

# DD/KBÇE İLETİŞİM SİSTEMLERİNDE KULLANICI ALGILAMA YAKLAŞIMLARININ BİT HATA ORANI BAŞARIM KARŞILAŞTIRMASI

CebraİL ÇİFTLİKLi<sup>1</sup>

İbrahim DEVELİ<sup>2</sup>

Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Erciyes Üniversitesi, 38039, Melikgazi, Kayseri

<sup>1</sup>e-posta: cebrailc@erciyes.edu.tr

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

Anahtar kelimeler: Çoklu Erişim Girişimi Bastırma, Kullanıcı Algılama, DD/KBÇE İletişim Sistemleri

## ABSTRACT

*Direct sequence/code division multiple access (DS/CDMA) is an emerging medium sharing strategy that enables capacity increases for wireless communications systems. However, the capacity and also the bit error rate (BER) performance of a DS/CDMA system are strictly limited by the multiple access interference (MAI) caused by other users using the common frequency band. Explosive growth in cellular telephony, in conjunction with emerging new applications, has inspired a significant interest in MAI suppression. The primary objective of this work is to provide a perspective on certain single-user and multiuser detectors. Simulation results that compare the BER performances of these detection methodologies are also given.*

## 1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın ikinci yarısı ile başlayan yarı iletken teknolojisindeki ani gelişme, temel hedefi kablosuz evrensel iletişim olan iletişim şirketlerine büyük bir ivme kazandırmıştır. Bu büyümenin bir sonucu olarak çoklu ortam uygulamalarına ait araştırmalar; kanal kapasitesinin, veri hızının ve güvenliğinin artırılması üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu hizmetlere yönelik artan talebin karşılanması noktasında, kanal kaynaklarının verimli olarak kullanılmasının önemi artmıştır. Günümüz kablosuz iletişim sistemlerinde çok erişimli kanal yapısı oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Doğrudan dizili/kod bölmeli çoklu erişim (DD/KBÇE), kablosuz iletişim teknolojisinde belirgin bir ilerlemeye sebep olan yeni bir teknolojidir. Sistem kapasitesi ve servis kalitesini önemli ölçüde yükseltmesi nedeniyle, hücresel radyo sistem operatörleri tarafından uluslararası kabul görmüştür. Yayılı spektrum prensibinin sağladığı avantajlar nedeniyle, uzun yıllar askeri uygulamalarda kullanılmıştır [1].

## 2. DD/KBÇE SİSTEMİ

$K$  tane kullanıcının, aynı anda bir iletişim kanalını paylaştığı düşünülün.  $k$ . kullanıcı,  $b_k(t)$  ile gösterilen

bir ikili veri işareti iletir ve her veri bitini yaymak için  $a_k(t)$  ile temsil edilen, birim enerjiye sahip olacak şekilde normalize edilmiş bir yayma işareti kullanılır,

$$a_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} a_j^{(k)} P_{T_c}(t - jT_c) \quad (1)$$

$$b_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} b_j^{(k)} P_{T_b}(t - jT_b) \quad (2)$$

burada  $T_c$  ve  $T_b$ , sırasıyla kırkık ve veri sürelerini göstermektedir.  $0 < y < x$  için  $P_x(y)=1$  ve diğer durumlar için  $P_x(y)=0$ ' dir. Veri bitlerinin her biri içerisinde, aşağıda verildiği gibi yayma işaretlerine ait  $N$  tane kırkık yer almaktadır ( $T_b = NT_c$ ).

$k$ . kullanıcı için iletilen işaret aşağıdaki gibi gösterilebilir,

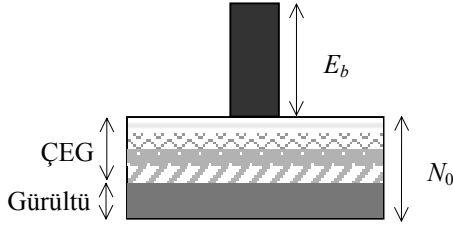
$$S_k(t) = \sqrt{2P_k} b_k(t) a_k(t) \cos(\omega_c t) \quad (3)$$

burada  $P_k$ ,  $k$ . kullanıcı için iletilen gücü,  $\omega_c$  ise tüm kullanıcılar için aynı olan taşıyıcı frekansını göstermektedir. Baz istasyonu tarafından alınan işaret  $y(t)$  aşağıdaki gibi verilebilir,

$$y(t) = \sum_{k=1}^K S_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (4)$$
$$= \sqrt{2P_k} \sum_{k=1}^K b_k(t - \tau_k) a_k(t - \tau_k) \cos(\omega_c t) + n(t)$$

bu ifadedeki  $K$ , aktif kullanıcı sayısını temsil etmektedir. Kanal gürültüsü  $n(t)$ , iki taraflı spektral yoğunluğu  $N_0/2$  olan toplanır beyaz Gauss gürültüsü (AWGN) olarak modellenmiştir. Bu çalışma için eşzamanlı kanal modeli kullanıldığından, tüm kullanıcılara ait zaman gecikmesi  $\tau_k = 0$  olarak alınmıştır. Arzulanan (desired) bir kullanıcının algılanması için alınan işaret  $y(t)$ , ilgili kullanıcıya ait yayma kodunun (dizisinin) tamamen bir kopyası niteliğindeki toparlama kodu ile çarpılır. Bu adım sonucunda her ne kadar orjinal mesaj işareti yeniden

elde edilebilse de, alınan işaret içerisinde kayda değer miktarda gürültü zemini de (Çoklu erişim girişimi (ÇEG) + kanal gürültüsü) bulunur (Şekil 1).



Şekil 1. Toparlanmış işaret bileşenleri

Bu gürültü zeminine her kullanıcının gerçek katkısı, temel olarak yayma kodları arasındaki ilinti ve sistemdeki kullanıcı sayısı ile belirlenmiştir. Şekil 1’deki gösterimde en önemli nokta,  $E_b / N_0$  oranıdır. Bit enerjisinin gürültü zeminine oranı belirli bir eşik altına düşerse, kullanıcıların iletim yaptığı hücre doyuma ulaşır ve  $E_b / N_0$  oranı artırılana kadar hiçbir kullanıcı hücre içerisine eklenmez. Bununla birlikte, kullanıcı iletim güçleri ve diğer komşu hücre girişimleri de gürültü zeminine katkıda bulunabilir [1].

Şekil 1’de gösterilen her bir kullanıcıya ait girişimin büyüklüğü değişkendir ve anlık olarak değişir. Bu durum, her bir kullanıcı için iletilen gücün sürekli olarak değişmesi gerçeğine dayanır. Maksimum kapasitenin eldesi için tüm işaretler, aynı ortalama güç ile baz istasyonuna ulaşmak durumundadır. Eşitlik (3) göz önüne alındığında eğer bir kullanıcı, diğerlerine oranla daha büyük bir güçle iletim yaparsa, gürültü zeminine yapacağı katkı büyük olacaktır, arzulanan kullanıcı işaretinin bozulmasına neden olabilecektir. Yakınlık-uzaklık problemi olarak adlandırılan bu etkinin minimize edilmesi için, tüm kullanıcı işaretlerini regüle eden güç kontrol mekanizmaları kullanılır.

DD/KBÇE sistemlerindeki işaret algılaması, genel olarak zor bir süreç olarak değerlendirilebilir. Zaman bölmeli ve frekans bölmeli çoklu erişim tekniklerinden farklı olarak; dikgen kodların kullanılması ve kullanıcı iletimlerinin mükemmel olarak eşzamanlandırılması şartları dahilinde, farklı kullanıcılara ait işaretlerin birbiri ile girişim yapması mümkün değildir. Ancak gerçek hayatta, iletim için sadece dikgen kodların kullanılması pek mümkün değildir. Bu sebeple; ilgili kullanıcıya ait işaret algılama sürecinde, diğer kullanıcılara ait işaret etkilerinin göz önüne alınması zorunludur. DD-KBÇE sistemlerinde kullanıcı algılama yaklaşımları iki kategoride incelenebilir: Tek kullanıcı ve çok kullanıcı algılama.

### 3. TEK KULLANICILI ALGILAMA

Tek kullanıcı algılamada, aynı kanalı paylaşan kullanıcılardan biri arzulanan kullanıcı olarak diğerleri ( $K-1$ ) ise girişim işaretleri olarak kimliklendirilir [2].

Algılamanın amacı, arzulanan kullanıcı işaretinin diğerlerinden izole edilmesidir. Bu amaca yönelik en genel algılayıcı tipi, arzulanan kullanıcıya ait yayma işaretine uyumlanmış geleneksel (uyumlu filtre) alıcıdır. Şekil 2 de gösterildiği gibi her kullanıcı için yayma kod dalga biçimi (toparlama kodu) yeniden üretilir ve alınan işaret  $y(t)$  ile farklı kollarda ilintilenir. Uyumlu filtre çıkışları, iletilmiş verinin yumuşak kestirimlerini sağlamak üzere her bit zamanında örneklenir. Son aşamada, yumuşak kestirimlerin işaretlerine bağlı olarak sıfır-bir kararları verilir. Algılayıcının her kolu, varolan diğer kullanıcıları dikkate almadan bir kullanıcıyı algılar. ÇEG’nin AWGN olarak değerlendirilmesi nedeniyle geleneksel alıcının ÇEG’yi etkili olarak bastırması mümkün değildir.

$k$ . kullanıcı için uyumlu filtre çıkışı aşağıdaki gibi verilebilir,

$$y_k = \int_0^T y(t)a_k(t)dt = A_k b_k + \sum_{j \neq k} A_j b_j \rho_{jk} + n_k \quad (5)$$

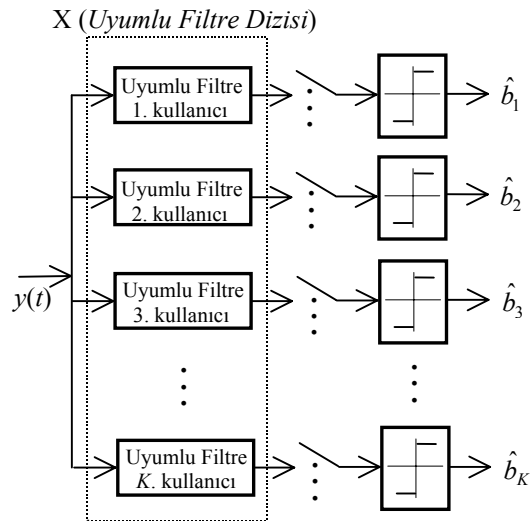
bu eşitlikteki  $\rho_{jk}$ ,  $k$ . ve  $j$ . kullanıcılara ait yayma kodları arasındaki çapraz ilintiyi temsil etmektedir

$$\rho_{jk} = \int_0^T a_j(t)a_k(t)dt \quad (6)$$

$y_k$ ’ya dayalı sıfır-bir kararları şu şekilde yapılır:

$$\hat{b}_k = \text{sgn}(y_k) \quad (7)$$

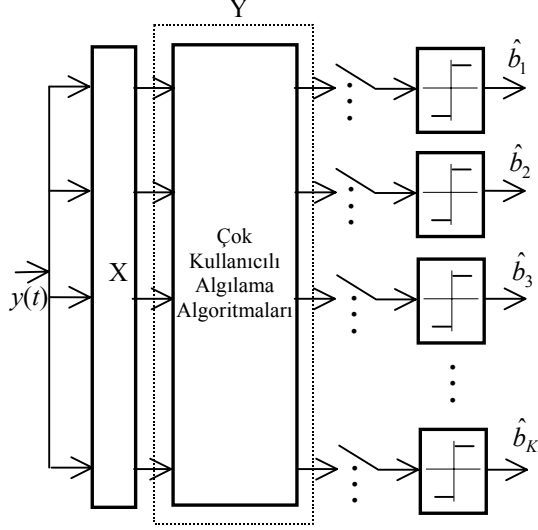
Eşitlik (5) göz önüne alındığında üç farklı terimden bahsedilebilir. İlk terim,  $b_k$ ’nin işaretini içeren arzulanan bilgidir. İkinci terim, ÇEG’nin neden olduğu katkıdır. Son olarak üçüncü terim ise, gürültüyü içeren etkidir. Sistemdeki kullanıcı sayısı ile ÇEG’nin artacağı göz önüne alınırsa ÇEG’nin varlığı, DD/KBÇE sisteminin kapasitesini ve başarımını önemli ölçüde etkileyecektir [2, 3].



Şekil 2. Uyumlu filtre dizisinden oluşmuş geleneksel bir algılayıcı yapısı.

#### 4. ÇOK KULLANICILI ALGILAMA

Çok Kullanıcılı algılamada alıcı, ortak ve eşzamanlı olarak kullanıcıların tümüne ait işaretleri algılayabilir. Bu özelliği ile, ÇEG'nin var olduğu durumlarda iletilen bitlerin tümünü kestirebilen zeki bir yaklaşımdır. Bir önceki kısımda vurgulandığı gibi geleneksel algılayıcı, ÇEG'yi AWGN olarak kabul etmektedir. AWGN'nin aksine ÇEG, yayma dizilerine ait çapraz ilinti matrisi ile değerlendirilen oldukça iyimser bir ilinti yapısına sahiptir. Bu sebeple, bahsedilen bu ilinti özelliğini dikkate alan algılayıcılar, Şekil 3'de gösterilen düzenleme ile geleneksel algılayıcıya nazaran daha iyi bir algılama yapabilirler [1-3].



Şekil 3. Çok Kullanıcılı Algılama Yapısı.

#### 4.1. OPTİMUM ÇOK KULLANICILI ALGILAMA

Verdu tarafından ileri sürülen çok kullanıcılı algılama yaklaşımı, literatürde geniş olarak optimum algılama yaklaşımı olarak kabul edilmektedir. Bu algılayıcı, erişilebilir minimum bit hata olasılığının sağlanması noktasında optimum olarak değerlendirilebilir. Ancak bu başarıyı, bahsedilen algılayıcının pratik uygulamalar için gerçekleşmesini imkansız kılan oldukça yüksek hesaplama karmaşıklığı gerektirir. Buna rağmen bu alıcı, literatürdeki çok sayıda alt optimal algılayıcıların karşılaştırılması sürecinde, bir referans değer olarak hizmet görür.

Optimum çok kullanıcılı algılayıcı bir kuadratik optimizasyon probleminin çözümüne dayalı olarak ortak algılama işlevini yerine getirir. Bu optimizasyon sağlandığında, hata olasılığını minimize eden bit vektörü  $\mathbf{b}$  aşağıdaki gibi bulunur:

$$\mathbf{b}_{opt} = \arg \max_{\mathbf{b}} \{2\mathbf{b}^T \mathbf{A} \mathbf{y} - \mathbf{b}^T \mathbf{H} \mathbf{b}\} \quad (8)$$

burada  $\mathbf{y}$ , uyumlu filtre çıkışlarını temsil etmektedir.  $K \times K$  köşegen genlik matrisi, eşitlik içerisinde  $\mathbf{A}$  ile temsil edilmiştir. Normalize edilmemiş çapraz ilinti matrisi aşağıdaki ifade ile verilmiştir:

$$\mathbf{H} = \mathbf{A} \mathbf{R} \mathbf{A} \quad (9)$$

Burada  $\mathbf{R}$ , köşegen elemanları 1'e eşit olan ve  $(i, j)$  elemanlarının ise  $\rho_{ij}$  çapraz ilinti değerlerini aldığı normalize edilmiş çapraz ilinti matrisidir. Eşitlik (8)'e göre optimum çok kullanıcılı algılama esasen minimum hata olasılığı şartı altında  $\mathbf{y}$  vektörü göz önüne alınarak her kullanıcı için iletilen  $b_k$  işaretinin ne olduğuna karar verilmesi aşamasıdır. Bu yaklaşımda, aynı kanalı paylaşan  $K$  tane kullanıcı durumunda  $2^K$  tane muhtemel kombinasyon vardır. Bu sebeple  $K$  sayısı arttığında algoritma, hesapsal olarak daha karmaşık hale gelecektir. Bu durum, hesapsal karmaşıklığı daha az olan alt optimum algılama yaklaşımlarının kullanılmasını gündeme getirmiştir [1].

#### 4.2. İLİNTİSİZLEŞTİRME ALGILAYICISI

Bir ilintisizleştirme (decorrelating) algılayıcı, uyumlu filtre dizisi çıkışının (Şekil 3'de Y ile gösterilen kısım)  $\mathbf{R}^{-1}$  operatörü ile işlenmesine dayanır. İlintisizleştirme algılayıcısının çıkışı şu şekilde gösterilebilir:

$$\begin{aligned} \hat{b}_k &= \text{sgn}(\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{R}\mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{n})) \\ &= \text{sgn}(\mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{R}^{-1}\mathbf{n}) \end{aligned} \quad (10)$$

Eğer gürültünün olmadığı durum göz önüne alınırsa ( $N_0=0$ ),

$$\begin{aligned} \hat{b}_k &= \text{sgn}((\mathbf{A}\mathbf{b})_k) \\ &= b_k \end{aligned} \quad (11)$$

Bu ifade, gürültünün olmadığı durum için uyumlu filtre dizisinin tersine, bir ilintisizleştirme algılayıcısının mükemmel bir algılama yapabileceğini göstermektedir. Gürültünün var olduğu durum için,  $\hat{b}_k$  ifadesi yeniden düzenlenirse,

$$\hat{b}_k = \text{sgn}(\mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{R}^{-1}\mathbf{n}) \quad (12)$$

Bu ifade dikkatle incelenirse  $k$ . bileşenin, diğer kullanıcıların neden olduğu girişimden (ÇEG) bağımsız olduğu görülebilir. Başka bir ifade ile girişimin tek kaynağı kanal gürültüsüdür. Bu durum, bahsedilen algılayıcıya neden ilintisizleştirme adının verildiğini açıklamaktadır [1, 2].

#### 4.3. MİNİMUM ORTALAMA KARESEL HATA ALGILAYICISI

Minimum ortalama karesel hata (MMSE) algılayıcı, lineer algılayıcılar için algılamada maksimum iyileşme sağlayan bir yaklaşımdır. Bu ek iyileşme, tüm kullanıcılara ait alınan güç seviyelerinin alıcı noktasında bilindiği kabulünden kaynaklanmaktadır. MMSE algılayıcısı, veri ve çıkışlar arasındaki ortalama karesel hatayı minimize eden bir lineer transformasyonun uygulanması ile çalışır,

$$E[(d - \hat{f}(r))] \quad (13)$$

burada  $d$ , arzulanan cevabı (bit işareti) ve  $\hat{f}(\cdot)$  ise  $\mathbf{r}$ 'yi  $d$ 'ye eşleyen fonksiyonu temsil etmektedir.  $\hat{f}(\cdot)$  fonksiyonu, Eşitlik (13) ile verilen beklenen ortalama

karesel hatayı minimize etme yeteneğini içerecek şekilde seçilir. Xie ve Verdu tarafından önerilen bu fonksiyon (Şekil 3'de Y ile gösterilen kısım için) aşağıdaki gibidir:

$$[\mathbf{R} + \sigma^2 \mathbf{A}^{-2}]^{-1} \quad (14)$$

Eşitlik (14)'deki ilişki; bir ortalama karesel hata algılayıcısının, temel olarak geleneksel algılayıcı ve ilintisizleştirme algılayıcısının ortak bir ürünü olduğuna işaret etmektedir. Buna göre eğer işaret gürültü oranı sonsuza giderse ( $\sigma \rightarrow 0$ ), Eşitlik (14) aşağıdaki biçime dönüşür,

$$[\mathbf{R} + \sigma^2 \mathbf{A}^{-2}]^{-1} \rightarrow \mathbf{R}^{-1} \quad (15)$$

Bir önceki kısımdan hatırlanacağı gibi bu ifade bir ilintisizleştirme algılayıcı tanımına uymaktadır. İkinci durum olarak işaret gürültü oranı sıfıra giderse ( $\sigma \rightarrow \infty$ ),  $[\mathbf{R} + \sigma^2 \mathbf{A}^{-2}]^{-1}$  ifadesi de sıfıra gitme eğiliminde olacaktır. Bu nedenle Eşitlik (14)'ün etkisi minimum olacaktır ve algılamanın başarımı, geleneksel algılama başarımına yaklaşacaktır [1, 2].

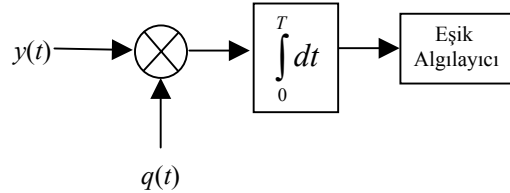
## 5. GİRİŞİM BASTIRMA ALGILAYICILARI

Girişim bastırma, literatürde oldukça geniş bir ilgi alanına sahiptir. Girişim bastırma algılayıcıları, girişim işaretlerine ait kestirimlerin alınan işaretten çıkarılması yoluyla girişimin uzaklaştırılması mantığına dayanır. Girişim bastırma ile ilgili genel bir algılayıcı yapısı, Şekil 3'de Y ile gösterilen kısma "Girişim Bastırma" algoritmalarının yerleştirilmesi şeklindedir. Diğer çok kullanıcılı algılama yaklaşımlarında olduğu gibi bu tip bir algılayıcının ilk katı, yine uyumlu filtrelerden oluşur. Girişim bastırma katları, uyumlu filtre katının hemen peşinden gelir. Literatürdeki girişim bastırma algılayıcıları genelde ikiye ayrılır: paralel ve seri girişim bastırma. Paralel girişim bastırma metodunda, alınan işaretteki tüm girişimci kullanıcı etkileri aynı anda yok edilir. Seri yaklaşımda ise kullanıcılar, kestirilen güçlerin azalan bir formunda en güçlüden en zayıfa doğru seri olarak yok edilir. Her iki algılayıcı, geleneksel algılama yaklaşımına göre başarım ve kapasite açısından önemli bir iyileşme sağlar [3].

### 5.1. GÜRÜLTÜ BEYAZLATMA YAKLAŞIMI VE AĞIRLIKLI TOPARLAMA DİZİLERİ

Daha önce ifade edildiği gibi bir geleneksel uyumlu filtre algılayıcısı, sadece AWGN durumu için optimum algılama yapabilir. Ancak, ÇEG'nin var olduğu durumlarda oldukça düşük bir başarım sağlar. Optimum çok kullanıcılı algılayıcı, önceki kısımlarda bahsedildiği üzere oldukça kompleksdir. Bu kompleksliğin azaltılmasına yönelik geliştirilen alt optimum algılayıcılar (MMSE, İlintisizleştirme), arzulanan kullanıcının haricindeki diğer kullanıcılara ait çok sayıda parametreye ihtiyaç duyarlar (diğer kullanıcılara ait yayma kodları, işaret güçleri v.b.). Gaussian gürültü durumunda işaret gürültü oranının maksimize edilmesi, hata olasılığını azaltır. Gürültü

beyazlatma yaklaşımında geleneksel algılayıcıdan farklı olarak, uyumlu filtrelerden önce lineer bir filtreleme işlemi yapılır [4]. Diğer kullanıcı bilgilerine ihtiyaç duymaması nedeniyle, çok kullanıcılı yaklaşımlara nazaran daha düşük bir karmaşıklığa sahiptir. Bu avantajına rağmen daha düşük bir başarım sağlar. Gürültü beyazlatma algılama yaklaşımı, ikinci dereceden bir integral eşitliğinin çözümünden elde edilen  $q(t)$  ifadesi ile, alınan işaretin  $y(t)$ 'nin çarpılmasına dayanır (Şekil 4).



Şekil 4. Gürültü beyazlatma yaklaşımı için integral çözümünden elde edilen algılama yapısı.

$\hat{b} = \text{sgn}\{G\}$  için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$G = \int_0^T r(t)q(t)dt \quad (16)$$

Gürültü beyazlatma yaklaşımı için en büyük dezavantaj, yüksek işleme kazançlarında  $q(t)$ 'nin yani toplama için gerekli optimum dalga biçiminin bulunmasındaki güçlülüdür [4]. Ancak, farklı  $E_b/N_0$  değerleri için elde edilen  $q(t)$ 'deki geçişlerin, yayma kodlarındaki geçişler ile aynı olması, toplama dizilerinin ağırlıklandırılması yoluyla bu zorluğun giderilmesini sağlamıştır [5, 7]. Toparlama dizilerinin ağırlıklandırılması yaklaşımında, gürültü beyazlatma yaklaşımındaki  $q(t)$ 'nin yerini, aşağıda verilen ağırlıklı toplama dizileri almıştır.

$$\hat{a}_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} a_j^{(k)} w_j^{(k)} \left( t - jT_c \left\{ c_j^{(k)}, c_{j+1}^{(k)} \right\} \right) P_{T_c}(t - jT_c) \quad (17)$$

bu ifadede  $c_j^{(k)} = a_{j-1}^{(k)} a_j^{(k)}$ ,  $w_j^{(k)} \left( t \left\{ c_j^{(k)}, c_{j+1}^{(k)} \right\} \right)$  ise  $0 \leq t \leq T_c$  aralığında  $j$ . kırımın koşullu ağırlıklandırma dalga biçimini temsil etmektedir. Literatürde, toplama dizilerinin ağırlıklandırılmasında üstel ve adım ağırlıklandırma yaklaşımları kullanılır [5].

## 6. BENZETİM SONUÇLARI

Bu kısımda, temel tanımları verilen tek kullanıcılı ve çok kullanıcılı algılama yaklaşımlarının bit hata oranı (BHO) başarım karşılaştırmalarına yönelik benzetim çalışmaları yapılmıştır. Algılama yaklaşımlarının tümünde, kullanıcılara ait güç kontrolünün mükemmel olarak sağlandığı kabul edilmiştir. Aynı kanalı paylaşan kullanıcı sayısı  $K=6$  olarak alınmıştır. Her bir kullanıcıya; Tablo 1'de verilen, bir Gold kod setinden ( $N=31$ ) keyfi olarak seçilmiş yayma kodları atanmıştır [6, 7]. Benzetim çalışmalarının tümü, Tablo 1'deki ilk kod ile çalışan kullanıcı dayanak alınarak gerçekleştirilmiştir. Geleneksel uyumlu filtre, MMSE ve İlintisizleştirme algılama yaklaşımlarının tümünde,

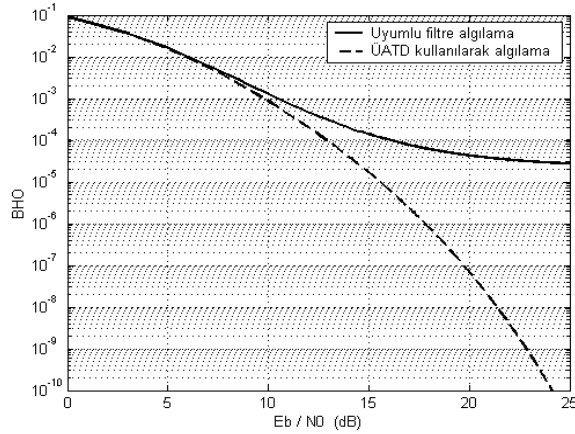
bit hata oranının hesaplanması için toplam  $5 \cdot 10^4$  tane veri biti kullanılmıştır. Ağırlıklı toparlama dizilerine dayalı durum için üstel ağırlıklandırma dalga biçimleri kullanılmış ve sistem başarımının değerlendirilmesinde Gaussian yaklaşımı kullanılmıştır [5].

Tablo 1. Gold kod setinden seçilmiş yayma kodları ( $N = 31$ ).

kod # 1*	1111011000100111001011111110001
" 2	1000101010011100011010100110101
" 3	0000011111110111010110010000001
" 4	0110000010001110101001011110011
" 5	1001011001011010001111110110111
" 6	110101101001010101011001110101111

\*Arzulanan Kullanıcı Kodu

Şekil 5,  $E_b/N_0$  'ın (0, 25] dB aralığındaki değerleri için iki farklı algılama yaklaşımı altında arzulan kullanıcıya ait alıcısındaki BHO başarımını göstermektedir. Bu şekilden görüleceği gibi, üstel ağırlıklı toparlama dizileri (ÜATD) kullanılarak gerçekleştirilen algılama, uyumlu filtre yapısına dayalı algılamaya göre çok daha başarılıdır.

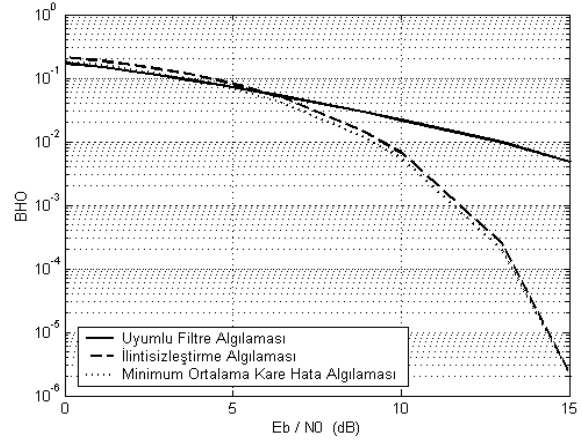


Şekil 5. Uyumlu filtre algılayıcı ve ÜATD kullanan algılayıcıya ait BHO başarım karşılaştırması

Şekil 6, bu çalışmada tanıtılan çok kullanıcılı algılama yaklaşımlarına ait BHO değişimlerini göstermektedir. Şekilden açıkça görüleceği gibi çok kullanıcılı iki algılama yaklaşımı (MMSE ve İntisizleştirme), uyumlu filtre yapılarından oluşan geleneksel algılama yaklaşımına göre çok daha yüksek bir BHO başarımı (daha düşük bit hata oranları) oluşturur.

## 7. SONUÇ

Bu çalışmada, DD/KBÇE iletişim sistemlerinde kullanılan tek kullanıcılı ve çok kullanıcılı algılama yaklaşımlarından bazıları sunulmuştur. Benzetim çalışmaları; ÜATD kullanılarak yapılan algılamanın, uyumlu filtre algılamasına göre çok daha düşük bit hata oranları sergilediğini göstermiştir. Her ne kadar AWGN' nin etkili olduğu durumlarda (düşük  $E_b/N_0$  değerleri) bu iki algılamaya ait başarım neredeyse eşit olsa da, ÇEG' nin etkisini arttırmasıyla birlikte ÜATD kullanan yaklaşımın üstünlüğü açık olarak ortaya çıkmaktadır. Çok kullanıcılı algılama yaklaşımlarına ait benzetim sonuçları, bu algılama yaklaşımlarının



Şekil 6. Çok kullanıcı algılayıcılara ait BHO başarım karşılaştırması

uyumlu filtre algılamasına göre üstünlüğünü net olarak ortaya koymaktadır. Her ne kadar ÜATD kullanılarak gerçekleştirilen algılama, çok kullanıcılı algılama yaklaşımlarının tümünde karşılaşılan diğer kullanıcılara ait bilgilere (işaret güçleri, yayma kodları v.b.) gereksinim duymasa da, BHO başarımı açısından daha zayıf olarak değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Verdu S., Multiuser Detection, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1998.
- [2] Xie Z., Short R.T., Rushforth C.K., A Family of Sub-optimum Detectors for Coherent Multiuser Communications, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, Vol.8, pp. 683-690, 1990.
- [3] Huber K., Neural Networks for Multiuser Detection, Master Thesis, McMASTER UNIVERSITY, 2000.
- [4] Monk A.M., Davis M., Milstein L.B., Helstrom C.H., A Noise-whitening Approach to Multiple Access Noise Rejection-part I: Theory and Background, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, Vol 12, pp. 817-827, 1994.
- [5] Huang Y., Ng T.S., A DS-CDMA System Using Despreading Sequences Weighted by Adjustable Chip Waveforms, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol 47, pp. 1884-1896, 1999.
- [6] Kärkkäinen K.H.A., Leppänen P., The Influence of Initial-Phases of a PN Code Set On The Performance of An Asynchronous DS-CDMA System, WIRELESS PERSONAL COMMUNICATIONS, Vol.13, pp. 279-293, 2000.
- [7] Ciftlikli C., Develi I., Cetinkaya B., Determination of Most Appropriate Spreading Sequences for a DS/CDMA System by using a Modified Approach, IEEE 11<sup>TH</sup> MEDITERRANEAN ELECTROTECHNICAL CONFERENCE (MELECON2002), pp. 16-20, EGYPT, 2002.