

# KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM SİSTEMİNDE ÇOK KULLANICILI SEZME İŞLEMİNİN YAPAY SİNİR AĞI İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Yalçın IŞIK<sup>1</sup>

Necmi TAŞPINAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Kayseri Meslek Yüksek Okulu, 38039 KAYSERİ  
TL:0-352-4374901/40726 FAX: 0-352-4375267 [isiky@erciyes.edu.tr](mailto:isiky@erciyes.edu.tr)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039 KAYSERİ  
TL: 0-352-4374901/32201 FAX: 0-352-4375784 [taspinar@erciyes.edu.tr](mailto:taspinar@erciyes.edu.tr)

## ÖZET

Bu çalışmada, kod bölmeli çoklu erişim (CDMA) sisteminde çok kullanıcıli sezme için yapay sinir ağı kullanan alıcı yapısı incelenerek, yapılan simülasyonlarla, diğer alıcı türlerine göre kıyaslamalar yapılmıştır. CDMA sisteminde, sistemdeki aktif kullanıcı sayısının artışı ve çok kullanıcıli alıcı girişinde farklı kullanıcı sinyallerinin farklı güçlerde alınması, alıcının bit hata performansını (BER) olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan simülasyonlarda, kullanıcı sayısının ve diğer kullanıcı sinyal güçlerinin artışının klasik alıcı (uyumlu filtre) üzerinde belirgin bir performans düşmesine sebep olurken, yapay sinir ağı kullanan alıcı yapısında ise ilişki çözücü ve minimum ortalamalı karesel hata alıcıya yakın sonuçlar alındığı görülmüştür. Simülasyonlar, MATLAB programında bütün alıcı yapıları için yapılan yazılımlarla sadece senkron haberleşme ve eklenebilir beyaz Gaussian gürültülü (AWGN) kanal için gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı alıcı yapısı, 6 giriş, 3 gizli katman ve iki kullanıcıli yapı üzerinde incelemeler yapıldığından, 2 çıkış düğümlü ileri beslemeli çok katlı ağ olarak gerçekleştirilmiş ve eğitime algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kod bölmeli çoklu erişim, çok kullanıcıli sezme, yapay sinir ağları.

## 1.GİRİŞ

Kod bölmeli çoklu erişim sisteminde aynı kanalı kullanan birden çok kullanıcı, aynı frekans ve aynı zamanda ancak farklı kodları kullanarak iletişimi gerçekleştirir. Her bir kullanıcı verisi, o kullanıcıya ait yayma koduyla çarpılarak ve iletim için gerekli modülasyon yapılarak iletim hattına verilir. Böylece iletim ortamında birden çok CDMA sinyali birbiriyle toplanır. Alıcı tarafta toplam sinyal yine her bir kullanıcıya ait kod ile çarpılarak, her bir kullanıcı verisi tekrar elde edilir [1,2]. Ancak arzu edilen bir kanal bilgisi elde edilmek istenirken, diğer kullanıcıların sinyal güçlerinin alıcı girişinde arzu edilene göre daha büyük olması durumunda (yakın-

uzak problemi), elde edilen verideki hata miktarı belirgin bir oranda artar. Bu sebeple CDMA sisteminde bütün kullanıcı sinyallerinin alıcı girişinde aynı seviyede tutulmasını sağlayan güç kontrolü büyük önem taşır [3]. Sistemdeki aktif kullanıcı sayısının artışı da klasik alıcı yapılarında büyük performans düşüklüğüne sebep olur. Güç kontrolünün iyi yapılamaması ve kullanıcı sayısı değişimi durumlarında alıcı performansının kötü yönde fazla etkilenmemesi için değişik çok kullanıcıli alıcı yapıları üzerinde çalışılmıştır. İlk olarak Verdu optimum çok kullanıcıli alıcı için formülasyonları yapmıştır [4]. Ancak optimum alıcı, pratik olarak gerçekleştirilmek için fazla hesap karmaşıklığına sahiptir. Bu sebeple değişik alt optimal alıcı yapıları üzerinde çalışılmıştır.

Çok kullanıcıli alıcı klasik olarak uyumlu filtre ile yapılmaktadır ve diğer tekniklerle elde edilen performans genellikle uyumlu filtre ile elde edilen performansla karşılaştırılmaktadır. Klasik alıcıda uyumlu filtreden hemen sonra eşik durumuna göre veriye karar verilir. Diğer tekniklerin çoğunda ise, uyumlu filtre yine vardır ve uyumlu filtreden sonra değişik karar devreleri vardır ki, karar devresine göre alıcı yapısı isimlendirilir [5]. Bu çalışmada uyumlu filtre, ilişki çözücü alıcı ve minimum ortalamalı karesel hata alıcı referans olarak kullanılıp, yapay sinir ağı ile yapılan alıcı performansı incelenmektedir.

Yapay sinir ağı ile çok kullanıcıli sezme çalışması ilk olarak 1992 yılında Aazhang, Paris ve Orsak tarafından yapılmış olup bundan sonraki pek çok çalışma için bir referans olmuştur [6]. [6] nolu çalışmada iki katlı bir perceptron ağ kullanılarak geri yayılım algoritması ile eğitim yapılmıştır ve iyi sonuçlar alınmıştır. Daha sonraları değişik yapay sinir ağı ve değişik eğitim algoritmalarıyla alıcı performansını iyileştirme çalışmaları yapılmıştır [7,8,9,10,11]. Kullanılan yayma kodu da sistem performansında oldukça önemli rol oynamaktadır. Genellikle yapılan çalışmalarda 31 bit uzunluklu Gold kod kullanılmaktadır. Bu çalışmada [6] nolu kaynak

referans alınarak 3 bit uzunluklu kod kullanılmış olup, ancak bazı performans incelemeleri için 31 bit uzunluklu Gold kod kullanılan simülasyonlara da yer verilmektedir.

## 2. CDMA SİSTEMİ

Simülasyonda kullanılan CDMA sistemi, vericiden alıcıya kadar gerçeğine benzer şekilde oluşturulmuştur. Özellikle alıcı kısım performansı üzerinde durulmakla birlikte, alıcı yapısının iyi anlaşılabilmesi için, verici ve alıcı kısmının ayrı ayrı ele alınması faydalı olur.

### 2.1. VERİCİ KISIM

Verici olarak K kullanıcı için rasgele veri üretilerek, kendilerine ait kodla çarpılır ve gürültü eklenir. K kullanıcı bir CDMA verici sistemi Şekil.1'de görülmektedir. Böylece iletim ortamındaki CDMA sinyali şöyle elde edilir:

$$y(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k S_k(t) + n(t) \quad (1)$$

Burada  $S_k$  k. kullanıcının yayma kodu ( $S_k$  birim enerjiye sahip olmak için normalize edilir, örneğin  $\langle S_k, S_k \rangle = 1$ ). Uzunluğu N olan bir m- dizili BPSK yayılması için, yayma kodu şöyle tanımlanır:

$$S_k(t) = \sum_{k=0}^N a_k P_T(t - kT_c) \quad (2)$$

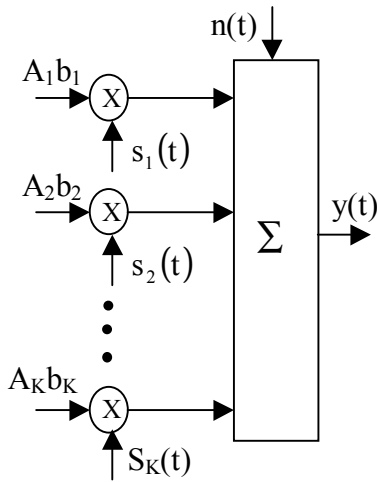
Burada T=bit periyodu,  $T_c$ =çip aralığı (yayma kodunun bit periyodu).

$a_k$  : normalize edilmiş yayılı diziyi gösterir.

$b_k$  : k. kullanıcının giriş biti  $b_k \in \{1, -1\}$ .

$A_k$  : k. kullanıcının alınan genliği

$n(t)$  eklenebilir beyaz Gaussian gürültü.



Şekil.1: K kullanıcı senkron CDMA verici sistemi.

Yayma kodlarının çarpaz ilişkisi şöyle tanımlanır:

$$\rho_{ij} = \langle s_i, s_j \rangle = \sum_{k=1}^N s_i(k) s_j(k) \quad (3)$$

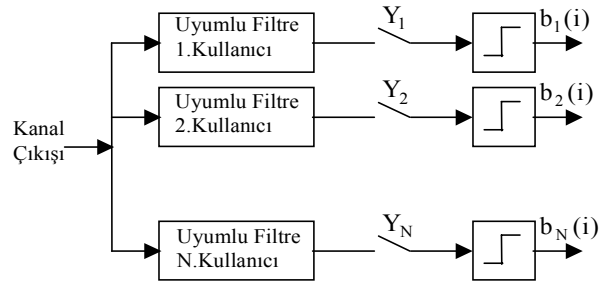
Sonra çarpaz ilişki matrisi şöyle tanımlanır:

$$R = \{ \rho_{ij} \}$$

$$R = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1k} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \rho_{k1} & \rho_{k2} & \cdots & \rho_{kk} \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 2.2. UYUMLU FİLTRE ALICI

Uyumlu filtre alıcıda her bir kullanıcıya ait verinin elde edilmesi için iletim ortamındaki  $y(t)$  sinyali her bir uyumlu filtrede o kullanıcıya ait kod ile çarpılır. Her bir kanalın uyumlu filtre çıkışında eşik durumuna göre veriye karar verilir. Bu yapı Şekil.2'de görülmektedir. Uyumlu filtre çıkışı şöyle ifade edilir.



Şekil.2: Uyumlu filtre bankasıyla yapılan alıcı [12].

$$y_k = \int_0^T y(t) s_k(t) dt \quad (5)$$

yapılan düzenlemelerle

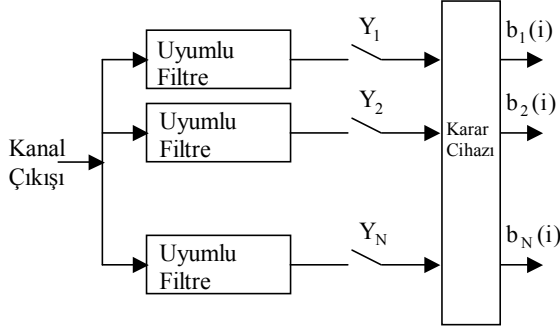
$$y_k = A_k b_k + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K A_j b_j \rho_{jk} + n_k \quad (6)$$

elde edilir. Burada 2.terim diğer kullanıcıların oluşturduğu girişimdir. Uyumlu filtre alıcıda girişim de beyaz gürültü gibi alınır. Bu sebeple bu alıcı yapısının yakın-uzak probleminde karşı dayanımı zayıftır ve kullanıcı sayısının artışıyla da gürültü artmış gibi davranacağından performansı düşer.

### 2.3. İLİŞKİ ÇÖZÜCÜ ALICI

Genellikle çok kullanıcı alıcı yapısında uyumlu filtre bankasından sonra, bütün aktif kullanıcılara ait filtre çıkışını değerlendirerek bir kullanıcıya ait verinin elde

edilmesini sağlayan karar mekanizması bulunur. Bu yapı Şekil.3'de görülmektedir. İlişki çözücü alıcıda, karar mekanizması olarak uyumlu filtre bankası çıkışı çapraz ilişki matrisinin tersiyle çarpılır. Böylece bir kullanıcıya ait veriye karar verirken diğer kullanıcılara ait kodlar da değerlendirilmiş olur, yakın-uzak problemlerine karşı dayanım sağlar.



Şekil.3:Çok kullanıcılı alıcı yapısı [12].

Burada karar cihazı  $R^{-1}$  olacaktır. Kullanıcı sayısının artışıyla büyüyen matrisin tersi işlemi hesap karmaşıklığının artmasına neden olur.

## 2.4.MİNİMUM ORTALAMALI KARESEL HATA (MMSE) ALICI

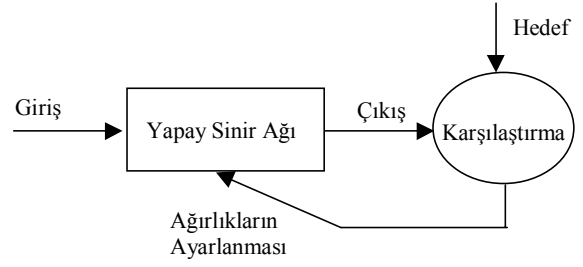
Bu alıcı durumunda da karar cihazı olarak  $(R+N_0A^{-2})^{-1}$  kullanılır. Burada  $N_0$  gürültü gücü,  $A$  sinyal genlik matrisi olmak üzere  $N_0A^{-2}$  şöyle verilir.

$$N_0A^{-2}=\text{diagonal} \left\{ \frac{N_0}{A_1^2}, \frac{N_0}{A_2^2}, \dots, \frac{N_0}{A_K^2} \right\} \quad (7)$$

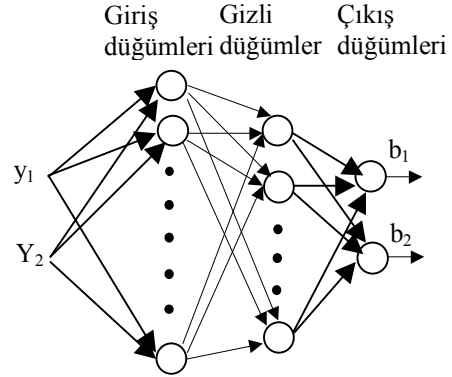
Bu yapıda gürültü de dikkate alındığından düşük sinyal-gürültü oranlarında ilişki çözücü alıcıya göre daha iyi sonuç alınır.

## 2.5.YAPAY SINIR AĞI ALICI

Bu alıcı durumunda da karar cihazı olarak yapay sinir ağı (YSA) kullanılmaktadır. YSA istenen katman ve düğüm sayısında belirlenebilmekte, değişik algoritmalarla eğitilebilmektedir. Eğitim işlemi esnasında düğümler arasındaki ağırlıklar seçilen hedefe göre değiştirilmekte, eğitim tamamlandığında en az hatayla doğru sonuç alınabilmektedir. YSA ile yapılan alıcıda hesap karmaşıklığı az olmakta ve esnek yapısından dolayı değişimlere kolaylıkla uyarlanabilmektedir. YSA yapısı Şekil.4'de görülmektedir. Şekil.5'de ise 2 kullanıcılı durum için  $y_1$  ve  $y_2$  uyumlu filtre çıkışlarını giriş olarak alıp  $b_1$  ve  $b_2$  çıkış verilerini elde eden YSA karar cihazı görülmektedir. Giriş ve gizli katman sayısı değişik değerlerde olabilmekte birlikte çıkış düğüm sayısı kullanıcı sayısı kadar seçilmektedir. Ancak, istenirse çıkışta sadece bir kullanıcı çıkışı alacak şekilde ağ oluşturulabilir ve eğitim işlemi ona göre yapılabilir.



Şekil.4: Yapay sinir ağı yapısı [13].

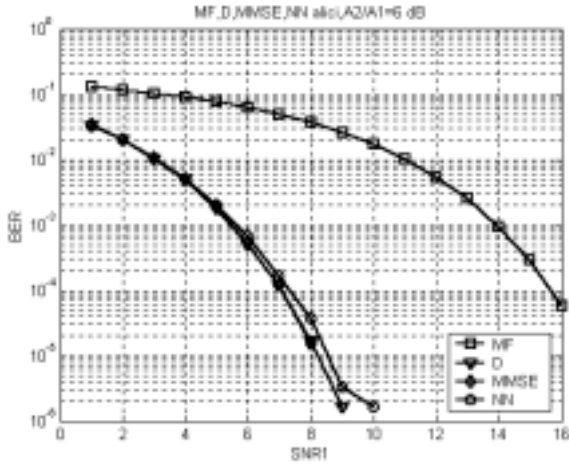


Şekil.5: 2 kullanıcılı durum için YSA karar cihazı.

## 3.SİMÜLASYON SONUÇLARI

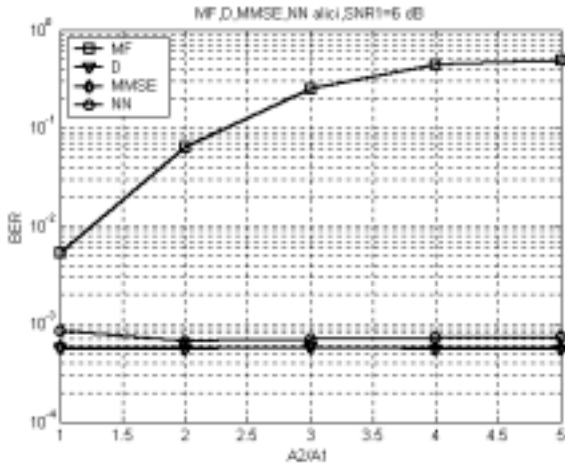
Uyumlu filtre (klasik alıcı), ilişki çözücü alıcı, minimum ortalamalı karesel hata alıcı ve yapay sinir ağı alıcının performansları 1. Kanalın sinyal-gürültü oranı değişimine karşılık Şekil.6'da karşılaştırılmaktadır. Simülasyon senkron, iki kullanıcı eklenebilir beyaz Gaussian gürültü (AWGN) kanalda 1 milyon bit için yapılmıştır. Her bir kullanıcıya ait verici çıkışı (+1,-1) formunda iletim ortamına aktarılmıştır. 1. Kanal alınması arzu edilen kanal olarak seçilerek 2.kanalın sinyal gücü arzu edilenden 6 dB daha büyük seçilmiştir. 1. kullanıcının yayma kodu (1 1 1), 2. kullanıcının (1 -1 1) olarak alınmıştır. Sadece 1. Kanala gürültü eklenerek, 1. Kanalın sinyal-gürültü oranına (SNR1) karşılık 1. kanal için bit hata oranı (BER) incelenmektedir. YSA 6 giriş,3 gizli katman,2 çıkış düğümüne sahip olup ileri beslemeli olarak oluşturuldu ve eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanıldı. YSA 500 bit ile eğitildi ve eğitim esnasında SNR1 5 dB, 2.kanalın sinyal gücü arzu edilenden 6 dB daha büyük olarak alındı. Görüldüğü gibi klasik alıcının performansı artan SNR oranıyla biraz iyileşirken, ilişki çözücü ve minimum ortalamalı karesel hata alıcının performansında çok daha fazla iyileşme olmaktadır. YSA alıcı da ilişki çözücü ve minimum ortalamalı karesel hata alıcıya yakın performans göstermektedir. YSA'nın eğitim şartları (eğitim esnasındaki SNR değeri ve kanal sinyal gücü oranları ( $A_2/A_1$ )) YSA alıcının performansını değiştirmektedir. Genel olarak daha küçük SNR değerinde eğitildikçe daha iyi sonuçlar alınmaktadır.

Yapılan simülasyonda en iyi performansı verecek değerler seçilmeye çalışılmıştır.



Şekil.6: Senkron 2 kullanıcı AWGN kanalı için 1. kanalın SNR değişimine karşılık 1. kanalın BER değişimi. 2. Kanalın sinyal gücü 1. kanalın sinyal gücünden 6 dB daha büyüktür. (MF:Uyumlu filtre alıcı, D:İlişki çözücü alıcı, MMSE:Minimum ortalamalı karesel hata alıcı, NN:Yapay sinir ağı alıcı).

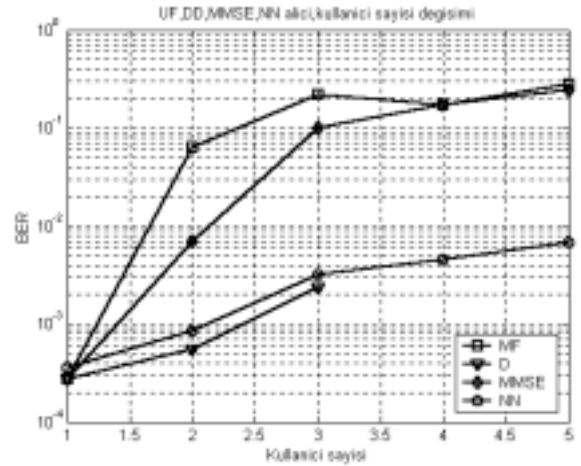
Uyumlu filtre, ilişki çözücü alıcı, minimum ortalamalı karesel hata alıcı ve yapay sinir ağı alıcının performansları 2. Kanalın sinyal gücünün 1. kanalın sinyal gücüne olan oran ( $A_2/A_1$ ) değişimine karşılık Şekil.7'de karşılaştırılmaktadır. Simülasyon senkron, iki kullanıcı AWGN kanalı için 1 milyon bit için yapılmıştır. 1. Kanal alınması arzu edilen kanal olarak seçilerek SNR oranı 6 dB seçilmiştir. 1. kullanıcının yayma kodu (1 1 1), 2. kullanıcının (1 -1 1) olarak alınmıştır. 2. Kanalın sinyal gücü artırılarak 1. kanalın



Şekil.7: Senkron 2 kullanıcı AWGN kanalı için 2. kanalın sinyal gücünün 1. kanalın sinyal gücüne oranı değişimine karşılık 1. kanalın BER değişimi. SNR 6 dB alınmıştır. (MF:Uyumlu filtre alıcı, D:İlişki çözücü alıcı, MMSE:Minimum ortalamalı karesel hata alıcı, NN:Yapay sinir ağı alıcı).

BER değişimi incelenmektedir. YSA 6 giriş, 3 gizli katman, 2 çıkış düğümüne sahip olup ileri beslemeli olarak oluşturuldu ve eğitime algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanıldı. YSA 500 bit ile eğitildi ve eğitime esnasında SNR 6 dB,  $A_2/A_1$  5 olarak alındı. Görüldüğü gibi klasik alıcının performansı artan SNR oranıyla kötüleşirken, ilişki çözücü, minimum ortalamalı karesel hata ve yapay sinir ağı alıcının performansında fazla kötüleşme olmamaktadır. YSA genel olarak daha büyük  $A_2/A_1$  değerinde eğitildikçe daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Yapılan simülasyonda en iyi performansı verecek  $A_2/A_1$  oranında ve uygun SNR değerinde eğitime işlemi yapılmaya çalışılmıştır.

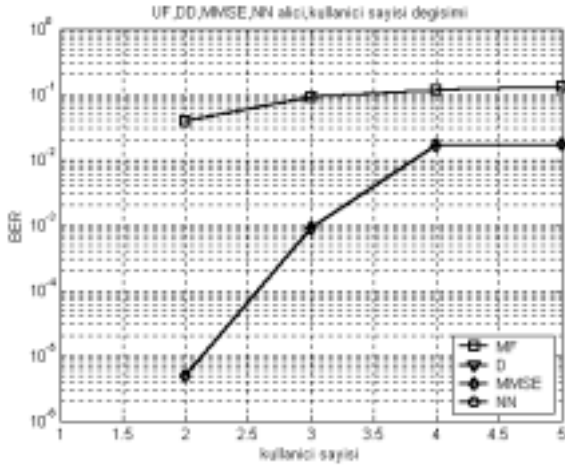
Uyumlu filtre, ilişki çözücü alıcı, minimum ortalamalı karesel hata alıcı ve yapay sinir ağı alıcının performansları artan kullanıcı sayısına karşılık Şekil.8'de karşılaştırılmaktadır. Simülasyon senkron, AWGN kanalı için 5 milyon bit için yapılmıştır. 1. Kanal alınması arzu edilen kanal olarak seçilerek SNR oranı 6 dB,  $A_i/A_1$  ( $i=2,3,4,5$ ) 6 dB olarak alınmıştır. 1. kullanıcının yayma kodu (1 1 1), 2. kullanıcının (1 -1 1), 3. kullanıcının (1 -1 -1), 4. kullanıcının (1 1 -1), 5. kullanıcının (-1 1 1) olarak alınmıştır. Kullanıcı sayısı artırılarak 1. kanalın BER değişimi incelenmektedir. YSA 5 giriş, 5 gizli katman, 1 çıkış düğümüne sahip olup ileri beslemeli olarak oluşturuldu ve eğitime algoritması olarak Levenberg-Marquardt kullanıldı. YSA 500 bit ile eğitildi ve



Şekil.8: Senkron AWGN kanalı için kullanıcı sayısının değişimine karşılık 1. kanalın BER değişimi. SNR 6 dB ve  $A_i/A_1$  ( $i=2,3,4,5$ ) 6 dB olarak alınmıştır. (MF:Uyumlu filtre alıcı, D:İlişki çözücü alıcı, MMSE:Minimum ortalamalı karesel hata alıcı, NN:Yapay sinir ağı alıcı).

eğitime esnasında SNR 6 dB,  $A_i/A_1$  6 dB olarak alındı. Görüldüğü gibi klasik alıcının ve minimum ortalamalı karesel hata alıcının performansı artan kullanıcı sayısı ile kötüleşirken, ilişki çözücü ve YSA alıcının performansında fazla kötüleşme olmamaktadır. Ancak minimum ortalamalı karesel

hata alıcının performansındaki kötüleşmenin sebebi kullanılan 3 bit uzunluklu kod tablosunun 5 kullanıcı için yetersiz olmasındandır. Bu sebeple kullanıcı sayısı değişimine göre performans analizi ayrıca 31 bit uzunluklu Gold kod kullanılarak tekrar yapılmıştır. 31 bit uzunluklu Gold kod kullanarak yapılan kullanıcı sayısı değişimine karşılık 1. Kullanıcının BER performansı Şekil.9'da görülmektedir. Ancak bu durumda aynı şartlarda yapılan simülasyonlarda hata çok az olduğundan, yakın-uzak oranı 10 dB yapılırken SNR de 5 dB yapılmıştır. Buna rağmen 2 milyon bit için yapılan simülasyonda D ve YSA alıcıda grafik oluşacak kadar hata olmamıştır.



Şekil.9: Senkron AWGN kanalda 31 bit uzunluklu Gold kod kullanılarak kullanıcı sayısının değişimine karşılık 1. Kanalin BER değişimi. SNR1 5 dB ve  $A_i/A_1$  ( $i=2,3,4,5$ ) 10 dB olarak alınmıştır. (MF:Uyumlu filtre alıcı, D:İlişki çözücü alıcı, MMSE:Minimum ortalamalı karesel hata alıcı, NN:Yapay sinir ağı alıcı).

#### 4.SONUÇ

CDMA sisteminde çok kullanıcılı sezme için YSA alıcının, uyumlu filtre alıcıya göre her durumda (SNR değişimine, yakın-uzak oranı değişimine ve kullanıcı sayısı değişimine göre) daha iyi performans gösterdiği, yapılan simülasyonlar sonucunda görülmüştür. Ancak ilişki çözücü ve minimum ortalamalı karesel hata alıcılara yaklaşmakla birlikte onlardan daha iyi performans gösterememektedir. Fakat, o alıcılarda da kullanıcı sayısı arttıkça hesap karmaşıklığı artmakta, YSA alıcıda ise daha az hesap karmaşıklığı ile sonuca varılabilmektedir. YSA alıcıda elde edilen performans seçilen düğüm sayısı ve eğitime şartlarına bağımlı olduğundan, uygun şartlar sağlanmadığı takdirde kötü sonuçlar da alınabilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Glover I., Grant P., DIGITAL COMMUNICATIONS, Prentice Hall, 1997.
- [2] Haykin S., DIGITAL COMMUNICATIONS, John Wiley and Sons, 1988.

- [3] Prasad R., Ojanpera T., An Overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA, IEEE COMMUNICATIONS SURVEY, Vol. 1, No. 1, 1998.
- [4] Verdu S., MULTIUSER DETECTION, Cambridge University Press, 1998.
- [5] Guoqiang X., Weng J., Ngoc T. L., Tahar S., Multiuser Detection Techniques (An Overview), TECHNICAL REPORT, DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING, Concordia University, 1998.
- [6] Aazhang B., Paris B. P., Orsak G. C., Neural networks for Multiuser detection in Code-Division Multiple-Access Communications, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol.40, No.7, pp.1212-1222, 1992.
- [7] Mitra U., Poor H. V., Neural network Techniques for Multi-user Demodulation, IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, Vol.3, pp. 1538-1543, 1993.
- [8] Mitra, U., Poor H. V., Adaptive receiver algorithms for near-far resistant CDMA, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol.43, Iss. 2 Part.3, pp.1713-1724, 1995.
- [9] Kechriotis G. I., Manolakos E. S., Hopfield neural network implementation of the optimal CDMA multiuser detector, IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, Vol.7, Iss.1, pp.131-41, 1996.
- [10] Tanner R., Cruickshank D. G. M., RBF Based receiver for DS-SS with reduced Complexity, PROCEEDINGS OF IEEE 5<sup>TH</sup> INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS, Vol.2, pp.647-651, 1998.
- [11] Ibikunle F., Zhong Y. X., Probabilistic neural networks for multi-user detection in code divisional multiple access communication channels, THE 1998 IEEE INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS PROCEEDINGS, IEEE WORLD CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE, Vol.3, pp.2557-2560, 1998.
- [12] Ibnkahla M., Applications of Neural Networks to Digital Communications, A SURVEY, SIGNAL PROCESSING, Vol. 80, pp.1185-1215, 2000.
- [13] Demut H., Beale M., NEURAL NETWORK TOOLBOX FOR USE WITH MATLAB, 2001.