

# Heterojen LTE ağlarda femto hücreler için güç yönetim eniyilemesi

## Power management optimization for femtocells in heterogeneous LTE networks

Ahmet AKBULUT<sup>1\*</sup>, Aykut KALAYCIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

aakbulut@ankara.edu.tr, kalaycioglu@ankara.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.10.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 19.11.2018

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.93753

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Bu çalışmada makro hücrelerin yanında çok daha düşük iletim gücüne sahip femto hücrelerin bulunduğu bir heterojen LTE ağında genetik algoritma eniyileme yöntemi kullanılarak femto hücreler için bir güç yönetimi önerilmektedir. Elde edilen benzetim sonuçları femto hücreler için güç kontrolünün indirme yolu yönünde girişimin bozucu etkilerinin azaltılmasında önemli rol oynadığını göstermektedir. Benzetimlerde femto hücre baz istasyonlarının iletim gücü sabit tutulduğundaki durum ile eniyileme yapıldığındaki sonuçlar kıyaslanmıştır. Eniyileme sonucunda, femto hücre kullanıcılarının sahip olduğu sinyal-girişim ve gürültü oranında hissedilir bir başarımlı kayıplar olmamaktadır. Buna karşın önerilen güç yönetimi sayesinde femto hücre baz istasyonlarının iletim gücünde %50'ye yakın azalma sağlanabilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Femto hücre, Girişim yönetimi, Güç yönetimi, Genetik algoritma, Optimizasyon

### Abstract

In this study, a power management scheme using genetic algorithm optimization method in a heterogeneous LTE network in which there exists femtocells having a low transmission power among macrocells is proposed. The simulation results show that power management for femtocells in the downlink direction plays an important role in reducing the degrading effects of the interference. In the simulations, the results of keeping fixed transmission power of femtocell base stations situation are compared with that of performing optimization case. There is no observable performance loss in the femtocell user's signal-interference and noise ratio due to the power management optimization. On the contrary, almost 50% transmission power decrease of femtocell base station can be provided by means of the proposed power management scheme.

**Keywords:** Femtocell, Interference management, Power management, Genetic algorithm, Optimization

## 1 Giriş

Long Term Evolution (LTE) ağları Third Generation Partnership Project (3GPP) tarafından standartları belirlenen [1] ve aynı zamanda dördüncü nesil (4G) olarak da adlandırılan bir hücresel haberleşme sistemidir. LTE ağları çok hızlı artan veri trafiği ihtiyacını yüksek veri hızları, esnek spektrum kullanımı ve daha geniş kapsama alanı sağlayarak karşılamayı hedeflemektedir. LTE tasarım hedefleri kısaca indirme yolu yönünde 100 Mbps ve çıkış yönünde 50 Mbps tepe veri hızlarını 1.4 MHz ile 20 MHz aralığında değişen esnek spektrum ile karşılamak şeklinde özetlenebilir [2].

Sadece makro hücrelerin bulunduğu homojen ağ yapısından farklı olarak heterojen ağ yapısında mikro, piko ve femto hücre adı verilen; makro hücre baz istasyonuna göre çok daha düşük iletim gücüne ve daha dar kapsama alanına sahip küçük hücreler bulunmaktadır. Günümüzde heterojen ağlarda özellikle femto hücreler iyileştirilmiş kapsama alanı ve azaltılmış güç tüketimi nedeniyle diğer küçük hücrelere göre çok daha fazla ilgi çekmektedir [3]. Bu ilginin temel sebeplerinden bir tanesi mobil trafiğin %80'e yakın oranının bina içi kullanıcılar tarafından gerçekleştirilmesi ve bu kullanıcıların yarıya yakınının sinyal sorunu yaşamasıdır [4].

Femto hücre baz istasyonları genellikle 20 dBm iletim gücünden az ve 30 m çapından küçük kapsama alanına sahiptir [5]. Femto hücreler buldukları makro hücre kapsama alanı içindeki baz istasyonunun lisanslı spektrumunu kullanmakta; ana ağa erişimleri ise kullanıcının sahip olduğu geniş bant kablolu internet bağlantısı sayesinde sağlanmaktadır [6]. Bunun yanında, femto hücreler tak-çalıştır şeklinde sisteme

dâhil olmakta ve herhangi bir planlama servis sağlayıcı tarafından yapılmamaktadır.

Yüksek veri hızlarına artan talep ve bina içi ortamlarda yaşanan erişim sorunları önümüzdeki yıllarda yeni nesil hücresel sistemlerin de devreye girmesiyle daha yoğun femto hücre kullanımına yol açacaktır. Yoğun femto hücre kullanımı ise hücreler arası geçiş (handover), güvenlik ve baz istasyonları ile kullanıcılar arasında girişim sorunlarına sebep olmaktadır. Heterojen ağ yapısında özellikle girişim yönetimi farklı iletim gücüne sahip çok sayıda baz istasyonunun bulunması, femto hücrelerin kullanıcı tarafından herhangi bir planlama yapılmadan yerleştirilmesi, farklı erişim türlerine sahip femto hücrelerin bulunması ve makro hücre ile femto hücrelerin aynı spektrum paylaşması nedeniyle çok daha karmaşık ve gerekli bir süreçtir [7],[8].

İki katmanlı ağ olarak da adlandırılan heterojen ağlarda indirme yolu yönünde girişim iki ana başlıkta incelenebilir. Ortak katman girişiminde aynı spektrumu kullanan komşu femto hücreler arasında bir girişim söz konusudur. Diğer taraftan farklı katman girişimi ise aynı spektrumu kullanan makro hücre ile femto hücreler arasında oluşmaktadır [9],[10]. Özellikle kapalı erişim uygulanan femto hücrelere yakın kullanıcıların, bu hücrelerden en güçlü sinyali almalarına rağmen erişim izinleri olmadığında ilgili femto hücreye bağlanamaması nedeniyle; heterojen ağ yapısında bu kullanıcılar önemli bir girişime yol açmaktadır [11],[12].

Spektrumun farklı hücreler için parçalara ayrılmasının yanı sıra güç yönetimi heterojen ağlarda aynı kanalın kullanıldığı ortak kanal girişiminin bozucu etkilerini azaltmakta kullanılan etkin bir yöntemdir [10]. Tüm spektrumun farklı hücrelere

statik bir şekilde paylaşılması kısıtlı olan spektrumun etkin kullanımını olumsuz etkiler. Baz istasyonlarının güçlerini azaltmaya dayalı güç yönetimi sonucunda femto hücre kullanıcıları için elde edilen sinyal-girişim ve gürültü oranı (Signal-to-Interference plus Noise, SINR) yükseltilebilmektedir.

Femto hücreler bulunan heterojen LTE ağ yapısında indirme yolu yönünde girişim yönetimi literatürde yoğun bir şekilde incelenmektedir. Örneğin, indirme yolu yönünde çeşitli güç yönetim teknikleri [13] çalışmasında verilmiştir. Ortak katman girişiminin azaltılması için öz-örgütlü bir güç kontrol yöntemi [7] çalışmasında önerilmiştir. Sonuçlar heterojen ağda kapasite kullanımının arttığını göstermektedir. Femto hücreler için indirme yolu yönünde kanal kalitesi göstergelerine bağlı otonom bir güç kontrol yöntemi [14] çalışmasında yapılmış ve kapasite kullanım başarımı önerilen yöntem ile artmıştır. Yazarlar toplam girişim miktarının azalacağını [15] çalışmasında bir güç kontrol yöntemi ile göstermiştir. Dışbükey olmayan bir eniyileme problemi olarak modellenen bir güç kontrol tekniği [16] çalışmasında verilmiştir. Sonuçlar kapasiteyi enbüyüklemek için femto hücre baz istasyonları güçlerinin belirli bir oranda olması gerektiğini göstermiştir. Güç eniyilemesi için oyun kuramının kullanıldığı güç yönetim [17] çalışması ortalama iletim güçlerinin azaltıldığı ortaya koymaktadır. Macar algoritması esaslı başka bir eniyileme yönteminin kullanıldığı [18] ve parçacık sürü eniyileme yönteminin [19] kullanıldığı çalışmalarda da güç kontrol tekniği başarımlarını artırımı için önerilmektedir. Bununla birlikte [19] çalışmasının sonuçları önerilen yöntemin makro hücre kullanıcıları için daha etkili olduğunu göstermektedir. Oyun kuramı ile dağıtık güç kontrol yaklaşımının kullanıldığı çalışmada [20] ve kesinti olasılığı bakımından sistem başarımını iyileştirdiği ve ağ kaynakların adil dağıtımını sağladığı gösterilmektedir. Güç dağıtımının benzetimsel tavlama sezgisel yöntemiyle yapıldığı çalışmada [21] sabit güç

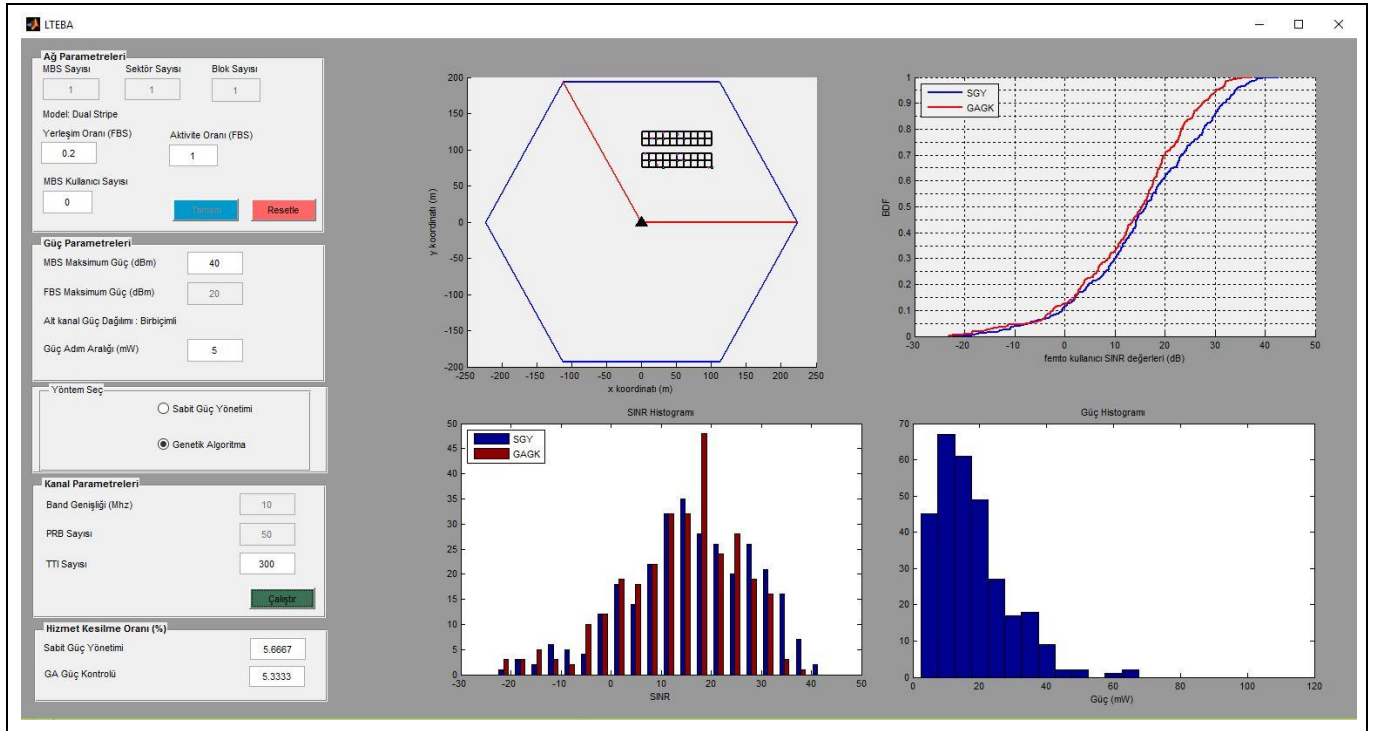
ayarlamasına göre neredeyse aynı kesinti olasılığının elde edildiği ve femto hücre baz istasyonlarının %10'undan daha azının maksimum iletim gücü kullandığı, %25'inin de minimum iletim gücünde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada indirme yolu yönünde girişim azaltılması için genetik algoritmanın [22] temel alındığı bir eniyileme problemi modellenecektir. Literatürde açık erişime sahip femto hücreler için öz kaynak tahsisinde genetik algoritma kullanılan [23] çalışmasından farklı olarak bu çalışmada kapalı erişime sahip femto hücreler için güç yönetimi ele alınacaktır. Ayrıca kullanılan benzetim modelinde 3GPP standardında verilen yol kayıp modelleri ve femto hücre yerleşim düzeni [24] kullanılacaktır. Femto hücre baz istasyonları için iletim güç değerleri eniyilemesi yapılarak femto hücre baz istasyonlarının iletimde kullandığı güç miktarının azaltılarak, ilgili baz istasyonunun servis vermediği diğer kullanıcılar için oluşturacağı girişimin azaltılması sağlanacaktır.

Bu çalışmanın geri kalanı şu şekilde planlanmıştır. İkinci bölümde kullanılan sistem modeli ve benzetim yapısı; üçüncü bölümde ise genetik algoritma hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölüm benzetim sonuçlarını göstermektedir. Beşinci bölümde ise tartışma ve çalışmanın sonucu anlatılmaktadır.

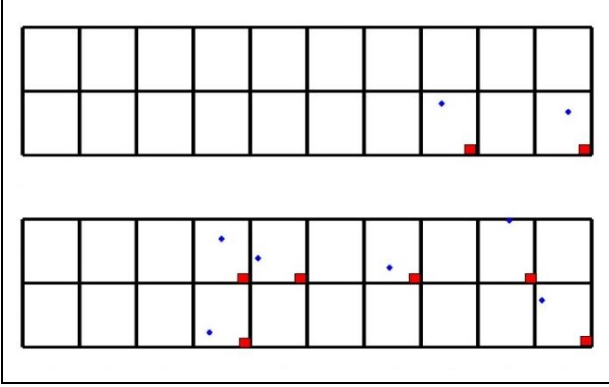
## 2 Sistem modeli ve benzetim aracı

Heterojen LTE ağında femto hücreler için güç kontrol eniyilemesi MATLAB® altında oluşturulan benzetim aracı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen benzetim aracının örnek görüntüsü Şekil 1'de verilmektedir. Güç yönetimi için çeşitli eniyileme algoritmalarının değişik sistem parametreleri kullanılarak başarımının ölçüldüğü benzetim aracı bu çalışmada 3GPP standardında verilen kanal modeli parametrelerini ve eniyileme için genetik algoritmayı kullanmaktadır.



Şekil 1: Geliştirilen benzetim aracı.

Bu çalışmada her bir makro hücrenin üç sektörden oluştuğu  $M$  makro hücrenin bulunduğu heterojen bir ağ yapısında; her bir makro hücre kapsama alanı içine  $F$  tane femto hücrenin yerleştirildiği bir sistem modeli incelenmektedir. Femto hücre yapısı 3GPP standardında belirtilen çift şerit modeline uygun bir yerleşim şeklindedir. Çift şerit modelinin benzetim parametrelerine göre oluşturulan bir örneği Şekil 2'de verilmektedir. Burada mavi renkli noktalar femto kullanıcıların, kırmızı renkli kareler femto hücre baz istasyonlarının konumlarını göstermektedir.



Şekil 2: Basitleştirilmiş çift şerit modeli.

Çift şerit modeli bina içi kanalları modellemek için kullanılan ve  $n$  katlı binalardan oluşan bir yapıdır. Her şeritte 20 apartman dairesi bulunur ve bu dairelerin boyutları 10x10 m olarak kabul edilir [22]. Ayrıca her dairede bir femto hücre yapısı vardır ve her femto hücresi de bir aktif femto hücre kullanıcısı bulundurmaktadır. Bununla birlikte makro hücre kullanıcıları sistem modelinde rasgele yerleştirilmiştir. Makro ve femto hücrelerin sistemdeki toplam  $S$  adet öz kaynak bloğunun tamamını ortak kullandığı kabul edilmektedir. Ayrıca, femto hücrelerin kayıtlı olmayan kullanıcıların ilgili femto hücreye erişim sağlayamadığı kapalı erişim biçiminde hizmet verdiği kabul edilmektedir.

Dikgen frekans bölüşümlü çoğul erişim (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) yönteminin uygulandığı LTE ağlarında her bir öz kaynak bloğu 180 kHz bant genişliğine ve 1 ms zaman aralığına sahiptir. Öz kaynak blok sayısı kullanılan bant genişliğine bağlıdır ve örneğin 10 MHz bant genişliğine sahip sistemde kullanılabilen 50 adet öz kaynak bloğu vardır [2].

Geliştirilen benzetim aracında 3 GPP standardında verilen bina içi yol kayıp modelleri femto hücre kullanıcılarının SINR değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Buna göre, bina içi kanallar için Denklem (1) ve Denklem (2), sırasıyla femto hücrenin baz istasyonlarının aynı binada ve farklı binalarda bulunmasına bağlı olarak verilmektedir [22].

$$PL_1(\text{dB}) = 38.46 + 20\log_{10}R + 0.7d + 18.3n^{\frac{n+2}{n+1}-0.46} \quad (1)$$

$$PL_2(\text{dB}) = \max(15.3 + 37.6\log_{10}R, 38.46 + 20\log_{10}R + 0.7d + 18.3n^{\frac{n+2}{n+1}-0.46}) + L_{ow,1} + L_{ow,2} \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitliklerde  $R$  hizmet veren baz istasyonu ile kullanıcı arasındaki uzaklığı,  $d$  ise aynı uzaklığın bina içindeki bölümünü metre cinsinden temsil eder.  $n$  binadaki kat sayısını,  $L_{ow,1}$ ,  $L_{ow,2}$  ise duvar nüfuz kayıplarını tanımlamaktadır.

Şekil 2'de verilen sistem modelinde olduğu gibi  $r$ . öz kaynak bloğunu kullanan ve  $i$ . femto hücresinden hizmet alan bina içindeki bir femto hücre kullanıcısının sahip olduğu SINR değeri Denklem (3) ile verilmektedir [8]. Bu SINR değeri hesaplanırken girişim kaynakları çift şerit modelindeki diğer femto hücre baz istasyonları ve heterojen yapıdaki makro hücre baz istasyonudur.

$$SINR_r^{i,F} = \frac{P_r^{i,F} PL_{i,r}^{FF}}{\sum_{j=1}^M P_r^{j,M} PL_{j,r}^{MF} + \sum_{k=1, k \neq i}^F P_r^{i,F} PL_{k,r}^{FF} + N_0} \quad (3)$$

Bu eşitlikte  $PL_{i,r}^{FF}$ ,  $PL_{k,r}^{FF}$  ve  $PL_{j,r}^{MF}$  sırasıyla, hizmet veren femto hücre baz istasyonu ile kullanıcı, diğer femto hücre baz istasyonları ile kullanıcı ve makro hücre ile kullanıcı arasındaki yol kayıplarını ifade eder. Ayrıca  $P_r^{j,M}$  ve  $P_r^{i,F}$  sırasıyla  $j$ . makro hücre ve  $i$ . femto hücre baz istasyonlarının  $r$ . öz kaynak bloğundaki iletim gücünü gösterir. Son olarak,  $N_0$  ise gürültü gücünü temsil etmektedir. Makro hücre ve femto hücre baz istasyonları için enbüyük iletim güçleri sırasıyla,  $P_{maks}^M$  ve  $P_{maks}^F$  şeklindedir. Ayrıca  $i$ . femto hücre kullanıcısının veri iletimi için aşması gereken SINR eşik değeri  $SINR_{th}^{i,F}$  şeklinde tanımlanmaktadır.

## 2.1 Genetik algoritma

Bu çalışmada femto hücre baz istasyonları için önerilen güç yönetimi eniyilemesi genetik algoritma (GA) yöntemi [20] ile belirlenmektedir. GA temelde, biyolojik çevreye uyumu ve gelişimi taklit eden doğal bir seçim işlemine dayanır. Kısıtlı ve kısıtlanmamış eniyileme problemlerini çözmek için kullanılır. Algoritma, bireysel çözümlerin oluşturduğu bir topluluğu yinelemeli olarak değiştirir. Her adımda, mevcut topluluktaki bireyleri uyumluluklarına göre seçer ve bir sonraki nesli oluşturacak çocukları (yeni çözümleri) üretmek için ebeveyn olarak kullanır. Ardıl kuşaklar boyunca, nüfus en uygun bir çözüme doğru gelişir. Amaç fonksiyon değerine dayanan stokastik geçiş kurallarını kullanarak bir dizi aday çözüm üzerinde çalışması, GA'yı diğer çoğu eniyileme algoritmasına göre daha esnek hale getirir. GA biyolojik bir süreci taklit etmek için tasarlandığından, ilgili terminolojinin çoğu biyolojiden ödünç alınmıştır. Bununla birlikte, bu terminolojinin ifade ettiği işlevler GA'da biyolojik muadillerine göre çok daha basittir. Hemen hemen tüm GA'lar için ortak olan temel bileşenler şunlardır:

- Eniyileme için uygunluk işlevi,
- Bir kromozom (birey/çözüm) topluluğu,
- Hangi kromozomların çoğaltılacağını seçmek,
- Yeni nesil kromozom üretmek için çaprazlama,
- Yeni nesilde rastgele kromozom mutasyonu.

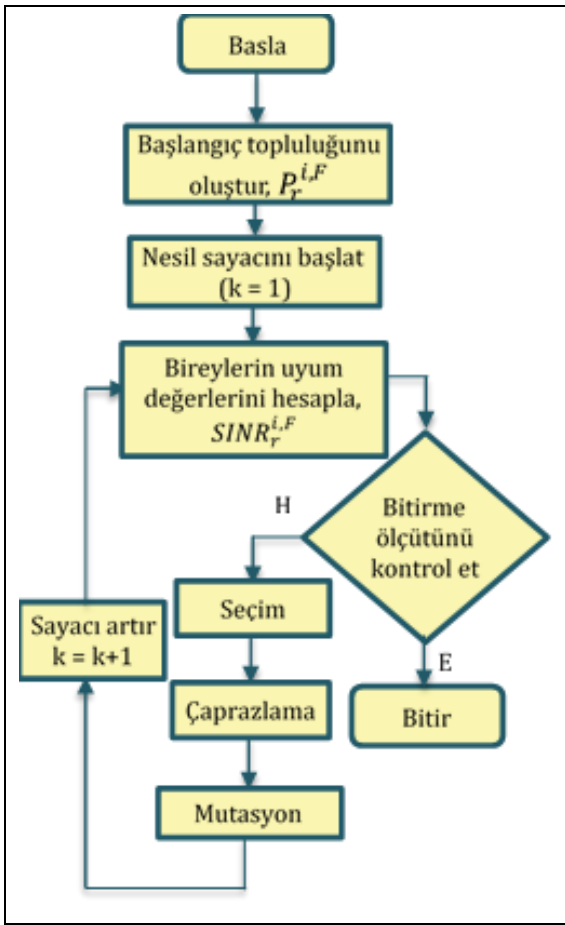
GA, birinci nesil (başlangıç topluluğu) olarak görev yapan rasgele seçilen bir kromozom çeşitlemesiyle başlar. Ardından topluluktaki her kromozom, eldeki problemi ne kadar iyi çözdüğünü sınamak için uygunluk işleviyle değerlendirilir.

Seçim işlevi, tanımlanan bir olasılık dağılımına dayanarak üreme için bazı kromozomları seçer. Bir kromozom ne kadar uygun ise seçilme olasılığı o kadar yüksek olur. Aynı kromozom birden fazla kez seçilebilir. Çaprazlama işlevi, hücre mayozunda biyolojik çaprazlamayı ve kromozomların tekrar kombinasyonunu andırır. Bu işleç esasen, iki çocuk üretmek üzere seçilen iki ebeveyn kromozomun bir alt dizisini takas

eder. Bu çalışmada daha az sayıda yineleme ile çözüm bulmak hedeflendiğinden, uygunluk değeri yüksek olan çözümlerin üremeye katılma olasılığını artırmak amacıyla üstel kademe tabanlı bir seçim mekanizması tercih edilmiştir. Buna göre bir kromozomun üreme için seçilme olasılığı Denklem (4) ile ifade edilir.

$$P_i = (u - 1) \left( \frac{u^{K-i}}{u^{K-1}} \right), i \in \{1, \dots, K\} \quad (4)$$

Burada  $P_i$   $i$ .inci kromozomun seçilme olasılığını,  $u$  üstel katsayısı (0 ve 1 aralığında seçilir),  $K$  ise kademeyi gösterir. Her kromozom uygunluk değerine göre sıralanarak kademesi belirlenir. 1. kademedeki kromozom en kötü bireyi  $K$ . kademedeki kromozom ise en iyi bireyi temsil eder. GA akış çizgesi Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3: Genetik algoritma akış çizgesi.

Algoritma için seçilen diğer parametreler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1: GA parametreleri.

GA Parametreleri	
Topluluk boyutu	30
Yineleme sayısı	10
Üstel katsayı, $u$	0.7
Çaprazlama	1 noktadan
Mutasyon	Rasgele tekrar değer atama
Çaprazlama olasılığı	0.615
Mutasyon olasılığı	0.015

### 3 Benzetim sonuçları

Heterojen LTE ağında femto hücreler için genetik algoritma kullanarak güç yönetim eniyilemesinin yapıldığı bu çalışmadaki benzetim parametreleri Tablo 2'de verilmektedir. Kullanılan çift şerit modelinin her şeridinin tek katlı olduğu, her femto hücrede tek bir aktif kullanıcı olduğu ve tüm femto hücreler için kapalı erişim modunun kullanıldığı kabul edilmiştir. Sonuçlar 1500 deneme üzerinden ortalama alınarak elde edilmiştir.

Tablo 2: Benzetim parametreleri.

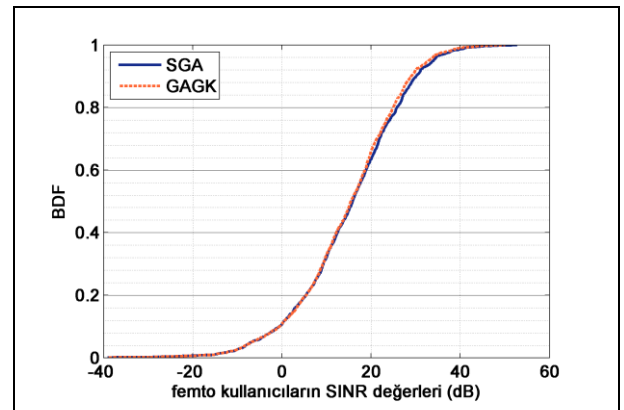
Benzetim Parametreleri	
Makro hücre kapsama alanı çapı, metre	250
Femto hücre kapsama alanı, metre	10x10
İletim bant genişliği, MHz	10
Öz Kaynak Blok Sayısı	50
Sektördeki blok sayısı	1
Her apartmandaki femto hücre sayısı	1
Toplam femto hücre kullanıcı sayısı	8
Aktif kullanıcı oranı	1
Yerleşim oranı	0.2
Duvar nüfuz kayıpları, $L_{ow}$ , dB	10
Makro hücre baz istasyonu enbüyük iletim gücü, dBm	40
Femto hücre baz istasyonu enbüyük iletim gücü, dBm	20

Problemde enküçükleme için kullanılan amaç işlevi,  $\gamma$ , Denklem (5)'te verilmektedir.

$$\gamma = e^{-a(SINR_r^{i,F} - SINR_{th}^{i,F})} - bP_r^{i,F} \quad (5)$$

Bu eşitlikte  $a$  ve  $b$  pozitif katsayıları, amaç işlevinde güç ve SINR değerlerinin ağırlıklarını belirlemek için kullanılmıştır.

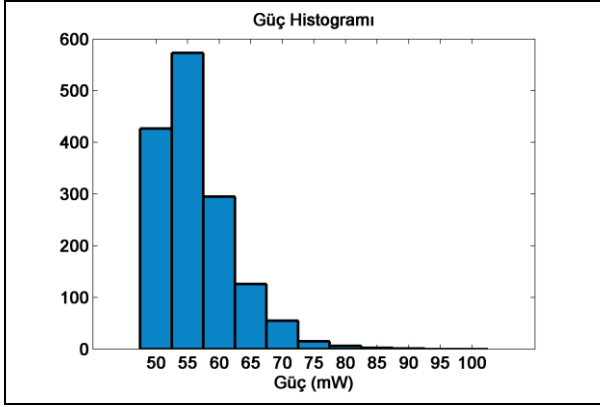
Şekil 4, femto hücre baz istasyonu için enküçük ve enbüyük iletim gücünün sırasıyla 50 mW ve 100 mW seçildiği durumlarda GA güç kontrolü (GAGK) yöntemi ile tüm femto hücre baz istasyonlarının aynı iletim gücüne sahip olduğu sabit güç algoritması (SGA) yöntemlerinin başarımını birikimli dağılım fonksiyonu (BDF) kullanarak göstermektedir.



Şekil 4: Femto kullanıcılar için birikimli dağılım fonksiyonu ( $P_{min} = 50$  mW,  $P_{maks} = 100$  mW).

Şekil 4'te gösterildiği üzere GAGK yöntemi femto hücre kullanıcılarının SINR değerlerine ait BDF'de özellikle 20 dB altında gözlemlenir bir bozulmaya yol açmamıştır. 20 dB'den daha yüksek değerler için ortaya çıkan BDF bozulması ise ihmal edilebilecek düzeydedir.

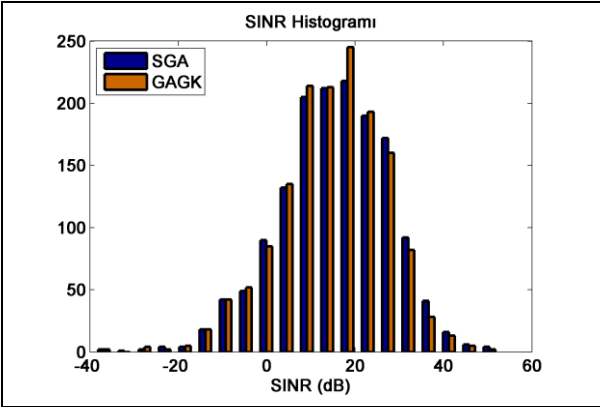
Şekil 5 ise, SGA yöntemi ile GAGK yönteminin kullanıldığı durumda femto hücre baz istasyonlarına ait iletim güçlerinin histogramı verilmektedir. Burada ise, önerilen GAGK yöntemi femto hücre kullanıcıları için gözlemlenen bir BDF bozulmasına sebep olmazken; femto hücre baz istasyonlarında harcanan iletim gücü bakımından önemli bir kazanç sağlamıştır. Öyle ki, enbüyük iletim gücüne olan ihtiyaç %1 seviyesinin altında kalmaktadır.



Şekil 5: Femto hücre baz istasyonları iletim güç dağılımı ( $P_{\min} = 50$  mW,  $P_{\max} = 100$  mW).

Ayrıca femto hücre baz istasyonları için iletim gücü değerlerinin neredeyse tamamına yakını 75 mW düzeyinden düşüktür.

Önerilen GAGK ve SGA yöntemleri ile elde edilen SINR değerleri Şekil 6 ile gösterilmektedir.



Şekil 6: SGA ve GAGK yöntemleri için femto hücre kullanıcı SINR histogramı ( $P_{\min} = 50$  mW,  $P_{\max} = 100$  mW).

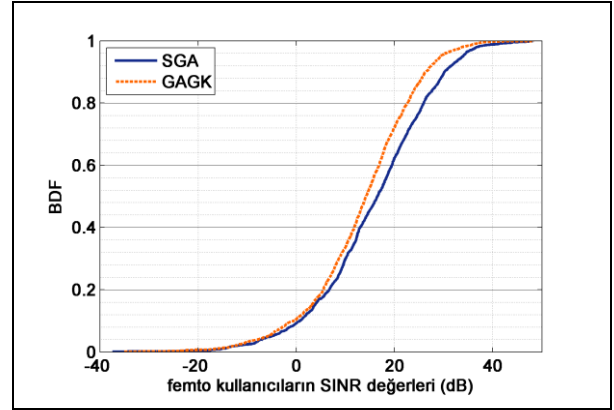
Şekil 6, SGA yöntemi ile GAGK yöntemi kullanılması sonucunda hesaplanan SINR değerleri arasında önemli bir farklılık olmadığını göstermektedir. Ancak Şekil 5'te gösterildiği üzere femto hücre baz istasyonu iletim gücünde GAGK yöntemi kullanıldığında önemli bir azalma sağlanmaktadır.

Bundan sonraki sonuçlar GAGK yönteminde tanımlanan enküçük iletim gücünün 5 mW gibi oldukça düşük bir değere indirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Enbüyük femto hücre baz istasyonu iletim gücü ise 100 mW olarak değiştirilmemiştir.

Şekil 7, femto hücre kullanıcıları için SGA ve enküçük iletim gücünün 5 mW olduğu GAGK yöntemlerinin başarımını BDF kullanarak göstermektedir.

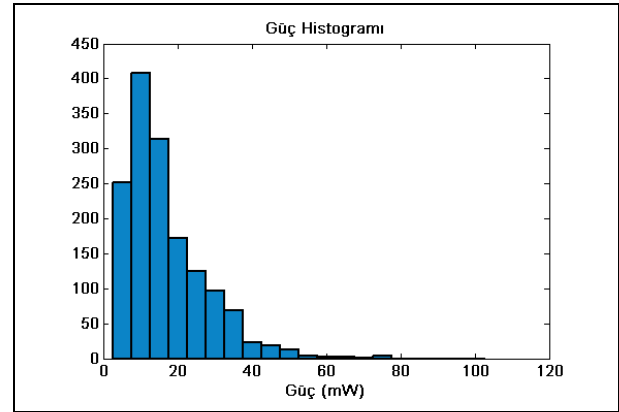
Şekil 7'deki sonuç incelendiğinde femto hücre baz istasyonu için enküçük iletim gücü 5 mW gibi çok düşük bir düzeye

indirildiğinde GAGK yöntemi SGA yöntemine göre femto hücre kullanıcıları için daha kötü bir SINR başarımı elde edilmektedir.



Şekil 7: Femto kullanıcılar için birikimli dağılım fonksiyonu ( $P_{\min} = 5$  mW,  $P_{\max} = 100$  mW).

Şekil 8'de femto hücre baz istasyonları için enküçük iletim gücünün 5 mW seçildiği durumda GAGK yöntemi kullanıldığında femto hücre baz istasyonlarında harcanan ortalama toplam güç miktarının histogramı verilmektedir.

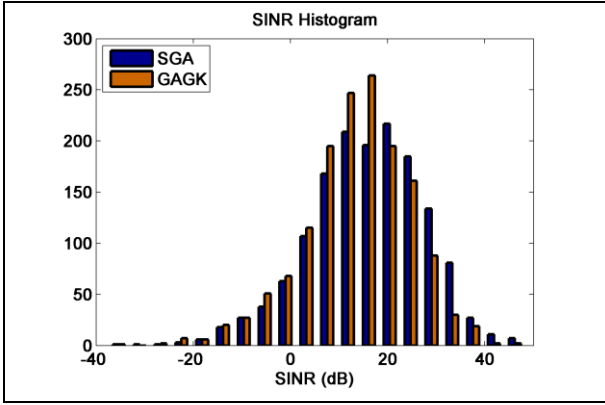


Şekil 8: Femto hücre baz istasyonları iletim güç dağılımı ( $P_{\min} = 5$  mW,  $P_{\max} = 100$  mW).

Şekil 7'de elde edilen sonuç GAGK yönteminin çok düşük enküçük iletim gücü kullanıldığı durumda SGA yöntemine göre kötü başarıma sahip olduğunu göstermekteydi. Ancak aynı sonuç femto hücre baz istasyonlarının güç histogramının verildiği Şekil 8 ile beraber değerlendirildiğine artık femto hücre baz istasyonlarında harcanan ortalama gücün önemli oranda azaldığı görülmektedir. Bu nedenle harcanan ortalama güç açısından düşünüldüğünde GAGK yönteminin SGA yönteminden çok düşük iletim gücü kullanıldığı durumda bile daha başarılı olduğu söylenebilir.

Son olarak Şekil 9, SGA yöntemine ve enküçük iletim gücü 5 mW olduğunda GAGK yöntemine ait SINR değerlerinin histogramını vermektedir.

Şekil 9 incelendiğinde 5-15 dB SINR aralığında GAGK yöntemine ait SINR değerlerinin sayısının aynı aralıkta SGA yöntemi ile elde edilen SINR değerlerinin sayısından daha fazla olduğu görülmektedir. Buna karşın, SGA yöntemine ait SINR değerlerinin sayısının 20 dB'ten büyük değerlerde daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 9: SGA ve GAGK yöntemleri için femto hücre kullanıcı SINR histogramı ( $P_{\min} = 5$  mW,  $P_{\max} = 100$  mW).

Güç histogramı ve femto hücre kullanıcılarının SINR değerlerinin verildiği sonuçlara ek olarak yapılan pratik sistemler için önem taşıyan hizmet kesinti oranı değerleri de çalışmada karşılaştırılmıştır. Güç, enbüyük güç (100 mW) ile bunun yarı değeri aralığında olacak biçimde eniyileme yapıldığında servis kesinti oranı, eşik değeri -6 dB iken SGA yönteminde %5.84, GAGK yönteminde ise %5.7 olarak elde edilmiştir. Güç değeri 5 mW ile enbüyük değer aralığında eniyileme yapıldığında ise GAGK yönteminde servis kesinti oranı %6.49 olmuştur. Elde edilen sonuçlar femto hücre baz istasyonlarının iletim gücü değerleri önemli oranda azaltıldığında dahi verilen serviste ortaya çıkacak kesilme miktarının iletimin en büyük güçte yapıldığı durumla benzer olduğunu ortaya koymaktadır.

#### 4 Tartışma

Bu çalışmada bir eniyileme yöntemi olarak genetik algoritma, heterojen LTE ağında femto hücreler için güç yönetimi eniyilemesinde kullanılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçları güç yönetiminin sistemde oluşacak girişimin azaltılması için gerekli olduğunu ve femto hücreler için çok düşük iletim güçlerinde iletim yapılsa bile femto hücre kullanıcıları için önemli bir başarımlı kaybı oluşmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte güç yönetimi eniyilemesi sayesinde femto hücre baz istasyonlarının iletim güçlerinde SGA yöntemine göre %50'den fazla azalmalar elde edilmiştir. Ayrıca femto hücre baz istasyonu iletim gücünde yapılan önemli azaltmaya karşın servis kesinti oranının sabit güç kullanılan durumla benzer seviyede olacağı gözlenmiştir.

Femto hücre yerleşmesi ve yol kaybı modeli için 3GPP standardında tanımlı modellerin kullanılarak kapalı erişime sahip femto hücrelerde güç yönetiminin genetik algoritma ile eniyilemesinin yapıldığı bu çalışma önümüzdeki yıllarda femto hücrelerin çok yoğun olarak kullanılacağı düşünüldüğünde gücün etkin kullanımı ve sistemdeki tüm kullanıcılara olası girişimlerin azaltılması açısından önem taşımaktadır.

#### 5 Kaynaklar

[1] 3GPP. "3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project". <https://www.3gpp.org/> (09.01.2017).  
[2] Dahlman E, Parkvall S, Sköld J. *4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*, 2<sup>nd</sup> ed. UK, Elsevier Academic Press, 2014.  
[3] Andrews JG, Claussen H, Dohler M, Rangan S, Reed MC. "Femtocells: past, present, and future". *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 30(3), 497-508, 2012.

[4] Aviles JMR, Toril M, Ramirez SL. "A Femtocell location strategy for improving adaptive traffic sharing in heterogeneous LTE networks". *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 38, 1-13, 2015.  
[5] Lee JYL, Chuah TC, Loo J, Vinel A. "Recent advances in radio resource management for heterogeneous LTE/LTE-A networks". *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(4), 2142-2180, 2014.  
[6] Zahir T, Arshad K, Nakata A, Moessner K. "Interference management in femtocells". *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(1), 293-311, 2013.  
[7] Mehta M, Rane N, Karandikar A, Imran MA, Evans BG. "A self-organized resource allocation scheme for heterogeneous macro-femto networks". *Wireless Communications and Mobile Computing*, 16(3), 330-342, 2016.  
[8] Bouras C, Diles G, Kokkinos V, Kontodimas K, Papazois, A. "A simulation framework for evaluating interference mitigation techniques in heterogeneous cellular environment". *Wireless Personal Communications*, 77(2), 1213-1237, 2014.  
[9] Saquib N, Hossain E, Le LB, Kim DI. "Interference management in OFDMA femtocell networks: issues and approaches". *IEEE Wireless Communications*, 19(3), 1-10, 2012.  
[10] Yassin M, AboulHassan MA, Lahoud S, Ibrahim M, Mezher D, Cousin B, Sourour EA. "Survey of ICIC techniques in LTE networks under various mobile environment parameters". *Wireless Networks*, 23(2), 403-418, 2017.  
[11] Chandrasekhar V, Andrews JG, Muharemovic T, Shen Z, Gatherer A. "Power control in two-tier femtocell networks". *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8(8), 4316-4328, 2009.  
[12] Liang YS, Chung WH, Ni GK, Chen IY, Zhang H, Kuo SY. "Resource allocation with interference avoidance in OFDM femtocell networks". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(5), 2243-2255, 2012.  
[13] Perez DL, Güvenç İ, Roche G, Kountouris M, Quek TQS, Zhang J. "Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks". *IEEE Wireless Communications*, 18(3), 22-30, 2011.  
[14] Xu X, Kutrolli G, Mathar R. "Autonomous downlink power control for LTE femtocells based on channel quality indicator". *24<sup>th</sup> International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications: Mobile and Wireless Networks*, London, UK, 8-11 September 2013.  
[15] Zahir T, Arshadi K, Ko Y, Moessner K. "A downlink power control scheme for interference avoidance in femtocells". *7<sup>th</sup> International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, İstanbul, Turkey, 4-8 July 2011.  
[16] Zhang G, Ao X, Yang P, Li M. "Power management in adjacent cognitive femtocells with distance-dependent interference in full coverage area". *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 8, 1-10, 2016.  
[17] Wang X, Zheng W, Lu Z, Wen X, Li W. "Dense femtocell network power self-optimization: an exact potential game approach". *International Journal of Communication Systems*, 19, 16-32, 2016.  
[18] Cao G, Yang D, Ye X, Zhang X. "A downlink joint power control and resource allocation scheme for co-channel macrocell-femtocell networks". *2011 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Cancun, Mexico, 28-31 March 2011.

- [19] Huang Z, Zeng Z, Xia H, Shi J. "Power control in two-tier OFDMA femtocell networks with particle swarm optimization". *73<sup>rd</sup> Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Budapest, Hungary, 15-18 May 2011.
- [20] Cakir M, Kalaycıoğlu A. "Power adjustment based interference management in dense heterogeneous femtocell networks". *2<sup>nd</sup> International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)*, Krakow, Poland, 11-14 July 2017.
- [21] Kalaycıoğlu A, Akbulut A. "A Heuristic Method for Power Control of Femtocells in LTE Networks". *International Conference on Control, Artificial Intelligence, Robotics & Optimization (ICCAIRO)*, Prague, Czech Republic, 20-22 May 2017.
- [22] Holland J. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, 2<sup>nd</sup> ed. USA, University of Michigan Press, 1992.
- [23] Marshoud H, Otrok H, Barada H, Estrada R, Jarray A, Dziong Z. "Resource allocation in macrocell-femtocell network using genetic algorithm". *2012 IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, Barcelona, Spain, 8-12 October 2012.
- [24] 3GPP. "Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects (Release 9) Technical Report 36.814v 9.0.0". Valbonne, France, 2010.