

# DD-KBÇE için Genetik Algoritma Destekli Radyal Taban Fonksiyon Çok Kullanıcılı Sezici

## Genetic Algorithm Assisted Radial Basis Function Multiuser Detector for DS-CDMA

*M.Uğur TORUN, Damla KUNTALP*

Dokuz Eylül Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Kaynaklar Yerleşkesi, 35160, Buca, İzmir

ugur.torun@eee.deu.edu.tr, damla.kuntalp@eee.deu.edu.tr

### Özetçe

Doğrudan Dizili Kod Bölüşümlü Çoklu Erişim (DD-KBÇE) işaretlerinin seziminde optimum alıcının hesaplama karmaşıklığı kullanıcı sayısı ile üstel olarak artmaktadır. Bu nedenle çeşitli alt-optimal çok kullanıcı seziciler (ÇKS) tasarlanmıştır. Radyal Taban Fonksiyon (RTF) ÇKS de bunlardan biridir. RTF ÇKS'nin başarımı oldukça yüksektir ancak bu sezicinin de merkez sayısı kullanıcı sayısı ile üstel olarak artmaktadır. Bu çalışmada RTF ÇKS'nin merkez sayılarını Genetik Algoritma (GA) ve en küçük ortalama kareler (EKOK) algoritması ile eniyileme yaparak azaltan yeni bir yöntem önerilmiştir. Yapılan benzetimler göstermiştir ki önerilen yöntem ile yapısal karmaşıklığı büyük ölçüde azaltılan RTF ÇKS'nin bit hata oranı tek kullanıcı sistemin bit hata oranına çok yakındır.

### Abstract

The optimal receiver for detecting the Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA) signals suffers from computational complexity which increases exponentially with the increasing number of users. Thus several sub-optimal multi-user detectors (MUD) are proposed. Radial Basis Function (RBF) MUD is one of these sub-optimal receivers which has a very high performance but which still suffers from computational complexity since the number of center functions increases exponentially with the increasing number of users. In this contribution, we propose a new method to minimize the number of center functions of RBF MUD using Genetic Algorithm (GA) and Least Mean Squares (LMS) algorithm. Simulation results showed that the proposed method immensely reduced the complexity of the RBF MUD and the MUD was capable of successfully tracking the bit error rate of the single-user detector.

### 1. Giriş

Kod Bölüşümlü Çoklu Erişim (KBÇE) işaretlerinde farklı kullanıcılar aynı frekans bandını kullanarak iletişim yaparlar. KBÇE'de her kullanıcıya özbebir (unique) yayma kodu atanır, böylece tüm kullanıcılar aynı zamanda tüm bant genişliğini ortak olarak kullanırlar. En yaygın kullanılan KBÇE türü

Doğrudan Dizili Kod Bölüşümlü Çoklu Erişim (DD-KBÇE)'dir [1].

DD-KBÇE için tasarlanacak çok kullanıcı sezici (ÇKS) doğrusal olmayan bir karar sınırına ihtiyaç duyar. Optimum alıcı bu karar sınırını en iyi şekilde ifade eder ancak hesaplama karmaşıklığı ( $U$  kullanıcı için  $2^U$ ) çok yüksektir. Bu nedenle alt-optimum olan doğrusal ya da doğrusal olmayan ÇKS'ler tasarlanmıştır. Bu sezicilerin tasarımında amaçlanan, daha düşük hesaplama karmaşıklığı ile optimum alıcının Bit Hata Oranına (BHO) yaklaşabilmektir.

Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RTYSA) kullanılarak doğrusal alıcılardan daha yüksek başarıma sahip ve optimum alıcının başarımına yaklaşabilen bir DD-KBÇE sezicisi tasarlanabilir [2]. Ancak bu ÇKS'de de hesaplama karmaşıklığı yüksektir. RTYSA'ların yapılarının Genetik Algoritma (GA) ile belirlenmesi konusunda çalışmalar bulunmaktadır [3]. Benzer bir düşünceyle RTYSA kullanılarak tasarlanmış ÇKS (RTF ÇKS) yapısı da Genetik Algoritma ile belirlenebilir [4]. Bu çalışmada RTF ÇKS yapısını GA ve EKOK algoritması ile eniyileyen yeni bir yöntem önerilmiştir.

### 2. Yöntem

#### 2.1. Sistem ve Kanal Modeli

Sistem birbirinden bağımsız  $U$  adet kullanıcıdan oluşmaktadır. Bütün kullanıcılara ait DD-KBÇE işaretleri bit ve kırkık (chip) eşzamanlıdır. Her kullanıcının 1'e normalize edilmiş ve eşit güçte iletim yaptığı kabul edilmiştir. Sistemde kullanılan kipleme türü BPSK'dir. Kullanıcı  $u$  tarafından  $k$  bit aralığında iletilen veri biti  $D_u(k)$ 'dir ve eşit olasılıkla +1 ya da -1 olabilir. Kullanıcı  $u$ 'ya ait  $N$  kırkık uzunluğundaki özbebir yayma kodu  $C_u$  ile ve yayma kodunu oluşturan her bir kırkık  $C_{u,n}$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$  ile ifade edilir. Her bir kırkık +1 ya da -1 olabilir.

Toplanır beyaz Gauss gürültülü (TBGG) kanalda kırkık hızında alınan işaret şöyle ifade edilir:

$$y(kN + n) = \sum_{u=1}^U D_u(k) C_u + g(kN + n) \quad (1)$$

Burada  $g(kN + n)$  TBGG'dir ve değışintisi

$\sigma_n^2 = N_0/2$ 'dir.  $N_0/2$  ise çift taraflı gürültü güç izge yoğunluğudur.

Sistem modelinde, kullanıcılara ait bitler eşzamanlı olduğu için alınan sinyal  $y(n)$ ,  $N$  uzunluğundaki  $\mathbf{y}(n)$  vektörü ile ifade edilebilir. Ayrıca  $\mathbf{y}(n)$  vektörü RTF ÇKS'nin giriş vektörüdür.

## 2.2. Radyal Taban Fonksiyon Çok Kullanıcılı Sezici (RTF ÇKS)

RTYSA, giriş katmanı ve gizli katman olmak üzere iki katmandan oluşur. Gizli katmandaki her bir nörona "merkez" denir. Merkezlerin çıkışları doğrusal ağırlıklar ile çarpılarak toplanır ve çıkış elde edilir.

RTYSA kullanılarak bir ÇKS gerçekleştirilebilir [2]. Bu tip bir sezici Radyal Taban Fonksiyon Çok Kullanıcılı Sezici (RTF ÇKS) olarak anılır. RTF ÇKS'nin çıkışında normal RTYSA'ya ek olarak birim basamak fonksiyonu bulunur. Şekil 1'de RTF ÇKS'nin yapısı verilmiştir.

RTYSA'da kullanılan çok çeşitli merkez fonksiyonları vardır ancak en yaygın olanı ve RBF ÇKS'de de kullanılan Gauss fonksiyonu  $\phi(\cdot)$ 'dir:

$$\phi_m(\mathbf{y}(k)) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{y}(k) - \mathbf{c}_m\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

RBF ÇKS'nin yapısı şu şekildedir:  $\mathbf{c}_m, m = 1, 2, \dots, M$  uzunluğu  $N$  olan merkez vektörleridir. Merkez vektörleri, ÇKS girişine gelebilecek bütün olası gürültüsüz vektörler kümesinden oluşur. Kullanıcı sayısı  $U$  olduğu için  $M = 2^U$ 'dur. Gauss fonksiyonunun değışintisi,  $\sigma^2$ , ise gürültünün gücüne eşittir. Bu yapıyı oluşturabilmek için bütün kullanıcıların yayma kodlarının ve eklenen gürültünün gücünün bilinmesi gerekmektedir.

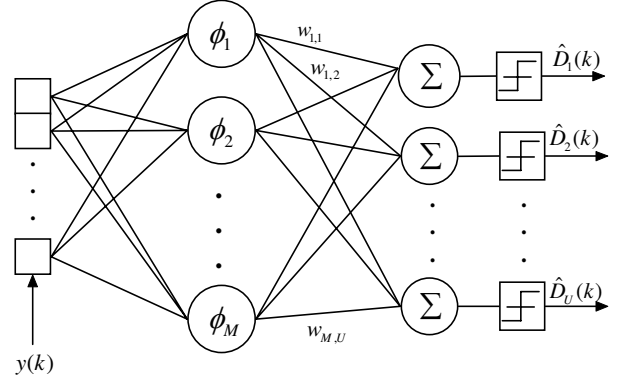
RTF ÇKS'de merkez fonksiyonlarının çıkışlarındaki doğrusal ağırlıklar  $w_{m,u}, m = 1, 2, \dots, M$  ile ifade edilir.  $w_{m,u}$ ,  $u$  kullanıcıya ait ve  $\mathbf{c}_m$  merkezinin çıkışına etki eden ağırlıktır. Sistemdeki kullanıcılardan hangisinin verisi sezilmek isteniyorsa, o kullanıcıya ait olası  $D_{u,m}$ 'lere göre  $w_m$ 'ler seçilmelidir [2]. Bu durumda  $w_{m,u}$ 'lar ya +1 ya da -1 olacaktır. RTF ÇKS'nin sadece doğrusal ağırlık değıştirilerek farklı kullanıcıların verileri sezilebilir. Bu durumda RTF ÇKS'nin  $u$  kullanıcısı için çıkış fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir:

$$\hat{D}_u(k) = \text{sgn}\left(\sum_{m=1}^M w_{m,u} \phi_m(\mathbf{y}(k))\right) \quad (3)$$

Burada  $\mathbf{y}(k)$ , uzunluğu yayma kodunun uzunluğuna eşit olan ve  $U$  adet kullanıcının DD-KBÇE işaretini içeren vektördür.

## 2.3. Genetik Algoritma Destekli RTF ÇKS

RTF ÇKS'de  $M = 2^U$  adet merkez fonksiyon vardır. Kullanıcı sayısı,  $U$ , arttıkça gerekli olan merkez sayısı ve RTF ÇKS yapısının karmaşıklığı üstel olarak artmaktadır. Düşük bir performans kaybı ile RTF ÇKS'de kullanılan merkez sayısını azaltmak mümkündür. Bunun için herhangi bir RTYSA yapısının GA kullanılarak eniyilenmesi konusunda önerilmiş olan yöntemler [3] kullanılabilir. GA kullanılarak denklem 3'ün



Şekil 1: Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı Çok Kullanıcılı Sezici Yapısı

hesaplanmasında sonuca katkısı düşük olan  $\phi_m(\cdot)$  fonksiyonları saptanabilir ve elenebilir [4]. Bu yöntemle çok daha az merkeze sahip bir RTF ÇKS yapısı elde edilebilir.

Çalışmamızda [4]'de elde edilen BHO değışlerinden daha iyi değışler elde etmek için yeni bir yöntem önerilmiştir.

### 2.3.1. Önerilen RTF ÇKS

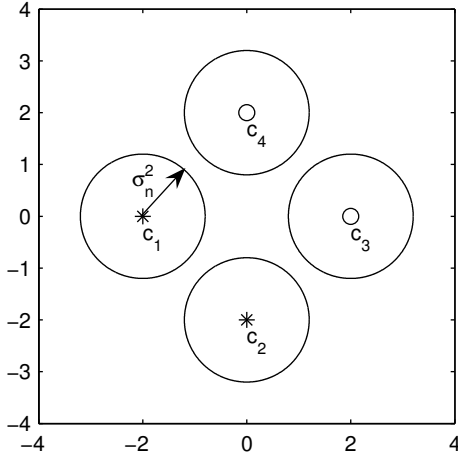
RTF ÇKS girişine gelebilecek olası gürültüsüz vektörler  $2^U$  adettir. Bu nedenle ÇKS olarak kullanılacak bir RTYSA'nın  $2^U$  adet merkez vektörü olması gerekmektedir. [4]'de  $2^U$  adet yerine daha az sayıda merkez vektörü olan bir RTF ÇKS oluşturmak için GA kullanan bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde denklem 2, uygunluk (fitness) fonksiyonu olarak seçilmiş ve  $2^U$  adet vektörden uygunluk fonksiyonunda en yüksek değeri veren vektörler merkez vektörü olarak seçilmiştir. Böylelikle çok daha az sayıda merkez vektörü ile bir RTF ÇKS oluşturulmuştur. Oluşturulan RTF ÇKS'de merkez fonksiyonlarının değışinti değışleri olarak gürültü değışintisi seçilmiştir.

Bu çalışmada da amaçlanan daha az sayıda merkez vektör ile bir RTF ÇKS oluşturabilmektir. Ancak önerilen RTF ÇKS yapısında merkez vektörlerinin konumu, olası gürültüsüz giriş vektörlerinin konumu ile aynı olmak zorunda değildir. Ayrıca her bir merkez fonksiyonunun değışinti değeri de gürültü değışintisi ile veya diğđer merkezlerin değışintileri ile aynı olmak zorunda değildir. Bu yöntem ile [4]'de önerilen yöntemle göre daha iyi bit hata oranlarına ulaşılması amaçlanmıştır. Önerilen yöntem basit bir örnek üzerinden şu şekilde açıklanabilir:

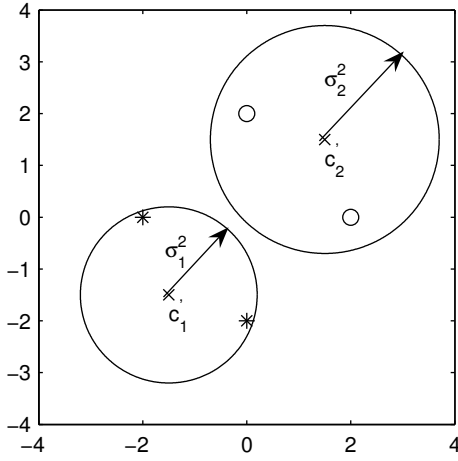
Şekil 2.a'da kullanıcı sayısı  $U = 2$  ve yayma kodu uzunluğu  $N = 2$  kırkık olan bir DD-KBÇE sistemi için  $\mathbf{c}_m$  merkez vektörleri gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 2.a'da RTF ÇKS'nin merkez fonksiyonu olan Gauss fonksiyonlarının değışintileri,  $\sigma_m^2$ , gösterilmiştir. Bu değışinti değışleri eklenen TBGG'nin değışinti değışine eşittir ve bu değış her merkez fonksiyonu için aynıdır:

$$\sigma_m^2 = \sigma_{TBGG}^2, \quad \forall m, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

Burada  $M = 2^U$  merkez sayısı,  $U$  sistemdeki kullanıcı sayısıdır. Şekil 2.b'de ise aynı DD-KBÇE sistemi için



(a)



(b)

Şekil 2: (a) RTYSA ÇKS merkezleri ve merkez fonksiyon değışintileri, (b) Önerilen RTYSA ÇKS merkezleri ve merkez fonksiyon değışintileri.

önerilen RTF ÇKS merkezleri ve merkez fonksiyon değışintileri gösterilmiştir. Önerilen RTF ÇKS'nin merkez vektörleri [4]'te önerilen RTF ÇKS'den farklı olarak DD-KBÇE sisteminin olası merkez vektörleriyle aynı konumda değildir:

$$\mathbf{c}'_k \neq \mathbf{c}_m; \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (5)$$

Burada,  $\mathbf{c}'_k$  önerilen sistemin merkez vektörleri,  $\mathbf{c}_m$  ise DD-KBÇE sisteminin olası merkez vektörleridir. Şekil 2.b'de görüldüğü üzere önerilen RTF ÇKS'de yine [4]'te önerilen RTF ÇKS'den farklı olarak her bir Gauss merkez fonksiyonunun farklı değışinti değeri vardır:

$$\sigma_i^2 \neq \sigma_j^2, \quad i \neq j, \quad 1 \leq i < j \leq K \quad (6)$$

Önerilen yöntemdeki bu esneklik sayesinde DD-KBÇE uzayının herhangi bir bölümü birden çok merkez fonksiyonu yerine tek bir merkez fonksiyonu ile ifade edilebilmektedir.

### 2.3.2. RTF ÇKS Parametrelerinin Bulunması

Sistemin merkez vektörlerinin,  $\mathbf{c}'_k$ , ve bu merkezlerin değışinti değeri,  $\sigma_k^2$ , saptanması bir eniyileme problemi olarak tanımlanmış ve eniyileme için Genetik Algoritma (GA) kullanılmıştır. Denklem 5'e göre sistemin merkez vektörleri uzayda olası DD-KBÇE merkez vektörlerinden farklı noktalarda olabilirler. Bu nedenle RTF ÇKS'nin çıkışındaki doğrusal ağırlıklar [2]'deki gibi olası  $D_{u,m}$  veri dizelerinden seçilemez. Bu nedenle, çıkış katmanındaki doğrusal ağırlıkların hesaplanması için EKOK algoritması kullanılmıştır.

GA'da topluma ait her bir birey vektörü şu şekilde tanımlanmıştır:

$$I_{p,i} = [ \mathbf{c}'_{1,i} \quad \mathbf{c}'_{2,i} \quad \dots \quad \mathbf{c}'_{K,i} \quad \sigma_{1,i}^2 \quad \sigma_{2,i}^2 \quad \dots \quad \sigma_{K,i}^2 ] \quad (7)$$

Burada  $p = 1, 2, \dots, P$  birey numarası,  $P$  toplumdaki birey sayısı,  $i$  döngü numarasıdır. Denklem 7'de görüldüğü üzere her bir birey farklı RTF ÇKS yapısı tanımlamaktadır. Genetik algoritmanın her bir döngüsünde bireylerin tanımladığı RTF ÇKS çalıştırılır ve bireyin uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu ise şu şekilde tanımlanmıştır:

$$f = 1 - BHO \quad (8)$$

Buna göre, uygunluk fonksiyonu maksimize edilirken minimum BHO'ya yaklaşırlar. GA her bir döngüde en iyi BHO değerlerine sahip bireyleri seçer ve bu bireylerden çapraz değışim (crossover) ve mutasyon ile yeni bir toplum oluşturur.

## 3. Benzetim Sonuçları

Önerilen sistemin başarımının ölçülmesi için, kullanıcı sayısı  $U = 20$  olan bir DD-KBÇE sistemi oluşturuldu. Her bir kullanıcı için  $10^4$  adet bit (sembol) üretildi. Kırmık uzunluğu  $N = 32$  olan Walsh yayma kodları kullanılarak, DD-KBÇE işareti oluşturuldu. Bu parametreler kullanılarak bütün gürültüsüz olası merkez vektörleri  $\mathbf{c}_m, m = 1, 2, \dots, M$  içeren  $\mathbf{C}$  matrisi oluşturuldu:

$$\mathbf{C} = [ \mathbf{c}_1; \mathbf{c}_2; \dots; \mathbf{c}_M ] \quad (9)$$

Bilindiği gibi birey sayısının yüksek seçilmesi GA'nın eniyileme yaparken gerek duyacağı doğuruş sayısını azaltır ve yerel minimumlara takılma olasılığını azaltır ancak bu GA'nın hesaplama süresini uzatır [5]. Çalışmamızda genetik algoritmanın toplum birey sayısı  $P = 40$  seçilmiştir. Bu değerin RBF ÇKS eniyileme problemi için yeterli olduğu deneysel olarak görülmüştür. Genetik algoritmanın başlangıç toplumundaki her bir birey şu şekilde oluşturulmuştur:

$$I_{p,0} = [ \mathbf{c}'_{1,0} \quad \mathbf{c}'_{2,0} \quad \dots \quad \mathbf{c}'_{K,0} \quad \sigma_{1,0}^2 \quad \sigma_{2,0}^2 \quad \dots \quad \sigma_{K,0}^2 ] \quad (10)$$

Denklem 10'da  $\mathbf{c}_{x,0}, x = 1, 2, \dots, K$  vektörleri  $\mathbf{C}$  matrisinin satırlarından rassal olarak seçilmiştir. Her bir satır bir

birey içerisinde sadece bir kere seçilmiştir. Ayrıca denklem 10'da bütün  $\sigma_{y,0}^2, y = 1, 2, \dots, K$  değışintileri  $\sigma_n^2$ 'e yani eklenen TBGG'nin değışintisine eşitlenmiştir. Genetik algoritmanın diğere parametreleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

<b>Topluluk Türü</b>	Çift (Double) Vektör
<b>Seçme Yöntemi</b>	Stokastik Düzgün
<b>Mutasyon Yöntemi</b>	Gauss
<b>Çapraz Değışim Yöntemi</b>	Saçılmış (Scattered)
<b>Mutasyon Olasılığı</b>	Shrink:0.75; Scale:0.5
<b>Çapraz Değışim Olasılığı</b>	0.8
<b>Doğuruş Sayısı</b>	50

Tablo 1: Genetik Algoritma Parametreleri

Farklı sayıda merkez vektör değereeri için farklı RTF ÇKS yapıları GA ve EKOK kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan ÇKS'leri test etmek amacıyla herbir kullanıcı için  $10^7$  adet bit üretilmiştir. Merkez vektör sayıları  $K = 20$ ,  $K = 40$  ve  $K = 80$  olacak şekilde üç farklı ÇKS'nin BHO'ları elde edilmiş ve sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur.

#### 4. Tartışma

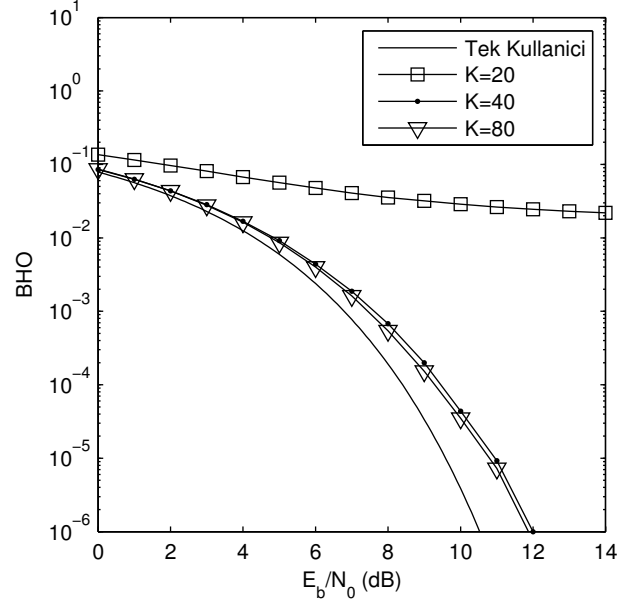
Şekil 3'e bakıldığında  $M = 2^{20}$  adet merkez vektörü yerine sadece  $K = 40$  adet merkez vektörü kullanılarak tek kullanıcı sistem performansına çok iyi bir şekilde yaklaşıldığı görülmektedir.  $K = 80$  durumu için BHO eğrisi  $K = 40$  durumuna çok benzerdir ancak 40 yerine 80 adet merkez vektörü kullanmanın daha yüksek  $E_b/N_0$  değereerinde fark yaratacağı açıktır.  $K = 20$  merkezli RTYSA ÇKS'de elde edilen en iyi bit hata oranı ise  $10^{-2}$ 'dir.

Üç farklı durumda da, Gauss merkez fonksiyonlarının değışintilerinin sabit ve gürültü değışintisine eşit tutulduğu, ayrıca merkez vektörlerinin olası gürültüsüz merkez vektörleri ile uzayda aynı noktalarda konumlandırıldığı yapılardan [4] çok daha düşük BHO değereerine ulaşılmıştır. Bu sonuç, önerilen yöntemin aynı sayıda merkez kullanılarak daha geniş bir DD-KBÇE uzayını temsil edebildiğini göstermektedir.

GA'da sistem başarımı başlangıç toplumuna bağılı olarak değışiklik gösterebilir. Bununla beraber, yeterli sayıda doğuruş yaptırılarak başlangıç toplumuna bağımlılık ortadan kaldırılabılır.

#### 5. Sonuçlar

DD-KBÇE işarelerinin sezimi için RTYSA kullanan yeni bir RTF ÇKS önerilmiştir. Önerilen ÇKS'nin avantajı RTYSA'nın merkez fonksiyonlarındaki merkez vektörlerinin uzaydaki konumlarına ve değışinti değereerine tanıdığı serbestlik sayesinde yapının karmaşıklığını büyük oranda azaltmasıdır. RTYSA'nın merkez fonksiyonları GA ile eniyilenmiş, doğrusal ağırlıklar ise EKOK ile bulunmuştur. Benzetim sonuçlarına göre önerilen ÇKS'de kullanılan RTYSA'nın karmaşıklığı büyük oranda azaltılırken sistemin bit hata oranı tek kullanıcı sistem bit hata oranına çok yakındır.



Şekil 3: Benzetim Sonuçları

#### 6. Teşekkür

Çalışmamızda bize verdiği yardım ve destek için Yrd. Doç. Dr. Mehmet KUNTALP'e teşekkür ederiz.

#### 7. Kaynakça

- [1] Verdu, S., "Multiuser Detection", Cambridge Press, 1998, ISBN 052159373.
- [2] Cruickshank, D. G. M., "Radial basis function receivers for DS-CDMA", IEE Electronic Letters, vol. 32, pp.188-190, Feb. 1996.
- [3] Harpham, C., Dawson, C., W., Brown, M., R., "A review of genetic algorithms applied to training radial basis function networks", Neural Computing and Applications, Springer-Verlag London Ltd. 2004, 10.1007/s00521-004-0404-5.
- [4] Wei, H., Yee, MS., Hanzo, L., "Reduced-Complexity Genetic Algorithm Aided and Radial Basis Function Assisted Multiuser Detection for Synchronous CDMA", EUSIPCO 2004, September 2004, Vienna, Austria.
- [5] Goldberg, D., E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", MA USA: Addison-Wesley, August 2001, ISBN 0201157675.