

YENİ NESİL YEŞİL HÜCRESEL HABERLEŞME  
SİSTEMLERİNDE BAZ İSTASYONU ANAHTARLAMASI İLE  
ENERJİ VERİMLİ KULLANICI ATAMASI

ALİ YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2014

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

---

Prof. Dr. Necip CAMUŐCU  
Müdüř

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

---

Prof. Dr. MURAT ALANYALI  
Anabilim Dalı Başkanı

ALİ YILDIZ tarafından hazırlanan YENİ NESİL YEŞİL HÜCRESEL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE BAZ İSTASYONU ANAHTARLAMASI İLE ENERJİ VERİMLİ KULLANICI ATAMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

---

Doç. Dr. Tolga GİRİCİ  
Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ayőe Melda YÜKSEL TURGUT \_\_\_\_\_

Üye : Doç. Dr. Tolga GİRİCİ \_\_\_\_\_

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nilgün FESCİOĐLU ÜNVER \_\_\_\_\_

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ali YILDIZ

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Enstitüsü : Fen Bilimleri Enstitüsü  
Anabilim Dalı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Tolga GİRİCİ  
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Ocak 2014

Ali YILDIZ

YENİ NESİL YEŞİL HÜCRESEL HABERLEŞME  
SİSTEMLERİNDE BAZ İSTASYONU ANAHTARLAMASI İLE  
ENERJİ VERİMLİ KULLANICI ATAMASI

ÖZET

Hücre sel haberleşme ağlarında yer alan kullanıcı araçları sayısı(cep telefonları, tabletler v.b.) son on yılda büyük bir artış göstermiştir. Kullanıcı araçlarının artması ve bu araçların da yüksek veri hızına ihtiyaç duymaları hücre sel haberleşme ağlarında büyük bir enerji ihtiyacına sebep olmuştur. Ortaya çıkan bu büyük enerji ihtiyacı, enerji verimli hücre sel haberleşme ağlarına, hem akademi hem de endüstri tarafından ilgiyi arttırmıştır. Baz istasyonlarının harcadığı güç seviyesi, hücre sel haberleşme ağlarının toplam güç harcama seviyesine bakıldığında çok yüksek bir paya sahiptir. Baz istasyonu anahtarlanmasıyla elde edilecek olan güç tasarruf seviyesi ile hücre sel haberleşme ağları enerji verimli hale getirilebilmektedir. Bu çalışmada, kullanıcıların baz istasyonlarına atanması, önerilen baz istasyonu anahtarlama algoritmalarıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde kullanıcı atamaları ve baz istasyonu anahtarlama için fiyat tabanlı bir algoritma önerilmiştir, bu algoritma ile iletim yapmadığı halde sabit bir güç harcaması yapan baz istasyonları kapatılmış ve güç tasarrufu sağlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise kullanıcı atamaları ve baz istasyonu anahtarlama heterojen ağda yapılırken, kullanıcılar arasında veri hızı kapsamında oransal adalet sağlanmış ve baz istasyonlarının güç harcaması için toplam güç harcama kısıtı belirlenmiştir. Yapılan simülasyonlarla önerilen algoritmaların yüksek performansa sahip oldukları görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil Hücre sel Ağlar, Baz İstasyonu Anahtarlama, Fiyat Tabanlı Algoritma, Enerji Verimliliği, Enerji Verimli Kullanıcı Ataması.

**University** : **TOBB University of Economics and Technology**  
**Institute** : **Institute of Natural and Applied Sciences**  
**Science Programme** : **Electrical-Electronics Engineering**  
**Supervisor** : **Assoc. Prof. Tolga GİRİCİ**  
**Degree Awarded and Date** : **M.Sc. – January 2014**

**Ali YILDIZ**

**ENERGY EFFICIENT USER ASSOCIATION IN NEXT  
GENERATION GREEN CELLULAR NETWORKS BY BASE  
STATION SWITCHING**

**ABSTRACT**

The number of user devices in cellular communication networks (mobile phones , tablets, etc.) showed a large increase in the last ten years. These tools require high data rate which has led to a huge energy need in cellular communication networks. This emerging large energy requirement has increased interest in energy-efficient cellular communication networks. The power consumed by the base station level has a very large portion in the total power consumption of cellular communication networks. Cellular communication networks can be made energy efficient, with the power gained from base station switching. In this study , the user assignments to the base stations has been done by proposed base station switching algorithms. In the first section of the study, we proposed a pricing-based algorithm for user assignments and base station switching. In this algorithm we switched off the base stations, which consume power even though they do not transmit and power saving has been achieved. In the second part of the study, we consider a heterogeneous network. We did user assignments and base station switching while maximizing the proportional fairness between the users. In addition, we introduce a total power consumption constraint for base stations. Moreover we have showed with simulation studies that proposed algorithms have high performance results.

**Keywords:** Green Cellular Network, Base Stations Switching, Pricing-Based Algorithm, Energy Efficiency, Energy Efficient User Association.

## TEŐEKKÜR

Bu alıŐma kıymetli hocam Do. Dr. Tolga GİRİCİ'nin değerli yardımları ve yol göstericiliği olmaksızın tamamlanamazdı. ÇalıŐmamın her aŐamasında samimi ilgi ve çabaları ile sağladığı katkılarının yanı sıra manevi desteği için hocama minnet ve Őukran borçluyum. Tezimi okuyup değerlendiren kıymetli hocalarıma; çalıŐmama destek veren, yardımlarını esirgemeyen muhterem hocam Prof. Dr. Halim YANIKÖMEROĐLU'na da bu vesile ile teŐekkür ederim. Tez çalıŐmam sırasında yardımı ve desteğiyle yanımda olan eŐim Ece Arzu YILDIZ'a, destekleri ile beni yurekaclendiren ve sıkıntılı anlarımda gösterdikleri sabır, ilgi ve sevgi için aileme, yanımda olan tüm arkadaŐlarıma müteŐekkirim. Ayrıca TOBB Ekonomi ve Teknoloji niversitesi'nin sağladığı maddi destek için teŐekkürü bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

<b>1</b>	<b>GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>YEŞİL HÜCRESEL HABERLEŞMEDE FİYAT TABANLI BAZ İSTASYONU ANAHTARLAMA ALGORİTMASI</b>	<b>9</b>
3.1	Sistem Modeli . . . . .	9
3.2	Fiyat Tabanlı Baz İstasyonu Anahtarlama Algoritması . . . . .	11
3.3	Karşılaştırma Algoritmaları . . . . .	13
3.3.1	En Yakın Baz İstasyonuna Atama Algoritması . . . . .	13
3.3.2	Dal-Sınır Tabanlı Optimal Çözüm Algoritması . . . . .	14
3.4	Simülasyon Sonuçları . . . . .	15
<b>4</b>	<b>HETEROJEN HÜCRESEL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİ KULLANICI ATAMASI</b>	<b>25</b>
4.1	Sistem Modeli . . . . .	25
4.1.1	Güç Harcama Modeli . . . . .	26
4.2	Problem Formülasyonu . . . . .	27

4.3	Optimal Çözüm . . . . .	29
4.3.1	Optimal Anahtarlama İndikatörü Bulunmasında Ayrıntılı Arama: Dal-Sınır Tabanlı Optimal Çözüm . . . . .	31
4.3.2	Anahtarlama İndikatörüyle Yapılan Kullanıcı Ataması: Çift Yönlü Ayrışma Metodu . . . . .	32
4.4	Önerilen Kullanıcı Atama Algoritması . . . . .	34
4.4.1	Karşılaştırma Algoritması: Maksimum Sinyal-Gürültü+Girişim Oranı(SGGO) . . . . .	35
4.5	Simülasyon Sonuçları . . . . .	36
<b>5</b>	<b>SONUÇLAR</b>	<b>44</b>
5.1	Yeşil Hücresele Haberleşmede Fiyat Tabanlı Baz İstasyonu Anahtarlama Algoritması . . . . .	44
5.2	Heterojen Hücresele Haberleşme Sistemlerinde Enerji Verimli Kullanıcı Ataması . . . . .	45
5.3	Gelecek Çalışmalar . . . . .	45
	<b>KAYNAKLAR</b>	<b>47</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>51</b>



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

3.1	10. Baz istasyonu, kullanıcı yerleşimi senaryosu ve kullanıcıların en yakın baz istasyonuna atanması: $M=4$ Baz istasyonu, $N=10$ Kullanıcı, $2000 \times 2000$ m <sup>2</sup> Toplam servis alanı. . . . .	16
3.2	10. Baz istasyonu, kullanıcı yerleşimi senaryosu ve kullanıcıların fiyat tabanlı algoritmaya göre atanması: $M=4$ Baz istasyonu, $N=10$ Kullanıcı, $2000 \times 2000$ m <sup>2</sup> Toplam servis alanı. . . . .	17
3.3	10. Baz istasyonu, kullanıcı yerleşimi senaryosu ve kullanıcıların optimum sonuçlara göre atanması: $M=4$ Baz istasyonu, $N=10$ Kullanıcı, $2000 \times 2000$ m <sup>2</sup> Toplam servis alanı. . . . .	18
3.4	20 rastgele senaryo için güç sarfiyatı: $M=4$ Baz istasyonu, $N=10$ Kullanıcı, $2000 \times 2000$ m <sup>2</sup> Toplam servis alanı. . . . .	20
3.5	20 rastgele senaryo için güç sarfiyatı: $M=4$ Baz istasyonu, $N=20$ Kullanıcı, $2000 \times 2000$ m <sup>2</sup> Toplam servis alanı. . . . .	21
3.6	20 rastgele senaryo için güç sarfiyatı: $M=4$ Baz istasyonu, $N=20$ Kullanıcı, $8000 \times 8000$ m <sup>2</sup> Toplam servis alanı. . . . .	22
3.7	20 rastgele senaryo için güç sarfiyatı: $M=9$ Baz istasyonu, $N=20$ Kullanıcı, $1000 \times 1000$ m <sup>2</sup> Toplam servis alanı. . . . .	23
3.8	20 rastgele senaryo için güç sarfiyatı: $M=9$ Baz istasyonu, $N=20$ Kullanıcı, $4000 \times 4000$ m <sup>2</sup> Toplam servis alanı. . . . .	24

4.1	1 makro baz istasyonu, 10 mikro baz istasyonu, 100 kullanıcı ve $P_{max} = 500$ Watt için tipik kullanıcı ataması . . . . .	29
4.2	1 makro baz istasyonu, 10 mikro baz istasyonu, 100 kullanıcı ve $P_{max} = 200$ Watt için tipik kullanıcı ataması . . . . .	30
4.3	Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı, $D_{max} = 5000$ metre ve $P_{max} = 400$ Watt. . . . .	38
4.4	Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı, $D_{max} = 5000$ metre ve $P_{max} = 300$ Watt. . . . .	39
4.5	Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı, $D_{max} = 5000$ metre ve $P_{max} = 200$ Watt . . . . .	40
4.6	Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı, $D_{max} = 2000$ metre ve $P_{max} = 400$ Watt. . . . .	41
4.7	Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı, $D_{max} = 2000$ metre ve $P_{max} = 300$ Watt. . . . .	42
4.8	Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı, $D_{max} = 2000$ metre ve $P_{max} = 200$ Watt. . . . .	43

## TABLULARIN LİSTESİ

3.1	Notasyon Listesi . . . . .	10
3.2	Simülasyon Parametreleri . . . . .	19
4.1	Makro ve Mikro baz istasyonları için güç harcama modeli parametreleri [21] . . . . .	28
4.2	Notasyon Listesi . . . . .	37

# 1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojide yaşanan hızlı gelişmelerle, hücresel haberleşme ağlarına dahil olabilecek cihazların (akıllı telefonlar, tabletler v.b.) sayısında büyük bir artış yaşanmıştır. Hem cihazların artışı, hem de bu cihazlar üzerinde yürütülebilen uygulamaların fazlalığı ile birlikte, bu uygulamaların (yüksek çözünürlüğe sahip video izleme, internet üzerinden radyo yayını, sosyal ağların kullanımı v.b.) yüksek veri alışverişine ihtiyaç duymaları, toplam hücresel haberleşme ağlarında yüksek veri hızı trafiğine sebep olmuştur. Veri trafiğinde talebinde meydana gelen bu artış, istenilen talebi karşılamak üzere büyük bir enerji ihtiyacını ve tüketimini de beraberinde getirmiştir.

Hücresel haberleşme sistemlerindeki öngörülemeyen yüksek güç tüketimi, bu sistemlerde enerji verimli çözümlerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu çözümler (yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, güç yükselteçlerindeki iyileştirmeler, hücre kapsama alanının optimizasyonu v.b.) arasında baz istasyonlarının anahtarlanması, toplam hücresel haberleşme sistemlerinin güç tüketiminde baz istasyonlarının güç tüketimi çok yüksek bir paya sahip olduğundan bir adım öne çıkmaktadır. Baz istasyonu anahtarlanması hücresel ağlarda, toplam güç tüketiminin azaltılmasına imkan sağlamaktadır.

Bu çalışmada önerilen baz istasyonu anahtarlama algoritmalarıyla, toplam hücresel haberleşme sistemlerinde güç sarfiyatı elde etmek amaçlanmıştır. Tez çalışması, "Yeşil Hücresel Haberleşmede Fiyat Tabanlı Baz İstasyonu Anahtarlama Algoritması" ve "Heterojen Hücresel Haberleşme Sistemlerinde Enerji Verimli Kullanıcı Ataması" olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Her iki bölümde de sistem modelleri anlatılmıştır. Sonrasında önerilen algoritmalar

açıklanmış, önerilen algoritmaların sonuçları optimal çözümlerin ve karşılaştırma algoritmalarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının hedefi, hücreler arası haberleşme ağında güç harcamasını önerilen algoritmalar ile minimuma düşürmektir. Tezin literatüre katkısı aşağıda belirtilmiştir:

- Önerilen algoritma sonuçlarının dal-sınır yöntemi ile elde edilen sonuçlara oldukça yakın olması.
- Önerilen algoritmaların optimal çözüm bulma yöntemi olan dal-sınır yöntemine göre oldukça hızlı çalışması.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hücre sel haberleşme sistemlerinde bulunan kullanıcıların kullandıkları uygulamaların (yüksek çözünürlüklü video izleme, çevrimiçi oyunlar, bulut sistemi vb.) veri ihtiyaç kapasitelerinin artmasıyla birlikte, bu sistemleri istenilen kısıtlarda çalıştırabilmek, yüksek enerji ihtiyacını doğurmuştur. Bu ihtiyacı giderebilmek adına yapılan çalışmaların yanı sıra, elde bulunan toplam enerjiyi verimli bir şekilde kullanmak da önemli bir hal almıştır.

[1] numaralı çalışma, hücre sel haberleşme ağ sistemlerinde baz istasyonlarının harcadığı enerjinin, sistemde harcanan toplam enerjiye oranının %57 olduğunu göstermektedir. Bu sebeple yeşil hücre sel haberleşme konseptinde yer alan, harcanan toplam enerjiyi düşürmek amacıyla yapılan çalışmalarda, en çok ilgiyi baz istasyonlarının harcadığı enerjiyi düşüren çalışmalar çekmektedir.

[2]'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve güç yükselteçlerinde yapılan geliştirme çalışmalarından bahsedilmiştir. Aynı çalışma baz istasyonlarının harcadıkları toplam enerjiyi düşüren teknikler arasında, en çok öne çıkan tekniğin, baz istasyonlarının anahtarlanması olduğunu göstermektedir.

Genel görüşün aksine, hücre sel haberleşmede ağlarında iletim gücü harcaması enerji tüketiminde tek faktör değildir. Baz istasyonları hiçbir şekilde iletim yapmasalar bile, içerdikleri tümleşik devreleri, sinyal işleme kabinlerini ve soğutma ekipmanlarını sadece çalıştırmak için sabit bir güce ihtiyaç duyarlar. Bu sebeple verimli bir enerji yönetimi, kullanıcıların konumlarına ve genel sistem yüküne göre bazı baz istasyonlarının tamamen kapatılmasını da içermelidir[3].

Baz istasyonu anahtarlama (hücre anahtarlama), 4G teknolojisinin standartlarını içeren LTE'de (Long Term Evolution) önemli bir teknik olarak yer almaktadır. Baz istasyonu anahtarlama algoritmaları üç başlık altında toplanmaktadır [4]:

1. Tamamen merkezi ve anahtarlamanın merkez yönetici tarafından yapılması.
2. Yarı merkezi (veya yarı otonom) ve anahtarlamanın daha önceden belirlenmiş durumlara göre yapılması.
3. Baz istasyonlarının bilgi paylaşımına bağlı olarak tamamen otonom.

Baz istasyonu anahtarlama LTE'de yer almasıyla birlikte, enerji-verimli baz istasyonu anahtarlama algoritmaları literatürde çalışmaya başlanmıştır. Üstte de belirtildiği üzere önceden belirlenmiş durumlara göre yapılan baz istasyonu anahtarlama, [5], [6], ve [7] numaralı çalışmalarda işlenmiştir. Bu çalışmalarda, günlük olarak elde edilen veri trafiği modellerine göre baz istasyonları günün belirli zamanlarında açılıp kapatılmaktadır. Yazarlar, çalışmalarında, kullanıcıların birbirlerine yaptıkları girişimleri simülasyon hesaplarına katmamışlardır, yalnız bu eksikliğe rağmen çalışmalarında, baz istasyonlarının gün içerisinde 1, 2 hatta 3 kere açılıp kapatılmasıyla, enerji harcamasının seviyesini düşürebildiği göstermişlerdir. Bir diğer çalışmada [8] girişim durumu da incelenmiş ve önerilen algoritmada veri hızı ve bant genişliği gereksinimi altında kullanıcılar baz istasyonlarına paylaştırılmıştır. Algoritmanın işlem zamanları arasında ağa katılmak isteyen kullanıcılar için de belirli miktarda bant genişliği önceden koruma altına alınmıştır. Bunun yanı sıra, algoritmanın doğası gereği, birçok baz istasyonu uyumaya eğilimlidir ve böylece veri trafiği uyanık olan baz istasyonu üzerinden sağlanarak hizmet kalitesinin sağlamak zorlaşmıştır. Bir diğer çalışmada [9], veri trafiği sinüsoidal olarak ele alınmış ve basit bir baz istasyonu anahtarlama algoritması önerilmiştir. Daha az veri trafik akışına sahip olan gece saatlerinde, belirli baz istasyonları uyku moduna geçirilmiş, çalışma saatlerinde ise uyku modundaki baz istasyonları aktif hale getirilmiştir.

[10] numaralı çalışmada yazarlar, gerçekçi olmayan, baz istasyonlarının harcadığı gücü, baz istasyonlarının kendilerine bağlanan kullanıcı sayılarına göre oransal

olarak modelleyen bir çalışma yapmışlardır. Gerçekte, baz istasyonundan daha uzakta olan kullanıcıya gereken hizmet şartlarını sağlayabilmek için, baz istasyonunun bu kullanıcı için daha fazla güç harcaması yapması gerekmektedir ve bu sebeple harcanan güç altında artan kullanıcı sayısı ile birlikte üssel olarak artmaktadır. Bu çalışmada yazarlar ayrıca problemlerini iki parçaya bölmüşlerdir: i) kullanıcı açısından atama problemi, ii) baz istasyonu tarafından atama problemi. İkinci parçanın çözülmesi zordur, çünkü artan baz istasyonu sayısı ile birlikte, olası atamaların sayısı da üssel şekilde artmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek adına, bazı durumlarda açgözlü algoritmalar önermişlerdir. [11]'de ise yazarlar, geleneksel baz istasyonu anahtarlama ile Koordineli Çok Noktadan İletim (KÇNİ) teknolojisini birleştirmişlerdir. Kapatılan baz istasyonlarından hizmet alan kullanıcıları sisteme dahil etmek amacıyla, açık olan baz istasyonlarının kapsama alanını genişletmek yerine, KÇİ'i uygulayacak aktif baz istasyonları seti belirlemişlerdir.

Tezin 1.bölümünde anlatılan “Yeşil Hücreli Haberleşmede Fiyat Tabanlı Baz İstasyonu Anahtarlama Algoritması” önerilen problem temel olarak, kullanıcıların baz istasyonlarına atanması ve güç kontrolü problemidir. Literatürde bu atama ve güç kontrolüne dair benzer problemler incelenmiştir [12]. Yalnız bu çalışmalar, toplam sistem yükünü dengelemek ve hizmet kalitesini şartlarını sağlamak üzerine yoğunlaşmıştır. Literatürün aksine, tezin 1. Bölümünde önerilen problemin amacı, sistemdeki bazı baz istasyonlarını anahtarlayarak toplam enerji harcamasını minimize etmektir. Fiyat tabanlı algoritmalar da literatürde daha önce derinlemesine incelenmiştir fakat üstte de belirtildiği üzere, enerji tasarrufu yapmak amacıyla oluşturulan algoritmalarda iletim gücünün düşürülmesi (baz istasyonlarının anahtarlanması dışında), çalışmaların çekirdeğini oluşturmaktadır [13]. Güç kontrolü algoritmalarında odak noktası baz istasyonu ile kullanıcı arasındaki iletim gücünün düşürülmesidir. Baz istasyonu anahtarlanması algoritmalarında ise, baz istasyonunun anahtarlanmasıyla oluşan enerji tasarrufu, kullanıcıların daha uzaktaki bir baz istasyonuna bağlanırken harcayacakları iletim gücünden çok daha yüksek olduğundan, kullanıcıların daha uzaktaki bir baz istasyonuna bağlanması gözardı edilebilir.

Fiyat tabanlı algoritmaların yanı sıra baz istasyonu anahtarlama sırasında kullanılan



başka tipte algoritmalar da mevcuttur. [14]'te genetik algoritması ile yapılan baz istasyonu anahtarlamasında yoğun hücrelerde enerji harcamasının düşürülebildiği görülmüştür. Tezin 1.bölümünde yer alan sistem modelinde her kullanıcının sahip veri hızı gereksinime karşılık, [15]'te yazarlar kullanıcıların Sinyal-Girişim Oranı (SGO) gereksinimine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada, net fayda fonksiyonu sadece SGO oranına göre hesaplanırken, tezin 1.bölümündeki net fayda fonksiyonu atanmış kullanıcı sayısından güç harcamasının çıkarılması ile hesaplanmıştır.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, teknolojinin gelişmesiyle birlikte veri hızı taleplerinde meydana gelen çok büyük artış, hem akademinin hem de endüstrinin, veri hızı talebini karşılayabilmek adına, farklı teknikler üzerinde çalışmasına sebep olmuştur. Bu teknikler arasında, KÇİ (Koordineli Çoklu İletim), radyo kaynak yönetimi, hücre kapsama alanıyla oynama, röle ve heterojen hücresel ağlar sayılabilir. Bu teknikler arasında, heterojen hücresel ağlar, aşağıdaki özellikleri sebebiyle öne çıkmaktadır:

1. Kolay bir şekilde yerleştirme[2].
2. Düşük güç tüketimi[16].
3. Frekans bandının daha verimli şekilde kullanılması [2].

Heterojen hücresel ağların farklı güç seviyelerinde iletim yapan baz istasyonları (makro, mikro baz istasyonları, pico ve femto hücreleri) içermektedir. Bu farklı güç seviyelerinde iletim yapan baz istasyonlarının aktif halde çalıştırılması gereken güç seviyeleri de doğal olarak farklılık göstermektedir. Farklı işletme maliyetlerine sahip bu baz istasyonlarının konuşlandırılmasıyla birlikte, heterojen hücresel ağlar, yeşil haberleşme sistemlerinde önemli bir yer tutmaya başlamışlardır.

[12] numaralı çalışmada, çevrimdışı optimal ve çevrimiçi pratik algoritmalarıyla hücre kenarında kalan kullanıcıların veri hızlarını arttırmayı başarmışlardır. Yalnız problem formülasyonlarında herhangi bir güç kısıtı bulunmamaktadır. Formülasyona güç kısıtı eklenerek, kullanıcıların yüksek seviyede girişimden etkilenmelerinin önüne geçilebilmektedir. [17]'de, istatistikte önemli bir yer tutan

Gibbs örnekleme yöntemiyle, güç optimizasyonu, kullanıcı ataması ve kanal seçimi işlemleri yapılmıştır.

[18]'de kullanıcı yoğun bölgede tele-trafik problemi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Kullanıcı yoğun bölgede tele-trafik problemi kanal talebi belirli bir eşik değerini aştığında bitişik hücrelerin alanında oluşmaktadır. Öncelikle kullanıcı yoğun bölge için bir dengeleme algoritması oluşturmuşlardır. Sonrasında ise kullanıcı yoğun bölgede bulunan bir hücre için Markov Zinciri modeli oluşturmuşlar ve bu yaklaşımı ağına tamamına genişletmişlerdir. Bu araştırma kullanıcı yoğun bölge problemi için farklı bir bakış açısı sunmuştur. Araştırmacılar frekans kanallarının hücresel ağlarda kısıtlı olduğunu vurgulamışlar ve literatürde frekans tekrar kullanımını enbüyüklemek için frekans hücre ataması için öneride bulunan çalışmalar yapıldığına değinmişlerdir. Yazarlar, simülasyon çalışmaları ile geliştirmiş oldukları algoritmaların performanslarını değerlendirmişlerdir. Çok yüksek tele-trafik talebi oluştuğunda sistemde önemli derecede iyileşme olduğunu göstermişlerdir. Arama üretim oranını artırdıklarında algoritma performansının olumsuz etkilendiğini belirtmişler ancak yine de yük dengeleme olmadan sistemde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca algoritmalarının performansını CBWL algoritması ile karşılaştırmışlardır. Arama geliş sıklığı arttıkça geliştirmiş oldukları algoritmanın CBWL'ye göre üstün performans sergilediğini belirtmişlerdir.

[19] numaralı çalışmada yazarlar, oransal adalet yaklaşımını bağımsız olarak baz istasyonlarına uygulamışlardır. Sonuç olarak pareto-optimal olmayan bant genişliği atamaları ile karşılaşmışlardır. Oransal adalet yaklaşımının baz istasyonlarına bağımsız olarak değil de bütün haberleşme ağına uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir. Buradan yola çıkarak makro seviyede adaletli atamayı sağlamak için genelleştirilmiş oransal adalet problemini modellemişlerdir. Ayrıca bu problemin NP-Zor olduğunu da ispatlamışlardır. İki farklı algoritma geliştirmişlerdir: çevrimdışı optimal ve çevrimiçi açgözlü. Algoritmaların performanslarını değerlendirmek için simülasyon çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışma en iyi sinyal kuvvetine göre kullanıcı atama yerine heterojen kullanıcı dağılımları ile çıktı miktarı ve adaletin aynı anda iyileştirilebileceğini göstermişlerdir.

[20]'de ise yazarlar, çalışmalarında ağ genelinde optimal ilişki probleminin NP-Zor olduğunu belirtmişlerdir. Yalnız bu problemle benzerlik gösteren bir fayda

maksimizasyon probleminin ilişki metriğinin gevşetmesiyle, problemin konveks olacağını ve bu yaklaşımın optimale yakın bir sonuç sağlayacağını söylemişlerdir. Öncelikle ağ genelinde yük dengeleme ve fayda enbüyükleme problemini yük değerlerini içeren bir amaç fonksiyonu tanımlayarak modellemişlerdir. Sonra çift yönlü ayrışma yönteminden faydalanarak düşük kompleksiteye sahip bir dağıtılmış algoritma geliştirmişlerdir. Dağıtılmış algoritmanın optimale yakın sonuçlar sağladığı belirtilmiştir. Geliştirdikleri yaklaşım kaynak kullanım oranlarını artırmış ve makro baz istasyonları ve az yüklü küçük baz istasyonları arasındaki yük eşitsizliğini dengelemiştir.

# 3. YEŞİL HÜCRESEL HABERLEŞMEDE FİYAT TABANLI BAZ İSTASYONU ANAHTARLAMA ALGORİTMASI

## 3.1 Sistem Modeli

Sistem modelinde, kullanıcı ile baz istasyonu arasındaki çift yönlü iletişimde, baz istasyonundan kullanıcıya olan iletişim ele alınmıştır. Servis alanı değişik büyüklüklerde kare olarak seçilmiştir ve servis alanında  $M$  adet baz istasyonu ile  $N$  adet kullanıcı bulunmaktadır. Baz istasyonları ile kullanıcılar arasındaki kanal modelinde uzaklığa bağımlı yol kaybı ve gölgeleme kullanılmıştır. Bir diğer deyişle, kullanıcı atamaları yavaş değişimli kanal koşullarına göre yapılmıştır.

Her bir kullanıcı eşit şekilde  $R_0$  bps (bit per second) veri hızı kısıtına sahiptir ve  $W$  Hz (Hertz) olan toplam sistem bant genişliği baz istasyonları tarafından tekrarlı kullanıma sahiptir. Birden fazla kullanıcının aynı baz istasyonuna bağlanması durumunda, baz istasyonunun sahip olduğu bant genişliği zaman paylaşımı olarak kullanıcılar arasında paylaşılır. Bir baz istasyonuna bağlanan kullanıcı sayısı ( $N_m$ ) arttıkça, kısıtları sağlamak için baz istasyonunun ihtiyaç

duyduğu güç seviyesi de artmaktadır. Kolaylık sağlaması açısından problem formülasyonunda kullanılan notasyonlar, aşağıda Tablo 3.1’de açıklanmıştır:

Tablo 3.1: Notasyon Listesi

$M$	Baz istasyonları sayısı
$\mathcal{M}$	Baz istasyonları seti
$N$	Kullanıcı sayısı
$\mathcal{N}$	Kullanıcı seti
$R_0$	Kullanıcıların veri hızı gereksinimi
$W$	Bant genişliği
$N_m$	$m$ . baz istasyonuna bağlanan kullanıcı sayısı
$\mathcal{N}_m$	$m$ . baz istasyonuna bağlanan kullanıcı seti
$P_{mn}$	$m$ . baz istasyonu ile $n$ . kullanıcı arasındaki güç seviyesi
$P_m$	$m$ . baz istasyonunun ortalama gücü
$P_0$	Baz istasyonunun harcadığı temel güç harcaması
$h_{mn}$	$m$ . baz istasyonu ile $n$ . kullanıcı arasındaki kanal katsayısı
$N_0$	Gürültü seviyesi
$I_n(\bar{P})$	$n$ . kullanıcının maruz kaldığı girişim
$NU_m$	$m$ . baz istasyonunun net fayda fonksiyonu
$\Gamma_{mn}$	$\frac{h_{mn}}{I_n + N_0 W}$ $m$ . baz istasyonu ile $n$ . kullanıcı arasındaki kanal kazancı
$S_m^{N_m}$	$\Gamma_{mi}$ değerine göre bağlı olmayan kullanıcılar arasındaki en iyi $N_m$ seti
$\alpha$	fiyat
$I_{P_m}$	$m$ . baz istasyonunun iletim indikatör fonksiyonu

$m$ . baz istasyonuna bağlanan kullanıcı sayısı  $N_m$  olsun. Kullanıcıların baz istasyonlarına atamaları yapıldığından, optimum güç iterasyonla bulunabilir[24]. Her bir kullanıcının,  $n$ , maruz kaldığı girişim,  $I_n(\bar{P})$ , aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$I_n(\bar{P}) = \sum_{m=1}^M P_m h_{mn}, \quad \forall n \in \mathcal{N}. \quad (3.1)$$

$m$ . baz istasyonundan kendisine bağlanan kullanıcıların iletim güçlerinin bulunması denklem (3.2)’de açıklanmıştır:

$$\frac{W}{N_m} \log_2 \left( 1 + \frac{P_{mn} h_{mn}}{W N_0 + I_n(\bar{P})} \right) = R_0, \quad \forall n \in \mathcal{N}_m. \quad (3.2)$$

Denklem (3.3),  $m$ . baz istasyonundan  $n$ . kullanıcıya olan iletim gücünü bulur:

$$P_{mn} = (2^{N_m \frac{R_0}{W}} - 1) \frac{WN_0 + I_n(\bar{P})}{h_{mn}}, \quad \forall m \in \mathcal{M}, n \in \mathcal{N}_m. \quad (3.3)$$

Yukarıda da belirtildiği üzere, aynı baz istasyonuna bağlı kullanıcılar, baz istasyonuna atanan bant genişliği zaman paylaşımı olarak kullanırlar.  $m$ . baz istasyonunun ortalama gücü aşağıda açıklanmıştır:

$$P_m = \begin{cases} 0 & N_m = 0 \\ \frac{1}{N_m} \sum_{n \in \mathcal{N}_m} P_{nm} & N_m > 0 \end{cases}, \quad \forall m \in \mathcal{M}. \quad (3.4)$$

Sonuç olarak toplam harcanan güç aşağıda gibidir:

$$P_T = \sum_{m \in \mathcal{M}} P_m + I_{P_m > 0} P_0, \quad (3.5)$$

Yukarıda  $P_0$  notasyonu, baz istasyonlarının harcadığı temel güç seviyesidir ki tek bir kullanıcı dahi baz istasyonuna bağlı olsa,  $P_0$  gücü baz istasyonu tarafından kullanılır.  $I_{P_m > 0}$  notasyonu ise  $m$ . baz istasyonunun iletimde olduğu gösteren indikatör fonksiyondur.

## 3.2 Fiyat Tabanlı Baz İstasyonu Anahtarlama Algoritması

Bu algorithmanda *net fayda* konseptinden yararlanılmıştır. *Net fayda*, gelirden giderin çıkarılması ile bulunur. Baz istasyonlarının destekleyebileceği kullanıcı sayısı gelir olarak ifade edilirken, bu kullanıcılar için harcayacağı güç ise gider olarak ifade edilir. Baz istasyonu hiçbir kullanıcıyı desteklemiyorsa *net fayda* sıfır olur (örnek olarak kapatıldığında). *Net fayda* denklem (3.6)'da açıklanmıştır:

$$\begin{aligned} NU_m(N_m) &= N_m - \alpha \times \left( \frac{1}{N_m} \sum_{n \in \mathcal{S}_m^{N_m}} \frac{2^{N_m \frac{R_0}{W}} - 1}{\Gamma_{mn}} + I_{N_m > 0} P_0 \right), \\ &\quad \forall m \in \mathcal{M}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

(3.6)'da  $\mathcal{S}_m^{N_m}$  seti, herhangi bir baz istasyonuna bağlanmayan kullanıcılar arasında  $\Gamma_{mn}$  değeri olarak en yüksek olanları içerir.  $\Gamma_{mn}$  kanal kazancıdır ve  $m$ . baz istasyonu ile  $n$ . kullanıcı arasındaki kanal katsayısının,  $n$ . kullanıcının maruz kaldığı girişim ve gürültü toplamına bölünmesiyle bulunur.

---

**Algoritma 1** Önerilen fiyat tabanlı algoritma

---

- 1: Fiyatı ilk değerle başlat  $\alpha = \alpha_0$ , and  $I_n = 0$ ,  $P_m = 0$ ,  $P_{mn} = 0$ ,  $\mathcal{N}_m = \emptyset$ ,  
 $\forall n \in \mathcal{N}, m \in \mathcal{M}$ .
  - 2: Ayarla  $\mathcal{S} = \mathcal{M}$ , yakınsama = başarısız
  - 3: **while**  $\bigcup_{m=1}^M \mathcal{N}_m \neq \mathcal{N}$  **do**
  - 4:   **while** yakınsama = başarısız **do**
  - 5:     Ayarla  $P'_m = P_m, \forall m \in \mathcal{M}$
  - 6:     **for**  $m \in \mathcal{S}$  **do**
  - 7:        $\mathcal{N} - \bigcup_{m' \neq m} \mathcal{N}_{m'}$  kullanıcıların arasından, (3.6)'yı kullanarak, optimal kullanıcı setini bul  $\mathcal{N}_m^* = \arg \max\{NU_m(\mathcal{N}_m)\}$ . Unutulmamalıdır ki,  
 $N_m \leq N - \sum_{m' \neq m} N_{m'}$ .
  - 8:     **end for**
  - 9:     Bul  $m^* = \arg \max_{m \in \mathcal{S}}\{NU_m^*(\mathcal{N}_m^*)\}$ , ve Ayarla  $\mathcal{N}_m = \mathcal{N}_{m^*}$
  - 10:     (3.1), (3.3) ve (3.4)'ü kullanarak iteratif olarak güncelle  $P_{mn}, P_m$  ve  
 $I_n(\bar{P}), \forall m \in \mathcal{M}, n \in \mathcal{N}$
  - 11:     **if**  $\sum_{m \in \mathcal{M}} |1 - P_m/P'_m| < \epsilon$  **then**
  - 12:       yakınsama = başarılı
  - 13:     **else**
  - 14:        $\mathcal{S} = \mathcal{S} - m^*$
  - 15:       **if**  $\mathcal{S} = \emptyset$  **then**
  - 16:          $\mathcal{S} = \mathcal{M}$
  - 17:       **end if**
  - 18:     **end if**
  - 19:   **end while**
  - 20:    $\alpha = \beta \times \alpha$ , öyle ki,  $\beta < 1$
  - 21: **end while**
- 

Algoritma 1'de yer alan fiyat tabanlı algoritmada, en başta fiyat değeri yüksek bir değere eşitlenir. Satır 4 ile 19 arasında yer alan iç algoritmada, her bir baz istasyonu, başka baz istasyonuna bağlanmayan kullanıcıların bilgilerine bakar. Daha sonra denklem 3.6'ya göre her bir baz istasyonu, kendi net faydalarını maksimum yapacak optimal kullanıcı kümesini en iyi  $\Gamma_{mn}$  değerine göre belirlerler. Eğer net faydaları pozitif bir değer alıyorsa,  $m^*$  ile gösterilen baz istasyonu boştaki kullanıcıların bağlanmasına izin verir (Satır 9). Bu noktada baz istasyonları, kendi net faydalarını diğer baz istasyonları ile paylaşmak durumundadırlar. İletim

güçleri ve kullanıcıların maruz kaldığı girişim değerleri güncellenir (Satır 10). Kullanıcılar, maruz kaldıkları girişim değerlerini ve bağlanma statüslerini diğer baz istasyonları ile paylaşırlar.

$m^*$  ile gösterilen baz istasyonu  $\mathcal{S}$  setinden çıkarılır, geriye kalan baz istasyonları da güç değerleri yakınsayana kadar kullanıcıları kendilerine bağlamaya çalışırlar. Bu esnada dıştaki iterasyonla bağlanmayan kullanıcıların varlığı kontrol edilir. Eğer hala herhangi bir baz istasyonuna bağlanmayan bir kullanıcı mevcutsa, yeni fiyat değeri, değeri 1'den küçük olan bir  $\beta$  ile çarpılarak bulunur. Bütün kullanıcılar boşta kalmayana dek algoritma devam eder.

Toplam servis alanı küçük olduğunda, bütün kullanıcılar genellikle tek bir baz istasyonuna bağlanmaktadır (simülasyon sonuçlarında görülebilmektedir) ve bu bağlanma işlemi ilk iterasyonda sağlanmaktadır. Önerilen fiyat algoritması, sisteme yeni bir kullanıcı katıldığında da çalışabilmektedir.

### 3.3 Karşılaştırma Algoritmaları

#### 3.3.1 En Yakın Baz İstasyonuna Atama Algoritması

En yakın baz istasyonuna atama algoritmasında,  $h_{mn}$  değeri en yüksek olan  $n$ . kullanıcı  $m^*$  ile gösterilen baz istasyonuna atanır. Daha sonra, iletim güçleri (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.1) numaralı denklemler kullanılarak iteratif olarak optimize edilir. Algoritmanın yalancı kodu Algoritma 2'de özetlenmiştir.

En yakın baz istasyonuna atama algoritması dağıtık bir biçimde gerçekleştirilebilir. Öncelikle bütün baz istasyonları pilot sinyallerini yayarlar, sonrasında her bir kullanıcı elde ettiği en yüksek güç seviyesine göre baz istasyonuna bağlanırlar. Daha sonra her bir baz istasyonu, bağlanan kullanıcıların kanal durumlarına göre gereken iletim gücünü hesaplarlar. Kullanıcılar da baz istasyonlarına, bağlandıkları durumda maruz kalacakları girişim değerini baz istasyonlarına bildirirler ve güç hesaplaması algoritma yakınsayana kadar dağıtık bir biçimde gerçekleştirilir.



---

**Algoritma 2** : En yakın baz istasyonuna atama algoritması

---

- 1: Başlat  $I_n = 0, \forall n, P_{n,m} = 0, \forall n, m$
  - 2: **for** her kullanıcı için **do**
  - 3: Baz istasyonunu bul  $m^* = \arg \max_{\mathcal{M}} \{h_{mn}\}$  ve  $\mathcal{N}_{m^*} = \mathcal{N}_{m^*} \cup \{n\}$
  - 4: **end for**
  - 5: **while** yakınsamazsa **do**
  - 6: (3.3)'ü kullanarak hesapla  $P_{mn}$  bütün  $m \in \mathcal{M}, n \in \mathcal{N}_m$
  - 7: Bütün  $m \in \mathcal{M}$  için (3.4)'ü kullanarak hesapla  $P_m$
  - 8: (3.1)'i kullanarak yeni girişim değerlerini hesapla  $I_n(\bar{P}), \forall n \in \mathcal{N}$
  - 9: **end while**
- 

### 3.3.2 Dal-Sınır Tabanlı Optimal Çözüm Algoritması

Dal-Sınır algoritması [25], optimal çözümde, kullanıcıların atanmasında ve iletim güçlerinin bulunmasında kullanılmıştır. Bu algoritma detaylı bir arama algoritmasıdır. Olası bütün kullanıcı atamaları, bir ağacın dalları ve altdalları şeklinde oluşturulur. Bir altdalın standartaltı (suboptimal) bir çözüm olduğu garanti edilirse, bu altdal devam ettirilmez ve ana daldan kesilir.

Ağacın kökü olarak, hiçbir kullanıcı atamasının yapılmadığı durum seçilir. Daha sonra ise bu kök, 1 numaralı kullanıcıdan başlayarak, sistemde bulunan baz istasyonu sayısı kadar,  $1, 2, \dots, M$ , altdala ayrılır. Bu işlem 2 numaralı kullanıcı için de tekrar sistemde bulunan baz istasyonu sayısı kadar bir daha altdallara ayrılır.

Ağaçta bulunan  $D$  derinliğindeki bir düğüm,  $D$  sayıdaki kullanıcı sayısının baz istasyonlarına atama yapıldığını ifade eder. Düğümün devamındaki atamalar da bu düğümün altdalları şeklinde ifade edilir. Ağaçtaki her bir düğümün, güç harcamasının alt ve üst limitleri (lower ve upper bound) aşağıda belirtilmiştir:

1. Üst Limit:  $D + 1, D + 2, \dots, N$  düğümlerinin atamaları en yakın baz istasyonu atama algoritmasına göre yapılmıştır. Sonrasında ise iteratif güç optimizasyonu, Denklem (3.1) ile Denklem (3.4) arasındaki basamaklarla yapılmıştır. En son olarak da toplam güç harcaması, Denklem (3.5) ile hesaplanmıştır.
2. Alt Limit: 1 numaralı düğümden  $D$  numaralı düğüme kadar iteratif olarak

güç optimizasyonu yapılmış ve toplam güç harcaması, (3.5) numaralı denklem ile hesaplanmıştır. Daha sonrası ise her bir düğüm,  $D+1, D+2, \dots, N$ , en yakın baz istasyonuna atanmıştır. Yalnız daha sonra yapılan atamalarda, gereken iletim gücü hesaplamasında kullanıcıların hiçbir girişime maruz kalmadığı ve bütün bant genişliğini,  $W$ , kullanabildikleri varsayımları yapılmıştır.

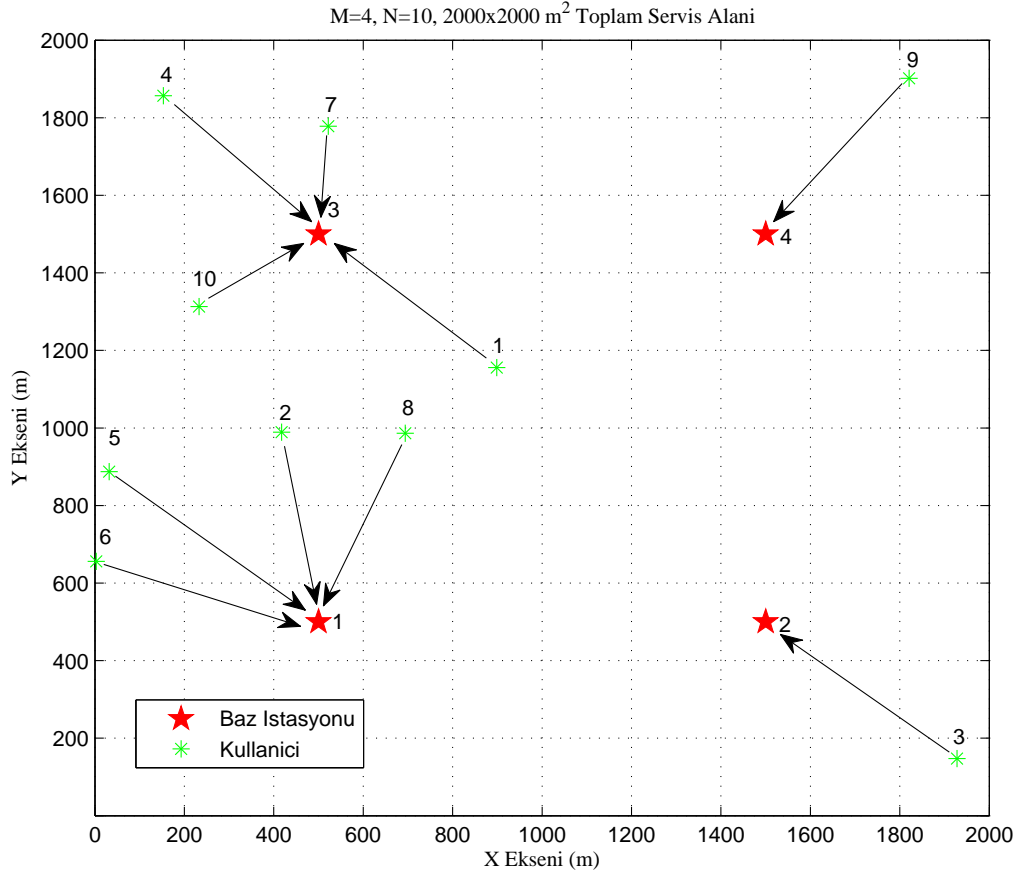
Her bir aşamada, en düşük alt limite sahip olan dal bulunur. Eğer herhangi bir dalın alt limiti, diğer dalların üst limitinden büyükse, ilk dal ağaçtan kesilir. Böylece kesilen dalın alt dalları da algoritmada yer almaz ve bu detaylı dal-sınır tabanlı algoritmanın verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

### 3.4 Simülasyon Sonuçları

Tablo 3.2’de simülasyonda kullanılan parametreler ve değerleri verilmiştir. Simülasyon parametrelerinin belirlenmesinde ITU (International Telecommunication Union) kurumunun yayımlamış olduğu ITU-R M.2135 numaralı dokümandan yararlanılmıştır[26].

Simülasyonda, hücresel haberleşme servis alanında, baz istasyonları belirli yerlere yerleştirilmişlerdir. Hizmet alacak kullanıcılar ise, hizmet alanına tekdüze dağılıma göre rastgele dağıtılmışlardır. Baz istasyonlarının ve kullanıcıların aynı konumda olduğu 20 farklı senaryoda sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de 10 numaralı senaryoda yer alan baz istasyonu ve kullanıcıların konumları, en yakın baz istasyonuna atama algoritması, fiyat tabanlı baz istasyonu anahtarlama algoritması ve optimal çözüm algoritması için sırasıyla gösterilmiştir.

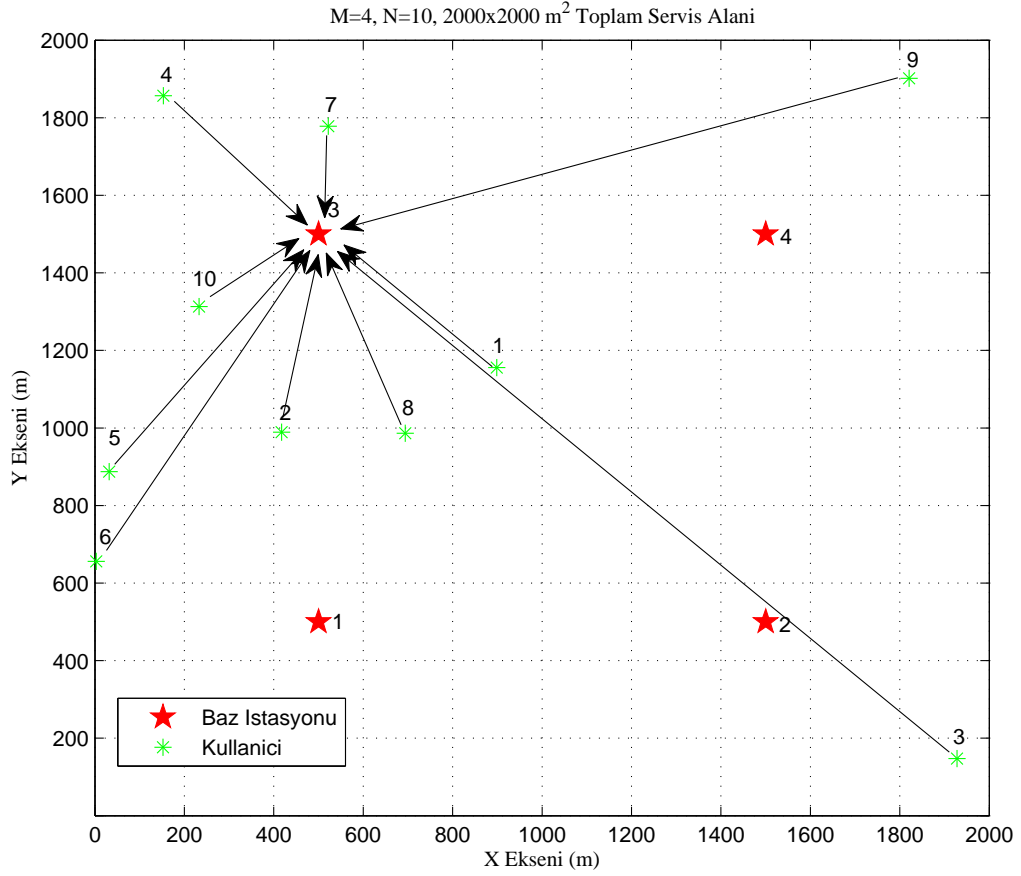
Hücresel haberleşme sisteminde yer alan bütün kullanıcıların 500 Kbps (Kilobit per second) veri hızı gereksinimleri mevcuttur. Bütün baz istasyonları, sahip oldukları 5 MHz (MegaHertz) bant genişliğini, kullanıcılar arasında zaman-paylaşımlı olarak paylaşırlar. Fiyat tabanlı baz istasyonu algoritmasında , başlangıç fiyatı  $N/P_0$  ve fiyat çarpanı olarak da  $\beta = 0.95$  şeklinde belirlenmiştir.



Şekil 3.1: 10. Baz istasyonu, kullanıcı yerleşimi senaryosu ve kullanıcıların en yakın baz istasyonuna atanması:  $M=4$  Baz istasyonu,  $N=10$  Kullanıcı,  $2000 \times 2000$  m<sup>2</sup> Toplam servis alanı.

Baz istasyonları ile kullanıcıların konumlanmasında ve yol kaybı modelinde, ITU dokümanında yer alan, Urban-Macro (UMa) hücre modeli kullanılır. Yol kaybı modeli Denklem (3.7)'de yer almaktadır.

$$\begin{aligned}
 PL \text{ [dB]} = & 161.04 - 7.1 \log_{10}(S) + 7.5 \log_{10}(h) \\
 & - (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2) \times \log_{10}(h_{BS}) \\
 & + (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS})) \times (\log_{10}(d) - 3) \\
 & + 20 \log_{10}(f_c[\text{GHz}]) - (3.2(\log_{10}(11.75h_{UT}))^2 - 4.97).
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

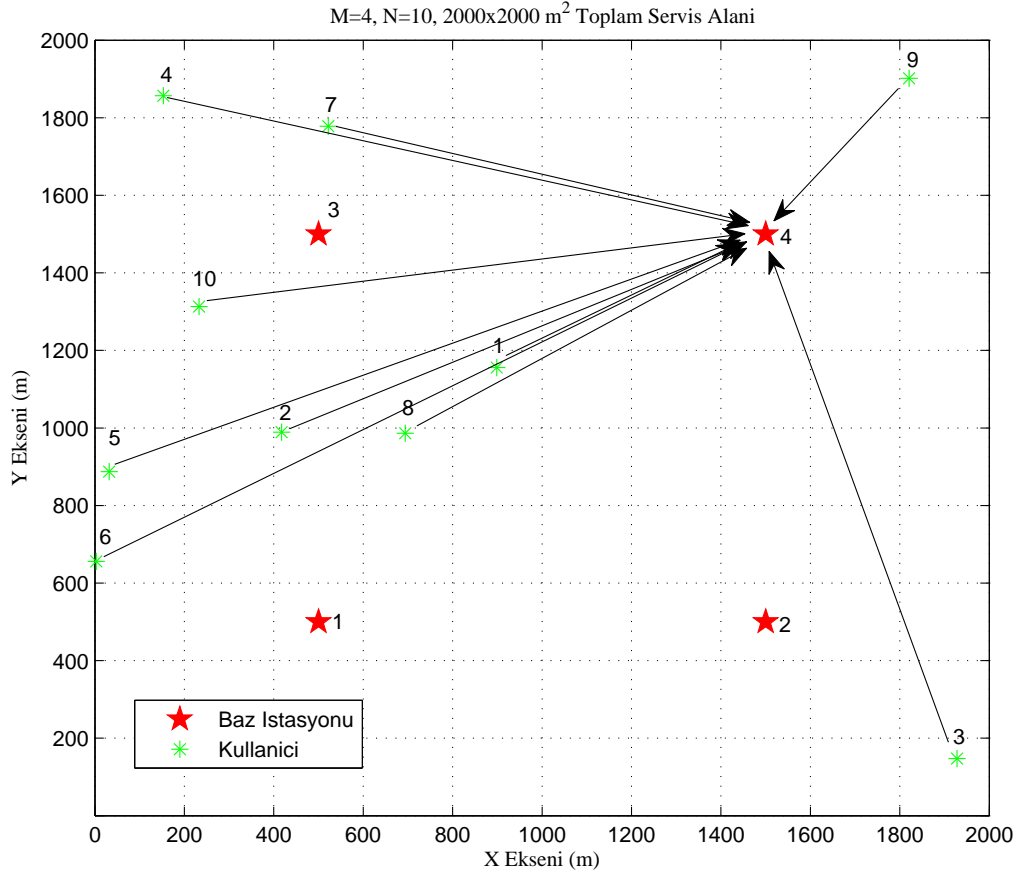


Şekil 3.2: 10. Baz istasyonu, kullanıcı yerleşimi senaryosu ve kullanıcıların fiyat tabanlı algoritmaya göre atanması:  $M=4$  Baz istasyonu,  $N=10$  Kullanıcı,  $2000 \times 2000$  m<sup>2</sup> Toplam servis alanı.

Denklem (3.7)'yi sadeleştirmek için, Tablo 3.2'de yer alan simülasyon parametreleri denklemde yerine yazılmış ve (3.7)'nin sadeleşmiş hali Denklem (3.8)'de verilmiştir.

$$PL \text{ [dB]} = 8.19 + 39.08 \log_{10}(d). \quad (3.8)$$

Sonuçlarda, fiyat tabanlı baz istasyonu anahtarlama algoritması (Algoritma 1), en yakın baz istasyonuna atama algoritması (Algoritma 2) ve dal-sınır tabanlı optimal çözüm algoritması (Algoritma 3), toplam hücrel haberleşmede



Şekil 3.3: 10. Baz istasyonu, kullanıcı yerleşimi senaryosu ve kullanıcıların optimum sonuçlara göre atanması:  $M=4$  Baz istasyonu,  $N=10$  Kullanıcı,  $2000 \times 2000 \text{ m}^2$  Toplam servis alanı.

harcanan güç bakımından karşılaştırılmıştır. Şekil 3.4'te  $M=4$  baz istasyonu,  $N=10$  kullanıcı ve  $2000 \times 2000 \text{ m}^2$ 'lik hücre sel haberleşme servis alanı içinde, algoritmalar da ki güç harcamaları 20 farklı senaryoda karşılaştırılmıştır. Sonuç lar dan da görülebileceği üzere, fiyat tabanlı baz istasyonu anahtarlama algoritması, en yakın baz istasyonuna atama algoritmasından yaklaşık olarak üç kat daha az güç harcaması yapmıştır. En yakın baz istasyonuna atama algoritmasında, kullanıcı lar a bağlanmak için harcanan ile tim gücü harcaması oldukça düşük seviyededir, yalnız toplam sistemin güç harcaması, hücre sel haberleşme servis alanında bulunan bütün baz istasyonları açık konumda olduğu için, oldukça

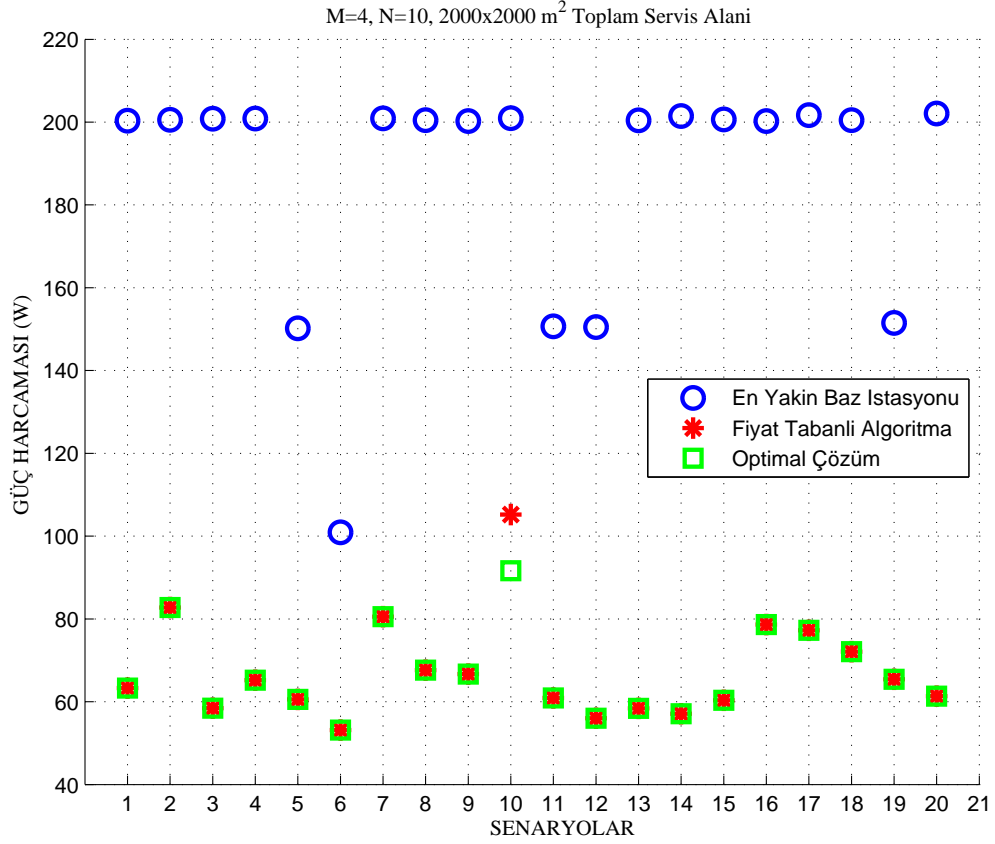
Tablo 3.2: Simülasyon Parametreleri

Parametre	Değeri
Hücrel Haberleşme Servis Alanı	Kare (1000, 2000, 4000, 8000 metre kenarlı)
Kullanıcı Sayısı	10, 20
Baz İstasyonu Sayısı	4, 9
Gürültü Seviyesi	-174 dBm/Hz
Log-normal Gölgeleme	6 dB
Cadde Genişliği ( $S$ )	20 m
Ortalama Bina Yüksekliği ( $h$ )	15 m
Baz İstasyonu Yüksekliği ( $h_{BS}$ )	25 m
Taşıyıcı Frekans ( $f_c$ )	2.5 GHz
Kullanıcı Yükseklik Konumu ( $h_{UT}$ )	1.5 m
Sabit Güç Sarfıyatı ( $P_0$ )	50 W
Veri Hızı Gereksinimi ( $R_0$ )	500 kbps

yüksektir (200 Watt). Fiyat tabanlı baz istasyonu anahtarlama algoritması, 20 farklı senaryodan 19'unda dal-sınır tabanlı optimal çözüm algoritmasıyla aynı sonuçları bulmuş, sadece 1 adet senaryoda farklı sonuç vermiştir. İki algoritmada da toplam servis alanında sadece bir adet baz istasyonunu kullanmışlardır.

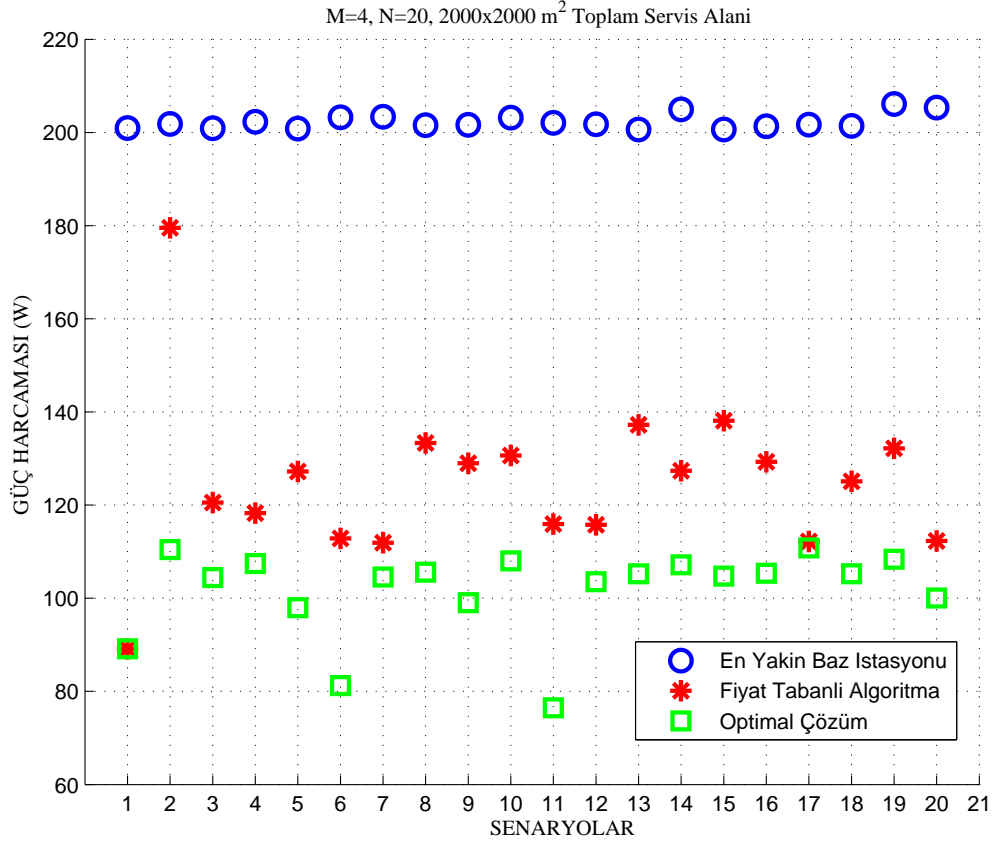
Şekil 3.5  $M=4$  baz istasyonu,  $N=20$  kullanıcı ve  $2000 \times 2000$  m<sup>2</sup> toplam servis alanı için algoritmaların güç harcamalarını göstermektedir. Şekil 3.4'yer alan simülasyon parametrelerine göre kullanıcı sayısı bakımından daha yoğun bir sistemdir. Bahsedilen parametrelere göre yapılan simülasyon sonuçlarına göre, en yakın baz istasyonuna atama algoritması, servis alanında bulunan bütün baz istasyonlarını, bütün senaryolarda kullanmaktadır. Sonuçlara göre fiyat tabanlı baz istasyonu anahtarlama algoritması, servis alanında çoğunlukla iki baz istasyonunu aktif hale getirmektedir ve yaklaşık olarak en yakın baz istasyonuna atama algoritmasının yarısı kadar güç harcaması yapmaktadır. Bazı senaryolarda fiyat tabanlı algoritma, optimal çözüme oldukça yakın sonuç vermiştir. Ortalamada, önerilen fiyat tabanlı algoritma, optimal çözüm algoritmasından yaklaşık 15% daha fazla güç harcaması yapmıştır.

Şekil 3.6  $M=4$  baz istasyonu,  $N=20$  kullanıcı ve  $8000 \times 8000$  m<sup>2</sup> toplam servis



Şekil 3.4: 20 rastgele senaryo için güç sarfıyatı:  $M=4$  Baz istasyonu,  $N=10$  Kullanıcı,  $2000 \times 2000$  m<sup>2</sup> Toplam servis alanı.

alanı için algoritmaların güç harcamalarını göstermektedir. Simülasyon parametrelerinden toplam servis alanı, Şekil 3.4'te yer alan servis alanına göre artırılmıştır. Şekil 3.6'da yer alan senaryoların hepsinde, toplam servis alanının artmasıyla birlikte, iletim gücü harcaması, sistemin toplam güç harcamasında baskın hale gelmiştir, ve daha fazla baz istasyonu aktif halde kullanılmaya başlanmıştır. Servis alanının artmasına rağmen, önerilen fiyat tabanlı baz istasyonu anahtarlama algoritması, 5 adet senaryoda optimal çözümü yakalamıştır. Bunun yanı sıra, birçok senaryoda da (6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 20), önerilen algoritma, en yakın baz istasyonuna atama algoritmasına göre, önemli ölçüde iyileştirme sağlamıştır. Ortalamada önerilen algoritma yaklaşık olarak, optimal çözüm algoritmasının 5-6% yakınlığındadır.

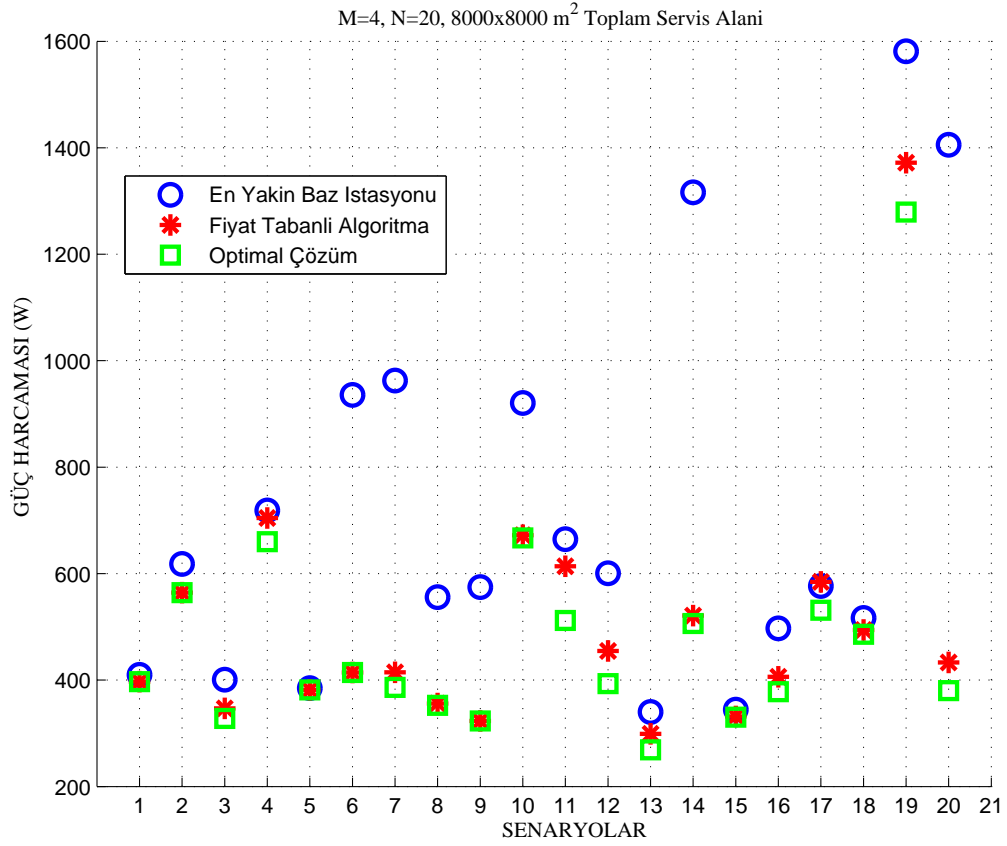


Şekil 3.5: 20 rastgele senaryo için güç sarfıyatı:  $M=4$  Baz istasyonu,  $N=20$  Kullanıcı,  $2000 \times 2000$  m<sup>2</sup> Toplam servis alanı.

Şekil 3.7’de yer alan simülasyon parametreleri, baz istasyonları, kullanıcılar ve toplam servisi alanı açısından en yoğun parametrelerdir.  $M=9$  baz istasyonu,  $N=20$  kullanıcı ve  $1000 \times 1000$  m<sup>2</sup> toplam servis alanı simülasyonlar için seçilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki, önerilen fiyat tabanlı baz istasyonu anahtarlama algoritması, servis alanında sadece bir tane baz istasyonunu aktif halde tutmaktadır ve bütün senaryolarda optimal çözümü vermektedir. En yakın baz istasyonuna atama algoritmasında ise baz istasyonlarının birçoğu açık halde tutulmakta ve bu algoritma kötü bir performans göstermektedir.

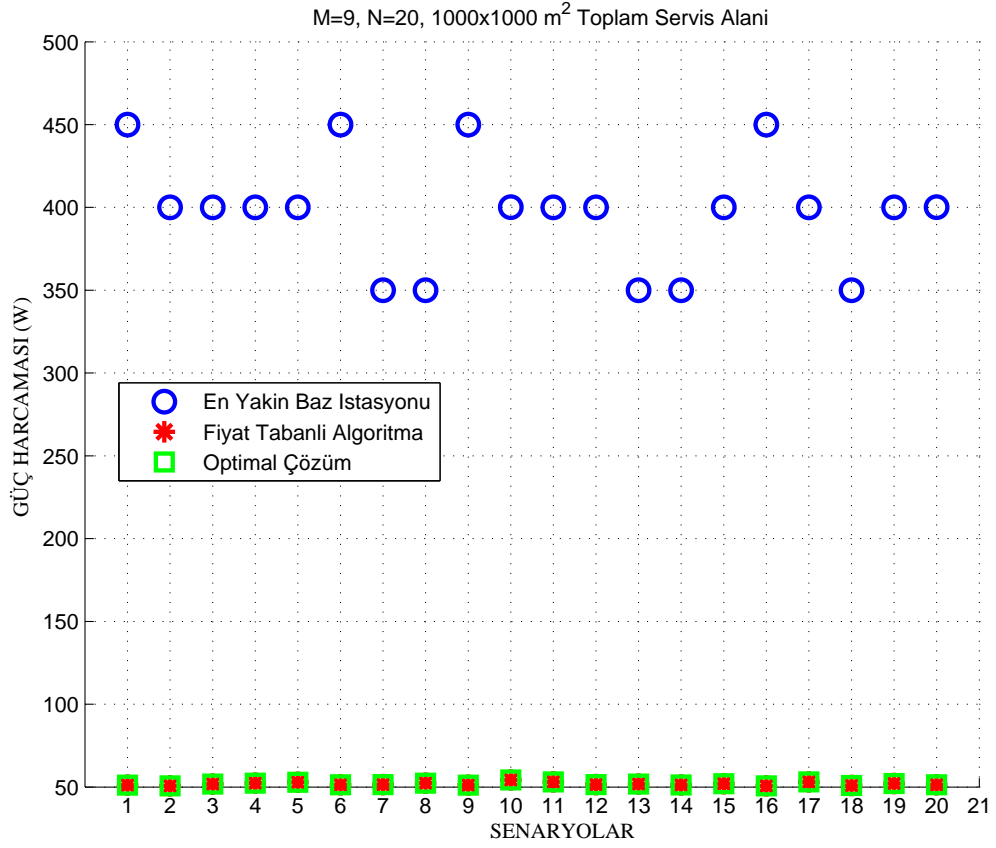
Şekil 3.8’de yer alan sonuçlar,  $M=9$  baz istasyonu,  $N=20$  kullanıcı ve  $4000 \times 4000$  m<sup>2</sup> toplam servis alanı parametrelerine göre elde edilmiştir. Şekil 3.7’de kullanılan



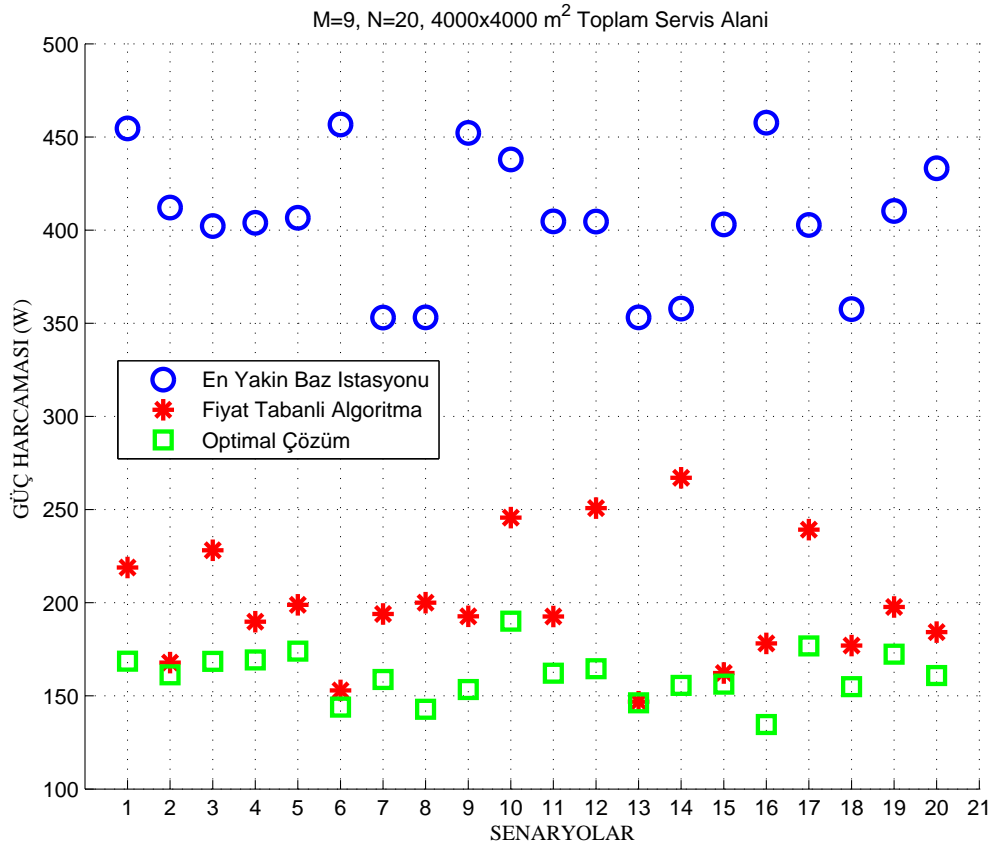


Şekil 3.6: 20 rastgele senaryo için güç sarfıyatı:  $M=4$  Baz istasyonu,  $N=20$  Kullanıcı,  $8000 \times 8000$  m<sup>2</sup> Toplam servis alanı.

simülasyon parametrelerine göre toplam servis alanı büyütülmüş durumdadır. Simülasyon sonuçları Şekil 3.5'teki simülasyon sonuçlarına göre benzerlik göstermektedir. Ortalamada, önerilen fiyat tabanlı algoritma, optimal çözümün 23% uzaklığındadır.



Şekil 3.7: 20 rastgele senaryo için güç sarfıyatı:  $M=9$  Baz istasyonu,  $N=20$  Kullanıcı,  $1000 \times 1000$  m<sup>2</sup> Toplam servis alanı.



Şekil 3.8: 20 rastgele senaryo için güç sarfıyatı:  $M=9$  Baz istasyonu,  $N=20$  Kullanıcı,  $4000 \times 4000$  m<sup>2</sup> Toplam servis alanı.

# 4. HETEROJEN HÜCRESEL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİ KULLANICI ATAMASI

## 4.1 Sistem Modeli

Sistem, heterojen hücreSEL haberleşme sistemi olarak modellenmiştir. Kullanıcılar, sistemde tekdüze dağılıma göre rastgele konumlandırılmışlardır. Heterojen ağda, bir adet makro baz istasyonu ve on adet de mikro baz istasyonu bulunmaktadır. Makro baz istasyonu (baz istasyonu 1), tipik olarak, mikro baz istasyonlarından (baz istasyonu  $j$ , öyle ki  $j \neq 1$ ) daha yüksek iletim gücüne sahiptir.

$j$  numaralı baz istasyonunun maksimum iletim gücü  $P_j$  ve  $j$  numaralı baz istasyonu ile  $i$  numaralı kullanıcı arasındaki yol kaybı da  $g_{ij}$  olsun. Modelde herhangi bir şekilde güç kontrol yöntemi uygulanmamıştır, bir diğer deyişle, baz istasyonlarının hepsi kendilerine atanan maksimum güç seviyesinde iletim yapmaktadırlar. Bu durumda baz istasyonları ya maksimum seviyede iletim yapmaktadırlar ya da tamamiyle kapatılmış durumdadırlar.

$y_j \in \{0, 1\}$  baz istasyonlarının anahtarlama indikatörüdür, burada  $y_j = 1$  ise baz istasyonu açık durumda,  $y_j = 0$  durumunda da baz istasyonu kapalıdır.  $i$  numaralı

kullanıcının  $j$  numaralı baz istasyonundan aldığı Sinyal-Gürültü+Girişim Oranı (SGGO) aşağıda Denklem 4.1’de gösterilmiştir.

$$SINR_{ij}(\mathbf{y}) = \frac{y_j P_j g_{ij}}{\sum_{k \in \mathcal{B}, k \neq j} y_k P_k g_{ik} + N_o}, \forall i \in \mathcal{U}, j \in \mathcal{B} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de yer alan  $N_o$  gürültü gücünü göstermektedir. Anahtarlama indikatörüne bağlı olarak,  $j$  numaralı baz istasyonundan  $i$  numaralı kullanıcı için ulaşılabilecek en yüksek veri hızı Shannon kapasite formülü (  $c_{ij}(\mathbf{y}) = W \log_2(1 + SINR_{ij}(\mathbf{y}))$  ) ile hesaplanmıştır. Burada  $W$  iletim yapılan bant genişliğini ifade etmektedir.

[20]’de de ifade edildiği gibi,  $x_{ij} \in 0, 1$  sistem modelinde ortaklık indikatörüdür, yani  $x_{ij} = 1$  olması durumunda,  $i$  numaralı kullanıcı  $j$  numaralı baz istasyonuna bağlanmış durumdadır.  $K_j$ ,  $j$  numaralı baz istasyonunun efektif yüküdür ve  $K_j = \sum_{k \in \mathcal{U}} x_{kj}$  şeklinde hesaplanır. Herhangi bir baz istasyonuna birden fazla kullanıcı bağlanırsa, baz istasyonun kendisine atanan bant genişliğini, bu kullanıcılar arasında zaman paylaşımli olarak kullandırır.

Verilen baz istasyonu anahtarlama indikatörleriyle,  $\mathbf{y} = \{y_j, j \in \mathcal{B}\}$ ,  $i$  numaralı kullanıcının ortalama veri hızı Denklem 4.2 ile hesaplanır.

$$R_i(\mathbf{y}) = \sum_{j \in \mathcal{B}} x_{ij} \frac{c_{ij}(\mathbf{y})}{K_j}, \forall i \in \mathcal{U} \quad (4.2)$$

Ayrıca makro baz istasyonları ile mikro baz istasyonlarının arasındaki haberleşme de kablo üzerinden yapılmaktadır. Yalnız sistem modeline bu haberleşme için harcanan zaman ve güç dahil edilmemiştir.

### 4.1.1 Güç Harcama Modeli

Baz istasyonunun güç harcaması iki kısımdan oluşmaktadır:

1. Baz istasyonunun harcadığı temel güç harcaması

2. Baz istasyonunun kullanıcılar için harcadığı iletim gücü

$P_j^T$ ,  $j$  numaralı baz istasyonunun harcadığı toplam güç olsun. [21]'de makro ve mikro baz istasyonları için güç harcama modeli önerilmiştir. Bu modele göre, baz istasyonunun bir sektöre yayın yaptığı ve bu sektör için de bir adet güç yükseltici kullanıldığı varsayılmıştır. Aşağıda Denklem 4.3'te 1 numaralı (makro baz istasyonu) baz istasyonu için güç harcama modeli verilmiştir.

$$P_1^T = \left( \frac{P_1}{\mu_{PA}} + P_{SP} \right) (1 + C_C) (1 + C_{PSBB}) \quad (4.3)$$

Denklem 4.3'te yer alan  $\mu_{PA}$ ,  $P_{SP}$ ,  $C_C$  ve  $C_{PSBB}$  ifadeleri sırasıyla, güç yükseltici verimi, sinyal işleme güç harcaması, soğutma kaybı katsayısı ve güç kaynağı kaybını göstermektedir.

Mikro baz istasyonu için güç harcama modeli statik ve dinamik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Dinamik kısım baz istasyonunun sahip olduğu aktif linklere bağlıdır (başka bir ifadeyle atanan kullanıcı sayısı). Sistem modelinde güç harcama modeli olarak sadece statik kısım kullanılmıştır. Denklem 4.4'te mikro baz istasyonu için güç harcama modeli verilmiştir.

$$P_j^T = \left( \frac{P_j}{\mu_{PA}^{micro}} + P_{SP}^{micro} \right) (1 + C_{PS}), j \in \mathcal{B}, j \neq 1 \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te yer alan  $\mu_{PA}^{micro}$ ,  $P_{SP}^{micro}$  ve  $C_{PS}$  ifadeleri sırasıyla, güç yükseltici verimi, sinyal işleme güç harcaması ve güç kaynağı kaybını göstermektedir.

Tablo 4.1'de güç harcama modelinde kullanılan parametreler ve bu parametrelerin değeri açıklanmıştır.

## 4.2 Problem Formülasyonu

Problemin amacı, toplam güç harcaması kısıtı altında, kullanıcıların veri hızları toplamının logaritmik olarak maksimize edilmesidir. Veri hızlarının logaritmik

Tablo 4.1: Makro ve Mikro baz istasyonları için güç harcama modeli parametreleri [21]

Parametre	Değeri
Makro baz istasyonu güç yükseteç verimi ( $\mu_{PA}$ )	0.38
Makro baz istasyonu sinyal işleme güç harcaması ( $P_{SP}$ )	58 Watt
Makro baz istasyonu soğutma kabini katsayısı ( $C_C$ )	0.29
Makro baz istasyonu güç kaynağı kaybı ( $C_{PSBB}$ )	0.11
Mikro baz istasyonu güç yükselteç verimi ( $\mu_{PA}^{micro}$ )	0.2
Mikro baz istasyonu sinyal işleme güç harcaması ( $P_{SP}^{micro}$ )	15 Watt
Mikro baz istasyonu güç kaynağı kaybı ( $C_{PS}^{micro}$ )	0.11

olarak maksimize edilmesiyle birlikte, kullanıcılar arasında oransal adalet sağlanmış olur. Baz istasyonu anahtarlanması ve kullanıcıların atanması problemi aşağıda 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ile formüle edilmiştir.

$$\max_{\mathbf{x}, \mathbf{y}} \sum_{i \in \mathcal{U}} \sum_{j \in \mathcal{B}} x_{ij} \log \left( \frac{c_{ij}(\mathbf{y})}{\sum_{k \in \mathcal{U}} x_{kj}} \right) \quad (4.5)$$

$$s.t. \sum_{j \in \mathcal{B}} x_{ij} = 1, \forall i \in \mathcal{U} \quad (4.6)$$

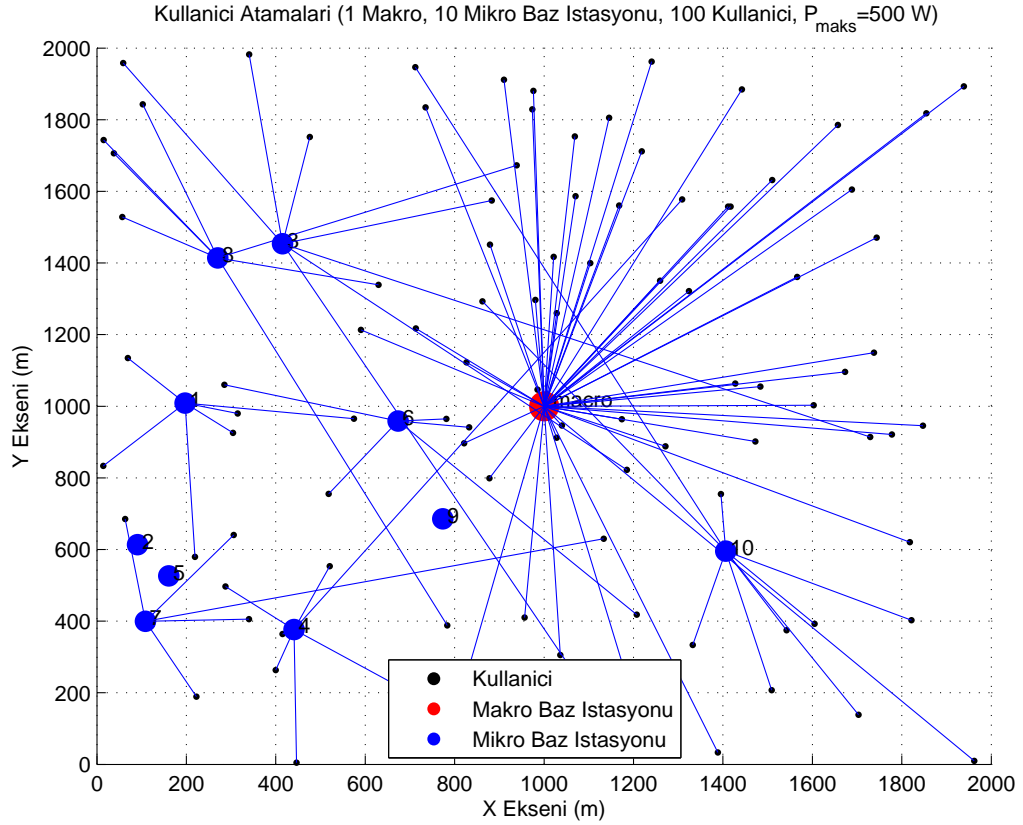
$$\sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij} \leq N y_j, \forall j \in \mathcal{B} \quad (4.7)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{B}} y_j P_j^T \leq P_{max} \quad (4.8)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\}, \forall i \in \mathcal{U}, j \in \mathcal{B} \quad (4.9)$$

(4.5) denkleminin problemi amaç fonksiyonudur. Probleminde amaç kullanıcıların veri hızı toplamının logaritmik olarak maksimize edilmesidir. (4.6) numaralı kısıt, her bir kullanıcının sadece tek baz istasyonuna bağlanabileceğini göstermektedir. Herhangi bir baz istasyonuna bağlanan kullanıcı sayısının, toplam kullanıcı sayısından fazla olamayacağı, (4.7) numaralı kısıt ile ifade edilmiştir. Ayrıca, eğer baz istasyonu anahtarlanarak kapatılmışsa (öyle ki,  $y_j = 0$ ), kapatılan baz istasyonuna bağlanan kullanıcı da olmayacaktır. (4.8) numaralı kısıt da sistemdeki toplam güç kısıtıdır.

Şekil 4.1 ve 4.2, tipik bir kullanıcı atama eşleştirmesini göstermektedir. Hücre sel haberleşme ağında, bir adet makro baz istasyonu, on adet mikro baz istasyonu ve yüz adet de kullanıcı mevcuttur. Şekil 4.1’de güç harcama kısıtı 500 Watt iken, Şekil 4.2’de güç harcama kısıtı 200 Watt’tır. Şekillerden de görülebileceği üzere, güç harcama kısıtı sıkılaştıkça, makro baz istasyonu kendini kapatmakta ve sistem yükü mikro baz istasyonlarına dağılmaktadır.

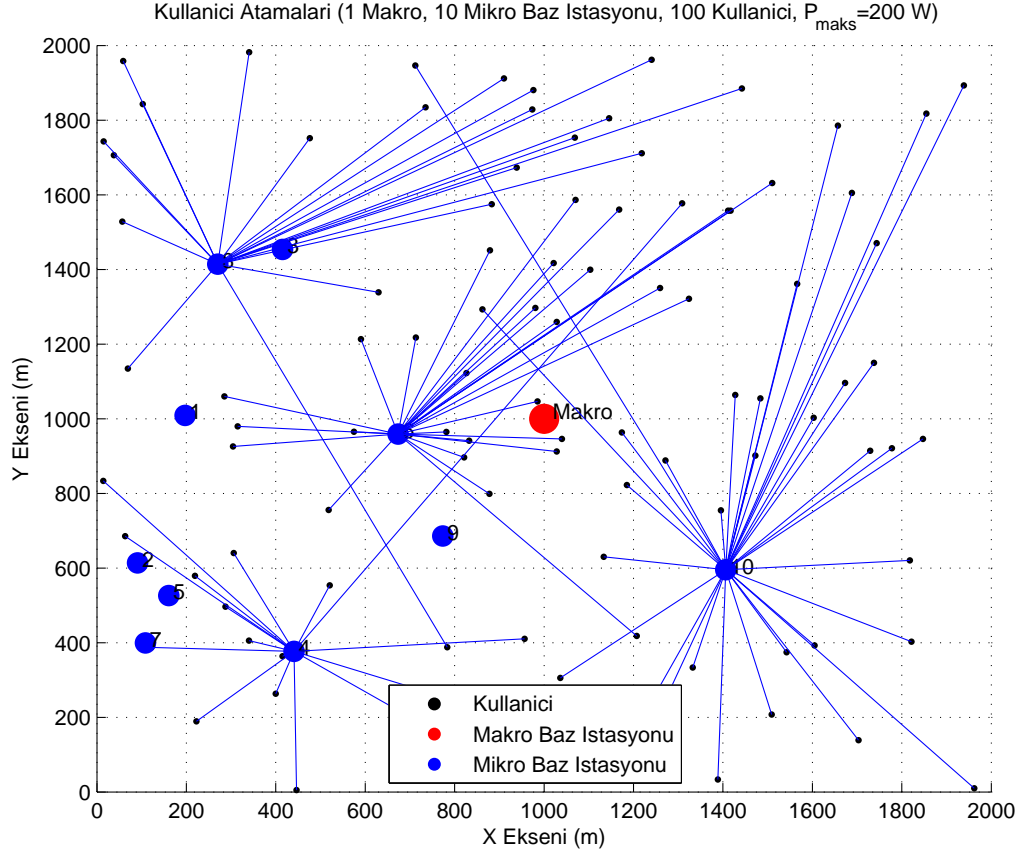


Şekil 4.1: 1 makro baz istasyonu, 10 mikro baz istasyonu, 100 kullanıcı ve  $P_{max} = 500$  Watt için tipik kullanıcı ataması

### 4.3 Optimal Çözüm

[20]’de benzer bir oransal adalet problemi, herhangi bir güç kısıtı olmadan incelenmiştir. Güç kısıtı olmadan incelenen bu problemde bütün baz istasyonları iletim





Şekil 4.2: 1 makro baz istasyonu, 10 mikro baz istasyonu, 100 kullanıcı ve  $P_{max} = 200$  Watt için tipik kullanıcı ataması

yapar halde tutularak, problem Lagrange Çift Yönlü Ayrışma Metodu (Lagrange Dual Decomposition) ile çözülebilmektedir. Yalnız, bu tezde bahsedilen güç kısıtına sahip problemde, öncelikle girişim seviyesi, sonrasında da kullanıcı veri hızları anahtarlama indikatörüne  $y_j$  bağlıdır. Güç kısıtının eklenmesiyle birlikte problem, artık konveks olmayan (non-convex) ve kombinyasyonel (combinatorial) bir problem haline gelmiştir. Eğer (4.8) numaralı güç kısıtını sağlayan, herhangi bir anahtarlama indikatörü kümesi bilinirse, problem [20]'deki haline indirgenebilir. Optimal sonucu veren anahtarlama indikatörleri, detaylı bir arama algoritması ile bulunabilir. Daha sonrasında ise, kullanıcılar, çift yönlü ayrışma metodu tabanlı bir dağıtık algoritma [20] ile baz istasyonlarına atanabilirler (Algoritma 3).

### 4.3.1 Optimal Anahtarlama İndikatörü Bulunmasında Ayrıntılı Arama: Dal-Sınır Tabanlı Optimal Çözüm

Dal-sınır algoritması [25], optimal çözümü verecek olan anahtarlama indikatörü setinin bulunmasında kullanılmıştır. Bu algoritma detaylı bir arama algoritmasıdır. Olası bütün anahtarlama indikatör setleri, bir ağacın dalları ve alt dalları şeklinde oluşturulur. Bir altdalın standartaltı bir çözüm olduğu garanti edilirse, bu altdal devam ettirilmez ve ana daldan kesilir.

Ağacın kökü olarak, bütün baz istasyonlarının kapalı olduğu durum seçilir. Daha sonra ise bu kök, 1 numaralı baz istasyonundan başlayarak 2 düğüme ayrılır. Bu düğümlerden bir tanesi baz istasyonunun açık olduğu ( $y_1 = 1$ ) durumu gösterirken, diğeri de baz istasyonunun kapalı olduğu ( $y_1 = 0$ ) durumu göstermektedir. Bu işlem 2 numaralı baz istasyonunun da açık ve kapalı durumda olduğunu gösteren 2 altdala daha ayrılır ve sistemdeki bütün baz istasyonlarını kapsayacak şekilde altdallar oluşturulur.

Ağaçta bulunan  $D$  derinliğindeki bir düğüm,  $D$  sayıda baz istasyonunun anahtarlendiğini ifade eder. Düğümün devamındaki anahtarlama da bu düğümün alt dalları şeklinde ifade edilir. Ağaçtaki her bir düğümün, veri hızı logaritmaları toplamının alt ve üst limitleri aşağıda belirtilmiştir:

1. Üst Limit:  $D + 1, D + 2, \dots, N$  düğümlerindeki baz istasyonlarının hepsi güç kısıtı olmadan açık durumdadır. Ayrıca bu baz istasyonlarının kullanıcılara herhangi bir girişim yapmadığı kabul edilmektedir. Bu varsayımlara göre, kullanıcı veri hızları ve optimal kullanıcı atamaları [20]'de yer alan dağıtık algoritmaya göre bulunmuştur.
2. Alt Limit:  $D + 1$  numaralı baz istasyonundan başlanarak, güç kısıtı ihlal edilene kadar, baz istasyonları açık konumuna getirilir. Ayrıca bu açık olan baz istasyonları kullanıcılara da girişim yapmaktadır. Bu varsayımlara göre, kullanıcı veri hızları ve optimal kullanıcı atamaları [20]'de yer alan dağıtık algoritmaya göre bulunmuştur.

Her bir aşamada, en yüksek üst limite sahip olan dal bulunur. Eğer herhangi bir

dalın alt limiti, diğer dalların üst limitinden büyükse, ikinci dal ağaçtan kesilir. Böylece standartlı olan dalın kesilen dalın alt dalları da algorithmada yer almaz ve bu durum detaylı dal-sınır tabanlı algoritmanın verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

### 4.3.2 Anahtarlama İndikatörüyle Yapılan Kullanıcı Ataması: Çift Yönlü Ayrışma Metodu

[20]'de Lagrange çift yönlü ayrışma metodu tabanlı dağıtık, uygulanabilir bir algoritma verilmiştir. Aynı algoritma, açık olan baz istasyonları seti bilindiği takdirde, optimal kullanıcı atamasını bulabilmek için burada da uygulanabilir. Aşağıda yer alan denklem sisteminde, bütünlük olması açısından, baz istasyonu yükü olan  $\sum_{k \in \mathcal{U}} x_{kj}$  parametresi,  $K_j$  parametresi ile yer değiştirilmiştir.

$$\max_{\mathbf{x}, \mathbf{y}} \sum_{i \in \mathcal{U}} \sum_{j \in \mathcal{B}} x_{ij} \log(c_{ij}(\mathbf{y})) - \sum_{j \in \mathcal{B}} K_j \log(K_j) \quad (4.10)$$

$$s.t. \sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij} \leq K_j, \forall j \in \mathcal{B} \quad (4.11)$$

$$K_j \leq N y_j, \forall j \in \mathcal{B} \quad (4.12)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{B}} x_{ij} = 1, \forall i \in \mathcal{U} \quad (4.13)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\}, \forall i \in \mathcal{U}, j \in \mathcal{B} \quad (4.14)$$

(4.14) numaralı denklem göstermektedir ki,  $y_j$  ve  $x_{ij}$  0 veya 1 değerlerini alan tamsayılardır.  $i$  numaralı düğüm için  $x_{ij}$  sadece bir  $j$  (öyle ki  $j \in \mathcal{B}$ ) için bir değerini alabilir, diğer  $j$ 'ler için bu değer sıfırdır (Denklem (4.13)). Amaç fonksiyonu olan (4.10), (4.11) ve (4.12) numaralı kısıtlarla değerlendirildiğinde yeni durum, Denklem (4.15)'te görülebilir.

$$\mathcal{L}(\mathbf{x}, \mathbf{K}, \mu) = \sum_i \sum_j x_{ij} \log(c_{ij}(\mathbf{y})) - \sum_j K_j \log(K_j) + \sum_j \mu_j (K_j - \sum_i x_{ij}) \quad (4.15)$$

Denklem (4.15)'te yer alan ifadede,  $x_{ij}$  ile ilgili olan kısım ayrıştırılabilir. Aşağıda, Denklem (4.16)'da  $x_{ij}$ ,  $K_j$  ve  $y_j$  ile ilgili olan kısımlar ayrıştırılmıştır.

$$\mathcal{L}(\mathbf{x}, \mathbf{K}, \mu) = \sum_i \sum_j x_{ij} (\log(c_{ij}(1) - \mu_j)) + \sum_j K_j (\mu_j - \log(K_j)) \quad (4.16)$$

Denklem (4.16)'da yapılan işlem ile problem, ikili  $x_{ij}$  ve  $y_j$  tamsayı kısıtlar altında, maksimize problemine dönüşmüştür. Ayrıştırma özelliğine göre, optimizasyon  $x_{ij}$  ve  $K_j$  değişkenleriyle dağıtık bir biçimde yapılabilir hale gelmiştir.

Denklem (4.16)'da yer alan maksimizasyon süreci, Algoritma 3'te açıklanmıştır. Anahtarlama indikatörlü tabanlı bu algorithmada, SGGO ve kullanıcı veri hızları her bir bağlantı için hesaplanır. Daha sonra ise optimizasyon, iteratif bir şekilde, kullanıcılar (satır 5-8) ve baz istasyonları (satır 9-12) arasında yakınsayana kadar devam eder.

---

**Algoritma 3** : Dağıtık Algoritma [20]

---

- 1: Verilen  $y_j, \forall j \in \mathcal{B}$  değerlerine göre, Hesapla  $SINR_{ij}(\mathbf{y})$  ve  $c_{ij}(\mathbf{y}), \forall i \in \mathcal{B}, j \in \mathcal{U}$
  - 2: Ayarla  $t = 1$  ve başlat  $\mu_j(1), \forall j \in \mathcal{B}$ ,
  - 3: **while**  $\delta(t) > \epsilon$  **do**
  - 4:   Ayarla  $\delta(t) = \frac{1}{t^2}$   
       **Kullanıcı tarafı:**
  - 5:   **for** Bütün  $i \in \mathcal{U}$  **do**
  - 6:     Bul  $j^* = \arg \max_{j \in \mathcal{B}} (\log(c_{ij}(\mathbf{y})) - \mu_j(t))$
  - 7:     Ayarla  $x_{ij^*}(t+1) = 1$ , ve  $x_{ij}(t+1) = 0, \forall j \neq j^*$
  - 8:   **end for**  
       **Baz istasyonu tarafı:**
  - 9:   **for** Herbir  $j \in \mathcal{B}$  **do**
  - 10:     Ayarla  $K_j(t+1) = \min(N, e^{\mu_j(t)-1})$
  - 11:     Ayarla  $\mu_j(t+1) = \mu_j(t) - \delta(t) (K_j(t) - \sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij}(t))$
  - 12:   **end for**
  - 13:    $t = t + 1$
  - 14: **end while**
-

## 4.4 Önerilen Kullanıcı Atama Algoritması

Açık olacak baz istasyon setini belirleyen optimalaltı açgözlü bir algoritma önerilmiştir. Algoritma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada bütün baz istasyonlar açık durumdadır ve bütün kullanıcılar bütün baz istasyonlarına bağlanmışlardır ( $y_j = 1, x_{ij} = 1, \forall i, j$ ). Bütün kullanıcıların tüm baz istasyonlarına bağlanması, baz istasyonlarının zaman-paylaşımlı tabanlı çalışması sayesinde.

Kullanıcılar baz istasyonlarına bağlandıktan sonra, her bir baz istasyonun sağladığı veri hızı ( $R_j$ ) hesaplanır (Satır 3). Bütün baz istasyonlarının sağladıkları veri hızları karşılaştırıldıktan sonra, en düşük veri hızını sağlayan baz istasyonu seçilir ve kapatılır. Bu işlem problemdeki güç kısıtı sağlanan kadar devam eder (Satır 4-8).

Algoritmanın ikinci aşaması ise birinci aşama ile benzerlik göstermektedir. İkinci aşamada, birinciden farklı olarak, algoritmanın başında makro baz istasyonu kapalı olarak ayarlanmaktadır. Daha sonrasında ise birinci aşama ile aynı akış şeması takip edilmektedir (Satır 10-16). Son olarak iki aşamanın sağladığı veri hızlarının logaritmik toplamları karşılaştırılmakta ve yüksek veri hızı sağlayan açık baz istasyonu seti seçilmektedir.

Makro baz istasyonunun, algoritmanın başında kapatılmasının sebebi, daha yüksek veri hızı sağlamasına rağmen, daha fazla güç tüketimine sahip olmasıdır. İki aşama arasındaki bu farklılık sayesinde en fazla güç harcaması yapan baz istasyonunun açık ve kapalı durumdaki veri hızı karşılaştırılması rahatlıkla yapılabilmektedir. Sıkı bir güç harcaması kısıtı altında, makro baz istasyonu açılmamaktadır ve bu durum daha fazla mikro baz istasyonunun açılmasına olanak sağlamaktadır. Daha fazla mikro baz istasyonunun açıldığı durumlarda da veri hızı iyileşmesi görülebilmektedir.

---

**Algoritma 4** : Önerilen Algoritma

---

- 1: İlk Aşama: Ayarla  $y_j = 1, \forall j \in \mathcal{B}, x_{ij} = 1, \forall i \in \mathcal{B}, j \in \mathcal{U}$ ,
  - 2: Hesapla  $SINR_{ij}(\mathbf{y})$  ve  $c_{ij}(\mathbf{y}), \forall i \in \mathcal{B}, j \in \mathcal{U}$
  - 3: Tanımla  $R_j^B = \sum_{i \in \mathcal{U}} c_{ij}$
  - 4: **while**  $\sum_{j \in \mathcal{B}} y_j P_j^T > P_{max}$  **do**
  - 5:   Bul  $j^* = \arg \min_{j \in \mathcal{B}} R_j^B$
  - 6:   Ayarla  $y_{j^*} = 0$
  - 7:   Hesapla  $SINR_{ij}(\mathbf{y})$  ve  $c_{ij}(\mathbf{y}), \forall i \in \mathcal{B}, j \in \mathcal{U}$
  - 8: **end while**
  - 9: İkinci Aşama: Ayarla  $y'_j = 1, \forall j \in \mathcal{B}, x_{ij} = 1, \forall i \in \mathcal{B}, j \in \mathcal{U}$ ,
  - 10: Hesapla  $SINR'_{ij}(\mathbf{y}')$  ve  $c'_{ij}(\mathbf{y}'), \forall i \in \mathcal{B}, j \in \mathcal{U}$
  - 11: Tanımla  $R_j^{B'} = \sum_{i \in \mathcal{U}} c'_{ij}$
  - 12: **while**  $\sum_{j \in \mathcal{B}} y'_j P_j^T > P_{max}$  **do**
  - 13:   Bul  $j^* = \arg \min_{j \in \mathcal{B}} R_j^{B'}$
  - 14:   Ayarla  $y'_{j^*} = 0$
  - 15:   Ayarla  $SINR'_{ij}(\mathbf{y}')$  ve  $c'_{ij}(\mathbf{y}'), \forall i \in \mathcal{B}, j \in \mathcal{U}$
  - 16: **end while**
  - 17: **if**  $\sum_i \log(R_i(\mathbf{y}')) > \sum_i \log(R_i(\mathbf{y}))$  **then**
  - 18:    $\mathbf{y} = \mathbf{y}'$
  - 19: **else**
  - 20:    $\mathbf{y} = \mathbf{y}$
  - 21: **end if**
  - 22: Kullanıcı atamaları  $x_{ij}$  bulmak için Algoritma 3'ü kullan
- 

#### 4.4.1 Karşılaştırma Algoritması: Maksimum Sinyal-Gürültü+Girişim Oranı(SGGO)

Önerilen dağıtık algoritmanın karşılaştırılması amacıyla, optimal çözümün yanı sıra, bir tane de karşılaştırma algoritması geliştirilmiştir (Algoritma 5). Algoritma, bütün baz istasyonlarının açılmasıyla başlar. Sonrasında her kullanıcı, en yüksek SGGO gördüğü baz istasyonuna bağlanır (Satır 2-7). Toplam güç kısıtı ihlal edilmeden önceki son aşamaya kadar, en düşük yüke sahip olan baz istasyonu kapatılır.

---

**Algoritma 5** Maks-SGGO Algoritması

---

```
1: Başlat  $y_j = 1, \forall j \in \mathcal{B}$ 
2: while yakınsamazsa do
3:   Hesapla  $SINR_{ij}(\mathbf{y})$  ve  $c_{ij}(\mathbf{y}), \forall i \in \mathcal{B}, j \in \mathcal{U}$ 
4:   for Bütün  $i \in \mathcal{U}$  do
5:     Bul  $j^* = \arg \max_{j \in \mathcal{B}}(c_{ij}(\mathbf{y}))$ 
6:     Ayarla  $x_{ij^*} = 1$ , ve  $x_{ij} = 0, \forall j \neq j^*$ 
7:   end for
8:   Hesapla  $K_j = \sum_{i \in \mathcal{B}}(x_{ij}), \forall j \in \mathcal{B}$ 
9:   Ayarla  $y_j = 1$  eğer  $K_j > 0$ , değilse  $y_j = 0, \forall j \in \mathcal{B}$ 
10:  if  $\sum_{j \in \mathcal{B}} y_j P_j^T < P_{max}$  then
11:    yakınsarsa
12:  else
13:    Bul  $j^* = \arg \min_{j \in \mathcal{B}, K_j > 0}(K_j)$ 
14:     $y_{j^*} = 0$ 
15:  end if
16: end while
```

---

## 4.5 Simülasyon Sonuçları

Performans analizinde, toplam hüresel haberleşme alanı 2 farklı büyüklük ( $5000 \times 5000m^2$  ve  $2000 \times 2000m^2$ ) ve maksimum güç harcaması kısıtı 3 farklı güç seviyesinde (400, 300 ve 200 Watt) alınarak, altı farklı durum incelenmiştir. Böylelikle hem aynı hizmet alanına sahip farklı güç kısıtları altındaki durumlar incelenebilecek, hem de aynı güç kısıtı altında farklı hizmet alanına sahip ağlar karşılaştırılabilecektir. Her durumda, 20 rastgele ve farklı konum yerleştirmeleri yapılmıştır. Performance kriteri olarak oransal adalet kullanılmıştır (kullanıcıların elde ettikleri veri hızlarının logaritmik toplamı). Simülasyon parametreleri Tablo 4.2’de listelenmiştir[22], [23]. Performans analizi için 3 farklı algoritma karşılaştırılmıştır:

1. Optimal Çözüm
2. Önerilen Kullanıcı Atama Algoritması
3. Karşılaştırma Algoritması: Maksimum Sinyal-Gürültü+Girişim Algoritması

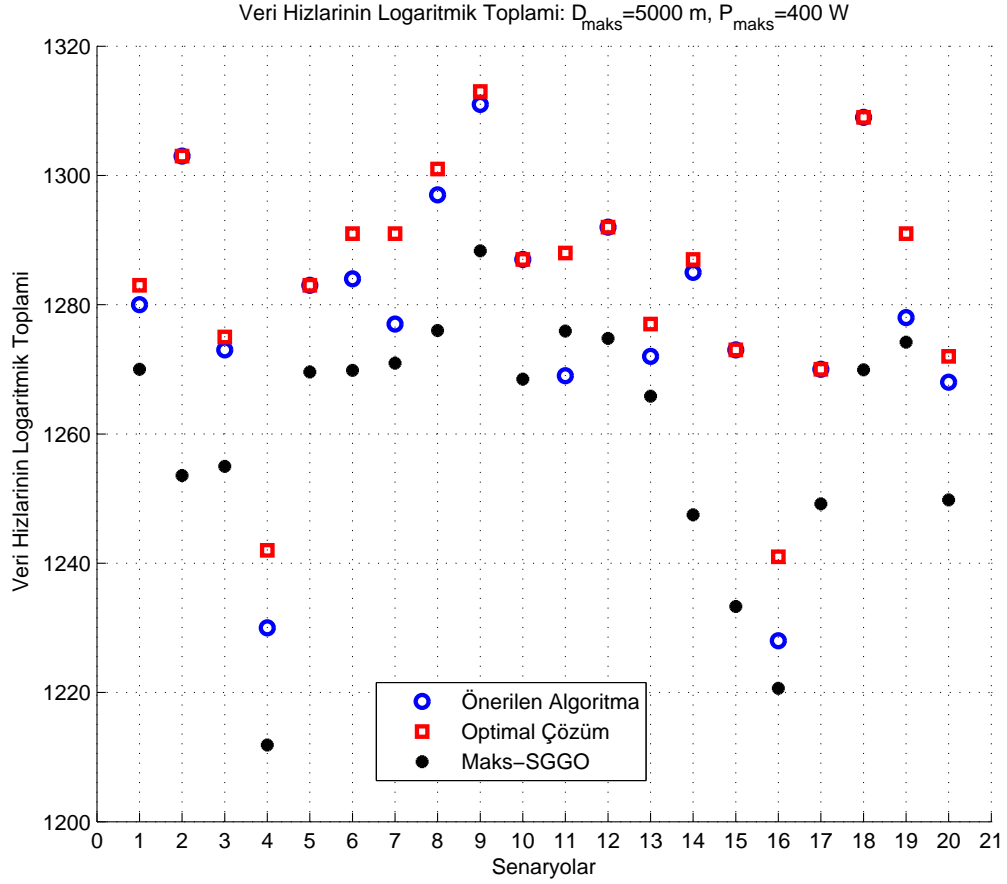
Tablo 4.2: Notasyon Listesi

Parametre	Değeri
Kullanıcı Sayısı	$N = 100$
Makro Baz İstasyonu Sayısı	$N_1 = 1$
Mikro Baz İstasyonu Sayısı	$N_2 = 10$
Hücrel Haberleşme Servis Alanı	Kare $D = 2000, 5000$ m
Gürültü Güç Seviyesi	$-104\text{dBm}$
Bant Genişliği	$W = 10\text{MHz}$
Taşıyıcı Frekans	$f_c = 1.9$ GHz
Makro Baz İstasyonu İletim Gücü	$P_1 = 40$ W
Mikro Baz İstasyonu İletim Gücü	$P_j = 5$ W
Makro Baz İstasyonu Toplam Gücü	$P_1^T = 158.4$ W
Mikro Baz İstasyonu Toplam Gücü	$P_j^T = 44.4$ W
Makro Baz İstasyonu Yol Kaybı	$31.5 + 35 \times \log_{10}(d)$
Mikro Baz İstasyonu Görüş Hattı Harici Yol Kaybı	$34.53 + 38 \times \log_{10}(d)$
Mikro Baz İstasyonu Görüş Hattı Yol Kaybı	$30.18 + 26 \times \log_{10}(d)$
Mikro Baz İstasyonu Görüş Hattı Olasılığı	$\min(\frac{18}{d}, 1)[1 - e^{-\frac{d}{36}}] + e^{-\frac{d}{36}}$

Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5'te aynı hücrel haberleşme servis alanına ( $5000 \times 5000\text{m}^2$ ) ve farklı toplam güç harcama kısıtlarına sahip topolojiler karşılaştırılmıştır. İlk bakışta çok farklı sonuçlar gibi gözükme de, oransal adalet kullanıcıların veri hızlarının *logaritmasını* içerdiğinden dolayı, simülasyon sonuçları arasındaki küçük bir fark bile önem kazanmaktadır. Beklenildiği üzere, toplam güç harcaması kısıtı arttığında kullanıcıların veri hızlarının logaritmik toplamı da artmaktadır.

$P_{max} = 400\text{Watt}$  durumunda, önerilen algoritma 20 farklı senaryonun 7 tanesinde tam olarak optimal çözümü bulmuştur. Aynı şekilde 20 farklı senaryonun 19 tanesinde ise, önerilen algoritma karşılaştırma algoritmasından daha iyi sonuç vermiştir. Toplam güç harcama kısıtı  $P_{max} = 300\text{Watt}$  haline getirildiğinde, önerilen algoritma bu sefer 20 farklı senaryonun 3 tanesinde optimal çözümü yakalamıştır ve 16 tanesinde ise karşılaştırma algoritmasından daha iyi sonuç vermiştir. Güç harcama kısıtı en düşük durum olan  $P_{max} = 200\text{Watt}$ 'a çekildiğinde bir önceki duruma göre optimal çözümü bulmada daha iyi performans

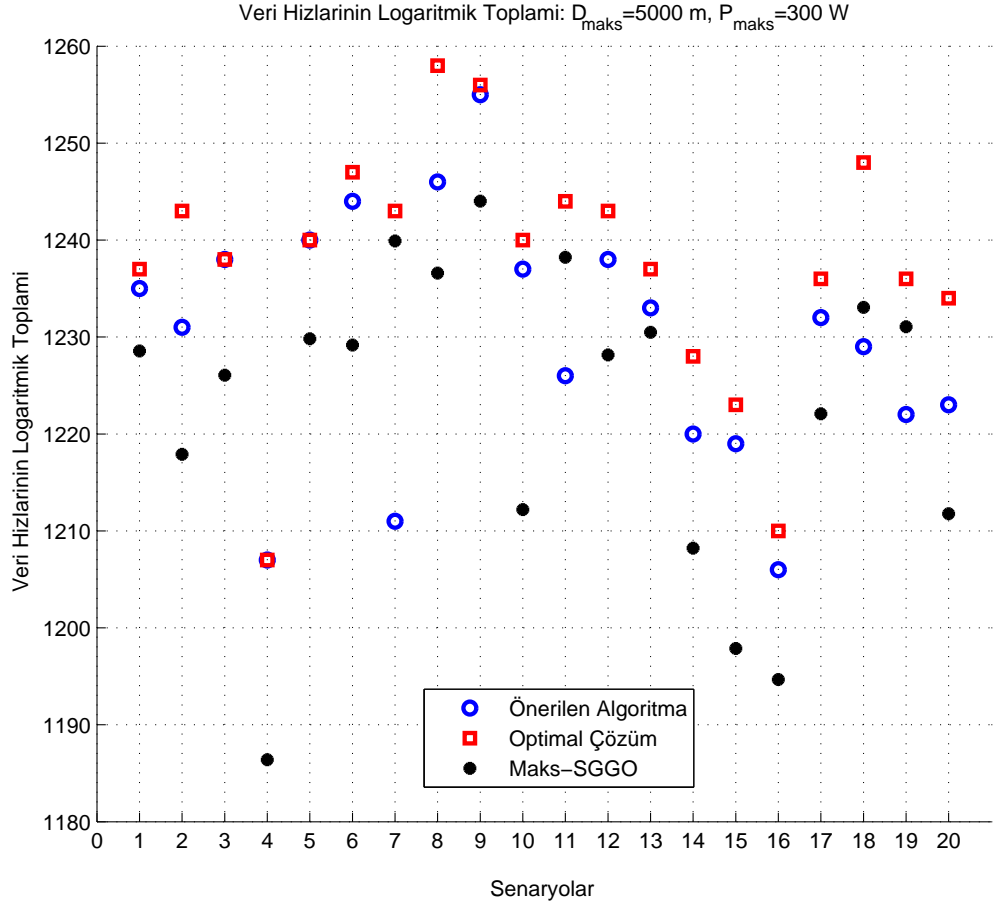




Şekil 4.3: Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı,  $D_{max} = 5000$  metre ve  $P_{max} = 400$  Watt.

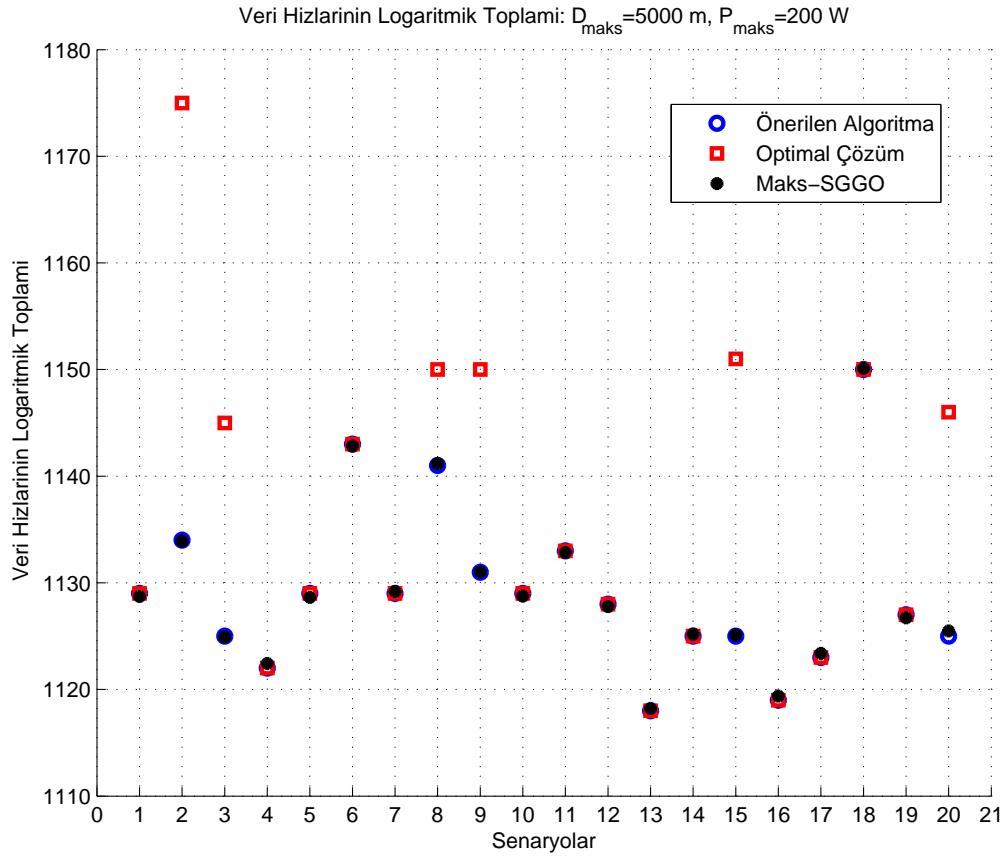
sergilemiş (14/20), aynı zamandan karşılaştırma algoritmasıyla aynı sonuçları paylaşmaktadır.

Aynı güç kısıtları altında bu sefer hücre sel haberleşme servis alanı  $2000 \times 2000m^2$  yapılarak daha yoğun bir ağ denenmiştir. Güç harcama kısıtı en yüksek durumdayken ( $P_{max} = 400$ ), önerilen algoritma verimi yüksek bir sonuç vermiş, 20 farklı senaryonun 17 tanesinde optimal çözümü yakalamıştır. Bunun yanı sıra, senaryoların 19 tanesinde de karşılaştırma algoritmasından daha iyi sonuç vermiştir.  $P_{max} = 300Watt$ 'ta ise önerilen algoritma senaryoların hepsinde karşılaştırma algoritmasından daha iyi sonuç verirken, 8 tanesinde ise optimal

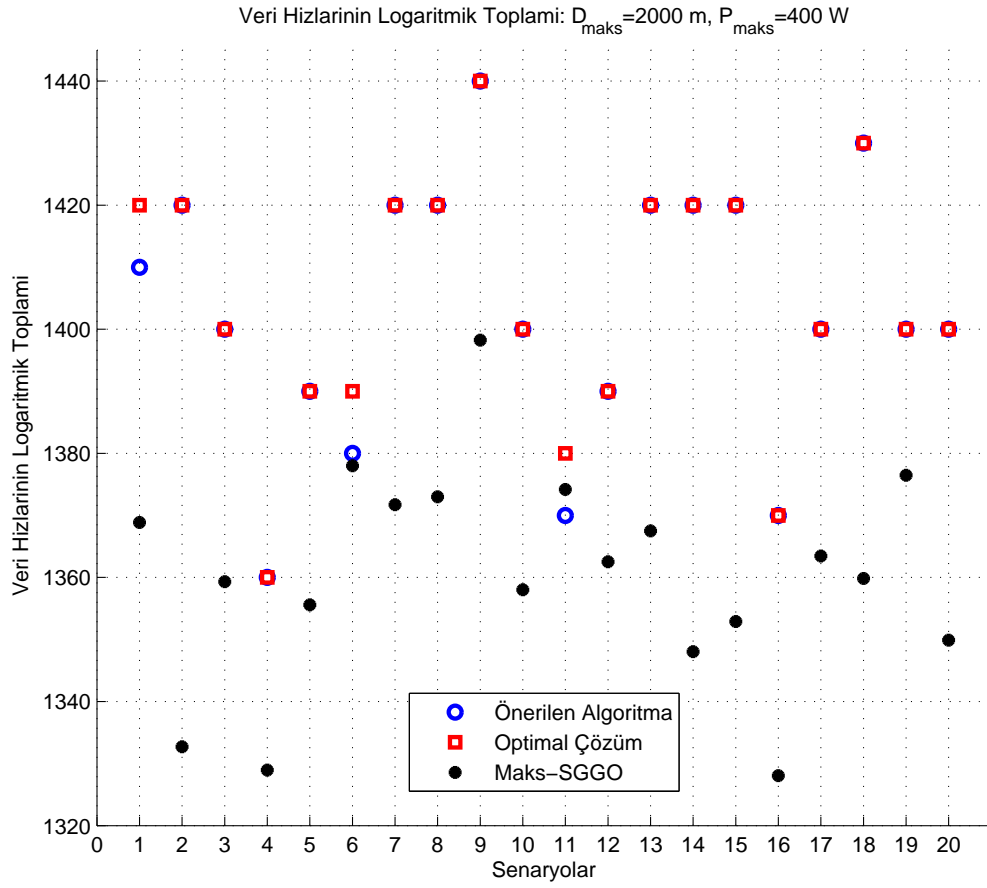


Şekil 4.4: Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı,  $D_{max} = 5000$  metre ve  $P_{max} = 300$  Watt.

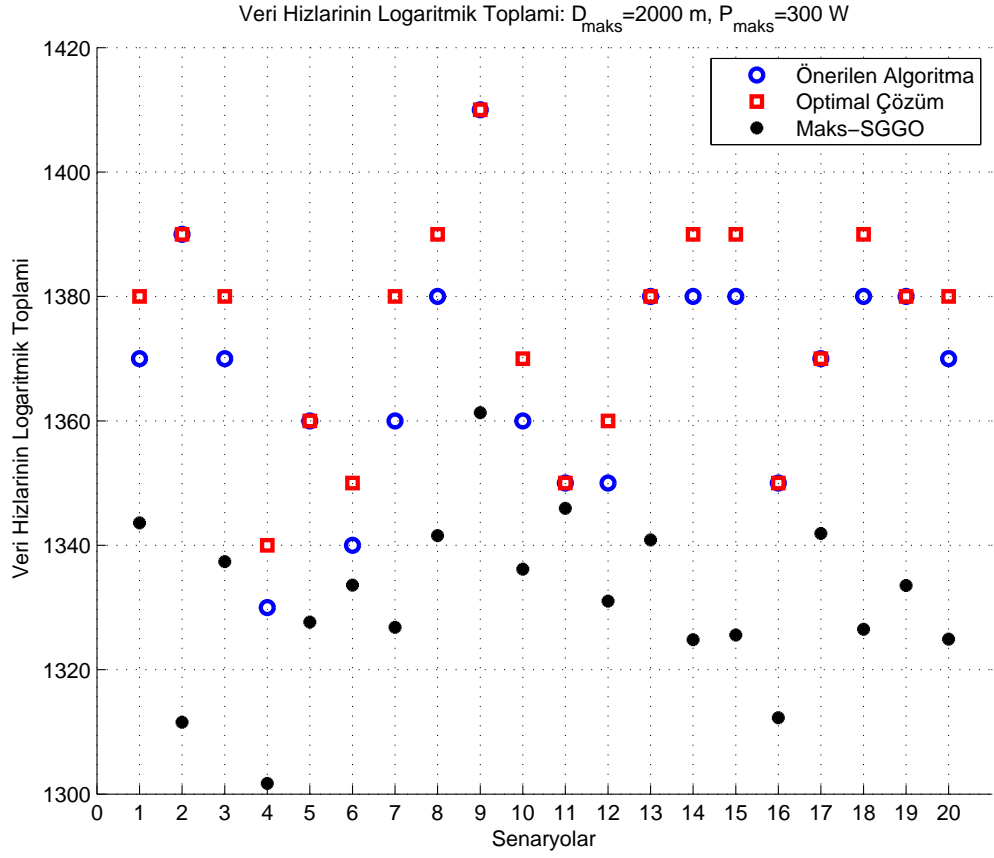
çözüm performansı ile aynı sonuçlara sahiptir. Güç harcama kısıtı en düşük değer olan  $P_{max} = 200$  Watt değerindeyken, önerilen algoritma sonuçları yine senaryoların 8 tanesinde optimal çözümün sonuçları ile aynıdır. 19 tane senaryoda ise karşılaştırma algoritmasından daha iyi sonuç vermiştir.



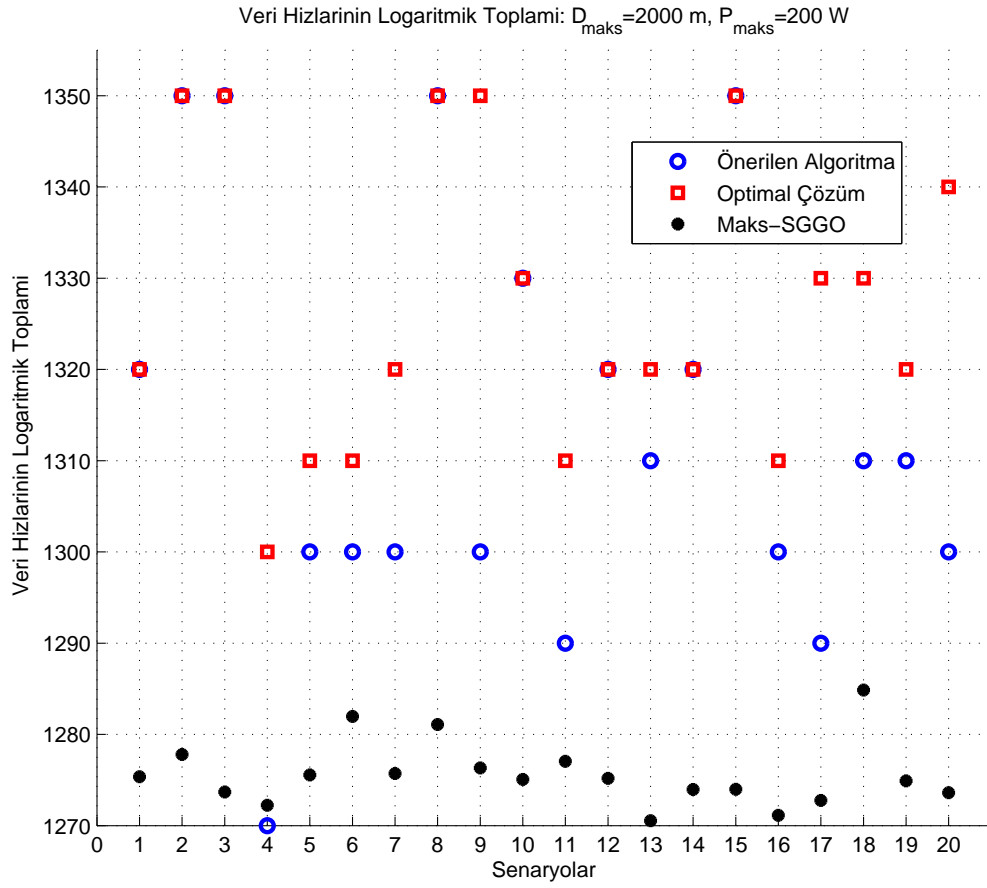
Şekil 4.5: Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı,  $D_{maks} = 5000$  metre ve  $P_{maks} = 200$  Watt



Şekil 4.6: Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı,  $D_{max} = 2000$  metre ve  $P_{max} = 400$  Watt.



Şekil 4.7: Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı,  $D_{maks} = 2000$  metre ve  $P_{maks} = 300$  Watt.



Şekil 4.8: Kullanıcı veri hızlarının logaritmik toplamı,  $D_{max} = 2000$  metre ve  $P_{max} = 200$  Watt.

## 5. SONUÇLAR

Bu tezde, hücresele haberleşme ağlarında güç harcaması bakımından çok yüksek orana sahip olan bazı istasyonlarının, önerilen anahtarlama algoritmalarıyla optimale yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bunun yanı sıra, önerilen algoritmaların, oluşturulan karşılaştırma algoritmalarından daha iyi sonuçlar gösterdiği simülasyon sonuçlarında bahsedilmiştir. Tez çalışmasının birinci bölümü uluslararası hakemli bir konferansa kabul edilmiştir[27]. İkinci bölümü ise uluslararası hakemli bir konferansa gönderilmek üzere hazırlanmıştır. Tezde yer alan iki ayrı çalışmanın sonuçları aşağıda ayrı bölümlerde açıklanmıştır.

### 5.1 Yeşil Hücresele Haberleşmede Fiyat Tabanlı Baz İstasyonu Anahtarlama Algoritması

Bu çalışmada enerji verimli bir şekilde kullanıcı ataması hücresele haberleşme ağlarında çalışılmıştır. Ağda bulunan bazı baz istasyonları, baz istasyonlarının sahip olduğu sabit güç harcamasından kaçınmak ve toplam güç harcamasını azaltabilmek için kapatılmıştır. Fiyat tabanlı iteratif bir algoritma önerilmiş ve burada fiyat bütün kullanıcılar baz istasyonlarına bağlanana dek adım adım azaltılmıştır.

Simülasyon sonuçlarına bakıldığında yoğun ağlarda (kullanıcı sayısı ile baz istasyonu sayısının fazlalığı ve servis alanının küçüklüğü), önerilen algoritma optimal çözüme (dal-sınır tabanlı) çok yakın veya tam sonuçlar vermiş ve ortalamada optimale yaklaşık olarak %5 yakınlığında çıkmıştır. Ters durumlarda ise (yoğun

olmayan ağılarda), önerilen algoritma, optimal çözümü, ortalamada 20-25% yakınlığında çözüm üretebilmiştir. Sonuç olarak, bütün senaryolarda, önerilen algoritma, karşılaştırma algoritmalarından olan en yakın baz istasyonuna atama algoritmasına göre çok daha yüksek seviyede güç tasarrufu sağlayabilmiştir.

## 5.2 Heterojen Hücreli Haberleşme Sistemlerinde Enerji Verimli Kullanıcı Ataması

Bu çalışmada, makro ve mikro baz istasyonları içeren bir hücreli haberleşme ağına, optimal baz istasyonu anahtarlaması ve kullanıcı atama problemi işlenmiştir. Problemin amacı, kullanıcılar arasında oransal adaleti, toplam baz istasyonu güç harcama kısıtı altında sağlamaktır. Optimal çözüm, iletim yapan baz istasyonu setini Lagrange çift yönlü ayrışma yöntemiyle birlikte kullanıcı atamalarını içermektedir. Karşılaştırma algoritması ise maksimum sinyal-gürültü+girişim oranına göre kullanıcıları baz istasyonlarına atamaktadır.

Önerilen algoritma açgözlü bir algoritmadır. Simülasyon sonuçları göstermektedir ki, yoğun ağılarda (düşük  $D_{max}$  değerine sahip olanlar), önerilen algoritma birçok senaryoda optimal çözümü yakalamaktadır. Ayrıca işlem süresi, optimal çözümün işlem süresine göre çok daha düşüktür ki bu durum algoritmayı gerçek hayata uyarlanabilir kılmaktadır. Daha geniş ağılarda ise (yüksek  $D_{max}$  değerine sahip olanlar), önerilen algoritma optimale yakın sonuçlar verirken, maksimum sinyal-gürültü+girişim oranına göre kullanıcı ataması yapan karşılaştırma algoritması da iyi sonuçlar vermektedir. Özetle, önerilen algoritma ortalamada, birçok senaryoda ve çok daha kısa sürelerde optimal çözüme oldukça yakın sonuçları barındırmaktadır.

## 5.3 Gelecek Çalışmalar

Gelecek çalışmalar için daha gerçekçi modeller düşünülmektedir. Baz istasyonları konumları, sönmülemeli kanal modelleri ve trafik modelleri geliştirilmeye açık



noktalardır. Simülasyonlarda, kullanıcıların hücrel haberleşme ağına belirli bir dağılıma göre girip çıktıkları veya aldıkları hizmet sürelerinin belirli bir dağılıma göre gerçekleştiği daha dinamik ağlar gerçekleştirilebilir. Sabit ve bütün kullanıcıların aynı veri hızı talebine karşılık, bazı kullanıcıların daha yüksek veri hızı taleplerinin olduğu durumlar oluşturulabilir.

# KAYNAKLAR

- [1] C. Han et al., “Green radio: Radio techniques to enable energy-efficient wireless networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 6, pp. 46-54, May 2011.
- [2] Z. Hasan, H. Boostanimehr, and V.K. Bhargava, “Green cellular network: A survey, some research issues and challenges,” *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 13, no. 4, pp. 524-540, Fourth Quarter 2011.
- [3] E. Oh, B. Krishnamachari, X. Liu, and Z. Niu, “Toward dynamic energy-efficient operation of cellular network infrastructure,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 6, pp. 56-61, June 2011.
- [4] 4G Americas, “Self-optimizing networks: The benefits of SON in LTE,” *White Paper*, Jul. 2011.
- [5] M. Marsan, L. Chiaraviglio, D. Ciullo, and M. Meo, “Optimal energy savings in cellular access network,” in *IEEE Int. Conf. on Commun. Workshops*, Jun. 2009, pp. 1-5.
- [6] M. Marsan, L. Chiaraviglio, D. Ciullo, and M. Meo, “Multiple daily base station switch-offs in cellular network,” in *4th Int. Conf. on Commun. and Electron.*, Aug. 2012.
- [7] K. Dufkova, M. Bjelica, B. Moon, L. Kencl, and J.Y. Le Boudec, “Energy savings for cellular network with evaluation of impact on data traffic performance,” in *European Wireless Conf.*, 2010, pp. 916-923, Apr. 2010.

- [8] S. Zhou, J. Gong, Z. Yang, Z. Niu, and P. Yang, "Green mobile access network with dynamic base station energy saving," in *ACM MobiCom*, vol. 9, no. 262, pp. 10-12, 2009.
- [9] E. Oh and B. Krishnamachari, "Energy savings through dynamic base station switching in cellular wireless access networks," in *IEEE GLOBECOM*, pp. 1-5, Dec. 2010.
- [10] K. Son, H. Kim, Y. Yi, and B. Krishnamachari, "Base station operation and user association mechanisms for energy-delay tradeoffs in green cellular networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 29, no. 8, pp. 1525-1536, Sep. 2011.
- [11] G. Cili, H. Yanikomeroglu, and F. R. Yu, "Cell switch off technique combined with coordinated multi-point (CoMP) transmission for energy efficiency in beyond-LTE cellular networks," in *IEEE ICC'12 Workshop on Green Communications and Networking (ICC'12 WS-GCN)*, Jun. 2012.
- [12] K. Son, S. Chong, and G. Veciana, "Dynamic association for load balancing and interference avoidance in multi-cell networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 7, pp. 3566-3576, Jul. 2009.
- [13] Z. Niu, Y. Wu, J. Gong, and Z. Yang, "Cell zooming for cost-efficient green cellular networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 11, pp. 74-79, Nov. 2010.
- [14] F. Alaca, A. B. Sediq, and H. Yanikomeroglu, "A genetic algorithm based cell switch-off scheme for energy saving in dense cell deployments," in *IEEE GLOBECOM'12 The 8th Broadband Wireless Access Workshop*, Dec. 2012.
- [15] M. Xiao, N. B. Shroff, and E. K. P. Chong, "A utility-based power-control scheme in wireless cellular systems," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 11, no. 2, pp. 210- 221, Apr. 2003.
- [16] H. Claussen, L. T. W. Ho, and F. Pivit, "Effects of joint macrocell and residential picocell deployment on the network energy efficiency," *IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2008, pp.1-6, 15-18 Sept. 2008.

- [17] C. Chen, F. Baccelli, and L. Roullet, "Joint optimization of radio resources in small and macro cell networks," in *Proc. 2011 IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 1-5.
- [18] S. K. Das, S. K. Sen, and R. Jayaram, "A novel load balancing scheme for the tele-traffic hot spot problem in cellular networks," *Wireless Netw.*, vol. 4, no. 4, pp. 325-340, July 1998.
- [19] T. Bu, L. Li, and R. Ramjee, "Generalized proportional fair scheduling in third generation wireless data networks," in *Proc. 2006 IEEE INFOCOM*, pp. 1-12.
- [20] Q. Ye, B. Rong, Y. Chen, C. Caramanis, J.G. Andrews, "Towards an optimal user association in heterogeneous cellular networks, in " *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pp.4143-4147, 3-7 Dec. 2012
- [21] O. Arnold, F. Richter, G. Fettweis, and O. Blume, "Power consumption modeling of different base station types in heterogeneous cellular networks," in *Proc. of 19th Future Network & Mobile Summit*, Florence, Italy, June 2010
- [22] F. Khan, "LTE for 4G Mobile Broadband Air Interface Technologies and Performance", Cambridge University Press, 2009
- [23] G. de la Roche, A. Alayn-Glazunov, B. Allen, "Lte-Advanced and Next Generation Wireless Networks Channel Modelling and Propagation", Wiley, 2012
- [24] R.D. Yates, "A framework for uplink power control in cellular radio systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 13, no. 7, pp. 1341-1347, Sep. 1995.
- [25] S. Boyd, A. Ghosh, and A. Magnani, *Branch and Bound Methods (Lecture Notes)*. Department of Electrical Engineering, Stanford University, Sep. 2012. [Online]. Available: <http://www.stanford.edu/class/ee392o/#lectures>.
- [26] "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced," ITU-R, Tech. Rep. M.2135-1, 2009.

- [27] A. Yildiz, T. Girici, and H. Yanikomeroglu, “A pricing based algorithm for cell switching off in green cellular networks”, *IEEE VTC2013-Spring*, Haziran 2013, Dresden, Almanya.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : YILDIZ, Ali  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 21.02.1987 Afyon  
Medeni hali : Evli  
Telefon : +90 506 912 33 73  
e-mail : aliyildiz@etu.edu.tr

## Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	2014
Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	2010

## İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2012	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013-...	MİKES A.Ş.	Üretim-Test Mühendisi

## Yabancı Dil

İngilizce (İyi)  
İspanyolca (Temel Seviye)

## Yayımlar

A. Yildiz, T. Girici, “DFBÇ Tabanlı Röleli İletimde Adil Kaynak Tahsisi”, *IEEE 20. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU 2012)*, Nisan 2012, Ölüdeniz, Türkiye.

A. Yildiz, T. Girici, and H. Yanikomeroglu, “A pricing based algorithm for cell switching off in green cellular networks”, *IEEE VTC2013-Spring*, Haziran 2013, Dresden, Almanya.

A.Yildiz, T.Girici, “Energy Efficient User Association in Heterogeneous Wireless Networks”, *WiOpt 12th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks*, Mayıs 2014, Hammamet, Tunus (beklenen).