., Xu, W., Wang, L., Wei, Q., 2008. Performance of STBC-IDMA system over quasi-static Rayleigh fading channel, pp. 44-47. *ICCCAS 2008, International Conference on Communications, Circuits and Systems, May 27-28, 2008, Fujian Province, China.*
70. Peng, T., Yue, X., He, X., Li, S., 2009. Simplified receiver for LDPC-coded interleave-division multiple-access (IDMA) system, pp. 108-111. *ICCCAS 2009, International Conference on Communications, Circuits and Systems, July 23-25, 2009, California, USA.*
71. Zhang, J., Bie, Z., Wu, W., Li, Y., 2010. Performance comparison of LDPC-coded IDMA system with equal spreading and unequal spreading, pp. 126-129. , *IET 3rd International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks, September 26-29, 2010, Beijing, China.*
72. Yueqian, L., 2007. OFDM-IDMA Wireless Communication Systems. City University of Hong Kong, Department of Electronic Engineering, Master Thesis, Hong Kong, 76 s.
73. Ping, L., Guo, Q., Tong, J., 2007. The OFDM-IDMA approach to wireless communication systems. **IEEE Wireless Communications**, **14(3)**:18-24.
74. Sanchez, C., Ortega, B., Capmany, J., 2011. OFDM-IDMA for uplink transmission in passive optical networks. **IEEE Journal of Photonics**, **4(1)**:1-13.

75. Peng, T., Xiao, Y., He, X., Li, S., 2012. Improved detection of uplink OFDM-IDMA signals with carrier frequency offsets. **IEEE Communications Letters**, **16(5)**:646-649.
76. Dang, J., Yang, L., Zhang, Z., 2012. Improved SNR evolution for OFDM-IDMA systems. **IEEE Wireless Communications Letters**, **1(2)**:65-68.
77. Song, J., Hu, J., Xiong, X., 2009. An estimation algorithm for TDR-IDMA systems in complex multi-path channel, pp. 671-675. *ICCTA 2009 IEEE International Conference on Communications Technology and Applications, October 16-18, 2009, Beijing, China.*
78. Hammarberg, P., Rusek, F., Edfors, O., 2012. Channel estimation algorithms for OFDM-IDMA: complexity and performance. **IEEE Transaction on Wireless Communications**, **11(5)**:1722-1732.
79. Zhang, R., Hanzo, L., 2008. Three design aspects of multicarrier interleave division multiple access. **IEEE Transaction on Vehicular Technology**, **57(6)**:3607-3617.
80. Xiong, X.Z., Hu, J.H., Ling, X., 2009. An efficient uplink transmission technique for IDMA based on time-reversal. **International Journal of Electronics and Communications**, **64(2)**:125-132.
81. Jang, C., Lee, J.H., 2009. IDMA system with relays, pp. 404-408. *VITE 2009 IEEE 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory, and Aerospace Electronics Systems, May 17-20, 2009, Aalborg, Denmark.*
82. Xiong, X.Z., Hu, J.H., Ling, X., 2009. A cooperative transmission and receiving scheme for IDMA with time-reversal technique. **Wireless Personal Communications**, **58**:637-656.
83. Luo, Z., Gurkan, D., Han, Z., Wong, A.K., Qiu, S., 2009. Cooperative communication based on IDMA, pp. 1-4. *WICOM 2009, IEEE 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, September 24-26, 2004, Beijing, China.*
84. Pupeza, I., Kavcic, A., Ping, L., 2006. Efficient generation of interleavers for IDMA, pp. 1508-1513. *ICC 2006 IEEE International Communication Conference, June, 2006, Istanbul, Turkey.*

85. Hao, D., Hoeher, P.D., 2008. Helical interleaver set design for interleave-division multiplexing and related techniques. **IEEE Communications Letters**, **12**(11):843-845.
86. Wu, H., Ping, L., Perotti, A., 2006. User-specific chip-level interleaver design for IDMA systems. **IET Electronics Letters**, **42**(4):233-234.
87. Shukla, M., Chauhan, R.C.S., Srivastava, V.K., Tiwari, S., 2009. Performance analysis of tree based interleaver with IDMA systems using optimum power allocation algorithm, pp. 1-5. *IMSAA 2009 IEEE International Conference on Internet Multimedia Services Architecture and Applications, December 9-11, 2009, Bangalore.*
88. Shukla, M., Chauhan, R.C.S., Gupta, R., Srivastava, V.K., Tiwari, S., 2011. Performance analysis of tree based interleaver with iterative IDMA receivers using optimum power allocation algorithm, pp. 1-4. *First UK-India International Workshop on Cognitive Wireless Systems, December 11-12, 2009, New Delhi, India.*
89. Shukla, M., Srivastava, V.K., Tiwari, S., 2009. Performance analysis of tree based interleaver with IDMA systems using optimum power allocation algorithm, pp. 1173-1177. *ICETET 2009 Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, December 16-18, 2009, Nagpur, India.*
90. Shukla, M., Srivastava, V.K., Tiwari, S., 2008. Analysis and design of optimum interleaver iterative receivers in IDMA scheme. **Wireless Communications and Mobile Computing**, **9**(10):1312-1317.
91. Chenghai, Z., Jianhao, H., 2008. 2-dimension interleaver design for IDMA systems, pp. 372-376. *ICCSC 2008, 4th IEEE International Conference on Circuits and System for Communications, May 26-28, 2008, Shanghai, China.*
92. Wu, S., Chen, X., Zhou, S., 2009. A parallel interleaver design for IDMA system, pp. 1-5. *WCSP 2009, International Conference on Wireless Communication and Signal Processing, November 13-15, 2009, Nanjing, China.*
93. Gupta, R., Kanaujia, B.K., Chauhan, R.C.S., Shukla, M., 2010. Prime number based interleaver for multiuser iterative IDMA systems, pp. 603-607. *International Conference on Computational Intelligence and Communication Network, November 26-28, 2010, Bhopal, India.*

94. Han, L., Jin, M., Song, E., 2009. Matrix cyclic shifting based interleaver design for IDMA system, pp. 1-4. *WICOM 2009, IEEE 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, September 24-26, 2004, Beijing, China.*
95. Chung, Y.H., 2007. Performance and bandwidth efficient interleave-division multiple Access scheme with high-spread interleaver, pp. 1-5. *ICICS 2007, 6th International Conference on Information, Communications and Signal Processing, December 13-17, 2007, Singapore.*
96. Kusume, K., Bauch, G., 2008. Simple construction of multiple interleavers:cyclically shifting a single interleaver. **IEEE Transaction on Communications**, **56(9)**:1394-1397.
97. Yılmaz, F., Aygözü, Ü., 2002. Turbo kodlar için karma serpiştirici tasarımı, pp. 159-164. *10. Sinyal işleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu, Haziran 12-14, 2002, Pamukkale, Denizli.*
98. Bilim, M., Kapucu, N., Develi, İ., 2012. A new approach to random interleavers for traditional IDMA systems, pp. 209-212. *IEEE ISCC'2012, The 17th IEEE Symposium on Computers and Communication, July 1-4, Cappadocia, Turkey.*
99. Bilim, M., Develi, İ., Kapucu, N., 2012. Weibull ve karma serpiştirici kullanan IDMA sistemlerinin bit hata oranı başarımı, pp. 1-4. *SIU 2012, 20. Sinyal işleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu, Nisan 18-20, 2012, Fethiye, Antalya.*
100. Agrawal, D.P., Zeng, Q.A., 2011. Introduction to Wireless and Mobile Systems. Third Edition, Cengage Learning, Stamford, USA, 582 s.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Bilim 1987 yılında Gaziantep’te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gaziantep’te tamamladı. 2005 yılında Gaziantep Tekerekoğlu Anadolu lisesinden mezun oldu ve aynı yıl Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2010 yılında bölüm üçüncüsü olarak lisans öğrenimini tamamladı. Aynı yıl içerisinde Erciyes Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2011 yılından bu yana Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Adres: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039 Melikgazi / KAYSERİ
Tel: 0352 / 207 66 66 - 32206
e-posta: bilim@erciyes.edu.tr

YAYINLAR

- Bilim, M., Kapucu, N., Develi, İ., 2012. A new approach to random interleavers for traditional IDMA systems, pp. 209-212. *IEEE ISCC’2012, The 17th IEEE Symposium on Computers and Communication, July 1-4, Cappadocia, Turkey.*
- Bilim, M., Develi, İ., Kapucu, N., 2012. Weibull ve karma serpiştirici kullanan IDMA sistemlerinin bit hata oranı başarımı, pp. 1-4. *SIU 2012, 20. Sinyal işleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu, Nisan 18-20, 2012, Fethiye, Antalya.*