

ÇOKLU KULLANICILI ÇGTÇ-DFBÇE SİSTEMLERİ İÇİN ADİL KAYNAK PAYLAŞIMI FAIR RESOURCE ALLOCATION FOR MULTI-USER MISO-OFDMA SYSTEMS

İlhan Baştürk, Berna Özbek

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
ilhanbasturk@iyte.edu.tr, bernaobzbek@iyte.edu.tr

ÖZETÇE

Bu bildiride çoklu kullanıcı çok-giriş tek-çıkışlı dikgen frekans bölmeli çoklu erişim sistemleri (ÇGTÇ-DFBÇE) için baz istasyonundaki anten sayısının toplam kullanıcı sayısından az olduğu durumlarda baz istasyonunda kullanıcı seçimi ve kaynak paylaşımı algoritmaları sunulmuştur. Sistemde her kullanıcının baz istasyonuna uzaklığı farklı olduğu için adil bir kaynak paylaşım algoritması önerilerek uzaktaki kullanıcıların servis kalitesi de göz önünde bulundurulmuştur. Çoklu kullanıcı çok-giriş tek-çıkışlı sistemlerin performansları karşılaştırılırken çoğu zaman Shannon kapasitesi kullanılmaktadır. Bu çalışmada kapasite artışının sistemdeki hata oranları açısından her zaman iyi bir sistem performansı anlamına gelmediği düşünülerek performans ölçütü olarak bit hata oranı bazında karşılaştırma yapılmıştır. Önerilen algoritmanın ayrıca eşitlik indisi hesaplanıp diğer algoritmalarla oranla daha adil bir dağılıma sahip olduğu gösterilmiştir.

ABSTRACT

In this study, the user selection at the base station and resource allocation algorithms are presented for multiuser multiple-input single-output orthogonal frequency division multiple access (MU-MISO OFDMA) systems when the number of users in a cell is much more than the number of transmitter antennas. A fair resource allocation algorithm is proposed in order not to victimize the users far from the base stations. In general, Shannon capacity has been shown as the performance measure for MU-MISO-OFDMA systems. In this paper, the bit error rate (BER) is used as an performance metric instead of the Shannon capacity since, increasing the system capacity does not automatically yield the best performance in terms of error rates. It is also shown that the proposed algorithm provides fairness by calculating the fairness index.

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiye paralel olarak kablosuz haberleşme sistemlerinde yüksek veri hızlarında düşük hatalarla iletişim yapma ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM), günümüzde bu ihtiyaçları karşılayan ve

yeni nesil iletişim teknolojilerinde tercih edilen en güçlü adaylardan birisidir. OFDM, frekans bandını birbirine dik alt kanallara bölerek verinin bu altkanallardan paralel olarak gönderilmesini sağlar ve bu sayede hem yüksek veri hızlarında oluşan semboller arası girişim (ISI) problemini ortadan kaldırır hem de bant genişliğinin verimli kullanılmasını sağlar. Dikgen frekans bölmeli çoklu erişim (OFDMA) ise OFDM sistemlerinin çoklu kullanıcılara uyarlanmış biçimidir ve günümüzde WiMAX ve 3GPP LTE-Advanced gibi birçok standart tarafından tercih edilmektedir. OFDMA sistemlerinin çoklu anten teknikleriyle birlikte kullanılması sistemin kapasitesinin fazladan bant genişliği ve güç harcamadan artmasını sağlar.

OFDMA sistemlerinde sınırlı olarak bulunan güç, altyaşıyıcı gibi kaynakların kullanıcılar arasında verimli bir şekilde paylaşılması oldukça zor bir optimizasyon problemidir. Çok-giriş çok-çıkışlı (MIMO) ya da çok-giriş tek-çıkışlı (MISO) sistemlerle birlikte kullanılması durumunda frekansın yanısıra uzamsal boyutun da işin içine katılması kaynak paylaşımı probleminin zorluğunu artırır. Çoklu kullanıcı MISO ve MIMO-OFDMA sistemler için yapılan çalışmaların bir kısmı her bir altyaşıyıcıya tek bir kullanıcı yerleştirme yani her bir zaman anında sadece bir kullanıcıyla iletişime geçme yolunu seçerek hem kullanıcıların birbirlerine girişimini engeller hem de problemi biraz daha kolaylaştırır [1]-[3]. Aynı altyaşıyıcıyı birden çok kullanıcıya tahsis etmek suretiyle uzamsal boyutun da kullanıcılar tarafından paylaşılmasını sağlayarak aynı anda birden çok kullanıcıyı desteklemek, problemi zorlaştırmasına rağmen kapasitede önemli artış sağlar [4]. Aynı anda verici antenlerin farklı kullanıcılara atanması problemi, ortamdaki kullanıcı sayısının baz istasyonundaki anten sayısından daha az olması ya da daha fazla olması olarak iki senaryoda incelenmektedir. Genel olarak hücresel haberleşme sistemlerindeki kullanıcı sayısının baz istasyonundaki anten sayısından fazla olması gerçek sistemlere daha uygundur ve kullanıcı seçim algoritmaları kullanılarak altyaşıyıcılar kullanıcılara paylaşılır [5]-[8]. Bu sistemlerde kullanıcıların birbirlerine girişimi baz istasyonunda çeşitli önkodlama teknikleri kullanılarak engellenmektedir.

Biz bu bildiride çoklu kullanıcı MISO-OFDMA sistemler için baz istasyonundan kullanıcılara doğru veri akışı olan ve ortamdaki kullanıcıların baz istasyonundaki verici anten

sayısından çok fazla olduğu senaryo üzerinde çalıştık. Kullanıcıların baz istasyonuna uzak olmalarından dolayı servis kalitelerinin düşmesini önlemek amacıyla adil bir kullanıcı seçme algoritması önerdik. Önerdiğimiz algoritmayı bit hata oranı (BER) ve eşitlik indisi ölçütlerini kullanarak çeşitli kullanıcı seçim algoritmalarıyla karşılaştırdık. Daha önce önerilen algoritmalarda performans karşılaştırılması genel olarak bilgi teorisi açısından yapılmış ve Shannon kapasitesi performans ölçütü olarak kullanılmıştı. Performans ölçütü olarak Shannon kapasitesi yerine BER tercih edilme nedeni toplam kapasitenin artırılması her zaman sistemin hata oranları açısından en iyi performansı elde etmesi anlamına gelmez ve BER değerleri pratik sistemler için çok daha iyi bir karşılaştırma ölçütüdür.

2. SİSTEM MODELİ

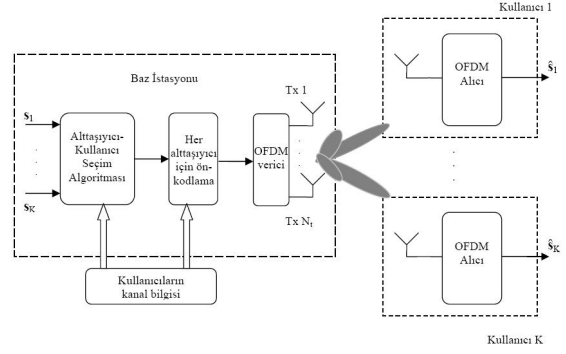
Bu bildiriye tek hücreli ve iletişimin baz istasyonundan kullanıcılara doğru olduğu MISO-OFDMA sistemi üzerinde çalışılmıştır. Hücrenin tam merkezinde bir baz istasyonu ve bunun etrafında değişik yerlerde konumlanmış birden çok kullanıcı bulunmaktadır. Baz istasyonunda bulunan verici anten sayısı N_t , her bir kullanıcıda birer adet alıcı anten olmak üzere sistemdeki toplam kullanıcı sayısı K ve toplam alttaşıyıcı sayısı N olmak üzere sistem modeli Şekil 1'de verilmiştir.

Çalıştığımız senaryoda $K > N_t$, yani ortamdaki kullanıcı sayısı baz istasyonundaki verici anten sayısından fazladır. Bu tip senaryolarda birden fazla kullanıcıya aynı alttaşıyıcıda veri göndermek için kullanıcı seçim algoritmaları kullanılır ve K tane kullanıcıdan en fazla N_t adet kullanıcı seçilebilir. Kullanıcı seçim algoritması Şekil 1'de görüldüğü gibi baz istasyonunda gerçekleşir ve her kullanıcının mükemmel kanal bilgisinin bilindiği varsayılır. Kullanıcı seçim algoritmasında seçim, toplam $I = \sum_{l=1}^{N_t} \binom{K}{l}$ adet olası kombinasyon arasından yapılır. Biz bu çalışmada her alttaşıyıcıda desteklenecek aktif kullanıcı sayısını verici anten sayısına eşit seçtik. Buna göre her alttaşıyıcı için Ω_n , tüm kullanıcıların oluşturduğu kümeden seçilen $\Omega_n \subset \{1, 2, \dots, K\}$ ve eleman sayısı $|\Omega_n| = N_t$ olan aktif kullanıcı kümesini temsil etmektedir. Eğer kullanıcı $i \in \Omega_n$, olarak düşünürsek bu kullanıcının aldığı sinyal aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$y_{n,i} = \mathbf{h}_{n,i} \sum_{j \in \Omega_n} \sqrt{P_{n,j}} \mathbf{w}_{n,j} s_{n,j} + z_{n,i} \quad (1)$$

(1)'de $s_{n,j}$ gönderilen veri sembolünü, $y_{n,i}$ n'inci alttaşıyıcıda i'inci kullanıcı tarafından alınan sinyali, $\mathbf{h}_{n,i}$, baz istasyonu ve i'inci kullanıcı arasındaki $1 \times N_t$ boyutlu kanal vektörünü, $\mathbf{w}_{n,j}$, $N_t \times 1$ boyutlu hüme oluşturma vektörünü ve $z_{n,i}$ toplanabilir beyaz Gauss gürültüsünü (AWGN) temsil etmektedir. Ayrıca $P_{n,j}$ n'inci alttaşıyıcıya ayrılan güç miktarıdır ve toplam güç tüm alttaşıyıcılara eşit olarak dağıtılmıştır.

Kullanıcı seçim işlemi tamamlandıktan sonra kullanıcıların alıcıda aldıkları sinyallerin karışımını önlemek amacıyla baz istasyonunda önkodlama işlemi gerçekleştirilir ve Şekil 1'de görüldüğü gibi hüme oluşturularak kullanıcılara verileri aktarılır. Hüme oluşturma işlemi için bu çalışmada sıfıra zorlayan hüme oluşturma (ZF Beamforming) tekniği kullanılmıştır. Öncelikle n'inci alttaşıyıcı için Ω_n altkümesindeki kullanıcıların oluşturduğu kanal matrisi $\mathbf{H}_n(\Omega_n) =$



Şekil 1: Çoklu Kullanıcı MISO-OFDMA Sistem Modeli.

$[\mathbf{h}_{n,1}^T, \dots, \mathbf{h}_{n,N_t}^T]^T$ elde edilir ve bu matrisin sözde tersi elde edilerek bu alttaşıyıcıdaki her kullanıcıya ait hüme vektörlerini içeren hüme matrisi $\tilde{\mathbf{W}}_n(\Omega_n) = [\tilde{\mathbf{w}}_{n,1}, \dots, \tilde{\mathbf{w}}_{n,N_t}]$ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\tilde{\mathbf{W}}_n(\Omega_n) = \mathbf{H}_n(\Omega_n)^H (\mathbf{H}_n(\Omega_n) \mathbf{H}_n(\Omega_n)^H)^{-1} \quad (2)$$

(2)'de elde edilen bu hüme vektörleri daha sonra aşağıda verilen şekilde normalize edilir.

$$\mathbf{w}_{n,i} = \sqrt{\frac{N_t}{\text{tr}\{\tilde{\mathbf{W}}_n(\Omega_n) \tilde{\mathbf{W}}_n(\Omega_n)^H\}}} \tilde{\mathbf{w}}_{n,i} \quad (3)$$

Sonuçta elde edilen hüme vektörleri $\mathbf{h}_{n,i} \mathbf{w}_{n,j} = 0$ ($j \neq i$, $i, j \in \Omega_n$) şartını sağladıkları için her kullanıcının aldığı sinyal, (4)'de görüldüğü gibi yalnızca kendisine ait sinyali içerir.

$$y_{n,i} = \sqrt{P_{n,i}} \mathbf{h}_{n,i} \mathbf{w}_{n,i} s_{n,i} + z_{n,i} \quad (4)$$

3. KULLANICI SEÇİMİ

Sistem modelinde bahsedildiği gibi kullanıcı sayısının baz istasyonundaki verici anten sayısından fazla olduğu durumlarda birden fazla kullanıcı desteklenmek istendiğinde kullanıcı seçme algoritmalarına ihtiyaç vardır. Her bir alttaşıyıcı için belli sayıda kullanıcı seçilip aynı anda bu kullanıcılarla iletişime geçilir. Kullanıcı seçimi alttaşıyıcıların kullanıcılara atanmasından dolayı aynı zamanda bir kaynak paylaşımıdır. Kullanıcı seçim algoritması tüm olası kullanıcı kümelerinin denemesi şeklinde yapıldığında en iyi sonucu verecektir. Daha öncede belirttiğimiz gibi biz her bir alttaşıyıcı için desteklenecek kullanıcı sayısını maksimum değer olan N_t olarak alıyoruz. Bu durumda $\frac{K!}{N_t!(K-N_t)!}$ tane olasılığın tek tek denemesi gerekecektir. Bu durum özellikle kullanıcı sayısının artmasıyla üstel olarak hesaplama karmaşıklığını arttıracaktır. Kullanım açısından olmasa da karşılaştırma yapabilmek açısından bu seçim algoritmalarının incelenmesi de önemlidir. Bu seçim algoritmalarından iki tanesi aşağıda verilmiştir.

$$\Omega_n^{(Fro.)} = \arg \max_{\Phi_n \in \Psi} \sqrt{\text{tr}\{\mathbf{H}_n(\Phi_n)^H \mathbf{H}_n(\Phi_n)\}} \quad (5)$$

$$\Omega_n^{(MSE)} = \arg \min_{\Phi_n \in \Psi} \text{tr}\{(\mathbf{H}_n(\Phi_n)^H \mathbf{H}_n(\Phi_n))^{-1}\} \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemlerde verilen Ψ , tüm kullanıcıların kümesini Φ_n ise n 'inci altaşıyıcı için olası aktif kullanıcı kümesini temsil etmektedir. (5)'de tüm kullanıcı kümeleri içinden Frobenius normu en yüksek kullanıcı kümesi, (6)'da ise ortalama karesel hatası (Mean Square Error, MSE) en küçük olan kullanıcı grubu seçilecektir [8].

Literatürde bu algoritmaların arama uzayını küçülten ve hesaplama karmaşıklığını azaltan en iyiye yakın algoritmalar da mevcuttur. Bunlardan en popüler iki tanesi Korelasyon Tabanlı Fırsatçı Algoritma (Greedy Correlation-Based Algorithm, GCBA) ve Durum Numarası Tabanlı Fırsatçı Algoritma (Greedy Condition-number Based Algorithm, GCNBA)'dır.

GCBA algoritması her altaşıyıcı için ayrı ayrı çalıştırılır. İlk altaşıyıcıdan itibaren öncelikle o altaşıyıcıyla arasındaki kanal kazancı en iyi olan kullanıcı bulunur. Daha sonraki adımlarda (7)'den anlaşılacağı üzere kullanıcılar seçilen kullanıcılarla kalan kullanıcılar arasındaki korelasyon katsayısı toplamı en düşük olan kullanıcı seçilerek devam ettirilir.

$$\Omega_n \leftarrow \Omega_n \cup \arg \min_{j \notin \Omega_n} \sum_{i \in \Omega_n} \eta_{i,j} \quad (7)$$

(7)'de $\eta_{i,j} = \frac{|\mathbf{h}_{n,i} \mathbf{h}_{n,j}^H|}{\|\mathbf{h}_{n,i}\| \|\mathbf{h}_{n,j}\|}$ ifadesi iki kullanıcı arasındaki korelasyon katsayısıdır ve 0 ile 1 arasında değerler alır.

GCNBA algoritması da her altaşıyıcıya ayrı ayrı uygulanır ve başlangıçtaki kullanıcı seçimi GCBA ile aynıdır. Fakat başlangıçtan sonraki kullanıcıların seçiminde bu sefer seçilen kullanıcıların ve kalan kullanıcıların genişletilmiş matrislerinin durum numarası en düşük olan kullanıcı her defasında tercih edilir. Aşağıda bu algoritma her altaşıyıcı için özetlenmiştir.

Adım 1. Başlangıç

$$a = 1, \Omega_0 = \emptyset \text{ ve } \Psi_0 = \{1, \dots, K\}$$

$$k_a = \arg \max_k \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^H$$

$$\Omega_1 \leftarrow \Omega_0 \cup \{k_a\}, \Psi_1 \leftarrow \Psi_0 \setminus \{k_a\}, \mathbf{H}(\Omega_1) = \mathbf{h}_{k_a}$$

Adım 2. Maximum anten sayısı kadar kullanıcı seçimi

for $a = 2 : N_t$ **do**

for $k \in \Psi_{a-1}$ **do**

$$c_k = \text{cond}\{[\mathbf{H}(\Omega_{a-1})^T \mathbf{h}_k^T]^T\}$$

end for

$$k_a = \arg \min_k c_k$$

$$\Omega_a \leftarrow \Omega_{a-1} \cup \{k_a\}, \Psi_a \leftarrow \Psi_{a-1} \setminus \{k_a\}$$

$$\mathbf{H}(\Omega_a) = [\mathbf{H}(\Omega_{a-1})^T \mathbf{h}_{k_a}^T]^T$$

end for

4. ÖNERİLEN ALGORİTMA

Genel olarak baz istasyonuna yakın yani kanal kazançları daha iyi olan kullanıcılar paylaşılacak kaynakların çoğunu yada hepsini alırlar. Bu durumda konumsal açıdan kötü durumdaki kullanıcılar mağdur edilmiş olur ve bunların servis kalite ihtiyaçları karşılanmamış olur. Biz adil bir paylaşımı göz önünde bulunduran bir kaynak paylaşım algoritması öneriyoruz. Önerilen algoritmanın amacı sistem performansının çok fazla düşürülmeden kaynakların tamamının yada büyük kısmının iyi durumdaki kullanıcılara verilmesini önlemek ve kullanıcıların altaşıyıcı paylaşımını adil bir biçimde yapmasını sağlamaktır. Bu nedenle her kullanıcı önceden belirlenen ve algoritmada $\max\{N_k\} = \gamma_k, k = 1, \dots, K$ olarak belirtilen belli bir değerin üzerinde altaşıyıcı alamamaktadır. Önerilen

algoritma aşağıdaki gibi özetlenebilir.

$$\Lambda = 1, 2, \dots, N, \quad n \in \Lambda, \quad N_k = 0 \quad k = 1, 2, \dots, K$$

While $|\Lambda| \neq \emptyset$ **do**

$$\Psi_0 = \{1, \dots, K\}, \Omega_0 = \emptyset, a = 1$$

En az altaşıyıcıya sahip kullanıcıyı bul, $k_a = \arg \min_k N_k$

Seçilen kullanıcı ile en iyi kanala sahip altaşıyıcıyı bul,

$$n = \arg \max_{j \in \Lambda} \|\mathbf{h}_{k_a,j}\|$$

$$\Omega_a \leftarrow \Omega_0 \cup \{k_a\}, N_{k_a} = N_{k_a} + 1, \Psi_a \leftarrow \Psi_0 \setminus \{k_a\},$$

$$\mathbf{H}(\Omega_a) = \mathbf{h}_{k_a,n}$$

Kotayı aşan kullanıcıları bu altaşıyıcı için kullanıcı seçim kümesinden çıkar,

for $k \in \Psi_a$ **do**

if $N_k > \gamma_k$ **do**

$$\Psi_a \leftarrow \Psi_a \setminus \{k\}$$

end if

end for

Maximum anten sayısı kadar seçilen kullanıcılara dik kullanıcı seçimi

for $a = 2 : N_t$ **do**

$$\mathbf{P}_a^\perp = \mathbf{I}_{N_t} - \mathbf{H}(\Omega_{a-1})^H (\mathbf{H}(\Omega_{a-1}) \mathbf{H}(\Omega_{a-1})^H)^{-1} \mathbf{H}(\Omega_{a-1}),$$

\mathbf{I}_{N_t} , $N_t \times N_t$ boyutlu birim matrisini, $\mathbf{H}(\Omega_{a-1})$ ise önceden seçilmiş kullanıcıların oluşturduğu genişletilmiş matrisi ifade etmektedir.

for $k \in \Psi_{a-1}$ **do**

$$r_k = |\mathbf{h}_{k,n} \mathbf{P}_a^\perp|^2 = |\mathbf{h}_{k,n} \mathbf{P}_a^\perp \mathbf{h}_{k,n}^H|$$

end for

$$k_a = \arg \max_k r_k$$

$$\Omega_a \leftarrow \Omega_{a-1} \cup \{k_a\}, N_{k_a} = N_{k_a} + 1, \Psi_a \leftarrow \Psi_{a-1} \setminus \{k_a\}$$

$$\mathbf{H}(\Omega_a) = [\mathbf{H}(\Omega_{a-1})^T \mathbf{h}_{k_a}^T]^T$$

end for

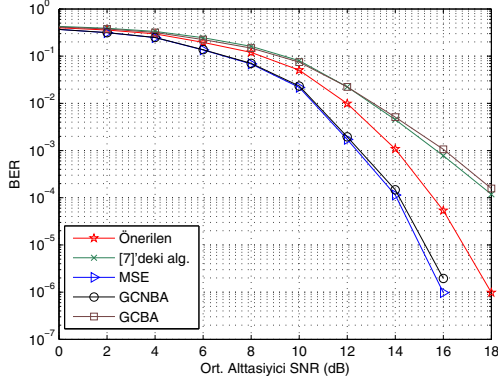
$$\Lambda \leftarrow \Lambda \setminus \{n\}$$

end while

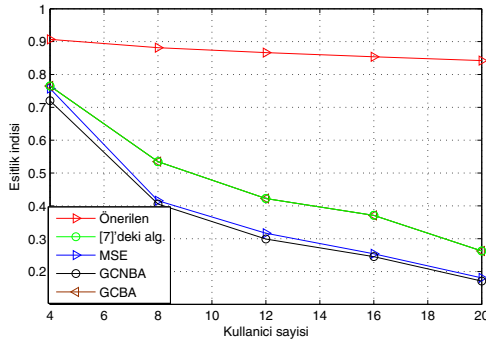
Önerilen algoritmada altaşıyıcı seçme önceliği altaşıyıcı sayısı en az olan kullanıcıya verilmiştir. Başlangıç koşulunda yani tüm kullanıcıların altaşıyıcı sayısı sıfır olduğu durumda en az altaşıyıcıya sahip kullanıcı rasgele seçilebilir. Daha sonra bu kullanıcı ile en iyi kanal kazancına sahip altaşıyıcı seçilir. Sonraki adımlarda bu altaşıyıcıyı kullanacak diğer kullanıcılar belirlenmektedir. Kullanıcıların belirlenmesi sırasında aynı altaşıyıcıdaki kullanıcıların birbirlerine karışımının engellenmesi için daha önce seçilen kullanıcılara dik kullanıcılar seçilmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle seçilmemiş kullanıcılara ait kanal vektörleri önceden seçilen kullanıcıların kanallarının geldiği altuzayın dik tümleyeni üzerine yansıtılır ve dik kullanıcılar arasından en büyük kapasiteye sahip olan kullanıcı seçilerek bu altaşıyıcıya verilir [9]. Yansıtma matrisi \mathbf{P}^\perp yukarıda verdiğimiz algoritmada tanımlanmıştır. Bu işlem toplam verici anten sayısı kadar tekrarlanır. Her altaşıyıcının kullanıcı kotası dolduğunda bu altaşıyıcı kümeden çıkarılır ve altaşıyıcı kümesinde hiç eleman kalmayınca kadar algoritma tekrarlanır.

5. BENZETİM SONUÇLARI

Önerilen algoritma BER performansı ve eşitlik indisi açısından 3. bölümde detaylı olarak anlatılan ve [7]'deki kullanıcı seçim algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken $N_t = 2$ adet verici antene sahip tek hücreli bir sistemin tam



Şekil 2: Bit Hata Oranı Performans Karşılaştırması.



Şekil 3: Farklı Kullanıcı Sayıları için Eşitlik Katsayılarının Karşılaştırılması.

merkezinde bir baz istasyonu ve her biri bir alıcı anten içeren ve baz istasyonuna her biri farklı uzaklıklarda toplam $K = 8$ adet kullanıcı kullanılmıştır. Kanal olarak 6 dalı, zamanla değişen ve Doppler frekansı 100Hz olan çok yollu bir kanal kullanılmıştır. Ayrıca sistemde yol kayıpları da göz önünde bulundurulmuş ve yol kaybı katsayısı 2.7 olarak seçilmiştir. Sistemdeki toplam alttasiyıcı sayısı $N = 256$ olarak seçilmiş ve modülasyon tipi olarak QPSK kullanılmıştır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi en iyi bit hata oranı değerlerine tüm kullanıcı olasılıklarını deneyen MSE algoritması sahiptir. GCNBA algoritması da hemen hemen optimuma yakın bir bit hata oranı değerine sahiptir. Önerilen algoritma optimum sonuçtan 2dB kadar daha kötü bir performansa sahiptir ve diğer GCBA ve [7]'deki verilen algoritmalarından daha iyi bit hata oranı değerine sahiptir.

Önerdiğimiz algoritmanın en önemli özelliği adil bir paylaşımına sahip olması olduğu için tüm algoritmaların eşitlik indisleri [10]'da tanımlanan eşitlik indisi formülü $F = \frac{(\sum_{k=1}^K N_k)^2}{K \sum_{k=1}^K (N_k)^2}$ ile hesaplanarak bu yönde de bir karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Şekil 3'de gösterilmektedir. Bu grafikte farklı kullanıcı sayılarında her algoritmanın adalet konusunda nasıl davrandığı gösterilmiştir. Önerdiğimiz algor-

itma artan kullanıcı sayısı ile beraber çok açık şekilde diğer algoritmalarından daha adil bir yaklaşım sergilemektedir. BER değerlerini elde ettiğimiz $K = 8$ kullanıcı sayısında önerilen algoritma en yakın algoritmadan %39 oranında daha adildir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada çoklu kullanıcı çok-giriş tek-çıkışlı dikgen frekans bölme çoklu erişim sistemleri için ortamdaki kullanıcı sayısının verici anten sayısından çok olduğu durumlarda adil bir kaynak paylaşımı algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma eşitlik olarak diğer algoritmalarından üstün ve bit hata oranı açısından da optimuma yakın sonuçlar vermektedir. Önerilen yöntem baz istasyonuna uzak olan kullanıcıların servis kalitelerini yükseltmiş ve sistemdeki her kullanıcıya adil davranılmasını sağlamıştır.

7. KAYNAKÇA

- [1] J. Xu, J. Kim, W. Paik, J.-S. Seo, "Adaptive Resource Allocation Algorithm with Fairness for MIMO-OFDMA System", IEEE VTC2006, s.1585-1589, Mayıs 2006.
- [2] B. Da, C. C. Ko, "Resource allocation in downlink MIMO-OFDMA with proportional fairness", J. Commun., cilt 4, n. 1, s.8-13, Şubat 2009.
- [3] Mraz A., Zambo T., Imre S., "Radio resource management for MIMO-OFDMA access in Rayleigh fading channel", European Wireless Conference (EW), Lucca, s.261-268, 2010
- [4] Q. H. Spencer, A.L. Swindlehurst, M. Haardt, "Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multi-user MIMO channels", IEEE Trans. Sig. Proces. cilt 52, n.2, s.461-471, Şubat 2004.
- [5] Papoutsis, V.D., Frimis, I.G., Kotsopoulos, S.A., "User selection and resource allocation algorithm with fairness in MISO-OFDMA", IEEE Communications Letters, cilt 14, n.5, s. 411-413, Mayıs 2010
- [6] S. Kai, W. Ying, C. Zi-xiong, Z. Ping, "Fairness based resource allocation for multiuser MISO-OFDMA systems with beamforming", J. China Univ. of Posts and Telec., cilt 16, n. 1, s.38-43, Şubat 2009.
- [7] Zhong C., Li C., Zhao R., Yang L., Gao X., "Dynamic Resource Allocation for Downlink Multi-user MIMO-OFDMA/SDMA Systems", IEEE ICC'09, Dresden, Almanya, Haziran 2009
- [8] Petermann M., Bockelmann C., Kammeyer, K. D., "On Allocation Strategies for Dynamic MIMO-OFDMA with Multi-User Beamforming", 12th International OFDM-Workshop, Hamburg, Almanya, Ağustos 2007.
- [9] Z. Tu, R. S. Blum, "Multiuser diversity for a dirty paper approach", IEEE Commun. Lett., cilt. 7, n.8, s.370-372, Ağustos 2003.
- [10] R. Jain, D.M. Chiu, W.R. Hawe, "A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation Shared Computer Systems", Digital Equipment Corporation technical report TR-301, 1984.