

Gezgin Rölelerin DFBÇE Tabanlı Hücreyel Ağ Performansına Etkisi

Effect Of Mobile Relays On The OFDMA-Based Cellular Network Performance

İlhan Baştürk

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

Berna Özbek

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
bernaozbek@iyte.edu.tr

Özetçe —Düşük kurulum maliyetine ve geniş kapsama alanına sahip gezgin rölelerle geliştirilmiş dikgen frekans bölmeli çoklu erişim (DFBÇE) tabanlı hücreyel ağlar, yüksek veri hızlarında iletişime olanak sağlamaları açısından gelecek nesil iletişim sistemlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Fakat, bu avantajların açığa çıkarılması için etkin kaynak yönetimi algoritmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada gezgin rölelerle geliştirilmiş ağlarda röle seçim ve kaynak tahsisi gibi kaynak yönetimi algoritmaları önerilmiştir. Önerilen algoritmalarla gezgin rölelerin, baz istasyonundan uzakta ve kanal kazançları düşük olan hücre kenarlarındaki kullanıcıların veri hızlarında önemli artış sağladığı ve sistemdeki memnun kullanıcı sayısının arttırıldığı benzetim sonuçlarıyla açığa çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler—gezgin röle, DFBÇE, kaynak yönetimi

Abstract—OFDMA-based mobile relay enhanced cellular networks which have lower infrastructure cost and larger coverage areas are important technologies for the next generation communication systems since they allow to communicate at higher data rates. However, it is required to develop efficient radio resource management algorithms in order to reveal these advantages. Thus, in this study, relay selection and resource allocation algorithms are proposed for the mobile relay enhanced cellular networks. It is revealed that the number of satisfied users and the data rate of the cell-edge users that are far from the base station and have lower channel gains are increased by using mobile relays with the proposed algorithms.

Keywords—mobile relay, OFDMA, resource management

I. GİRİŞ

Gelecek nesil iletişim sistemlerindeki en büyük beklentilerden biri tüm kullanıcıları memnun edecek şekilde geniş bir kapsama alanında yüksek veri hızlarında haberleşme olanağı sağlamasıdır. Son yıllarda, frekans seçici kanallara karşı dayanıklılığı ve bant genişliğini verimli kullanması gibi avantajları nedeniyle DFBÇE teknolojisini araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiştir. DFBÇE sistemlerde her alt taşıyıcı farklı bir kullanıcıya tahsis edilebilir ve böylece kullanıcılar iyi kanal kazancına sahip oldukları alt taşıyıcılara tahsis edilerek sistem kapasitesi arttırılabilir. Hücreyel ağlarda, özellikle hücre

kenarlarındaki kullanıcıların veri hızlarında baz istasyonuna yakın olan kullanıcıların veri hızları ile karşılaştırıldığında bir düşme görülür. Bunun nedeni hücre kenarlarına yerleşmiş bu kullanıcıların kanal kazançlarının ve buna bağlı olarak da sinyal gürlüğü oranlarının, baz istasyonuna daha yakın olan kullanıcılara oranla daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu kullanıcılar buldukları konumdan dolayı bir anlamda cezalandırılırlar ve istedikleri servis kalitesinde haberleşme olanağına sahip olamazlar. Bu adil bir uygulama değildir ve bu kullanıcıların servis kalitelerinin buldukları konum gözetilmeksizin iyileştirilmesi bir gerekliliktir. Bu sorun ortamdaki baz istasyonlarının sayısı arttırılarak çözülebilir fakat bu servis sağlayıcılara maliyet açısından aşırı bir yük getirmektedir. Fakat, röleler daha düşük maliyetlerle bu problemin çözümüne önemli katkı sağlamaktadırlar [1]. Literatürde, sabit ve gezgin röleler olmak üzere iki tip röle üzerinde çalışılmıştır. Gezgin röleler bir araç üzerine monte edilebilir yada hareket halindeki bir kullanıcı baz istasyonundan uzakta başka bir kullanıcı için röle olabilir. Sabit röleler ağ altyapısının bir parçasıdır ve nerede, ne kadar yerleştirileceği servis sağlayıcılar tarafından optimum şekilde yapılmalıdır. Fakat, gezgin röleler için bu tarz bir yerleşime gerek duyulmamaktadır. Gezgin röleler sabit rölelerin birebir alternatifi değil, onu tamamlayıcı bir çözüm önerisi olarak düşünülebilir.

Röle ile geliştirilmiş ağlarda, kapsama ve kapasite kazancı büyük oranda, son yıllarda çok dikkat çekici bir araştırma alanı haline gelen kaynak yönetim stratejilerine bağlıdır. DFBÇE tabanlı röle ile geliştirilmiş sistemlerde elde edilen kapsama ve kapasite kazançlarına rağmen, kaynak yönetim problemi artan link sayısı dikkate alındığında daha karmaşık bir hal alır. Literatüre baktığımızda, DFBÇE sistemlerde kaynak yönetimi problemi adillik, yük dengeleme, trafik farkındalığı gibi farklı kısıtlar altında aşağı link/yukarı link, tek hücreli/çok hücreli gibi farklı senaryolar için sabit röle kullanan sistemlerde çokça çalışılmıştır [2]-[4]. Gezgin röle kullanan sistemler için çalışma sayısı sabit röle kullanan sistemler kadar zengin olmamakla birlikte son yıllarda bu problem incelenmiştir [5]-[7].

Bu çalışmada, DFBÇE tabanlı gezgin röle ile geliştirilmiş hücreyel ağlarda kaynak yönetimi problemi üzerine odaklanılmış ve problemin çözümü için röle seçme ve kaynak tahsisi algoritmaları geliştirilmiştir. Gezgin röle olarak bir

kullanıcının diğer bir kullanıcı için röle olabileceği senaryo üzerinde durulmuştur. [6] ve [7]'te yaptığımız çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada röle adayları sadece aktif olmayan yani kendisi iletişimde olmayan hücre içi kullanıcılar arasından seçilmiştir. Gezgin röleli senaryolar için önerilen kaynak yönetimi çözümlerinin, sistemdeki kullanıcıların memnuniyet oranlarını daha üst seviyelere taşıdığı ve özellikle baz istasyonuna uzak olmalarından dolayı kanal kazançları düşük olan hücre kenarlarındaki kullanıcıların veri hızları üzerindeki olumlu etkisi benzetim sonuçlarıyla açığa çıkartılmıştır.

II. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada, tek hücreli, aşağı link, DFBÇE tabanlı gezgin rölelerle geliştirilmiş hücresel ağ topolojisi kullanılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi hücrenin tam merkezine bir adet baz istasyonu, etrafına da K adet kullanıcı yerleştirilmiştir. Hücre alanı, R hücre yarıçapı olmak üzere hücre içi ($0 - 2R/3$ aralığında) ve hücre kenarı ($2R/3 - R$ aralığında) olarak iki bölgeye ayrılmıştır. Hücre içindeki kullanıcılar aktif ve aktif olmayan kullanıcılar olmak üzere ikiye ayrılırlar ve aktif kullanıcılar baz istasyonu ile doğrudan haberleşebilirler. Hücre kenarındaki kullanıcılar ise aktif kullanıcılar ve bu kullanıcılar doğrudan yada direkt linkte sorun varsa başka bir kullanıcı üzerinden yani gezgin röle yardımıyla haberleşebilirler. Hücre içinde kalan ve aktif olmayan kullanıcılar hücre kenarındaki kullanıcıların gezgin röle adaylarıdır. Hücre kenarındaki kullanıcılar için $R/2$ 'lik yarıçapa sahip kapsama alanı içinde kalan aktif olmayan hücre içi kullanıcılar gezgin röle adayları olarak kabul edilmektedir. Tüm DFBÇE bandı, B , her biri komşu alt taşıyıcıların birleşmesi ile oluşan N tane alt kanala bölünmüştür. Her bir alt kanal için iki nokta arasındaki veri hızı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir,

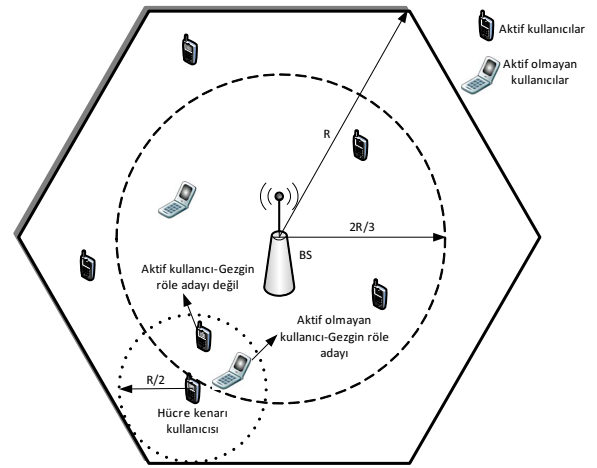
$$R_{i \rightarrow j, n} = \frac{B}{N} \log_2(1 + \gamma_{i \rightarrow j, n}). \quad (1)$$

Burada n . alt kanalda i ve j arasındaki sinyal gürültü oranı $\gamma_{i \rightarrow j, n} = \frac{P_{i \rightarrow j, n} |H_{i \rightarrow j, n}|^2}{N_0 B}$ ile verilmektedir. $P_{i \rightarrow j, n}$ iletilen gücü, $H_{i \rightarrow j, n}$ yol kaybı, gölgeleme ve çokyol etkilerini içeren kanal kazancını ve N_0 ise gürültü spektral yoğunluğunu temsil etmektedir.

Alt kanalların kullanıcılara tahsis edilmesi işlemi baz istasyonu gerçekleştirir ve tüm kullanıcıların kanal bilgilerinin baz istasyonu tarafından bilindiği varsayılmaktadır. Röle ile geliştirilmiş hücresel ağlarda kaynak tahsisi probleminde Tam Çift Yönlü ve Yarı Çift Yönlü olmak üzere iki farklı iletim yapısı kullanılmaktadır. Tam Çift Yönlü iletim yapısında röle aynı zamanda ve aynı alt kanalda veri alma ve gönderme işlemini gerçekleştirir. Fakat, bu yapıda girişim söz konusu olduğu için pratik sistemlerde gerçekleşmesi zordur. Bu nedenle, biz çalışmamızda iletim çerçevesini iki alt çerçeveye bölerek rölenin iki farklı zamanda veri alıp göndermesini sağlayan ve böylece girişim etkisini yok eden Yarı Çift Yönlü iletim yapısını kullandık. Bu yapıda birinci alt çerçevede baz istasyonu kullanıcı ve rölelere veri gönderiyor, ikinci alt çerçevede ise baz istasyonu ve röleler kullanıcılara veri gönderiyorlar.

III. RÖLE SEÇME VE KAYNAK PAYLAŞTIRMA

Gelişen haberleşme teknolojilerine paralel olarak kullanıcıların servis kalitesi ihtiyaçları da her geçen gün artmak-



Şekil 1: Ağ topolojisi.

tadır. Kullanıcılar konumları ne olursa olsun istedikleri veri hızlarına ulaşmak istemektedirler. Bu da sistemdeki kaynakların etkin kaynak yönetim algoritmaları ile tüm kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak bir biçimde paylaşılması anlamına gelmektedir.

Biz bu çalışmada, bu ihtiyaçları göz önünde bulundurarak, gezgin röleler kullanılması nedeniyle hem röle seçimi hem de kaynak tahsisi algoritmalarını içeren aşağıdaki kaynak yönetim algoritmalarını öneriyoruz.

Röle Adayı Seçme Algoritması

• \mathbb{O} ve \mathbb{I} sırasıyla hücre kenarındaki ve hücre içindeki kullanıcı kümelerini, \mathbb{A} ve \mathbb{A}' ise sırasıyla hücre içindeki aktif ve aktif olmayan kullanıcı kümelerini temsil etmektedir. $\mathbb{I} = \mathbb{A} \cup \mathbb{A}'$ şeklinde ifade edilebilir.

for her $k \in \mathbb{O}$ **do**

* Eğer varsa kullanıcı k için röle adaylarını bul

$$\zeta_k = \{j | d_{k \rightarrow j} \leq d^{th}, j \in \mathbb{A}'\}$$

* Eğer $\zeta_k \neq \emptyset$, k için en uygun röleyi minimum toplam yol kaybını kullanarak bul.

$$r_k = \arg \min_{j \in \zeta_k} (PL_{Baz \rightarrow j} + PL_{j \rightarrow k})$$

end for

$d_{k \rightarrow j}$ kullanıcı k ve j arasındaki mesafeyi ve d^{th} ise röle adaylarını belirlemede kullanılan eşik uzaklığını temsil etmektedir. $PL_{Baz \rightarrow j}$ ve $PL_{j \rightarrow k}$ ise sırasıyla, dB cinsinden baz istasyonu-röle aday j ve röle aday j -hücre kenarı kullanıcı k arasındaki yol kaybı değerlerine karşılık gelmektedir. Seçilen röle adayları hücre kenarlarındaki kullanıcılar tarafından baz istasyonuna gönderilir ve daha sonra baz istasyonu bu verileri de kullanarak kaynakları aşağıda önerilen iki adımlı algoritma yardımıyla paylaşır.

Kaynak Paylaşma Algoritması

• Toplam aktif kullanıcı kümesi, $\mathbb{E} = \mathbb{A} \cup \mathbb{O}$ olsun. \mathbb{N} , \mathbb{N}' sırasıyla, birinci ve ikinci alt çerçevedeki alt kanalların kümesi, \mathbb{U} ve \mathbb{S} sırasıyla memnun olmamış ve memnun olmuş kullanıcıların kümesidir.

- Başlangıçta, $\mathbb{U} = \{1, 2, \dots, |\mathbb{E}|\}$, $\mathbb{S} = \{\emptyset\}$, $R_k = 0$, $\forall k \in \mathbb{U}$, $\mathbb{N} = \{1, 2, \dots, N\}$, $\mathbb{N}' = \{1, 2, \dots, N\}$, $n = 1$

Adım 1

while $\mathbb{U} \neq \emptyset$ and $n \leq N$ **do**

* Veri hızı değerlerini hesapla, $R_{k,n} \forall k \in \mathbb{U}$

if $r_k \neq \emptyset$ **do**

$$R_{Baz \rightarrow r_k \rightarrow k,n} = \min\{R_{Baz \rightarrow r_k,n}, R_{r_k \rightarrow k,n}\}$$

$$R_{k,n} = \max\{R_{Baz \rightarrow k,n}, R_{Baz \rightarrow r_k \rightarrow k,n}\}$$

else do

$$R_{k,n} = R_{Baz \rightarrow k,n}$$

end if

* n . alt kanalda maksimum veri hızı değerine sahip

kullanıcıyı bul, $k' = \arg \max_{k \in \mathbb{U}}(R_{k,n})$

* Bu kullanıcının veri hızını güncelle, $R_{k'} = R_{k'} + R_{k',n}$

* Eğer $R_{k'} \geq R_{k'}^{th}$, bu kullanıcıyı memnun olmayan kullanıcı kümesinden çıkar, $\mathbb{U} \leftarrow \mathbb{U} \setminus \{k'\}$ ve memnun kullanıcı kümesine ekle, $\mathbb{S} \leftarrow \mathbb{S} \cup \{k'\}$

* Eğer k' röle yardımıyla haberleşiyorsa, ikinci alt çerçevedeki alt kanal kümesinden n . alt kanalı çıkar, $\mathbb{N}' \leftarrow \mathbb{N}' \setminus n$. Çünkü biz birinci ve ikinci alt çerçevede kullanıcının aynı alt kanal üzerinden haberleştiğini varsayıyoruz.

* $n = n + 1$.

end while

Adım 2

while $\mathbb{U} \neq \emptyset$ and $\mathbb{N}' \neq \emptyset$ **do**

* \mathbb{N}' kümesinde kalan alt kanallardan sırasıyla bir alt kanal seç, n^*

* Memnun olmayan kullanıcıların n^* . alt kanaldaki veri hızı değerlerini hesapla, $R_{k,n^*} = R_{Baz \rightarrow k,n^*}$, $\forall k \in \mathbb{U}$.

* $k^* = \arg \max_{k \in \mathbb{U}}(R_{k,n^*})$, ifadesini sağlayan kullanıcıyı seç.

* Bu kullanıcının veri hızını güncelle, $R_{k^*} = R_{k^*} + R_{k^*,n^*}$.

* Eğer $R_{k^*} \geq R_{k^*}^{th}$ ise $\mathbb{U} \leftarrow \mathbb{U} \setminus \{k^*\}$, $\mathbb{S} \leftarrow \mathbb{S} \cup \{k^*\}$.

* $\mathbb{N}' \leftarrow \mathbb{N}' \setminus n^*$

end while

Bu algoritmada $|\cdot|$, kümenin eleman sayısını temsil etmektedir. Kullanıcılar arasında bir adalet sağlamak amacıyla her kullanıcının ulaşmak istediği bir eşik veri hızı, R_k^{th} değerinden faydalanılmıştır. Bu değere ulaşan kullanıcı istediği veri hızını aldığı için memnun kullanıcı olarak adlandırılmaktadır.

IV. BENZETİM SONUÇLARI

Bu çalışmada 3GPP-LTE standardına ait benzetim parametreleri kullanılmıştır ve bu parametreler Tablo I'de özet halinde verilmiştir. Hücre yarıçapı, $R = 500m$ olarak alınmıştır ve baz istasyonundan ($2R/3$) uzaklıktaki kullanıcılar hücre kenarındaki kullanıcılar olarak kabul edilmiştir. Hücre kenarındaki kullanıcı sayısı toplam kullanıcı sayısının %10'u olarak seçilmiştir. Bu kullanıcıların röle adayı bulmaları için gerekli eşik uzaklığı $d^{th} = R/2$ olarak belirlenmiştir. İki nokta arasındaki veri hızı hesaplamalarında LTE-CQI tablosu [8] kullanılmıştır. Her kullanıcının eşik veri hızı değeri $R_k^{th} = 336kbps$, $\forall k$ olarak seçilmiştir.

Benzetim sonuçlarında önerdiğimiz röle seçme ve kaynak tahsisi algoritmaları kullanılarak röle içermeyen ve gezgin röleler kullanan iki durum memnun kullanıcı yüzdeleri ve hücre kenarlarındaki kullanıcıların toplam veri hızları göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. Performans

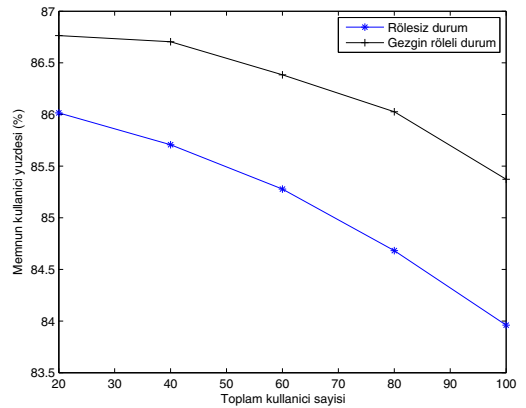
Tablo I: Benzetim Parametreleri

Parametre	Değer
Frekans	2GHz
Bandgenişliği	20MHz
Termal Gürültü Yoğunluğu	-134.89dBm/Hz
Alıcı ve verici anten sayıları	1 x 1
Baz istasyonu verici gücü	46dBm
Gezgin röle verici gücü	23dBm
Çerçeve süresi	10ms
Yol kaybı modeli	Tüm linkler için 128.1 + 37.6log ₁₀ d(km)
Gölgeleme modeli	Lognormal distribution, $\mu = 0$, $\sigma = 10dB$
Çokluyol modeli	Extended Pedestrian A (EPA)

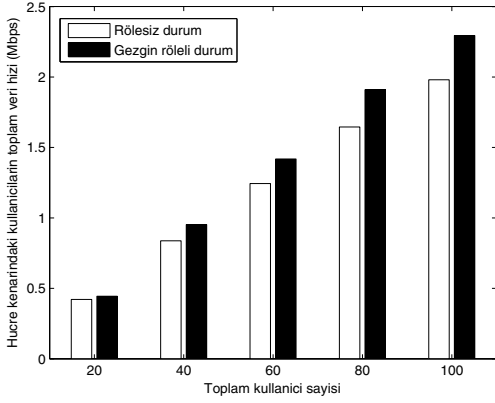
karşılaştırmaları iki farklı senaryo için elde edilmiştir. Birinci senaryoda aktif hücre içi kullanıcıların oranı 50%, ikinci senaryoda bu oran 70% olarak seçilmiştir.

Şekil 2 ve 3'te birinci senaryo için sırasıyla memnun kullanıcı yüzdeleri ve hücre kenarındaki kullanıcıların toplam veri hızı değerleri verilmiştir. Her iki şekilden de görüldüğü gibi gezgin rölelerin kullanılması memnun kullanıcı oranlarında ve hücre kenarındaki kullanıcıların veri hızlarında artış sağlamıştır.

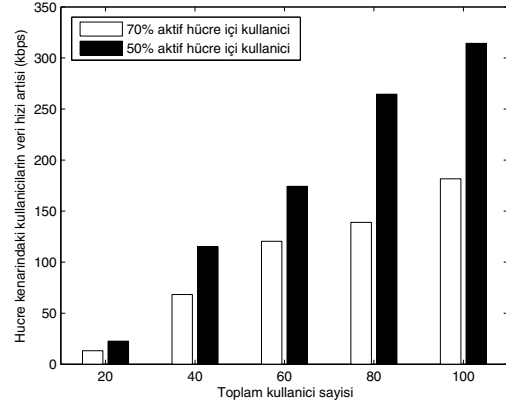
Şekil 4 ve 5'te ikinci senaryo için memnun kullanıcı yüzdeleri ve hücre kenarındaki kullanıcıların toplam veri hızı değerleri verilmiştir. Bu şekillerde yine gezgin röleli durumun hem memnun kullanıcı sayılarında hem de hücre kenarındaki kullanıcıların veri hızlarında rölesiz duruma göre avantajlı olduğu gözükmektedir. Fakat aktif kullanıcı sayısını arttırmak gezgin röle sayısını azalttığı için artış bir önceki senaryoya göre daha azdır. Bunu daha iyi görebilmek için Şekil 6'da her iki senaryonun röle kullanılmayan duruma göre hücre kenarlarındaki veri hızlarını ne kadar arttırdığını gösteren bir grafik verilmiştir. Buradan da aktif kullanıcı sayısının 50%'den 70%'e çıkarıldığında yani gezgin röle sayısı azaltıldığında elde edilen kazancın azaldığı görülmektedir.



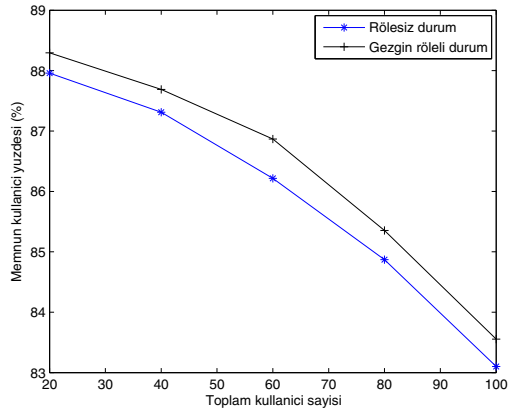
Şekil 2: Senaryo1-Memnun Kullanıcı Yüzdeleri



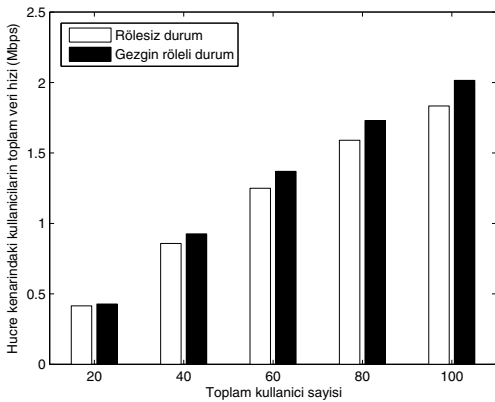
Şekil 3: Senaryo1-Hücre Kenarındaki Kullanıcıların Toplam Veri Hızı.



Şekil 6: Hücre kenarındaki kullanıcıların rölesiz sisteme göre veri hızındaki artış miktarları.



Şekil 4: Senaryo2-Memnun Kullanıcı Yüzdesi



Şekil 5: Senaryo2-Hücre Kenarındaki Kullanıcıların Toplam Veri Hızı.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada DFBÇE tabanlı gezgin röleler ile geliştirilmiş hücresel ağlar için röle seçme ve kaynak tahsisi çözümleri önerilmiştir. Önerilen etkin kaynak yönetim algoritmalarının yardımıyla düşük kurulum maliyetine ve geniş kapsama alanına sahip gezgin rölelerin özellikle hücre kenarlarındaki kullanıcıların veri hızları ve sistemdeki memnun kullanıcı sayılarını arttırdığı benzetim sonuçlarıyla açığa çıkarılmıştır. Ayrıca sistemdeki gezgin röle sayısını azaltmanın röle kazancını düşürdüğü de gösterilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Pabst R. ve diğerleri, "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," IEEE Wireless Communication Magazine, cilt.42, s.80-89, 2004.
- [2] Huang L. ve diğerleri, "Resource allocation for OFDMA based relay enhanced cellular networks," IEEE VTC-Spring, s.3160-3164, Dublin, 2007.
- [3] Salem M. ve diğerleri, "An Overview of Radio Resource Management in Relay-Enhanced OFDMA-Based Networks," IEEE Comm. Surveys Tutorials, cilt.12, n.3, s.422-438, 2010.
- [4] Choi B. G. ve diğerleri, "Relay Selection and Resource Allocation Schemes for Effective Utilization of Relay Zones in Relay-Based Cellular Networks," IEEE Communications Letters, cilt.15, n.4, s. 407-409, 2011.
- [5] Byun D. W., Cho Y. M., Kim D. K., "Resource Allocation and Power Control for Mobile Relay in TDD-OFDMA Downlink," IEEE ICCIT, s.334-339, Busan, 2008.
- [6] Baştürk İ., Özbek B., Edemen Ç., Tan A. S., Zeydan E. and Ergut S., "Radio Resource Management for OFDMA-Based Mobile Relay Enhanced Heterogenous Cellular Networks ", IEEE VTC-Spring, s.1-5, Dresden, 2013.
- [7] Baştürk İ., Özbek B., Le Ruyet D., "Queue Aware Resource Allocation for OFDMA-Based Mobile Relay Enhanced Networks", ISWCS, s.1-5, Ilmenau, 2013.
- [8] 3GPP TS 36.213, "Physical layer procedures," v.8.6.0, March 2009.