

# Başlangıç Evre Optimizasyonlu Gürültü Benzeri Kod Dizilerin Kullanıldığı Çok Kullanıcılı ÇGÇÇ-KBÇE Sistemlerin Başarım Analizi

Meryem Filiz<sup>1</sup>

İbrahim Develi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

<sup>1</sup>e-posta: meryemf@gmail.com

<sup>2</sup>e-posta: develi@erciyes.edu.tr

## Özetçe

Çok Girişli Çok Çıkışlı-Kod Bölmeli Çoklu Erişim (ÇGÇÇ-KBÇE) sistemleri, birden fazla antenin kullanıldığı bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. Bu çalışmada, çok kullanıcıli ÇGÇÇ-KBÇE sistemlerde başlangıç evre optimizasyonlu gürültü benzeri kod dizilerin, sistemin bit hata oranı (BHO) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Simülasyon sonuçları, hem ideal hem de yakın-uzak probleminin varolduğu durumlarda optimizasyonlu kodların kullanılması ile sistemin BHO başarımının iyileştiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler;** Çok taşıyıcılı sistemler, Evre Optimizasyonlu kodlar, ÇGÇÇ-KBÇE, RSTSIK

## 1. Giriş

Kod Bölmeli Çoklu Erişim (KBÇE) sisteminde tüm kullanıcılar bant genişliğinin tamamını bütün süre boyunca kullanabilirken, kullanıcılar arasında ayırt edicilik yayma kodları ile sağlanmaktadır. Her kullanıcıya gürültü benzeri bir kod atanır. Bu kod, Çoklu Erişim Girişimini (ÇEG) minimum yapan çarpaz ilinti özelliklerine sahiptir. Gürültü benzeri kod, bilgi işaretine uygulanır ve böylece bilgi işareti diğer kullanıcılar tarafından gürültü benzeri bir işaret olarak görülür. Sadece ilgili alıcı bu kodun aynısına sahiptir ve bu kodu bilgi işaretini ayırtmak için kullanır [1]. KBÇE sisteminde düşük bit hata oranları (BHO) sağlamak için yayma kodları arasındaki çarpaz ilintinin idealde sıfır olması veya başka bir ifadeyle kodların karşılıklı olarak dikgen olması istenir. Ne yazık ki, kullanıcı sayısına bağlı olarak çok fazla sayıda yayma koduna ihtiyaç duyulduğunda, dikgen kodların tasarımı oldukça güçtür [2].

Son yıllarda kapasite artırımını hedefleyen haberleşme teknolojisi kablosuz sistemlere talebi artırmıştır. Gerçek yüksek hızlı çok kullanıcıli kablosuz sistemler, sistemin spektral verimini artırmıştır. Kablosuz Çok Girişli Çok Çıkışlı (ÇGÇÇ) haberleşme sistemleri ileri uzay-zaman işaret işleme tekniklerinde çoklu verici ve alıcı antenlerin çalışması ile Shannon sınırına yakın kapasiteyi başarmak için kullanılmaktadır [3], [4]. ÇGÇÇ sistemler temel olarak alıcı ve verici sistem için çoklu anten elemanları kullanılarak elde edilir. Bu durumda BHO düşmektedir ve hizmet kalitesi

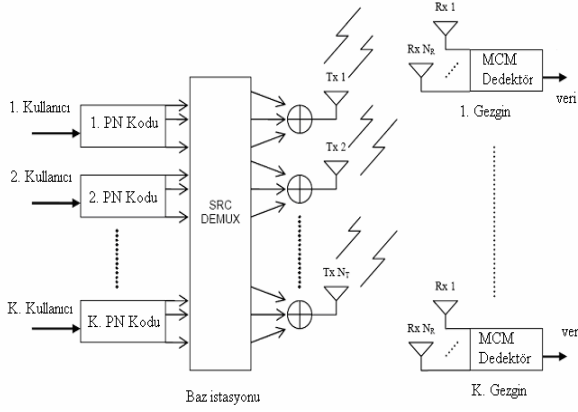
artmaktadır. ÇGÇÇ tekniği KBÇE sistemi için çok büyük kapasite sağlamaktadır. Çok Girişli Çok Çıkışlı-Kod Bölmeli Çoklu Erişim (ÇGÇÇ-KBÇE) sisteminde işaretlerin doğru sezilmesi için ilgili alıcı tarafından alınacak olan yayılı kodun zamanlaması bilinmelidir. Buna rağmen, çoğu metod yalnızca dalga biçimi bilinen zamanlama sezme varsayımını ele almaktadır. ÇGÇÇ-KBÇE de büyük kapasite temin edilebilmesi için istenilen kullanıcı için doğru kod zamanlama bilgisi alıcıda gerekmektedir [5].

KBÇE sistemi için tasarım işleminde ilk aşama, yayılı kod ailesinin seçimi ve alt-kod kümesinin optimizasyonudur. Tanımlama evresinde değişik alternatif aday sistemlerin ve alt sistemlerin Monte Carlo simülasyonlarında ve teorik analizlerde örnek olarak seçilmiş ailelerden aday gürültü benzeri dizi kümeleri kullanılmaktadır. Öz optimal / en düşük yankulak enerjisi (AO/LSE), en düşük yankulak enerji / öz optimal (LSE/AO), maksimum yankulak enerji / öz optimal (MSE/AO), çarpaz-optimal / minimum ortalamalı karesel çarpaz-ilinti (CO/MSQCC) ve minimum ortalamalı karesel çarpaz ilintili / çarpaz optimal (MSQCC/CO) ölçütleri başlangıç evre optimizasyonunda kullanılan kriterlerdir [6], [7].

Bu çalışmada, çok kullanıcıli ÇGÇÇ-KBÇE sistemlerde başlangıç evre optimizasyonlu gürültü benzeri kod dizilerin, sistemin BHO üzerindeki etkisi incelenmiştir.

## 2. ÇGÇÇ-KBÇE Sistemi

Kablosuz haberleşmeye olan ilgi ve talebin giderek artması spektral verimi yüksek olan sistemlerin geliştirilmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan, özellikle ÇEG dirençli ÇGÇÇ-KBÇE alıcı yapılarından olan V-BLAST (Vertical Bell Labs Layered Space-Time Architecture) gibi yüksek kapasite öneren sistemlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır [8]. Şekil 1, çok kullanıcıli ÇGÇÇ-KBÇE sistemin blok diyagramını göstermektedir. Bu sistem  $N_T$  tane verici anten,  $N_R$  tane alıcı anten ve  $K$  tane kullanıcıdan oluşur.  $KN_T$  veri altdizileri  $L$  uzunluğunda yayılı kod ile her biri yayılır ve daha sonra zengin saçılmalı kanala verilir. Antenlerin birbirinden yeterince ayrı uzaklıklarda olduğu varsayılır. Buna göre, antenler boyunca kompleks sönümlenme katsayıları ilintisizdir.



Şekil 1. Çok kullanıcılı ÇGÇÇ-KBÇE sistemin blok diyagramı

Anten çiftleri arasında zaman gecikmelerinin bağımsız olduğu ve bir sembol aralığı içerisinde sınırlandırıldığı varsayılır. Her  $M$  bit aralığından sonra bir boş bit yerleştirilmesiyle ve  $M+1$  uzunluğundaki sembollerin seçilerek alınmasıyla işaretlerin çerçeve girişimi etkili bir şekilde önlenir.  $p$ . ( $p = 1, \dots, N_T$ ) antendeki  $M$  veri bitlik bir çerçeve için alınan evreyuymulu kompleks temelband işareti;

$$r_p(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_T} \sum_{k=1}^K c_{n,p} a_{k,n} s_k(t - mT_s - \tau_{n,p}) b_{k,n}(m) + n_p(t) \quad (1)$$

burada  $c_{n,p}$ ,  $n$ . verici anten ile  $p$ . alıcı anten arasındaki kompleks kanal katsayısıdır;  $a_{k,n}$   $k$ . kullanıcının  $n$ . altdizi genliğidir;  $s_k(t)$   $k$ . kullanıcının normalize edilmiş gürültü benzeri kod dizisidir;  $T_s$  sembol aralığıdır,  $\tau_{n,p}$   $p$ . alıcı anten ile  $n$ . verici anten arasındaki yolun zaman gecikmesidir;  $b_{k,n}(m)$   $k$ . kullanıcının  $n$ . altdizisinin BPSK modüleli veri işaretidir ve  $n_p(t)$   $p$ . alıcı antendeki AWGN dir. Kanal genlikleri bağımsızdır.

Kırmık uyumlu filtreleme ve kırmık hız örneklemesinden sonra,  $M$  veri bitlik çerçeve için  $p$ . antendeki ayrık zaman kompleks temelbandlı alınan işaret,  $(M+1)L$  kompleks vektörü gibi yazılabilir

$$r_p = S_p \tilde{C}_p A b + n_p \quad (2)$$

burada

$$S_p = [S_{k,n,p}(1) \quad S_{k,n,p}(2) \quad \dots \quad S_{k,n,p}(M)] \quad (3)$$

gerçek  $(M+1)L \times KM N_T$  boyutlu yayılı kod matrisidir.

$\tilde{C}_p$  matrisi,  $C_p$  kanal matrisine dayalı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmalıdır.

$$\tilde{C}_p = I_{KM} \otimes \text{diag} \left\{ \underbrace{C_p \quad \dots \quad C_p}_{N_T} \right\} \quad (4)$$

Burada  $I_{KM}$   $KM$  boyutlu birim matristir,  $\otimes$  Kronocker çarpımını göstermektedir.  $C_p$  matrisi  $N_T \times N_T$  boyutlu kompleks kanal matrisidir ve şöyle tanımlanır:

$$C_p = \text{diag}(c_{1,p} \quad c_{2,p} \quad \dots \quad c_{N_T,p}) \quad (5)$$

burada  $c_{n,p}$   $p$ . alıcı anten ve  $n$ . verici anten arasında sönümlenmeli kanala karşılık gelen kompleks katsayıdır.  $A$  matrisi,  $KMN_T \times KM N_T$  boyutlu genliklerin tanımlandığı köşegen matrisidir.  $b$  vektörü gerçek  $KMN_T$  ikili veri vektörüdür.

Bu çalışmada, ÇGÇÇ-KBÇE sezicilerden olan Güçlü uzay-zaman seri girişim yoketme (RSTSIC) sezicisi göz önüne alınmıştır [4].

### 3. Başlangıç Evre Optimizasyonlu Kodlar

Gold dizileri ve Kasami dizileri literatürde yoğun olarak kullanılan gürültü benzeri kod dizileridir. Bu diziler, temel olarak öz ilinti ve çarpaz ilinti parametreleri ile karakterize edilirler. Öz ilinti fonksiyonu aşağıdaki gibi verilir:

$$R_a(\tau) = \int_{-N_c T_c / 2}^{N_c T_c / 2} p n(t) p n(t + \tau) dt \quad (6)$$

Burada  $N_c T_c = T_s$ ,  $N_c$  gürültü benzeri işaretin elemanlarının sayısıdır,  $T_c$  işaretin bir elemanın uzunluğudur,  $T_s$  tüm gürültü benzeri işaretinin süresidir. Çarpaz ilinti fonksiyonu aşağıdaki gibi verilir:

$$R_c(\tau) = \int_{-N_c T_c}^{N_c T_c} p n_i(t) p n_j(t + \tau) dt \quad (7)$$

Farklı gürültü benzeri dizi aileleri farklı öz ilinti ve çarpaz ilinti parametreleri ile karakterize edilir. Ailelerdeki dizilerin öz ve çarpaz ilinti parametrelerinde bozulmalar çok büyüktür [7]. Bu yüzden kod dizilerini optimize etmede AO/LSE, LSE/AO, MSE/AO, CO/MSQCC ve MSQCC/CO optimizasyon ölçütü kullanılmaktadır.

KBÇE literatürü ve büyük tasarım projelerinde sayısal performans sonuçların elde edilmesi için ÇEG rastgele değişkeninin olasılık dağılım fonksiyonunu saptamada test dizi kümeleri ve onların başlangıç evreleri gereklidir. Literatürde AO/LSE, LSE/AO, MSE/AO,

CO/MSQCC ve MSQCC/CO ölçütlü başlangıç evre optimizasyonlu kodlar kullanılmaktadır. Optimizasyon ölçütleri minimum ÇEG açısından değerlendirilmiştir.

KBÇE analizi ve gürültü benzeri kod tasarımında ilgili literatürde farklı kod ailelerinden değişik uzunluklarda kod kümelerinin kıyaslanmasıyla yapılan araştırmalarda ilk olarak bazı gürültü benzeri kod kümelerinin optimal evreleri ve onların ortalama girişim parametre (OGP) değerleri araştırılmıştır [9], [10].

Seçilmiş KBÇE kodları için yaygın metodlardan biri, tek fonksiyonların ( $\hat{\theta}_A, \hat{\theta}_C$ ) maksimum değerleri küçük olan altkümenin bulunması, çift öz ilinti fonksiyonunun ve çarpraz ilinti fonksiyonunun maksimum mutlak değerleri ( $\theta_A, \theta_C$ ) küçük (Gold kodları gibi) kod kümelerin ya da ailelerin araştırılmasıdır. Bir kümedeki  $K$  kodlarının her biri için en iyi evre-kayma birleşiminin bulunmasıyla  $\hat{\theta}_A$  ve  $\hat{\theta}_C$  parametrelerini minimize etmek nihai amaçtır. En iyi evre kaymaların ÇEG miktarını minimize ettiği gibi SNR yı maksimize ve bit hata olasılığını minimize edeceği düşünülmüştür [6]. AO/LSE optimizasyon ölçütünün temel amacı öz ilinti fonksiyonunun yankulaklarının maksimum mutlak değerlerini minimize etmektir.  $x$  dizisinin tek öz ilinti fonksiyonunun maksimum yan kulağı şöyle ifade edilir [4]:

$$\hat{M}(x) = \max \left\{ \left| \hat{Q}_x(l) \right| : 1 \leq l < p \right\} \quad (8)$$

Yan kulakların mümkün olduğunca küçük yapılması istenir. Minimumun başarıldığı evre kaymaları birden fazladır. Periyodik olmayan yankulak enerji minimuma ulaştığı zaman yankulak enerjisi minimuma ulaşmaktadır. Ortalama girişim parametresi,

$$r_{i,j} \leq 4p^2 + 6\sqrt{S_i S_j} \quad (9)$$

$i$  ve  $j$  dizilerinin yankulak enerjileri minimize edilirse minimize olur.  $S_i$  ve  $S_j$   $i$ . ve  $j$ . dizilerin öz ilinti fonksiyonudur.

AO/LSE için olan optimizasyon adımların sırası tersine çevrilirse LSE/AO elde edilir. Bu ölçütün temel amacı öz ilinti fonksiyonunun yan kulaklarının maksimum mutlak değerlerinin minimize edilmesidir.

AO/LSE ve LSE/AO tanımlandıktan sonra, MSE/AO olarak adlandırılan üçüncü optimizasyon ölçütü tasarlanmıştır. MSE/AO için aşağıdaki denklem dikkate alınır:

$$p^2 - 2\sqrt{S_i S_j} \leq \mu_{i,j}(0) \leq p^2 + 2\sqrt{S_i S_j} \quad (10)$$

$\mu_{i,j}$  çarpraz ilinti fonksiyonuna bağlı bir parametredir. Eğer periyodik olmayan yankulak enerjisi maksimum

değere sahipse şart sağlanır. MSE/AO ölçütü tanımı, yan kulak enerjisinin minimizasyonunun maksimizasyon ile sağlanması dışında LSE/AO ölçütünün tanımına benzerdir. MSE/AO kuralı öz optimallığe rağmen büyük yan kulaklı tek öz ilinti fonksiyonu üretir. Bu ölçütün temel amacı öz ilinti fonksiyonunun yankulaklarının maksimum mutlak değerlerini maksimize edilmesidir.

Öz ilinti ve çarpraz ilinti parametreleri bağımsız değildirler [11]. Daha iyi öz ilinti özellikleri daha kötü çarpraz ilinti özellikleri pahasına elde edilebilir veya tam terside olabilir. CO/MSQCC ve MSQCC/CO çarpraz ilintiye bağlı ölçütlerdir. CO/MSQCC optimizasyon ölçütünün temel amacı çarpraz ilinti fonksiyonunun maksimum mutlak değerini minimize etmektir.  $x$  ve  $y$  dizileri arasında tek çarpraz ilinti fonksiyonunun maksimum ilinti genliği şöyle tanımlanabilir [4]:

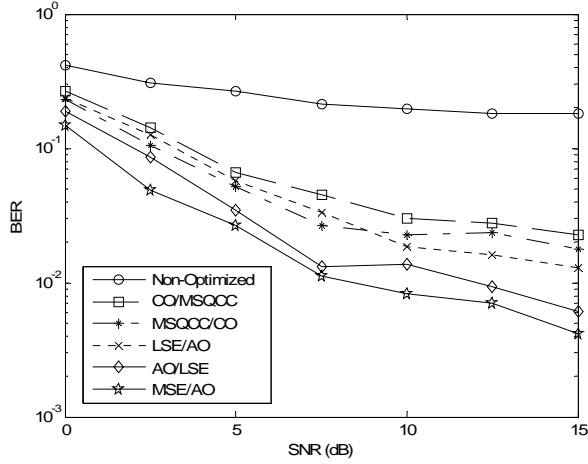
$$\hat{M}(x, y) = \max \left\{ \left| \hat{Q}_{x,y}(l) \right| : 1 \leq l < p \right\} \quad (11)$$

CO/MSQCC ölçütü, ortalamalı karesel değeri daha zayıf tepe ilintisini dikkate alır. Toplam girişim parametre miktarını azaltmada tepe ilintinin yerine ortalamalı karesel çarpraz ilinti matrisi gözönüne alınır. Eğer CO/MSQCC optimizasyon ölçütünün adımları ters çevrilirse MSQCC/CO ölçütü elde edilir [11].

#### 4. Başarım Analizi ve Nümerik Sonuçlar

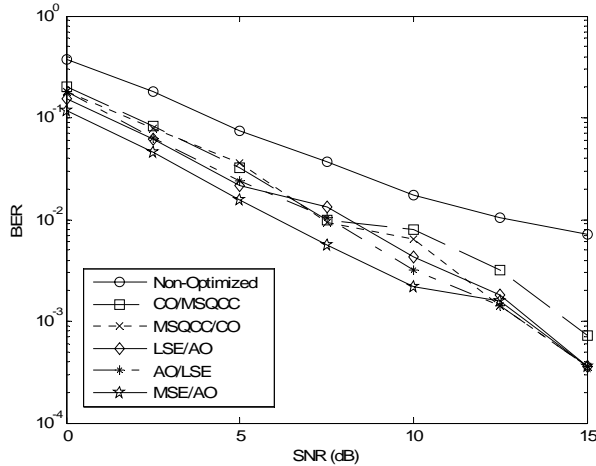
Bir eşzamansız ÇGÇÇ-KBÇE sisteminin (kod uzunluğu, veri işaret periyoduna eşittir) SNR performansı üzerinde yayılı kod kümesi için değişik başlangıç evre optimizasyon ölçüt seçeneğinin etkisiyle ilgili sonuçlar incelenmiştir. Sistemin BHO başarımına yakın uzak oranının (YUO), optimize edilmiş kodların ve optimize edilmemiş kodların etkileri değerlendirilmiştir. ÇGÇÇ-KBÇE sistemlerinden ikişer tane alıcı ve verici antene sahip RSTSIC' in BHO incelenmiştir ( $N_T = N_R = 2$ ). Sistemde 10 kullanıcı mevcuttur ( $K=10$ ). 31 uzunluklu optimize edilmemiş ve değişik ölçütlere göre optimize edilmiş Gold kodlarının ( $L=31$ ) başarımı, ideal (YUO=0 dB) ve yakın uzak problemin var olduğu (YUO=20 dB) iki farklı senaryo için incelenmiştir. Monte Carlo simulasyon sayısı 3500 olarak alınmıştır [12].

YUO=20 dB alındığında sistem için AO/LSE, LSE/AO, MSE/AO, CO/MSQCC ve MSQCC/CO ölçütlü başlangıç evre optimizasyonlu Gold kodları, Şekil 2 de görülen başarımı sergilemektedir. Bu durumda optimizasyon ölçütleri arasında sistem için en iyi BHO başarımını MSE/AO ölçütü, en kötü BHO başarımını CO/MSQCC ölçütü sağlamaktadır. Şekil 2'den görüleceği gibi, rastgele olarak seçilmiş optimizasyonsuz Gold koduyla ulaşılan BHO başarımı, optimizasyonlu kodlar ile ulaşılan BHO başarımından daha düşüktür.



Şekil 2. YUO = 20 dB için başlangıç evre optimizasyonlu kodlar ile ulaşılan BHO değişimi.

YUO=0 dB alındığı ideal durum için AO/LSE, LSE/AO, MSE/AO, CO/MSQCC ve MSQCC/CO ölçütlü başlangıç evre optimizasyonlu Gold kodlar, Şekil 3 de görülen başarımları sergilemektedirler. Bu durumda, yakın-uzak durumu için elde edilen sonuçlara benzer şekilde, optimizasyon ölçütleri arasında sistem için en iyi BHO başarımını sağlayan ölçütün yine MSE/AO olduğu ve en kötü BHO başarımını sağlayan ölçütün ise tekraren CO/MSQCC olduğu görülmektedir. YUO=20 dB ve YUO=0 dB olan iki durumda için de optimizasyonlu kodlarla ulaşılan BHO'ların, optimizasyonsuz kodlar ile ulaşılan BHO'lardan daha düşük olduğu görülmüştür [12].



Şekil 3. YUO = 0 dB için başlangıç evre optimizasyonlu kodlar ile ulaşılan BHO değişimi.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, ÇGÇÇ-KBÇE sistem tanıtılarak RSTSIC için AO/LSE, LSE/AO, MSE/AO, CO/MSQCC ve MSQCC/CO ölçütlü başlangıç evre optimizasyonlu Gold kodlar kullanılarak sistemin başarımları analiz edilmiştir. MSE/AO ölçütü ile optimize edilmiş Gold kodların sistem için en iyi BHO başarımını sağladığı ve CO/MSQCC ölçütü ile

optimize edilmiş Gold kodların diğer ölçütlere göre daha düşük BHO başarımını sağladığı görülmüştür.

## 6. Teşekkür

Bu çalışma; FBT-07-10 proje kod numarası ile Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

## 7. Kaynakça

- [1] Glisic, S. G., Leppänen, P.A., Code Division Multiple Access Communications, *Kluwer Academic Publishers*, London, 1995.
- [2] Ertürk, S., Sayısal Haberleşme, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2005.
- [3] Gesbert D., Shafi M., Shiu D. S., Smith P., Naguib A., From theory to practice: an overview of MIMO space-time coded wireless systems, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 21(3):281-302, 2003.
- [4] Lu R.C.Y., Multiuser Detection in CDMA MIMO Systems with Timing Mismatch, Ph.D. Thesis, Queen's University, Canada, 2004.
- [5] Yoonjoo K., Kyungho K., Myeongcheol S., Chungyong L., An efficient code timing acquisition for MIMO-CDMA system, *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC 2004-Spring, 2004 IEEE 59th*, 2:819-823, 2004
- [6] Kärkkäinen K., Leppänen P., The influence of initial-phases of a PN code set on the performance of an asynchronous DS-SSMA system, *Wireless Personal Communications*, 13(3):279-293, 2000.
- [7] Armanavičius G., Kažys R., Digital signal processing in ultrasonic multi-channel measurements, *Ultrasonics Journal*, 43(2), 2002.
- [8] Foschini G. J., Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas, *Bell Labs Technical Journal*, 41-59, 1996.
- [9] Farrell T. O., New signature code sequence design techniques for CDMA systems, *Electronics Letters*, 27(4):371-373, 1991.
- [10] Roefs H.F.A., Binary sequences for spread-spectrum multiple-access communication, *Ph.D. dissertation*, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL, U.S.A., 127, 1977.
- [11] Kärkkäinen K., Leppänen P., Comparison of the performance of some linear spreading code families for asynchronous DS/SSMA systems, *IEEE Transactions on Communications*, 2:784-790, 1991.
- [12] Filiz M., Başlangıç evre optimizasyonlu gürültü benzeri kod dizilerinin kullanıldığı ÇGÇÇ-KBÇE sistemlerin başarımları analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, 2007.