

HETEROJEN AĞLARDA HÜCRE SEÇİM ALGORİTMALARININ UYGULANMASI

Esra Aycan, Berna Özbek

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
{esraaycan, bernaozbek} @iyte.edu.tr**

ÖZET

Bu bildiri de makro, piko ve femto gibi farklı büyüklükteki hücreleri bünyesinde bulunduran çeşitli kablosuz ağ senaryoları üzerinde çalışılmıştır. Bu tür karışık kablosuz ağlar için SINR tabanlı, uzaklık tabanlı ve hücre aralığı genişletme yöntemleri (Cell Range Expansion - CRE) olarak üç farklı hücre seçimi metodu uygulanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, hem Matlab programıyla hem de Wireless Insite (WI) isimli elektromanyetik modellemede kullanılan ve kanal modellemeyi ‘ışın izleme’ metoduyla yapan bir kablosuz sistemler simülatörü ile elde edilmiştir. WI ile kanal katsayıları elde edildikten sonra Matlab programında işlenerek bahsedilen üç farklı hücre seçimi yöntemleriyle kullanıcılar hücrelere atanmıştır. Matlab programında ise kullanılan kanal modeli LTE-A standardında bulunan ve yayalar için sunulan modeldir.

Elde edilen sonuçların karşılaştırılmaları SINR değerleri ve hücrelerdeki yük oranları göz önünde tutularak karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Sayısal değerler göz önünde tutulduğunda hücre aralığı genişletme metoduyla hem sistem hız performansında hem de kullanıcıların hücrelere dağılım oranlarında daha etkin sonuçlar vermektedir. Bunun nedeni ise heterojen ağların farklı iletim güç seviyelerindeki hücreleri bünyesinde bulundurmasıdır. Sadece SINR değerlerine göre kullanıcılar hücrelere atandığında yüksek güçlü hücrelerde yığılma fazla olmaktadır. Hücrelerden alınan bu SINR değerleri belli oranda saptırılarak büyük güçlü hücrelerden daha düşük güçlü hücrelere kullanıcı aktarımı sağlanabilmektedir. Böylece heterojen ağlarda yük dağılımı daha adil bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir ¹.

Anahtar Kelimeler: hücre seçimi, makro hücre, piko hücre, femto hücre

GİRİŞ

Günümüz ilerleyen teknolojiyle birlikte, kablosuz ağlarda daha yüksek hızlarda veri alış verişi ve kesintisiz servis kalitesi gibi giderek artan talepleri karşılayabilme ve bu doğrultudaki rekabetleri sürdürebilme odaklı çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Kısıtlı bant genişliği ve artan sinyal yoğunluğundan dolayı günümüzde kullanılan kablosuz ağ yapısında değişiklikler yapılmaya başlanmıştır. Gelecek nesil kablosuz ağlarda farklı iletim güçleriyle farklı hücre alanlarına sahip birden çok hücrenin bir araya gelmesiyle kablosuz ağlar heterojen bir yapıya dönüşmektedir. Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi (3GPP) [1], heterojen ağ kullanımı desteği özelliğine sahip Gelişmiş Uzun Süreli Evrim (LTE-A) [2] teknolojisi üzerinde çalışmaları başlatmıştır.

¹ Bu çalışma Türk Telekom tarafından 7707-01 anlaşması kapsamında desteklenmiştir.

Heterojen kablosuz ağların daha hızlı veri aktarımı, daha fazla kullanıcıya hizmet sunabilme gibi birçok avantajının yanı sıra bazı önemli problemler doğurmaktadır. Örneğin hareketli bir kullanıcının bir hücre içerisinde yer değiştirirken bir terminal çekim alanından başka bir terminal çekim alanına girmesi söz konusu olabilir. Bu durumda terminaller arası geçişlerde iletişimde kesintiler meydana gelebilir (handoff problem). Sinyal gücü, mesafe, sinyal gürültü oranı (SNR), bit hata hızı (BER), trafik yoğunluğu, kalite indikatörü gibi bazı parametreler terminaller arası geçişlerin gerçekleşmesinde belirleyici rol oynar. Ne kadar çok bu geçişler gerçekleşirse iletişimde kesinti olma olasılığı da aynı oranda artar. Bu yüzden terminaller arası geçişlerin azaltılması, servis kalitesini artırmak için önemlidir. Uygun bir hücre seçimiyle birlikte bu oranın azaltılması mümkündür. Hücre seçimiyle makro hücre için gerekli servis kalitesi yükseltilir ve böylece sistem yükünün ve terminaller arası geçişlerdeki iletişim kesilmelerinin dengelenmesi sağlanabilir.

Bu bildiride makro hücre, piko hücre ve femto hücre terminallerini içeren heterojen kablosuz ağ mimarisi için hücre içerisinde bulunan kullanıcıların sinyal karışım ve gürültü oranı (SINR) ve kullanıcıların buldukları yerden baz istasyonlarına olan uzaklıkları ele alınmasıyla SINR tabanlı, uzaklık tabanlı ve hücre aralığı genişletme hücre seçimi yöntemleri gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Buradaki amaç farklı şekillerde hücre seçimi yapıldığında iletişimdeki kalitenin ne kadar iyileştiğini gözlemlemek ve aynı zamanda da hücreler arasındaki trafik yükünün bu algoritmalar ile değişiminin sistem performansındaki önemini vurgulamaktır.

HÜCRE SEÇİM ALGORİTMALARI

Hücre seçimi, kablosuz ağ kullanıcılarının hangi hücreden en iyi hizmeti aldığını belirleyen ve aynı zamanda hücreler üzerindeki yükü dengeleyen bir karar verme işlemidir. Günümüzde kullanılan hücre seçimi algoritmaları genellikle kullanıcıların en yüksek sinyali aldığı hücreye bağlanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak heterojen ağlarda farklı iletim güçlerine sahip hücreler olduğundan dolayı bu yöntem yüksek güçlü hücrelerin yükünü küçük güçlü hücrelere göre daha da artıracaktır. Bu yüzden heterojen ağlarda yük dağılımını da adil bir şekilde yapmak önemlidir [3]. Literatürde en çok üzerinde çalışılan yük dengeleme metodlarından bir tanesi hücre alanı genişletme (cell range expansion - CRE) [4, 5] yöntemidir. CRE yönteminde kullanıcıların hücrelerden aldığı SINR değerinin hücre iletim güçlerine göre belli bir oranda çarpılıp SINR değerini yanlı olarak değiştirmektedir. Bu yöntem ile makro hücre kullanıcılarının etraftaki daha düşük güçlü olan piko ya da femto hücrelerine kaydırılması sağlanır. Ancak makro hücreden diğer hücrelere geçen kullanıcılarda makro hücrelerin yüksek iletim güçlerinden dolayı yüksek oranda sinyal girişimi meydana gelebilir. SINR değerinin çarpıldığı katsayı oranları dikkatli bir şekilde seçilip kullanıcılar uygun olarak hücrelere atanırsa bu sinyal girişimi azaltılabilir. Bir diğer yük dengeleme tekniği ise çeşitli optimizasyon tabanlı dağıtık kullanıcı atama

metotlarıdır [6]. Hem kaynak hem de kullanıcı yük dağılımı birbirlerine bağımlı olarak ele alan hücre seçim algoritmaları bu tür metotlara girer [7].

SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada makro, piko ve femto hücreleri içeren 3 katmanlı heterojen kablosuz ağ mimarisi üzerine çalışılmıştır. Bu tür ağlarda klasik hücrelerde kullanılan SINR tabanlı hücre seçim yöntemleri, heterojen ağlarda dengesiz yük dağılımına neden olur. Heterojen ağlarda, daha dengeli yük dağılımını başarabilmek için farklı hücre seçim kriterlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle aşağıda matematiksel olarak verilen hücre seçim yöntemleri verilmiş ve simülasyonlar ile performans karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Kullanıcı k 'nın, u . hücreden alabildiği ortalama veri hızı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$\bar{R}_{u,k} = \log_2 (1 + \bar{\gamma}_{u,k}) \quad (1)$$

Burada $\bar{\gamma}_{u,k}$ k . kullanıcının u . hücreden aldığı ortalama SINR değeridir ve aşağıdaki (2) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanabilir:

$$\bar{\gamma}_{u,k} = \frac{P_u \bar{g}_{u,k}}{N_0 B + I_{u,k}}, \quad \text{burada } I_{u,k} = \sum_{u=1; i \neq u}^U P_i \bar{g}_{i,k} \quad (2)$$

Burada U , sistemdeki toplam hücre sayısını ifade etmektedir. P_u u . hücrenin iletim gücü, N_0 sistemdeki toplam beyaz Gauss dağılımlı (AWGN) güç terimi, $\bar{g}_{u,k}$ u . kullanıcı ve k . hücre arasındaki kanal tepkisini ve $I_{u,k}$ ise diğer hücrelerden gelen karışım toplamıdır.

Bu çalışmada kullanılan hücre seçim algoritmalarının matematiksel ifadeleri aşağıdaki gibidir:

- 1) SINR Tabanlı Hücre Seçim Algoritması: Bu yöntemdeki hücre seçim kriteri kullanıcıların hücrelerden aldıkları en yüksek SINR değerine bağlıdır ve (3) numaralı denklemdeki gibi ifade edilebilir.

$$i_{SINR} = \arg \max_{\forall u} \gamma_{u,k} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde görülen i_{SINR} SINR kriterine göre seçilen hücrenin indeksini ve $\gamma_{u,k}$ ise k . hücrenin u . kullanıcı tarafından alınan SINR değerini belirtmektedir.

Her bir k . kullanıcının SINR değerinin hesaplaması ise (2) numaralı denklemde verilmiştir.

- 2) Uzaklık Tabanlı Hücre Seçim Algoritması: Bu yöntemdeki hücre seçim kriteri, kullanıcı ve hücre arasındaki en kısa uzaklıktır ve (4) numaralı denklemde verilmiştir.

$$i_{\text{Uzaklık}} = \arg \min_{\forall u} d_{u,k} \quad (4)$$

Burada $d_{u,k}$ k . kullanıcı ile u . hücre arasındaki mesafeyi, $i_{\text{Uzaklık}}$ ise mesafeye göre seçilen hücrenin indeksini simgelemektedir.

- 3) Hücre Alanı Genişletme Metodu (CRE): Bu yöntemdeki hücre seçim kriteri, kullanıcı ve hücre arasındaki belli bir katsayı ile saptırılmış SINR değeridir ve (5) numaralı denklemde verilmiştir.

$$i'_{\text{SINR}} = \arg \max_{\forall u} \gamma'_{u,k} \quad (5)$$

Burada $\gamma'_{u,k}$ u . hücrenin k . kullanıcı tarafından alınan ve belli bir katsayı ile saptırılan SINR değerini belirtmektedir. i'_{SINR} ise saptırılan SINR kriterine göre seçilen hücrenin indeksini simgelemektedir.

Her bir k . kullanıcı için saptırılmış SINR değeri (6) numaralı denklemde verilmektedir.

$$\gamma'_{u,k} = \beta_u \frac{P_u | \bar{h}_{u,k} t |^2}{N_0 + I_{u,k}}; \quad u = 1, \dots, U \quad (6)$$

Burada β_u u . hücre için SINR değerinin belli oranda değiştirme (saptırma) katsayısıdır.

Bu yöntem ile kullanıcılar, daha yüksek iletim güçlerindeki hücrelerden daha düşük iletim güçlü hücrelere kaydırılmaktadır. Bu sayede daha fazla kablosuz ağ kullanıcısı düşük güçlü hücrelerden yararlanmakta ve ağdaki yük dengesi sağlanmış olmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan senaryo için kanal bilgileri hem Matlab ile hem de Wireless Insite (WI) simülatörü ile elde edilmiş ve her iki simülasyon ortamı için de hücre seçim algoritmaları karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen senaryo 2 makro hücreden oluşmaktadır. Her makro hücre içerisinde 2 piko hücre ve 10 femto hücre olmak üzere 3 farklı hücre bulunmaktadır. Kullanılan sistem parametreleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sistem Parametreleri

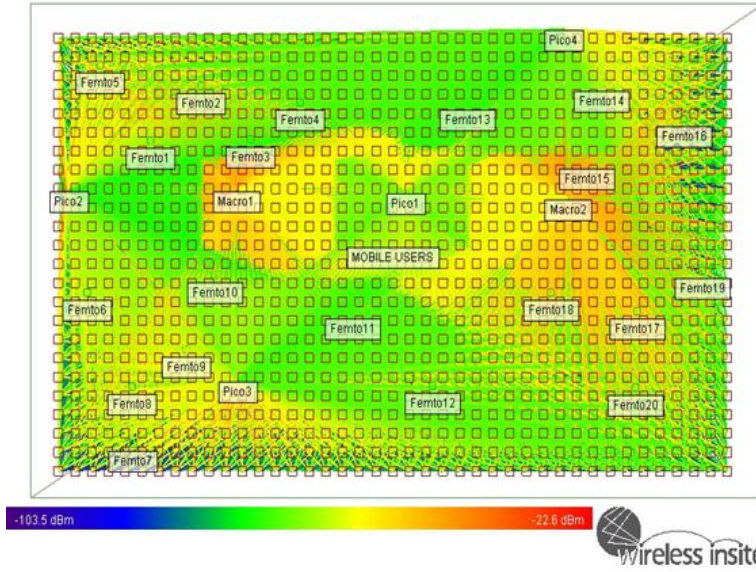
Parametre	Değer
Makro hücre iletim gücü	46 dBm
Piko hücre iletim gücü	35 dBm
Femto hücre iletim gücü	20 dBm
Bant genişliği	20 MHz
Taşıyıcı frekansı	2.1 GHz
Gürültü gücü	-134 dBm/Hz
Lognormal Gölgeleme	10 dB
Makro hücre yarıçapı	750m
Yol kaybı (Makro ve Piko için)	$L_p = 128.1 + 37.6 \log_{10}(R)dB$; $R: km$
Yol kaybı (Femto için)	$L_p = 140.7 + 36.7 \log_{10}(R)dB$; $R: km$

WI ile elde edilen simülasyon çıktısında, her yolda için sinyalin faz, zaman ve güç bilgisi gibi kanal bilgileri bulunmaktadır. Bu şekilde bütün alıcılar için veriler elde edilebilmiştir. Elde edilen bu kanal değerleri kullanılarak u . hücre ile k . kullanıcı arasındaki kanal tepkisi her bir baz istasyonu-alıcı için dar bantlı model varsayımı ile aşağıdaki gibi modellenebilir [8].

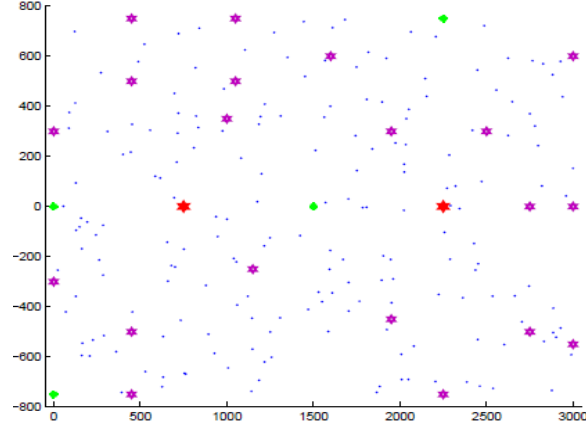
$$g_{u,k} t = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sqrt{P_m} e^{j\theta_m} \delta_l t - \tau_l \quad (7)$$

Buradaki P_m , θ_m ve τ_m sırasıyla, l . yoldaki alıcının gücü, faz açısını ve zamanda gecikmesini gösterir. Bu veriler Wireless Insite programından elde edilir. M , toplam yol sayısı ve δ_l ise delta tepki fonksiyonudur.

WI simülasyonunda hücrelerin konumu ve SINR dağılımı Şekil 1'de görülmektedir.

**Şekil 1.** WI simülöründe Hücre ve Kullanıcıların konumları ve SINR dağılımı

Matlab ile yapılan simülasyonda ise hücrelerin ve kullanıcıların konumu ise Şekil 2’de verilmiştir. Kanal katsayıları ve kapasite hesaplamaları LTE-A standardında bulunan Extended Pedestrian A modelinin (EPA) parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.

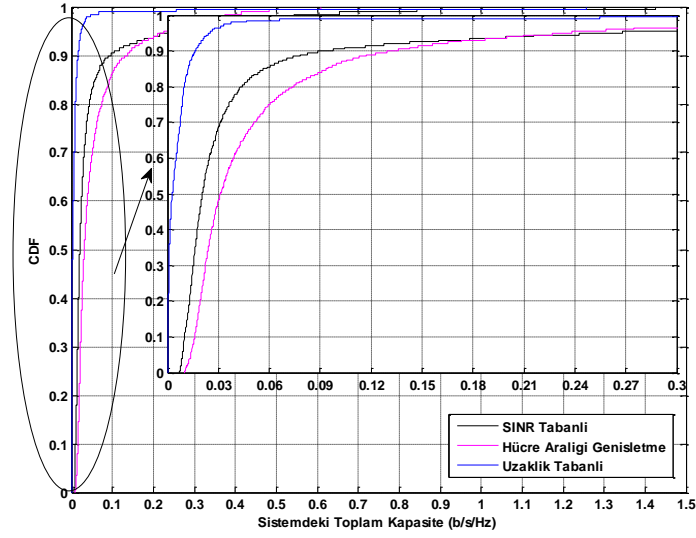


Şekil 2. Hücreler ve Kullanıcıların Yerleşimi (Kırmızı noktalar makro hücreleri, yeşil noktalar piko hücreleri, mor noktalar femto hücreleri, ve mavi noktalar ise kablosuz ağ kullanıcılarını temsil etmektedir).

BAŞARIM SONUÇLARI

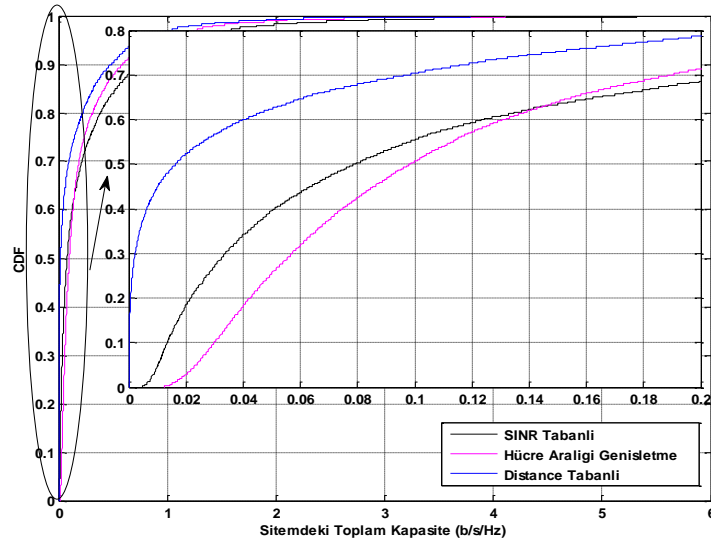
Önceki bölümlerde anlatılan senaryo için üç farklı hücre seçim algoritması uygulanmış ve hem Matlab hem de WI ortamlarında yapılan simülasyonlarda bu üç algoritma birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Hücre aralığı genişletme metodunda kullanılan SINR saptırma katsayıları sırasıyla, makro, piko ve femto hücreler için $\beta = 1, 4, 11.9$ olarak alınmıştır [9].

WI ortamı için yapılan hücre seçim algoritmalarının karşılaştırılması Şekil 3’te verilmektedir. Şekilde görülen mavi eğri uzaklık tabanlı hücre seçim eğrisidir. Siyah eğri SINR tabanlı ve pembe eğri ise hücre aralığı genişletme algoritmasıyla elde edilen eğridir. SINR tabanlı hücre seçim algoritması uzaklık tabanlı hücre seçim algoritmasına göre ortalama toplam sistem hız performansında %75 oranında daha iyi sonuç vermektedir. Bunun yanı sıra SINR değerleri hücrelerin güçlerine göre belli oranda saptırıldığında, yani küçük hücrelerin alanları genişletildiğinde (CRE metodu), normal SINR tabanlı hücre seçim algoritmasına göre ortalama toplam sistem hız performansında %25 oranında daha iyi bir performans elde edilmektedir.



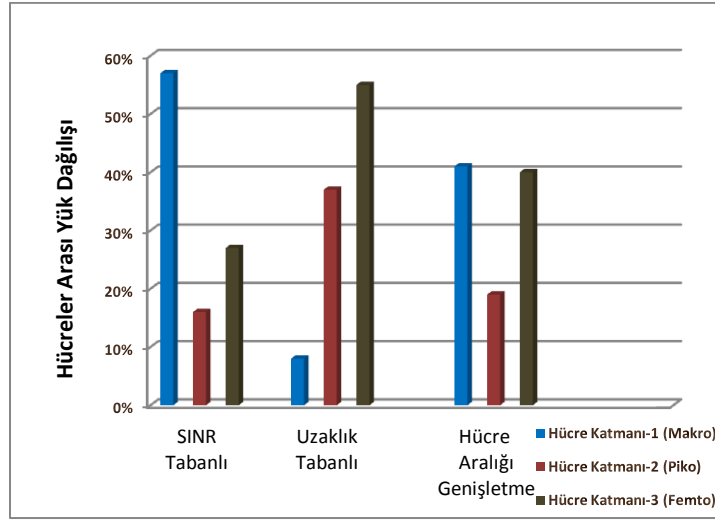
Şekil 3. Hücre seçim algoritmalarının Kümülatif Dağılım Fonksiyonuna (CDF) göre karşılaştırılması (WI sonuçlarına göre).

Matlab ile elde edilen sonuçlarda hücre seçim algoritmalarının karşılaştırılmaları ise Şekil 4'te verilmiştir. Yine Şekil 3'e benzer olarak mavi eğri uzaklık tabanlı hücre seçimini, siyah eğri SINR tabanlı ve pembe eğri ise hücre aralığı genişletme algoritmasıyla elde edilen eğriyi temsil eder. SINR tabanlı hücre seçim algoritması uzaklık tabanlı hücre seçim algoritmasına göre ortalamada toplam sistem hız performansı % 55 oranıyla daha iyi sonuç vermektedir. Hücre aralığı genişletme metodunda ise (CRE metodu) normal SINR tabanlı hücre seçim algoritmasına göre ortalamada toplam sistem hız performansı %25 oranıyla daha iyi bir performans elde edilmektedir.



Şekil 4. Hücre seçim algoritmalarının Kümülatif Dağılım Fonksiyonuna (CDF) göre karşılaştırılması (Matlab sonuçlarına göre).

Hücrelerin yük dağılımları ise Şekil 5’te gözlemlenebilir. SINR tabanlı hücre seçimi algoritmasıyla daha büyük iletim gücüne sahip olan makro hücreler üzerinde yük yığılması olmaktadır. Oysaki heterojen kablosuz ağ kullanımının amacı, yükü daha düşük güçlü hücrelere dağıtarak daha verimli sonuçlar elde etmektir. Uzaklık tabanlı hücre seçim algoritmasında ise durum tam tersidir. Kullanıcılar kendilerine en yakın hücreleri seçtiği için yük dağılımı daha adil olmuştur, ancak Şekil 3 ve 4’teki sistem performanslarına bakıldığında bu algoritmanın en kötü hız performansını verdiği görülmektedir. Hücre aralığı genişletme metodunda kullanıcılar bütün hücrelere daha adil dağılırken sistem performansını da yukarı çekmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi hücreler için uygun katsayılar seçilerek hücre aralığını artırmak heterojen ağlar için daha uygundur.



Şekil 5. Hücre seçim algoritmalarına göre kullanıcıların hücrelere dağılım grafiği.

SONUÇLAR

Bu bildiriye farklı büyüklükteki hücreleri içeren heterojen ağlar için farklı hücre seçim algoritmaları uygulanmış ve performans sonuçları incelenmiştir. Kablosuz ağ kullanıcıları SINR ve uzaklık seçim kriterlerine göre hücrelere atandıktan sonra hücreler üzerindeki yük dağılımları ve toplam sistem hız performansları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Hücre aralığı genişletme metodunun (CRE) hem yük dağılımı açısından hem de sistem hız performansını iyileştirme açısından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu yöntemdeki kritik nokta, SINR saptırma katsayılarının uygun bir şekilde seçilmesidir. Bunun nedeni ise makro hücrelerden daha küçük çaplı hücrelere kullanıcı kaydırılırken aynı zamanda sinyal girişiminin performansı olumsuz yönde etkilemesidir. Kaydırılan kullanıcıların makro hücrelerden gelen sinyalden en az etkilenenlerin seçilmesi, sinyal girişimini azaltmaktadır. Yapılan çalışmalarda hücre genişletme katsayıları genellikle

deneysel olarak bulunmaktadır. Ancak deneysel olarak yapılan çalışmalar hem zaman hem de sistem yükünü artırması açısından yorucu ve zor bir iştir.

Gelecek çalışmalarda hücre genişletme yöntemini hem kaynak dağılımı hem de kullanıcı dağılımını bir arada ele alarak daha dinamik ve verimli algoritmalar üzerine yoğunlaşılacaktır. Bunun yanı sıra sistemdeki hücreler arası sinyal girişim olaylarını en az düzeylere indirmek için sinyal girişim yok etme metotları üzerinde durulacaktır.

REFERANSLAR

- [1] 3rd Generation Partnership Project, “3gpp ts 25.304 (release 8), user equipment procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode,” Technical Specification, 2009.
- [2] 3rd Generation Partnership Project: ‘3gpp tr 36.913 (release 10)’, Technical Specification, 2011.
- [3] Amzallag, D., Bar-Yehuda, R., Raz, D., Scalosub, G.: ‘Cell selection in 4G cellular networks’, IEEE INFOCOM , pp. 700 -708, April 2008.
- [4] D. Pérez, X. Chu, I. Güvenç: On the Expanded Region of Picocells in Heterogeneous Networks. J. Sel. Topics Signal Processing 6(3): 281-294, 2012.
- [5] K. Okino, T. Nakayama, C. Yamazaki, H. Sato, Y. Kusano, “Pico cell range expansion with interference mitigation toward lte-advanced heterogeneous networks,” 2011.
- [6] Koizumi, T. and Higuchi, K.: ‘A simple decentralized cell association method for heterogeneous networks’, ISWCS, pp. 256-260, August 2012.
- [7] Ye, Q., Rong, B., Chen, Y., Caramanis, C., Andrews, J. G.: ‘Towards an Optimal User Association in Heterogeneous Cellular Networks’, IEEE GLOBECOM, December 2012.
- [8] G. Foschini et al., "Capacity growth of multi-element arrays in indoor and outdoor wireless channels", IEEE WCNC, 2000.
- [9] Ye, Q., Rong, B., Chen, Y., Caramanis, C., and Andrews, J. G.: ‘Towards an Optimal User Association in Heterogeneous Cellular Networks’, IEEE GLOBECOM, December 2012.