

HETEROJEN HÜCRESEL AĞLARDA KÜÇÜK HÜCRE KEŞİF PERFORMANSI

SMALL CELL DISCOVERY SEARCH PERFORMANCE IN HETEROGENOUS MOBILE NETWORKS

CANSU GENÇOĞLU

Prof. Dr. Emre AKTAŞ

Tez Danışmanı

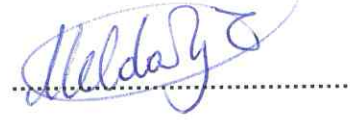
Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2018

CANSU GENÇOĞLU'nun hazırladığı HETEROJEN HÜCRESEL AĞLARDA KÜÇÜK HÜCRE KEŞİF PERFORMANSI adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

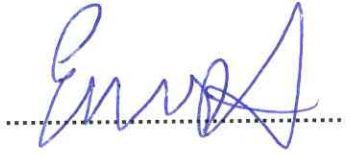
Doç. Dr. Ayşe Melda YÜKSEL TURGUT

Başkan



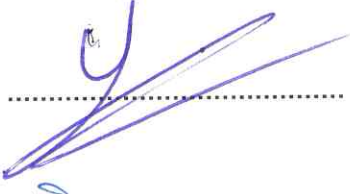
Prof Dr. Emre AKTAŞ

Danışman



Doç. Dr. Umut SEZEN

Üye



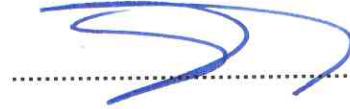
Doç. Dr. Özgür ERTUĞ

Üye



Doç. Dr. Berkan DÜLEK

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etseniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

03.07.2018


(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Canrı GENCİOĞLU

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

03. / 07 / 20. 18

Cansu GENÇOĞLU

ÖZET

HETEROJEN HÜCRESEL AĞLARDA KÜÇÜK HÜCRE KEŞİF PERFORMANSI

CANSU GENÇOĞLU

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof Dr. Emre AKTAŞ

Haziran 2018, 141 sayfa

Kablosuz iletişim cihazlarının gelişimi ile kablosuz iletişim sistemlerindeki trafik talebi son yıllarda büyük bir artış göstermiş ve bu talep her gün daha da yüksek seviyelere çıkmaktadır. Aynı zamanda hem mobil kullanıcıların kısa pil ömrü hem de mobil ağların enerji tüketim problemi ortaya çıkmıştır. Spektral verimlilikteki gelişmeler de teorik değerlere yaklaştığından, yeni nesil teknolojiler alan başına düşen spektral verimliliği artırmaya yönelik gerçekleştirilmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için heterojen ağ mimarisi hem kapasite problemini çözmek hem de enerji verimliliği açısından iyi bir çözüm olarak görülmektedir.

Heterojen ağ kullanmanın performansa etkilerini incelemek için gölgeleme, yol kaybı, girişim, gürültü gücü gibi etkilerin de var olduğu farklı senaryolar incelenmiş ve üç temel kurulum senaryosu ele alınmıştır. Bunlar; rastgele dağılımlı küçük hücrelerde girişim olmadığı kurulum senaryosu, eşit dağılımlı küçük hücrelerde hücreler arası girişim olduğu kurulum senaryosu, makro hücre ve eşit dağılımlı küçük hücrelerde hücrelerarası girişim olduğu kurulum senaryosudur. Senaryolarda mobil kullanıcı 1 km^2 'lik alanda sabit hızla hareket etmektedir. Bu senaryolarda tarama periyodu, hücre çıkış gücü, mobil kullanıcı hızı ve küçük hücre yoğunluğu parametrelerinin performansa etkileri üzerinde çalışılmıştır.

Mobil kullanıcının aldığı güç her üç senaryoda da incelendiğinde küçük hücre yoğunluk

artışının mobil kullanıcının aldığı gücü her zaman artırdığı görülmüştür. Ancak küçük hücre yoğunluğunu çok fazla artırmanın girişim sebebiyle çok da avantajlı olmadığı SINR incelemelerinde ortaya çıkmıştır. Çok fazla küçük hücre kullanılması hem spektral verimlilik açısından hem de enerji verimliliği açısından olumsuzdur. Bu sebeple küçük hücre konumlandırmaları çok dikkatli belirlenmelidir. Makro hücrenin yeterli olmadığı durumlarda veya veri ihtiyacının çok olduğu alanlara küçük hücreleri konuşlandırmak faydalı olabilir.

Yine tüm senaryolar için tarama periyodunun arttırılması alınan sinyal kalitesini düşürmektedir. Ancak tarama periyodunun kısa tutulması mobil kullanıcının pil ömrünü kısaltmaktadır. Bu sebeple sinyal kalitesi göz önünde bulundurularak tarama periyodu mobil kullanıcıya fayda sağlayacak şekilde düzenlenebilir.

Gölgeleme durumunu incelediğimizde ise gölgelemenin negatif etkilerinden mümkün olduğunca uzak durabilmek için küçük hücre yoğunluğu artırılabilir veya tarama periyodu düşürülebilir.

Küçük hücreden gönderilen güç değerini incelediğimizde ise makro hücre olmadığı durumda mobil kullanıcının aldığı sinyal kalitesi girişim sebebiyle yalnızca mikro boyutlarda değişim göstermektedir. Aynı zamanda mobil kullanıcının iletim gücü de mikro boyutlarda değişim gösterdiği için küçük hücre gönderilen güç değerindeki artış gereksiz yere faaliyet giderlerini artırmaktadır. Bir diğer yandan makro hücrenin de var olduğu senaryoda yüksek ilk çıkış gücü mobil kullanıcının aldığı sinyal gücüne olumlu etki etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Heterojen Ağlar, Küçük Hücre, Enerji Verimliliği, Mobil Kullanıcı Tarama Periyodu

ABSTRACT

SMALL CELL DISCOVERY SEARCH PERFORMANCE IN HETEROGENOUS MOBILE NETWORKS

CANSU GENÇOĞLU

**Master of Science, Department of
Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Emre AKTAŞ

June 2018, 141 pages

In the recent years, development of wireless communication devices lead to high demand of wireless communication system traffic and this demand is steadily rising day by day. At the same time, energy consumption problem arose in both mobile network's and mobile users' battery life time. Since the fact that development of spectral efficiency has been approaching to theoretical limits, new generation technologies are developed regarding to develop spectral efficiency. To achieve that, heterogonous network architecture is seen as best practice to solve both capacity and energy efficiency problem.

To assess the effects of heterogeneous network usage to performance, scenarios such as shadowing, path loss, interference and noise power are examined and three essential setup configuration are took into consideration. Those are; non-interference setup scenario with randomly distributed small cells, interference setup scenario between formally distributed small cells, and interference setup scenario between macro cells and formally distributed small cells. In these scenarios, mobile user moves at constant speed in the area of 1 km^2 . In this thesis, the performance effect of scanning period, cell power output, mobile user speed and small cell density parameters are examined.

According to the results collected in each three scenarios, it is seen that increase of small cell density resulted with gain in power received by mobile users. However, it is also seen that excessive increase in small cell density is not much advantageous

because of interference which is revealed during SINR observation. Excessive amount of small cell usage is unfavorable in terms of spectral efficiency and energy efficiency. For this reason, small cells have to be placed very carefully. In case of lack of macro cells or areas where data is highly demanded, setup of small cells could be useful.

Again, in all these scenarios it is seen that increase of scanning period resulted with decrease in signal quality. However, setting scanning period very low drains mobile users' battery life quickly. For this reason, scanning period should be rebalanced according to mobile users' benefit by taking into consideration signal quality.

When examining shadowing scenarios, to avoid negative effects of shadowing, small cell density can be increased or scanning period can be decreased.

In case of there is no macro base station, signal quality received by mobile user is changed in micro scales. At the same time, since the fact that mobile users' transmission power changes in micro scales, increased value of small cell transmit power is resulted with redundantly increased activity cost. On the other hand, in scenarios where macro cells are present, high power output is resulted with positive effect on signal received by mobile users.

Keywords: Heterogeneous Networks, Small Cell, Energy Efficiency, Mobile Equipment Search Period

TEŞEKKÜR

Öncelikle bilgi birikimi ve hoşgörüsü ile bana her zaman destek ve yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. Emre Aktaş'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşıp bana yardımcı olan değerli jüri üyelerine teşekkür ediyorum.

Bu yolcuğumda bana destek olan dostlarım ve arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışmamı, her zaman bana destek olan çekirdek aileme, anneannem, babaannem ve dedeme adıyorum. İyi ki varsınız.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxi
SÖZLÜK DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1. Mobil Telekomünikasyon Sistemlerinin Tarihi	1
1.2. 3G Sistemler	2
1.3. LTE	3
1.3.1. Kapasite Artırımı	4
1.4. Heterojen Ağlar	5
1.4.1. Küçük Hücre ve Heterojen Ağlar	5
1.4.2. Heterojen Ağlara İhtiyaç Sebepleri	6
1.4.3. Tez Konusunun Gerekliliği	6
2. HETEROJEN AĞ MODELLEMESİ	9
2.1. Gölgeleme	9
2.2. Yol Kaybı	10
2.2.1. Okumura - Hata Model	11
2.2.2. 3GPP UMI Model	13
2.3. Gürültü Gücü	14
2.4. İşaret Gürültü Oranı (SNR)	14
2.5. Hücreler Arası Girişim	14
2.6. İşaret Gürültü ve Girişim Oranı (SINR)	15

2.7. Küçük Hücre Dağılımı	16
2.8. Mobil Kullanıcı Hızı ve Küçük Hücre Keşif Periyodu	18
2.9. Mobil Kullanıcı Hareketi	19
2.10.İncelenen Veriler	20
3. SİMÜLASYONLARDA İNCELENEN PARAMETRELERİN HESAPLANMASI ...	22
3.1. Anlık Alınan Güç	22
3.2. Anlık İletilen Güç	24
3.3. Kaçırılan Küçük Hücreler	26
3.4. Ortalama Güç	27
3.5. Anlık Bit Hızı	28
3.6. İşaret Gürültü Oranı	29
3.7. İşaret Gürültü ve Girişim Oranı	29
3.8. İşaret Gürültü ve Girişim Oranı Bazlı Bit Hızı	30
4. GİRİŞİM OLMADIĞI VE KÜÇÜK HÜCRELERİN RASTGELE DAĞITILDIĞI DURUM	32
4.1. Anlık Alınan Gücün İncelenmesi	32
4.1.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık Alınan Güce Etkisi	32
4.1.2. Tarama Periyodunun Anlık Alınan Güce Etkisi	34
4.1.3. Gölgeleme Sabitinin Anlık Alınan Güce Etkisi	35
4.2. Anlık İletilen Gücün İncelenmesi	37
4.2.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık İletilen Güce Etkisi	37
4.2.2. Tarama Periyodunun Anlık İletilen Güce Etkisi	38
4.2.3. Gölgeleme Sabitinin Anlık İletilen Güce Etkisi	39
4.3. Kaçırılan Küçük Hücre Oranının İncelenmesi	40
4.3.1. Hızın Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	40
4.3.2. Küçük Hücre Yoğunluğunun Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	41
4.3.3. Gölgeleme Sabitinin Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	42

4.4. Ortalama Alınan Gücün İncelenmesi	43
4.4.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Ortalama Güce Etkisi	43
4.4.2. Hızın Ortalama Alınan Güce Etkisi	45
4.4.3. Gölgeleme Sabitinin Ortalama Alınan Güce Etkisi	46
4.5. Maksimum Bit Hızının İncelenmesi	47
4.5.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Bit Hızına Etkisi	47
4.5.2. Tarama Periyodunun Bit Hızına Etkisi	48
4.5.3. Gölgeleme Sabitinin Anlık Bit Hızına Etkisi	49
5. EŞİT DAĞILIMLI KÜÇÜK HÜCRELERDE HÜCRELER ARASI GİRİŞİM OLDUĞU DURUM	52
5.1. Anlık Alınan Gücün İncelenmesi	52
5.1.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık Alınan Güce Etkisi	52
5.1.2. Tarama Periyodunun Anlık Alınan Güce Etkisi	56
5.1.3. Gölgeleme Sabitinin Anlık Alınan Güce Etkisi	57
5.1.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık Alınan Güce Etkisi ..	59
5.2. İşaret Gürültü ve Girişim Oranının İncelenmesi	60
5.2.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi	60
5.2.2. Tarama Periyodunun İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi	63
5.2.3. Gölgeleme Sabitinin İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi	64
5.2.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi	66
5.3. Anlık İletilen Gücün İncelenmesi	67
5.3.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık İletilen Güce Etkisi	67
5.3.2. Tarama Periyodunun Anlık İletilen Güce Etkisi	68
5.3.3. Gölgeleme Sabitinin Anlık İletilen Güce Etkisi	69

5.3.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık İletilen Güce Etkisi ..	70
5.4. Kaçırılan Küçük Hücre Oranının İncelenmesi	71
5.4.1. Hızın Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	72
5.4.2. Küçük Hücre Yoğunluğunun Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	73
5.4.3. Gölgeleme Sabitinin Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	74
5.4.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	75
5.5. Ortalama Alınan Gücün İncelenmesi	77
5.5.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Ortalama Alınan Güce Etkisi	77
5.5.2. Hızın Ortalama Alınan Güce Etkisi	79
5.5.3. Gölgeleme Sabitinin Ortalama Alınan Güce Etkisi	80
5.5.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Ortalama Alınan Güce Etkisi	81
5.6. Maksimum Bit Hızının İncelenmesi	82
5.6.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Bit Hızına Etkisi	82
5.6.2. Tarama Periyodunun Bit Hızına Etkisi	84
5.6.3. Gölgeleme Sabitinin Anlık Bit Hızına Etkisi	85
5.6.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık Bit Hızına Etkisi	87
5.7. SINR'a Göre Anlık Bit Hızının İncelenmesi	88
5.7.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi ..	88
5.7.2. Tarama Periyodunun SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi	90
5.7.3. Gölgeleme Sabitinin SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi	91
5.7.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi	92
6. MAKRO HÜCRE VE EŞİT DAĞILIMLI KÜÇÜK HÜCRELERDE HÜCRELER ARASI GİRİŞİM OLDUĞU DURUM	94
6.1. Anlık Alınan Gücün İncelenmesi	94
6.1.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık Alınan Güce Etkisi	94

6.1.2. Tarama Periyodunun Anlık Alınan Güce Etkisi	100
6.1.3. Gölgeleme Sabitinin Anlık Alınan Güce Etkisi	101
6.1.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık Alınan Güce Etkisi ..	103
6.2. İşaret Gürültü ve Girişim Oranının İncelenmesi	104
6.2.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi	104
6.2.2. Tarama Periyodunun İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi	107
6.2.3. Gölgeleme Sabitinin İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi	108
6.2.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi	110
6.3. Anlık İletilen Gücün İncelenmesi	111
6.3.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık İletilen Güce Etkisi	112
6.3.2. Tarama Periyodunun Anlık İletilen Güce Etkisi	112
6.3.3. Gölgeleme Sabitinin Anlık İletilen Güce Etkisi	113
6.3.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık İletilen Güce Etkisi ..	114
6.4. Kaçırılan Küçük Hücre Oranının İncelenmesi	115
6.4.1. Hızın Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	116
6.4.2. Küçük Hücre Yoğunluğunun Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	117
6.4.3. Gölgeleme Sabitinin Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	118
6.4.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi	119
6.5. Ortalama Alınan Gücün İncelenmesi	121
6.5.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Ortalama Alınan Güce Etkisi	121
6.5.2. Hızın Ortalama Alınan Güce Etkisi	123
6.5.3. Gölgeleme Sabitinin Ortalama Alınan Güce Etkisi	124
6.5.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Ortalama Alınan Güce Etkisi	125

6.6. Maksimum Bit Hızının İncelenmesi	126
6.6.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun Bit Hızına Etkisi	126
6.6.2. Tarama Periyodunun Bit Hızına Etkisi	128
6.6.3. Gölgeleme Sabitinin Anlık Bit Hızına Etkisi	129
6.6.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık Bit Hızına Etkisi	131
6.7. SINR'a Göre Anlık Bit Hızının İncelenmesi	132
6.7.1. Küçük Hücre Yoğunluğunun SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi ..	132
6.7.2. Tarama Periyodunun SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi	133
6.7.3. Gölgeleme Sabitinin SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi	134
6.7.4. Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi	136
7. SONUÇ	138
KAYNAKLAR	140
ÖZGEÇMİŞ	142

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Okumura-Hata Modeli Yol Kaybı	12
Şekil 2.2. 3GPP UMI Modeli Yol Kaybı	13
Şekil 2.3. Girişim	15
Şekil 2.4. $t=0$ anında mobil kullanıcı ve hücrelerin durumu	17
Şekil 2.5. $t=0$ anında mobil kullanıcı ve hücrelerin durumu	18
Şekil 2.6. $t=0$ anında mobil kullanıcı ve hücrelerin durumu	19
Şekil 2.7. $t=0+x$ anında mobil kullanıcı ve hücrelerin durumu	20
Şekil 3.1. Mobil kullanıcı için $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ saniyedir.	23
Şekil 3.2. Anlık iletim gücünün mobil kullanıcının pozisyonuna bağlı değişimidir. $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn	25
Şekil 3.3. Kaçırılan Küçük Hücre Yüzdesinin Tarama periyoduna bağlı değişimidir. $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabit 6 ve $T = 5$ sn.	26
Şekil 3.4. Ortalama gücün periyoda bağlı değişimidir. $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	27
Şekil 3.5. Anlık maksimum bit hızı $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	28
Şekil 3.6. Anlık maksimum bit hızı $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.	29
Şekil 3.7. Anlık maksimum bit hızı $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.	30
Şekil 3.8. Anlık maksimum bit hızı $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.	31
Şekil 4.1. Anlık Alınan Güç $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	33

Şekil 4.2. Anlık Alınan Güç $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	34
Şekil 4.3. Anlık Alınan Güç $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6	35
Şekil 4.4. Anlık Alınan Güç $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.	36
Şekil 4.5. Kaçırılan Küçük Hücre değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	37
Şekil 4.6. Anlık İletilen Güç $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	38
Şekil 4.7. Anlık İletilen Güç $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6	39
Şekil 4.8. Anlık İletilen Güç $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.	40
Şekil 4.9. Kaçırılan Küçük Hücre değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	41
Şekil 4.10. Kaçırılan Küçük Hücre $V = 13,75m/s$, değişen küçük hücre yoğunluğu (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6	42
Şekil 4.11. Kaçırılan Küçük Hücre $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti	43
Şekil 4.12. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6	44
Şekil 4.13. Ortalama Alınan Güç $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	45
Şekil 4.14. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6	46
Şekil 4.15. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti	47
Şekil 4.16. Bit Hızı, $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	48

Şekil 4.17. Kaçırılan Küçük Hücre $V = 13,75m/s$, değişen küçük hücre yoğunluğu (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	49
Şekil 4.18. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.	50
Şekil 4.19. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.	51
Şekil 5.1. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.	53
Şekil 5.2. Anlık Alınan Güç; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.	54
Şekil 5.3. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gönderilen güç değeri 2 W, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.	55
Şekil 5.4. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200mW ve $T = 5$ sn.	56
Şekil 5.5. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 6	57
Şekil 5.6. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	58
Şekil 5.7. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti değişken, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	59
Şekil 5.8. Kaçırılan Küçük Hücre değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri değişken ve $T = 5$ sn.	60
Şekil 5.9. SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	61
Şekil 5.10. Ortalama SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	62

Şekil 5.11. Standart Sapma; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	63
Şekil 5.12. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk güç değeri 200 mW ve T tarama periyodu değişkendir	64
Şekil 5.13. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti değişken, ilk güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	65
Şekil 5.14. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti değişken, ilk güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	66
Şekil 5.15. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, ilk güç değeri değişken ve $T = 5$ sn. ...	67
Şekil 5.16. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	68
Şekil 5.17. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve değişken T	69
Şekil 5.18. Anlık İletilen Güç $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	70
Şekil 5.19. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	71
Şekil 5.20. Kaçırılan Küçük Hücre; değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve ilk çıkış gücü 200 mW	72
Şekil 5.21. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, değişen küçük hücre yoğunluğu (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW	74
Şekil 5.22. Kaçırılan Küçük Hücre $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW	75
Şekil 5.23. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri değişken	76

Şekil 5.24. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri değişken	77
Şekil 5.25. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW	78
Şekil 5.26. Ortalama Alınan Güç; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	79
Şekil 5.27. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW	80
Şekil 5.28. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW	81
Şekil 5.29. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri değişken ve $T = 5$ sn.	82
Şekil 5.30. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	83
Şekil 5.31. Anlık Bit Hızı; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	84
Şekil 5.32. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, değişen küçük hücre yoğunluğu (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW	85
Şekil 5.33. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	86
Şekil 5.34. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	87
Şekil 5.35. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	88
Şekil 5.36. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	89

Şekil 5.37. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 2$ sn.	90
Şekil 5.38. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 6, değişen tarama periyodu	91
Şekil 5.39. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2),gönderilen güç değeri 200 mW, değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.	92
Şekil 5.40. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri değişken, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	93
Şekil 6.1. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	95
Şekil 6.2. Anlık Alınan Güç; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.	96
Şekil 6.3. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gönderilen güç değeri 2000 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.	97
Şekil 6.4. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	98
Şekil 6.5. Anlık Alınan Güç $V = 13,75m/s$, $d = 6$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	99
Şekil 6.6. İşaret Gürültü ve Girişim oranı; $V = 13,75m/s$, $d = 6$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	100
Şekil 6.7. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW ve gölgeleme sabiti 6	101
Şekil 6.8. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişken gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	102
Şekil 6.9. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti değişken, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	103
Şekil 6.10. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, değişken gönderilen güç değeri ve $T = 5$ sn.	104

Şekil 6.11. SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	105
Şekil 6.12. SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 1$ sn.	106
Şekil 6.13. Ortalama SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	107
Şekil 6.14. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve T tarama periyodu değişkendir	108
Şekil 6.15. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti değişken, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	109
Şekil 6.16. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti değişken, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	110
Şekil 6.17. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri değişken ve $T = 5$ sn.	111
Şekil 6.18. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.	112
Şekil 6.19. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve T tarama periyodu değişkendir	113
Şekil 6.20. Anlık İletilen Güç $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.	114
Şekil 6.21. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, değişken ilk çıkış gücü ve $T = 5$ sn.	115
Şekil 6.22. Kaçırılan Küçük Hücre; değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW	116

Şekil 6.23. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6	118
Şekil 6.24. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, değişen gölgeleme sabiti	119
Şekil 6.25. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü değişken, gölgeleme sabiti 6	120
Şekil 6.26. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü değişken, gölgeleme sabiti 6	121
Şekil 6.27. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6	122
Şekil 6.28. Ortalama Alınan Güç; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6	123
Şekil 6.29. Ortalama Alınan Güç; hız değişken, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6	124
Şekil 6.30. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, değişen gölgeleme sabiti	125
Şekil 6.31. Ortalama Alınan Güç; $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü değişken, gölgeleme sabiti 6	126
Şekil 6.32. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	127
Şekil 6.33. Anlık Bit Hızı; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.	128
Şekil 6.34. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabit 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu değişken	129
Şekil 6.35. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.	130
Şekil 6.36. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.	131

- Şekil 6.37. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, değişen ilk çıkış gücü ve $T = 5$ sn. 132
- Şekil 6.38. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn. 133
- Şekil 6.39. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6, değişen tarama periyodu . 134
- Şekil 6.40. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn. 135
- Şekil 6.41. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, değişen gölgeleme sabiti ve $T = 1$ sn. 136
- Şekil 6.42. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, değişen ilk güç değeri ve $T = 5$ sn. 137

SİMGELER VE KISALTMALAR

EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
SINR	Signal to Interference Noise Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio
TP	Transmit Power
UE	User Equipment
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

SÖZLÜK DİZİNİ

Alan Verimliliği	: Area Efficiency
Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi	: ETSI
Açık Erişim	: Open Access
Banliyö	: Suburban
Baz İstasyonu Değişirme	: Handover
Beyaz Gürültü	: White Noise
Değişinti	: Variance
Düzeltilme Etmeni	: Correction Factor
Genlik	: Amplitude
Gölgeleme	: Shadowing
Gürültü	: Noise
Hızlı Sönümlenme	: Fast Fading
Hücreler Arası Girişim	: Inter Cell Interference
İletim Gücü	: Transmit Power
İlinti	: Correlation
İlintisizleştirme Mesafesi	: Decorrelation Distance
İşaret Gürültü Oranı	: Signal to Noise Ratio
İşaret Gürültü ve Girişim Oranı	: Signal to Noise Plus Interference Ratio
Kapalı Abone Grubu	: Closed Subscriber Group
Kapalı Erişim	: Closed Access
Küçük Hücre	: Small Cell
Mobil Kullanıcı	: User Equipment (UE)
Ortak Değişinti	: Covariance
Ortalama	: Mean
Paket Anahtarlama	: Packet Switching
Saptamalı	: Deterministic
Servis Kalitesi	: Quality of Service

Sönümlü, Sönümlenen	:	Fading
Spektral Verimlilik	:	Spectral Efficiency
Veri	:	Data
Yavaş Sönümlenme	:	Slow Fading
Yol Kaybı	:	Path Loss
Yük Boşaltma	:	Offload

1. GİRİŞ

1.1 Mobil Telekomünikasyon Sistemlerinin Tarihi

Mobil telekomünikasyon sistemleri ilk olarak 1980'lerin başında ortaya çıkmıştır. İlk jenerasyon (1G) sistemler analog iletişim tekniklerini kullanmıştır. Hücreler büyüktü ve sistemler radyo spektrumunu bugünkü standartlara göre verimli kullanamamıştı. Ayrıca mobil cihazlar çok büyük ve pahalıydı.

1990'ların başında ikinci nesil (2G) sistemlerin geliştirilmesiyle tüketicilerin de ulaşabileceği mobil cihazlar ortaya çıktı. Bu sistemler radyo spektrumunun daha verimli kullanılmasına ve daha küçük, daha ucuz cihazların kullanılmasına izin veren ilk dijital teknolojiyi kullandılar. Aslında sadece ses iletişimi için tasarlanan 2G sistemlerde daha sonradan anlık mesajlaşma (SMS) desteklenmeye başladı. En popüler 2G sistemi dünya çapında yaygınlaşan GSM (Global System for Mobile Communications)'dir. Ayrıca IS-95 bir diğer adıyla CDMA-one da Amerika'da yaygınlaşmıştır.

2G iletişim sistemlerinin başarısı internetin yaygınlaşmasıyla birlikte geldi. Kullanıcıların mobil cihazlarına veri indirmelerini sağlayarak iki konsepti de bir araya getirmek ağ sağlayıcıları için normal bir hal almıştı. Bunu gerçekleştirmek için, 2.5 G sistemler 2G sistem mantığının üzerine oturtulmuş, çekirdek ağın paket anahtarlama alanı ve hava arayüzünün güncellenmesiyle verinin ses ile birlikte işlenmesi sağlanmıştır. IS-95, IS-95B adıyla da bilinen sisteme dönüştürülürken, GPRS (General Packet Radio Service) bu teknikleri GSM altında birleştirdi.

Bu esnada, internet üzerinden kullanılan veri miktarları da düzenli olarak yükselmekteydi. Bu ihtiyaçları karşılayabilmek için tasarımcılar EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) gibi teknikleri kullanarak 2G sistemlerin performansını geliştirdiler. 2000'lerden sonra ise çok daha güçlü 3G sistemler piyasaya sunuldu. 3G sistemler, radyo iletimi ve alımı konularının atası olan 2G'den daha farklı yöntemler içeriyordu. Bu farklılık sayesinde, işleyebilecekleri maksimum veri hızlarında artış ve mevcut radyo spektrumunda daha etkin bir kullanım olanağı sunulmuş oldu.

Ne yazık ki, erken dönem 3G sistemleri performans anlamında birçok insanın ihtiyacını

karşılayamamıştı. Bu sebeple, ancak 2005 yılı civarında 3.5G teknikleri sayesinde 3G sistemler beklentileri karşılar hale gelmiştir. Bu iyileştirmeler sayesinde, daha geniş değişkenlikte veri hızı ve veri ulaşım zamanı karşılığında, kullanıcıların ortalama indirme ve yükleme hızlarında ciddi artışlar sağlanmıştır [1].

1.2 3G Sistemler

Dünyada en geniş kabul görmüş 3G sistemi UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)'dir.UMTS, GSM tarafından, çekirdek ağ korunurken, hava arayüz teknolojisinin nerdeyse tamamen değiştirilmesiyle geliştirilmiştir. 3G sistemler daha sonra 3.5 G teknolojileri olan HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) ve HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), genel tabiriyle HSPA (High Speed Packet Access) ile daha da geliştirilmiştir.

UMTS hava arayüzünün iki farklı uygulaması bulunmaktadır. WCDMA (Wideband code division multiple access) versiyonu ilk çıkan ve dünyada en çok kullanılan versiyondur. TD-SCDMA (Time division synchronous code division multiple access), WCDMA'den türetilmiştir ve ayrıca UMTS TDD modun düşük çip oranlı seçeneği olarak da bilinir. TD-SCDMA Çin tarafından ülkenin batı teknolojisine ve batı şirketlerinin telif haklarına olan bağımlılığını azaltmak için geliştirilmiştir ve China Mobile tarafından kurulumları yapılmıştır.

Bu uygulamalar arasında iki ana farklılık bulunmaktadır. Birincisi, WCDMA baz istasyonunun ve mobil aygıtların iletimini karşılıklı frekans bölümlenmesiyle ayırmaktadır. TD-SCDMA ise zaman bölümlenmesiyle ayırmaktadır. İkinci olarak, WCDMA 5 MHz'lik daha geniş bir bant genişliği sunarken, TD-SCDMA 1.6 MHz'lik daha dar bir bant genişliği sunar.

CDMA2000, IS-95'ten türetilerek geliştirilmiştir ve ana kullanıcısı Kuzey Amerika olmuştur. Bilinen orjinal 3G teknolojisi ise CDMA2000 1x radyo iletim teknolojisidir (1xRTT). Ardından bu teknoloji 3.5G'ye geliştirilmiştir ve iki isim alternatifi bulunmaktadır; CDMA2000 yüksek oranlı veri paketi (HRDP) ve optimize veri evrimi (EV-DO). Bu alternatifler yüksek hızlı paket erişimi için benzer yöntemleri kullanmaktadır. IS-95 ve CDMA2000 spesifikasyonları, 3GPP işbirliğinde olduğu gibi Üçüncü Nesil Birliktelik Projesi 2 (3GPP2)

adı altında bir işbirliği ile üretilmiştir.

CDMA2000 ve UMTS hava arayüzü arasında 3 ana teknik farklılık bulunmaktadır. Birincisi, CDMA2000 1.25 MHz'lik bant genişliği kullanmaktadır. İkincisi, CDMA2000 IS-95 ile birlikte geriye dönük uyumludur fakat UMTS GSM ile geriye dönük uyumluluğa sahip değildir. Üçüncüsü, CDMA2000 ses ve optimize veriyi farklı taşıyıcı frekanslara ayırabilirken, UMTS ortak frekansı paylaşır. İlk iki farklılık, çok az yerde bant genişliğinin 5MHz'ye ulaşması ve önemli miktarda eski IS-95 sistemlerinin bulunması sebebiyle WCDMA'in Kuzey Amerika piyasasına girişini engelleyen faktörler olmuştur.

Sonuncu 3G teknolojisi ise WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)'tir. Bu teknoloji IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) tarafından diğer 3G sistem geçmişlerinden farklı bir standart olan 802.16 ile geliştirilmiştir. Orjinal spesifikasyon olan IEEE 802.16, kablolu iletim yerine, noktadan noktaya mikrodalga bağlantılarıyla veri taşıma amacıyla geliştirilmiştir. Sabit WiMAX olarak da bilinen 2004'teki güncelleme ile birçok doğrusal yönlü baz istasyonu ve bir noktadan birçok noktaya iletişim desteklenmektedir. Sonraki versiyon mobil WiMAX ise kullanıcıların hareket etmesine ve baz istasyonları arasında el değiştirme yapmasına olanak sağlamıştır. Bütün bu becerilerin tek bir teknolojiye toplanmasıyla beraber WiMAX de diğer 3G teknolojileri gibi kabul görmüştür [1].

1.3 LTE

Uzun yıllar mobil iletişimde trafiği, sesli görüşmeler domine etmiştir. Mobil verinin büyümesi başlangıçta yavaş olmasına rağmen, 2010'dan itibaren mobil verinin kullanımı hızlanmaya başlamıştır. Ericsson'un yaptığı ölçümlere göre tüm dünyada ağlar tarafından işlenen veriler incelendiğinde, Ocak 2007'den Temmuz 2011'e kadar olan süreç içerisinde, işlenen veri trafiği 100 kattan fazla artış göstermiştir.

Artış trendi, 3.5G ağlarının artması ve 2007'de Apple iPhone'un ve 2008'de Google'ın Android işletim sistemini piyasaya sürmesiyle daha da hızlanmıştır. Bu sebeplerle 2G ve 3G ağlar 2010 civarlarında yük almaya başlamıştır ve ağ kapasitesinin yükseltilmesi için ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Bu artış trendi günümüzde de yükselmeye devam etmektedir [1].

LTE 3G standartlarına bir yükseltme olarak oluşturuldu. Ağ sağlayıcıları LTE'nin faydalarını fark etti ve neredeyse her mobil operatör LTE'yi bir sonraki nesil olarak benimsedi. Ama 3GPP tarafından belirlenen gerçek 4G teknolojisi LTE-Advanced'dir. LTE ile hücre sel ağlara yeni özellikler geldi. İlk olarak taşıyıcı kapasitesi artırıldı, yani belli bir spektrumunu daha fazla abone kullanabilir hale geldi. Ayrıca daha yüksek veri hızları sağlandı. Bir diğer yandan bağlantıyı daha güvenilir hale getirdi.

LTE'de tepe veri hızı aşağı yönlü bağlantıda 100 Mbps, yukarı yönlü bağlantıda 50 Mbps'dir. Önceki teknolojilerden WCDMA'de ise aşağı yönlü bağlantıda 14 Mbps, yukarı yönlü bağlantıda 5.7 Mbps'dir. Tabii ki bu değerler ideal durumda gerçekleşmektedir. Daha iyi bir ölçüm değeri ise bir hücrenin bant genişliği başına düşen kapasite spektral verimliliğidir. LTE'nin spektral verimliliği aşağı yönlü bağlantıda WCDMA'den 3-4 kat daha yüksektir. Aynı zamanda gecikmenin azalması ve hareketliliğin yüksek hızlarda sağlanması LTE'nin özelliklerindedir.

1.3.1 Kapasite Artırımı

Mobil veri iletişimde 3 farklı yolla kapasite artışı sağlanabilir. Birincisi ve en önemli olanı, daha küçük hücrelerin kullanımınıdır. Bir hücresel ağda, kanal kapasitesi, bir hücrenin işleyebileceği maksimum veri oranıdır. Daha çok baz istasyonu ve her bir hücrenin boyutunun küçültülmesiyle, ağın kapasitesi artırılabilir.

İkinci teknik, ağ genişliğinin artırılmasıdır. Artan veri kullanımı 2G, 3G, 4G sistemlerinin spektrum tahsisinde artışa sebep olmuştur. Fakat sınırlı sayıda radyo spektrumu bulunmaktadır ve askeri iletişim, radyo astronomisi gibi farklı ihtiyaçlar da bulunmaktadır. Dolayısıyla bu sürecin ilerleyebileceği sınırlar bulunmaktadır.

Üçüncü teknik ise şu an kullanmakta olduğumuz teknolojinin geliştirilmesidir. Bu birkaç faydayı beraberinde getirir. Bu sayede teorik kanal kapasitesine her zamankinden daha fazla yaklaşılabilir. Daha yüksek SINR'dan faydalanılabilir ve diğer belirtilen yollarla daha geniş bant genişliğinden faydalanılabilir. İletişim teknolojilerindeki devamlı gelişim süreci mobil telekomünikasyon gelişimi için sürekli bir hal almıştır ve LTE'nin ortaya çıkması için ana sebep haline gelmiştir.

Hem kapasite artırımı açısından hem de enerji verimliliği açısından bu tezde heterojen ağlar üzerinde çalışılmıştır.

1.4 Heterojen Ağlar

1.4.1 Küçük Hücre ve Heterojen Ağlar

Küçük hücreler kapsama alanı 10 metreden 1-2 km'ye kadar değişebilen düşük güçlü radyo erişim noktalarıdır [2]. Dış mekanda veya iç mekanda kullanılabilen küçük hücreler 'femtocell', 'picocell' ve 'microcell'leri kapsamaktadır. Örneğin; iç mekanlarda kullanılan ve femtocell adını verdiğimiz bu baz istasyonları 100 mW ve daha az iletim gücüne sahiptir. Küçük hücreler GSM, CDMA2000, LTE and WiMax gibi birçok arayüz ile kullanılabilir durumdadır.

Hücresel ağlardaki artan veri ve kapasite talebini karşılamak için küçük hücreler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Küçük hücre kurulum mimarileri hala tartışmaya açık bir alandır.

Heterojen ağlar makro hücreler ve düşük güce sahip radyo erişim noktalarından oluşan, kimilerinin kısıtlı erişim noktaları olduğu, hatta bazılarının kablolu taşıyıcısının olmadığı iletişim ağlarıdır. Heterojen ağlar mobil operatörlerin lisansa sahip olduğu spektrumlarda çalıştırılmaktadır. Üç farklı erişim politikası yer almaktadır. Yalnızca kaydedilmiş kullanıcıların erişebildiği kapalı erişim, tüm kullanıcıların erişebildiği açık erişim ve belli sayıdaki kullanıcıya öncelikli erişim sağlayan hibrid erişim politikalarıdır. Kurulum amaçları ağ kapsama alanını ve kapasitesini arttırmaktır. Böylece operatörler hızla artan mobil kullanıcı sayısı ve buna bağlı trafik yoğunluğu, yüksek veri hızı, farklı trafik tiplerini destekleyecek ve kullanıcı memnuniyetini sağlayacaklardır.

Bunun yanında düşünülmesi gereken en önemli problemler ve çözümleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Radyo kaynak yönetimi
- Hücrelerarası girişim koordinasyonu

- Modelleme ve analiz
- Kendi kendine orginasyon/optimizasyon/iyileştirme
- El değıştirme ve hareketlilik yönetimi
- Enerji tasarruflu küçük hücreler
- Yük dengelenmesi

1.4.2 Heterojen Ağlara İhtiyaç Sebepleri

Hareketli veri trafiği talebi, akıllı telefonların artması ve kullandıkları çevrimiçi uygulama/video özellikleri ile birlikte üssel şekilde artmaya devam etmektedir. Var olan hücresel ağlar spectral efficiency açısından limitlerine ulaşmıştır. Ağ kapasitesini artırmak ve talepleri karşılamak için daha yoğun erişim noktalarının bulunmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak var olan yoğun ağlar da hücreler arası girişim (interference) yüzünden istenilen verim ve kapasiteyi sağlayamamaktadır. Ayrıca yüksek güç harcayan makro hücrelerin giderleri de çok yüksek seviyelerdedir. Geleneksel makro baz istasyonlarındaki kurulum sıkıntıları (yüksek güç kullanımı ve giderleri, hücreler arası girişim sıkıntıları) daha düşük iletim gücü harcayan baz istasyonlarının kullanımı ile aşılabilir. Bunlar da küçük hücre baz istasyonlarıdır.

Dış mekanlarda kullanılacak olan küçük hücrelerin iletim güçleri 250 mW ile 2 W arasında değişebilmektedir. Bu tür baz istasyonları soğutma sistemlerine ihtiyaç duymadığı için iletim güçleri 5 ila 40 W arası değişen makro baz istasyonlarına göre çok daha az operasyon maliyetine sahiptir. Var olan veri sağlayan hücreler yetersiz kalmıştır ve operatörler devamlı olarak geniş kapsama alanına sahip makro hücreler ile yüksek kapasiteyi sağlamak için küçük hücreler de içeren heterojen ağlar kurmaktadır [3]. Küçük hücre marketini geliştirmeye sevk eden faktörler; mobil verilerdeki büyüme, spectrum eksikliği, yük boşaltmanın (offload) getireceği ekonomik avantajlardır.

1.4.3 Tez Konusunun Gerekliliği

Heterojen ağ mimarisi kapasite problemini çözmek adına iyi bir çözüm olarak görülmektedir. Bir heterojen ağ farklı radyo erişim teknolojilerine sahip farklı boyuttaki hücreler-

den oluşabilir.

Küçük hücreler gönderici ve alıcı taraf arasındaki uzaklığı düşürmekte böylece yol kaybını en aza indirmektedir. Bu da alınan sinyal seviyesinde artış sağlamaktadır. Böylece alan verimliliğinde de artış sağlanabilir.

Kapasite ile ilgili taleplerin yanında; akıllı telefon, tablet vb. cihazların ağ kullanımlarının artmasıyla mobil kullanıcıların enerji tüketimleri de artmıştır. Öyle ki mobil kullanıcılar ağ erişimi yerine elektrik prizi arar duruma gelmişlerdir. Bu problem bazen 4G sistemlerinin enerji tuzağı olarak tanımlanmaktadır. Bu gibi sebeplerden dolayı ağ operasyonlarında kapsama alanı, kapasite ve servis kalitesinin yanında enerji verimliliği de önemli bir performans belirleyicidir [4].

Çalışmalar gösteriyor ki mobil iletişim ağlarında enerji tüketiminin büyük bir bölümü (%50-80) kablosuz erişim kısımları sebebiyle gerçekleşmektedir [5]. Bu durumda erişim ağlarında enerji verimliliği sağlamak toplam ağda enerji verimliliğininin sağlanmasına büyük katkı sağlayacaktır. Bu açıdan da heterojen ağlarda, özellikle küçük hücre kullanıldığında alıcı ve verici arasındaki mesafe ve yol kaybının az olmasından dolayı, gönderim güçlerinde makro hücrelere göre büyük kazanç sağlanmaktadır [6]. Düşük güçlü küçük hücreler soğutma sistemlerine ihtiyaç duymadıkları için komplike olmayıp güç verimliliği açısından da önemlidir. Mobil kullanıcıların iletim gücü gereklilikleri de azalacağından pil ömründe artış gözlenecektir. Eski mimarilerde spektral verimlilik ile enerji verimliliği arasında ödünleşim bulunmaktadır. Ancak heterojen ağ mimarilerinde avantaj olarak hem enerji ve hem de alan verimliliği arttırılabilmektedir [4].

Heterojen ağlarda mobil kullanıcı ekipmanlarında farklı frekanslardaki yeni hücreleri keşfetmek için farklı periyodlarla tarama yapması problemi doğmuştur. Hızlı tarama periyodları daha çabuk keşif yapma şansı ve daha iyi sinyal kalitesi olan hücreden servis olarak veri kalitesinin artması ve makro hücrenin kullanım yoğunluğunun azaltılması gibi fırsatlar sunabilir. Ancak yüksek tarama frekansları mobil kullanıcının (UE) fazla güç tüketmesine sebep olabilir [7].

Daha önceki bazı çalışmalarda tarama periyodu optimizasyonu için çalışmalar yapılmış olsa da kanal modellemesi ve diğer parametrelerin sistem performansına etkileri

incelenmemiştir [8] [9]. Ayrıca küçük hücre yoğunluklarının kapsama alanına etkisi de incelenmiştir [10]. Ancak kanal modellemesi ile birlikte küçük hücreler, makro baz istasyonu ve mobil kullanıcıların da yer aldığı bir araştırma gerekmektedir.

Bu sebeplerle ağdaki enerji verimliliği ve ağ performansının artırılması için tarama periyodu, hücre çıkış gücü, mobil kullanıcı hızı, küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme parametrelerinin sisteme ve performansa etkilerinin araştırılması bu aşamada gereklidir. Veri kalitesinin artması ve heterojen ağ kullanmanın performansa getirdiği faydanın araştırılması bu tezin gerekliliğini oluşturmaktadır.

2. HETEROJEN AĞ MODELLEMESİ

2.1 Gölgeleme

Gölgeleme sinyallerin karşılaştığı engellerdir. Vericiden gönderilen sinyallerin yayılımı ağaç, bina vb. birçok nesne tarafından engellenir. Bu engeller sinyalin genliğinde rastgele değişime sebep olur.

Simülasyonlarda uzaklığa göre ilintili gölgeleme kullanılmıştır. Gölgelemenin birbirinden belirli bir mesafe uzaklıkta ve hücrenin kapsama alanında olan iki nokta arasındaki ilinti olduğu kabul edilir [11]. Bu model matematiksel olarak:

$$A(\delta) = \sigma_{dB}^2 e^{-\delta/d_c}, \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $A(\delta)$, aralarında δ kadar uzaklık bulunan iki nokta arasındaki gölgelemenin ortak değişintisidir. d_c ise ilintisizleştirme mesafesidir. Burada σ_{dB}^2 gölgelemenin değişintisi ve ilintinin maksimum değeridir. Ortak değişinti değerinin $\sigma_{dB}^2 e^{-1}$ olduğu mesafe ise ilintisizleştirme mesafesidir. Daha önce yapılan ölçümler sonucu ilintisizleştirme mesafesinin 25 metreden 100 metreye kadar değişebileceği belirtilerek, bazı simülasyonlarda 50 m kullanıldığı gözlenmiştir. Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi ise ilintisizleştirme mesafesinin ortama bağlı olarak değişebileceğini ve kentsel alanda 20m, iç mekanlar için ise 5m şeklinde belirlemiştir [12].

Simülasyonlarda ilintisizleştirme mesafesi kentsel alan durumuna uygun olarak 40 m olarak kullanılmıştır.

Gölgelemenin dB cinsinden değerini elde etmek için uzaklığa göre ilintisizleştirme log-normal gölgeleme modeline entegre edilmesi gerekmektedir. Başlangıç noktası 0 metreden P noktasına kadar gölgeleme değeri $S(0)$ 'dır. P noktasından $\delta, 2\delta, 3\delta \dots$ kadar uzaklık bulunan noktalar arasındaki gölgelemeyi bulmak için:

$$S(n.\delta) = e^{-\delta/d_c} \cdot S((n-1)\delta) + V_i, \quad (2.2)$$

kullanılır ve dB cinsinden ifade edilir. Burada V_i bağımsız aynı şekilde dağıtılan; ortalama değeri $\mu_{2,dB} = 0$ dB ve değişim değeri $\sigma_{2,dB}^2 = \sigma_{dB}^2 [1 - e^{-2\delta/d_c}]$ olan normal rastgele değişkenlerdir.

2.2 Yol Kaybı

Yol kaybı sinyalin vericiden alıcıya giderken geçtiği ortam yüzünden sinyal gücünün zayıflamasıdır. Yol kaybı modellemesi mobil iletişim sistemleri kurulumları için hayati önem taşımaktadır. Bu modellemeler hücre mevkilerinin belirlenmesi, optimum kapsama alanının belirlenmesi için önemlidir. Hatalı modellemeler yanlış hücre lokasyonları belirlenmesine sebep olabilir. Ayrıca el değiştirme parametrelerinin optimize edilmesinde, anten konumlandırılmasında ve güç seviyesi belirlenmesinde büyük etkileri vardır [11].

Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse yol kaybı, sinyalin iletim gücünün yani P_{Tx} 'in alınan güce yani P_{Rx} 'e oranıdır. Basit olarak yol kaybı,

$$P_L = \frac{P_{Tx}}{P_{Rx}}, \quad (2.3)$$

şeklinde gösterilir.

Yol kaybı L dB cinsinden ifade edildiğinde,

$$L = 10 \log_{10} \frac{P_{Tx}}{P_{Rx}}, \quad (2.4)$$

eşitliği ile elde edilir.

Sinyal vericisi ile alıcı arasındaki yol kaybı değeri yavaş sönümlenme ve hızlı sönümle göz önüne alınmadığında eşit uzaklığa sahip noktalarda aynı değeri alır. Yol kaybı sinyal sönümlenmesinin başlıca sebebidir. Kanal modellemesi yapılırken daima yol kaybı göz önüne alınmalıdır. Yol kaybının oluşma sebebi boş alanda küresel şekilde yayılma kayıplarının olmasıdır.

Yol kaybının farklı ortamlarda matematiksel olarak modellenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Bu modeller ortama, uzaklığa, frekansa, atmosfer koşullarına, iç/dış mekan durumuna bağlıdır. Bunlar üç farklı kategoride sınıflandırılmıştır; istatistiksel, saptamalı (deterministik), yarı saptamalı (semi-deterministic). İstatistiksel modeller kırsal, banliyö, kentsel gibi farklı ortamlarda gerçekleştirilen ve birçok ölçüm sonucundan elde edilen uzaklığa bağlı ortalama yol kaybı değerini belirtir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak ya da uzaklığa bağlı olarak formülize edilerek belirtilebilir. Okumura ve Hata modeli istatistiksel modele en uygun örneklerdendir. Bu modelin aksine saptamalı modellemede sinyalin yayıldığı ortam hakkında daha fazla bilgi kullanmayı gerektirir. Arazi ve yapılaşma veritabanı bilgisi kullanılması gereklidir. "Free Space" ve "Ray Tracing" modelleri saptamalı model örneklerindedir.

Simülasyonlarda makro hücre için istatistiksel modellemelerden olan Okumura Hata model kullanılmıştır. Küçük hücre yol kaybı modellemesi için ise 3GPP UMI modeli kullanılmıştır.

2.2.1 Okumura - Hata Model

Bu model deneysel olarak elde edilen grafiksel bilgileri kullanarak formülize edilmiştir. Kentsel alan için aşağıdaki gibi modellenmiştir:

$$L_U = 69.55 + 26.16 \cdot \log(f) - 13.82 \cdot \log(h_B) - C_H + [44.9 - 6.55 \cdot \log(h_B)] \cdot \log(d) \quad (2.5)$$

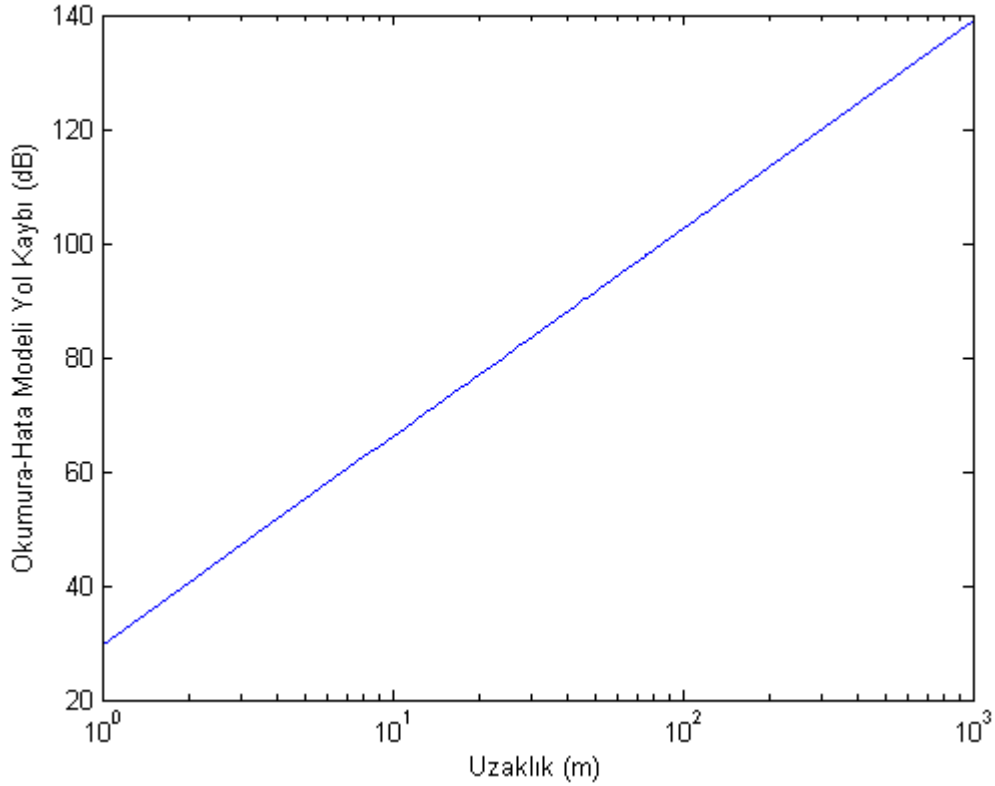
Burada L_U kentsel alandaki yol kaybını dB cinsinden belirtmektedir. h_B ise metre cinsinden baz istasyonu anten yüksekliğidir. h_M ise metre cinsinden mobil kullanıcı anten yüksekliğidir. f MHz cinsinden sinyalin frekansıdır. C_H anten yüksekliği için düzeltme etmeni (correction factor) olup dB cinsinden ifade edilir. d ise baz istasyonu ile mobil kullanıcı arasındaki uzaklığın km cinsinden ifade edilmesidir. Burada C_H düzeltme etmeni küçük ve orta ölçekli şehirler ile büyük ölçekli şehirlerde farklılık göstermektedir [11]. Öyle ki küçük ve orta ölçekli şehirler için;

$$C_H = 0.8 + (1.1 \cdot \log(f) - 0.7) \cdot h_M - 1.56 \cdot \log(f), \quad (2.6)$$

büyük ölçekli şehirlerde ise;

$$\begin{aligned} C_H &= 8.29 \cdot \log(1.54 \cdot h_M) \cdot 2 - 1.1, \text{ if } 150 \leq f \leq 200 \\ C_H &= 3.2 \cdot \log(11.75 \cdot h_M) \cdot 2 - 4.97, \text{ if } 200 \leq f \leq 1500 \end{aligned} \quad (2.7)$$

formülizasyonu kullanılır. Frekans 2200 MHz, gönderici anten yüksekliği 20 m alıcı anten yüksekliği 1.5 m iken Okumura-Hata yol kaybı modelinin uzaklığa bağlı değişimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Okumura-Hata Modeli Yol Kaybı

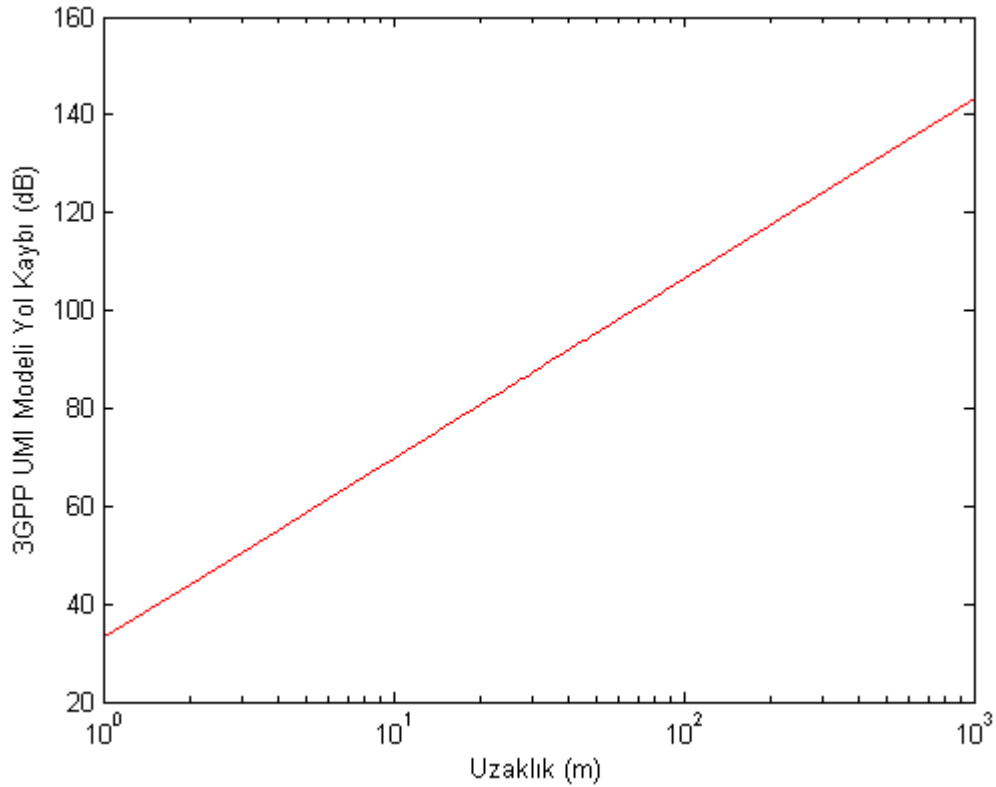
2.2.2 3GPP UMI Model

Küçük hücrelerin yol kaybı modellemesinde kullanılan standart 3GPP kentsel mikro hücre yol kaybı modeli aşağıdaki gibidir [13].

$$PL = 22.7 + 36.7 \cdot \log(d) + 26 \cdot \log(f_c). \quad (2.8)$$

Burada kentsel alandaki küçük hücre yol kaybı dB cinsindedir. f_c ise küçük hücre frekans değeridir ve GHz cinsinden ifade edilir. Kullanılan frekans değeri ise 2.5 GHz'dir.

Frekans 2.5 GHz, gönderici anten yüksekliği 3 m alıcı anten yüksekliği 1.5 m iken 3GPP-UMI yol kaybı modelinin uzaklığa bağlı değişimi Şekil 2.2'deki gibidir.



Şekil 2.2. 3GPP UMI Modeli Yol Kaybı

2.3 Gürültü Gücü

Gürültü gücünü simüle etmek için beyaz gürültü modeli kullanılmıştır. Beyaz gürültü farklı frekanslarda eşit yoğunluğa sahip rastgele bir sinyaldir. Gürültü gücü sıcaklık ve bant genişliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. N , gürültü gücü olup birimi Watt'tır ve 2.9'de görüldüğü şekilde hesaplanarak simülasyona eklenmiştir.

$$N = k \cdot w \cdot T. \quad (2.9)$$

Simülasyonda kullanılan değerler; bant genişliği, $w = 10^7$ Hz; sıcaklık, $T = 588$ Kelvin ve Boltzmann sabiti, $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K dır.

2.4 İşaret Gürültü Oranı (SNR)

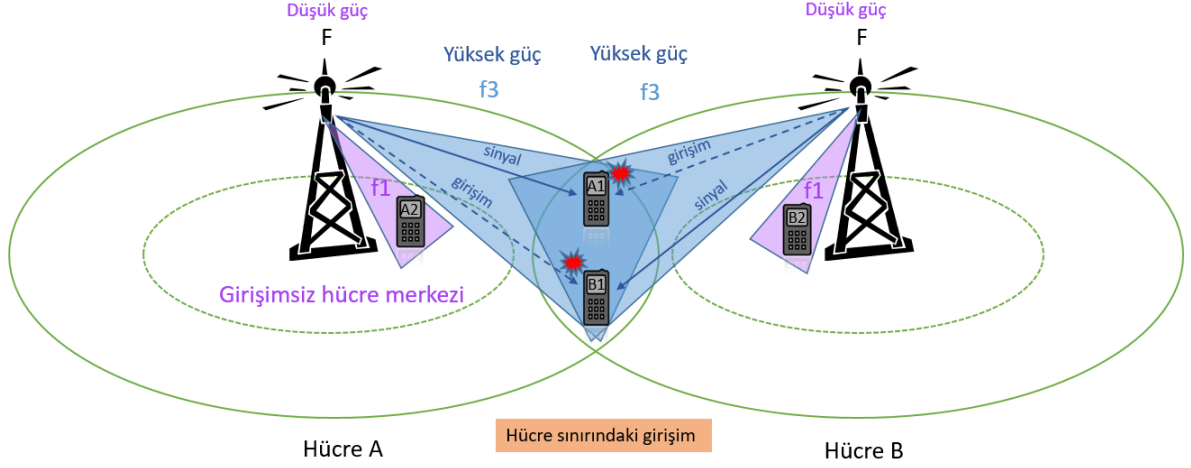
İşaret gürültü oranı istenen sinyalin gücünü istenmeyen gürültü gücü ile karşılaştıran bir ölçümdür. Alınan güç P_{RX} , N ise gürültü gücüdür.

Genel olarak dB birimi ilde ifade edilen SNR aşağıdaki gibi elde edilir [14].

$$SNR_{dB} = 10 \log\left(\frac{P_{RX}}{N}\right). \quad (2.10)$$

2.5 Hücreler Arası Girişim

Mobil ağ kapasitesinin düşmesine sebep olan en önemli faktör girişimdir. Girişim farklı komşuluklar içindeki mobil kullanıcının aynı kaynakları aynı zamanda kullanmaya çalışması yüzünden oluşmaktadır. Örneğin; aynı frekans kanalını (ör; 1.8 GHz bandında 10 MHz) ve frekans kaynağını kullanan iki hücre olsun. Mobil kullanıcı da hücrelerin keştiği bir alanda yüksek iletim gücü kullanırken servis alıyorsa hücre sinyalleri girişime neden olur. Bu durumda iki hücre de birbirini üzerinde girişim yaratır.



Şekil 2.3. Girişim

Şekil 2.3'de girişimin nasıl oluştuğu anlatılmaktadır. A2 ve B2 mobil kullanıcıları aynı f1 frekans kaynağını kullanmaktadır ve bu kullanıcılar kaynak hücrelerine yakın, yani hücre merkezinde oldukları için düşük iletim gücü kullanabilmektedirler. Bu sayede herhangi bir girişime neden olmazlar. Mobil kullanıcılar A1 ve B1 ise aynı f3 frekansını kullanmaktadır ve hücre merkezlerinden uzak oldukları, yani hücre dış kenarında oldukları için daha fazla iletim gücü kullanılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kullanıcılar birbirine girişim yaratırlar.

2.6 İşaret Gürültü ve Girişim Oranı (SINR)

İşaret gürültü ve girişim oranı kablosuz ağ iletişim sistemlerinde kanal kapasitesinin teorik üst limitini gösteren bir niceliktir. Alınan güç P_{Rx} , N gürültü gücü, $P_{diğer}$ diğer baz istasyonlarından alınan gücün toplamı olup $SINR$ işaretin gürültü ve girişime oranıdır.

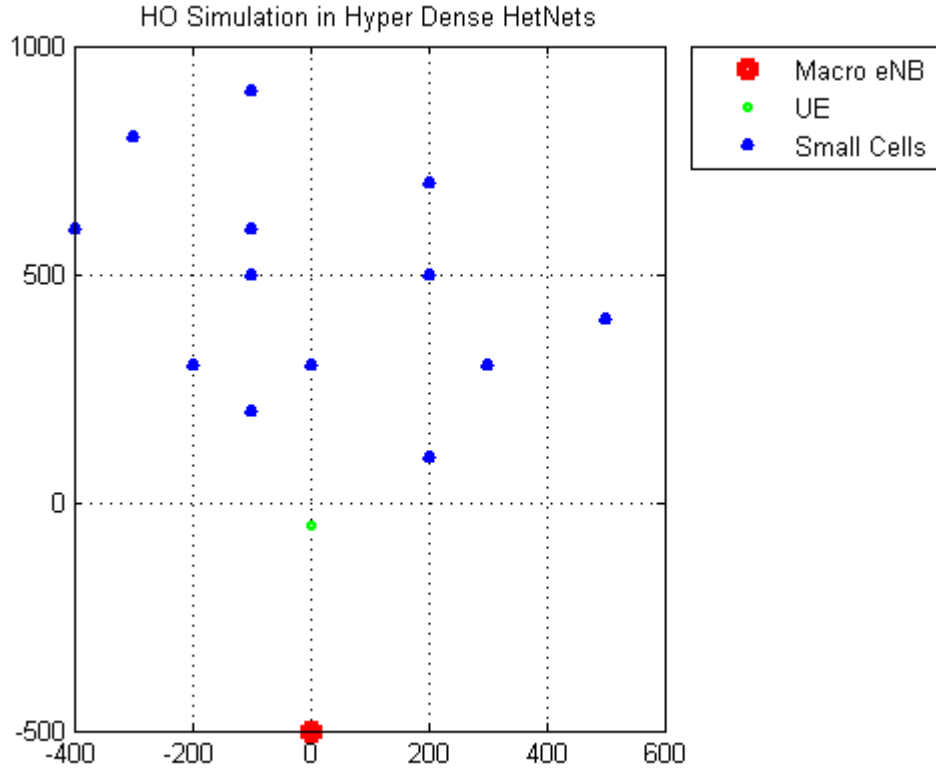
Genel olarak dB birimi kullanarak hesaplanan $SINR$ aşağıdaki gibidir [14].

$$SINR_{dB} = 10 \log\left(\frac{P_{Rx}}{N + P_{diğer}}\right). \quad (2.11)$$

2.7 Küçük Hücre Dağılımı

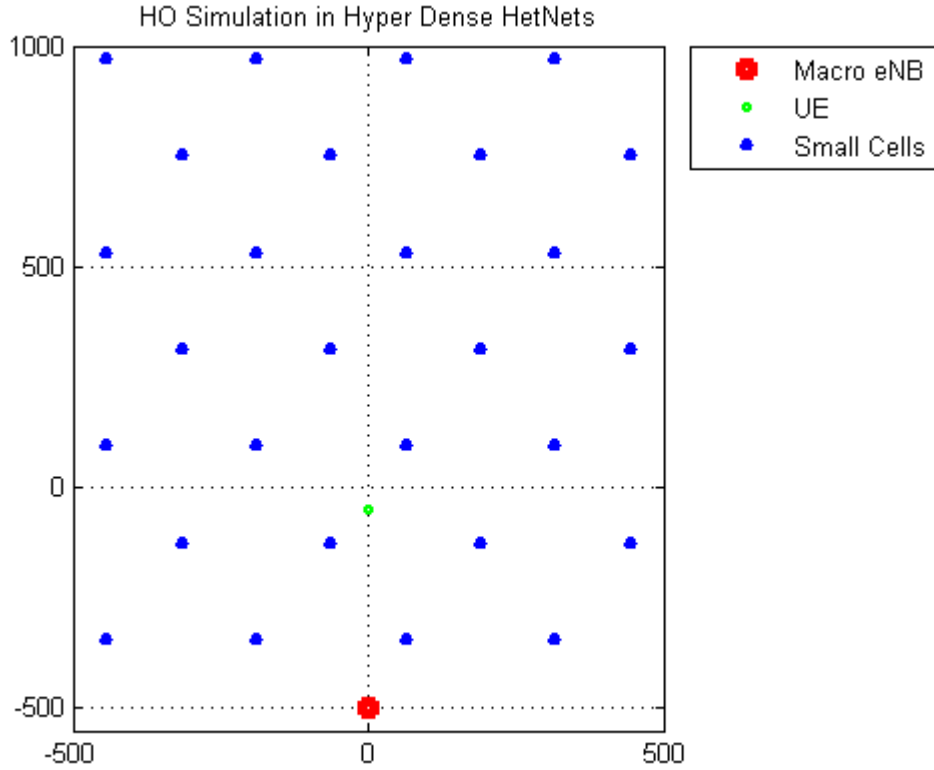
Simülasyonlarda rastgele dağılım ve eşit aralıklı dağılımlar kullanılmıştır. Mobil kullanıcının hareket ettiği yaklaşık 1 km^2 'lik alanda belli yoğunluklardaki hücreler için rastgele ve eşit uzaklıktaki hücreler ele alınmıştır. Ele alınan yoğunluk değerleri ise 2, 4, 6, 10, 14, 18, 20, 22 (hücre sayısı/ km^2)'dir. Rastgele dağılım için literatürde yer alan bazı dağılımlar 'Uniform', 'Gaussian', 'Gaussian Hotspot' dağılımlarıdır [15]. Rastgele dağılımlı hücreler belli bir alanda yoğunlaşacak şekilde seçilmiştir. Bunun sebebi gerçek hayatta şehir merkezlerinde, alışveriş merkezi ve çevresinde, konser alanı vb. kullanıcı sayısının arttığı bölgelerde baz istasyonu ihtiyacının artmasıyla küçük hücrelerin bu bölgelerde yoğunlaştığını göstermektir. Bunu gerçeklemek yani küçük hücrelerin 'x' ve 'y' koordinatlarını belirlemek için poisson dağılımı kullanmanın bu etkiyi yarattığı görülmüş ve bu şekilde lokasyonlar belirlenmiştir. Tezde rastgele olmayan dağılım için küçük hücreler belli bir ızgara üzerinde eşit aralıklarda dağılmıştır. Eşit aralıklı dağılım mobil kullanıcı düz hareket ettiği için karesel değil üçgensel seçilmiştir ki karesel seçildiğinde iki baz istasyonu da aynı uzaklıkla kalıp birbirinin potansiyelini etkilemesin.

Şekil 2.4'te örnek olarak $t=0$ anında küçük hücre yoğunluğu 14 iken küçük hücrelerin ve mobil kullanıcının konumu gösterilmiştir.



Şekil 2.4. $t=0$ anında mobil kullanıcı ve hücrelerin durumu

Şekil 2.5'te ise örnek olarak $t=0$ anında küçük hücre yoğunluğu 18 iken küçük hücrelerin ve mobil kullanıcının konumu yer almaktadır.



Şekil 2.5. $t=0$ anında mobil kullanıcı ve hücrelerin durumu

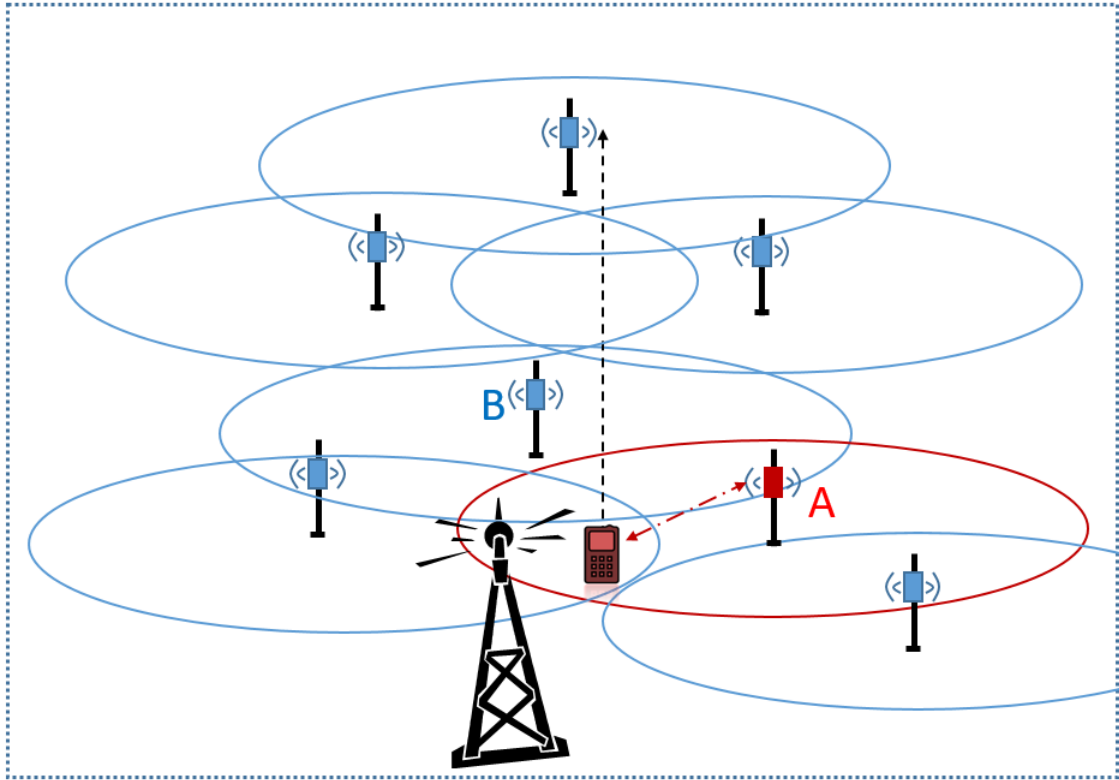
2.8 Mobil Kullanıcı Hızı ve Küçük Hücre Keşif Periyodu

Mobil kullanıcı küçük hücrelerin yer aldığı 1 km^2 'lik alanda doğrusal olarak hareket etmektedir. Çıktıları elde etmek için kullanılar mobil kullanıcı hız değerleri günlük hayata uygun ve literatürde de kullanılan değerlerden seçilmiş olup [16]'e göre $V= 10, 30, 50, 70, 100, 120 \text{ km/h}$ ($2.77, 8.25, 13.75, 19.25, 27.5, 33 \text{ m/s}$) değerleri kullanılmıştır.

Tezde etkisi incelenmesi hedeflenen temel parametrelerden biri de küçük hücre keşif periyodudur. Ele alınan periyod değerleri $T= 1, 2, \dots, 19, 20$ saniyedir. Simülasyonda mobil kullanıcı başlangıç noktasından itibaren 1 km uzaklığa kadar hareket etmektedir. Mobil kullanıcı harekete başladığı anda en yüksek ölçüm aldığı hücreye bağlanır. Yeni hücre keşif periyodu tarama zamanı gelene kadar mevcut bağlı olduğu hücreden servis almaya devam eder. Tarama yaptığı daha iyi sinyal aldığı başka hücre varsa el değiştirme ile o hücreye geçer ve o hücreden servis almaya devam eder.

2.9 Mobil Kullanıcı Hareketi

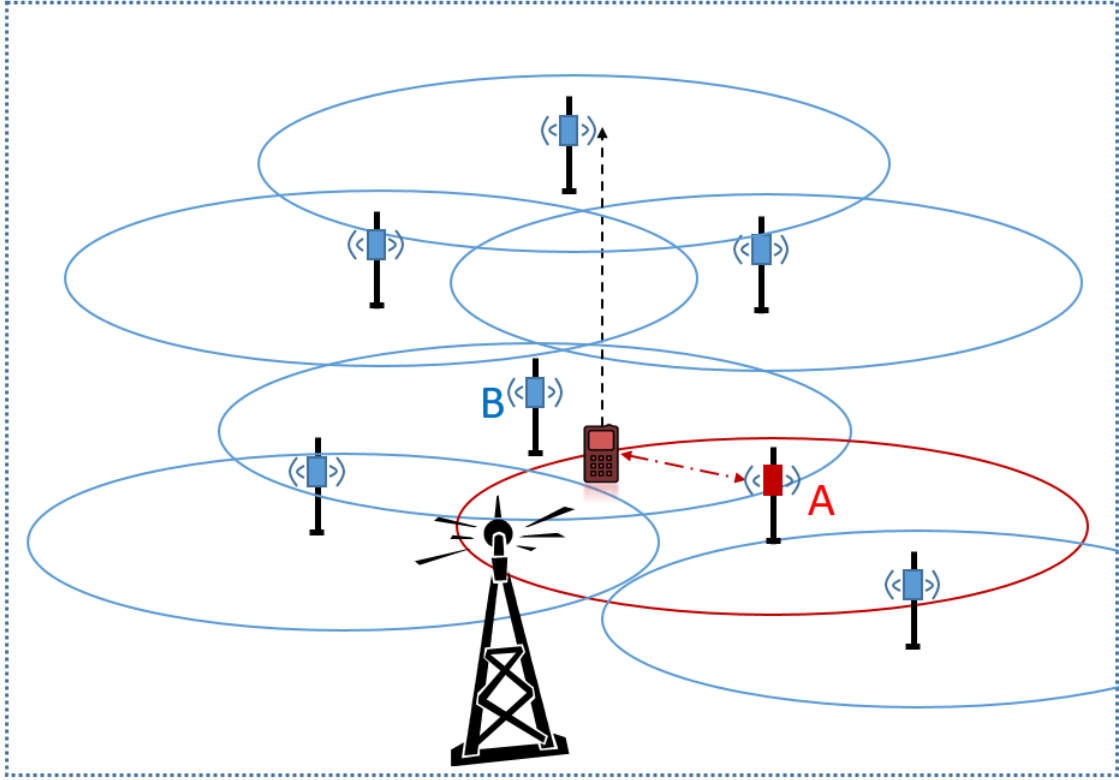
Ele alınan örnek senaryoda mobil kullanıcının $t=0$ anı Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Mobil kullanıcının hareket ettiği görülen alan 1 km^2 olup içerisinde rastgele dağılım ile konumlandırılmış küçük hücreler yer almaktadır. $t=0$ anında belirtilen noktadan harekete başlayan kullanıcı ok yönünde hareket etmekte olup tarama yapmaya başladığında en yüksek sinyal aldığı hücreye bağlanır. Uzaklığın 1km olduğu şekildeki tepe noktasında ise hareketi son bulmaktadır.



Şekil 2.6. $t=0$ anında mobil kullanıcı ve hücrelerin durumu

Şekil 2.7'de ise mobil kullanıcının harekete başladıktan bir süre sonraki durumu yer almaktadır. Mobil kullanıcı hareket etmeye başladıktan sonra önce 'A' hücrelerine bağlanır. Daha sonra 'B' hücrelerine doğru yol alan mobil kullanıcı 'B' hücrelerinden daha kuvvetli sinyal almasına rağmen tarama yapmadığı için 'B' hücrelerine bağlanamaz. 'A' hücrelerinde kalmaya devam eder. 'A' hücrelerinden aldığı sinyal kalitesi ise 'A' hücrelerinden uzaklaştıkça düşmeye başlar. Mobil kullanıcı hareketine devam eder ancak tekrar

tarama yapana kadar başka hücreye bağlanamaz.



Şekil 2.7. $t = 0 + x$ anında mobil kullanıcı ve hücrelerin durumu

2.10 İncelenen Veriler

Simülasyon sonucu incelenen veriler küçük hücrelerin rastgele dağılımına ve eşit aralıklı dağılımına göre ayrı ayrı elde edilecektir. Kullanılan değerler gerçeğe uygun tipik değerlerdir. Aşağıda incelenen veriler listelenmiştir:

- Mobil kullanıcının anlık iletim gücünün mobil kullanıcının pozisyonuna bağlı değişimi,
- Mobil kullanıcının aldığı anlık gücün mobil kullanıcının pozisyonuna bağlı değişimi,
- Mobil kullanıcının tarama periyodu yüzünden daha yüksek ölçüm almasına rağmen bağlanamadığı hücrelerin yüzdesel olarak değerinin tarama periyoduna bağlı değişimi (kaçırılan hücre),

- Mobil kullanıcının aldığı ortalama gücün tarama periyoduna bağlı değişimi,
- Mobil kullanıcının alabileceği anlık maksimum bit hızının mobil kullanıcının pozisyonuna bağlı değişimi,
- Mobil kullanıcının anlık SNR değerinin mobil kullanıcının pozisyonuna bağlı değişimi,
- Mobil kullanıcının anlık SINR gücünün mobil kullanıcının pozisyonuna bağlı değişimi,
- Mobil kullanıcının anlık SINR bazlı maksimum bit hızının mobil kullanıcının pozisyonuna bağlı değişimi.

3. SİMÜLASYONLARDA İNCELENEN PARAMETRELERİN HESAPLANMASI

Bu bölümün amacı simülasyonların nasıl yapıldığını ve hangi parametrelerin incelendiğinin basit örnekler üzerinden açıklanmasıdır. Bu bölümde açıklanan simülasyon yöntemleri Bölüm 4, Bölüm5 ve Bölüm 6'da kullanılacaktır.

3.1 Anlık Alınan Güç

Anlık alınan güç mobil kullanıcının bağlı olduğu hücreden aldığı güçtür. dBm cinsinden hesaplanır. Antenin çıkış gücüne, mobil kullanıcının pozisyonuna, gölgeleme ve kayıp değerleri de hesaba katılarak mobil kullanıcının hızına göre her adımda hesaplanır. Küçük hücre pozisyonlarını belirlemede rastgele dağılım kullanıldığı senaryoda etkilerin düzgün görülebilmesi ve yorumlanabilmesi için simülasyon aynı girdiler kullanılarak 100 kez koşturularak o adımdaki değerlerin ortalaması alınmıştır. Yuvarlak ile belirtilen noktalar mobil kullanıcının yeni hücre keşif etmesi için tarama yaptığı zamanları göstermektedir. Eğer mobil kullanıcı tarama yaptığı sırada sinyal kalitesi daha iyi olan bir hücre bulursa bu hücreye geçiş (el değiştirme) yapmaktadır. Bu da kullanıcının haberleşme kalitesinin yükseltilmesini sağlar. Zamanında tarama yapmayan ve başka bir baz istasyonuna geçiş yapamayan kullanıcının haberleşme kalitesi düşer, hatta bağlantı kesilmesi gibi problemlerle karşılaşabilir. Mobil kullanıcının maksimum alabildiği güç -25 dBm'dir, mobil kullanıcı alıcı devreleri daha yüksek gücü işleyememektedir.

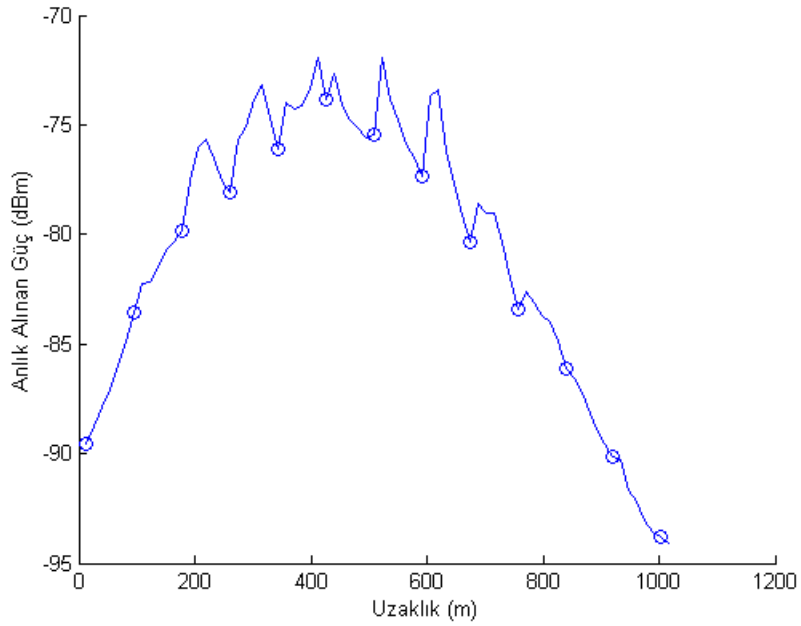
Anlık alınan gücün hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} P_{Rx} &= P_{init} - L_u - S, \text{ if } P_{Rx} < -25 \\ P_{Rx} &= -25, \text{ if } P_{Rx} > -25 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Burada P_{Rx} alınan güç, P_{init} baz istasyonundan çıkan güç değeri, L_u kentsel alandaki yol kaybı, S ise gölgelemedir. Makro hücre için yol kaybının hesaplanmasında Eşitlik (2.5) kullanılmıştır. Yol kaybı için kullanılan değerler [17]'ya uygun olarak seçilmiştir; taşıyıcı frekansı $f = 2500\text{MHz}$, makro hücre anten yüksekliği $h_B = 20\text{m}$, mobil kullanıcı anten yüksekliği $h_M = 1.5\text{m}$ 'dir.

Küçük hücre için yol kaybının hesaplanmasında ise Eşitlik (2.8) kullanılmıştır.

Şekil 3.1'de rastgele küçük hücre dağılımı için olan örnek senaryoda mobil kullanıcının hızı 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniyedir. Şekillerde 'o' ile gösterilen noktalar mobil kullanıcının tarama yaptığı anı göstermektedir. Ard arda her iki 'o' noktası arası x ekseninde, tarama periyodu kadar sürede mobil kullanıcının kat ettiği yolu m. cinsinden göstermektedir.



Şekil 3.1. Mobil kullanıcı için $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ saniyedir.

Şekil 3.1'e göre küçük hücrelerin dağılımında belli bir lokasyon etrafında toplanacak şekilde rastgele dağılım kullanılmıştır. Küçük hücrelerin yoğunlaştığı 400 m civarındaki alanda anlık alınan güç değeri mobil kullanıcının hareketi boyunca maksimum seviyelere ulaşmıştır.

3.2 Anlık İletilen Güç

Anlık iletilen güç mobil kullanıcının baz istasyonuna veri göndermek için harcadığı güçtür. Maksimum yol kaybını hesaplamak için d EIRP (equivalent isotropically radiated power (dBm)), i alıcının duyarlılığı (Receiver sensitivity (dBm)), j girişim payı (Interference Margin (dB)), k kablo nedenli kayıplar (Cable Loss (dB)), l alıcının anten kazancı (RX antenna gain (dBi)) ve m MHA kazancı (dB) göz önünde bulundurulmuştur. Maksimum yol kaybını hesaplamak için aşağıdaki değerler kullanılmıştır ve [17]'daki örnek değerlere uygun olarak seçilmiştir.

d	EIRP	24	dBm
i	Alıcının Duyarlılığı	-123.4	dBm
j	Girişim Payı	2	dB
k	Kablo Kaybı	2	dB
l	Anten Kazancı	18	dBi
m	MHA	2	dB

Buna göre maksimum yol kaybı;

$$P_L(max) = d - i - j - k + l - m, \quad (3.2)$$

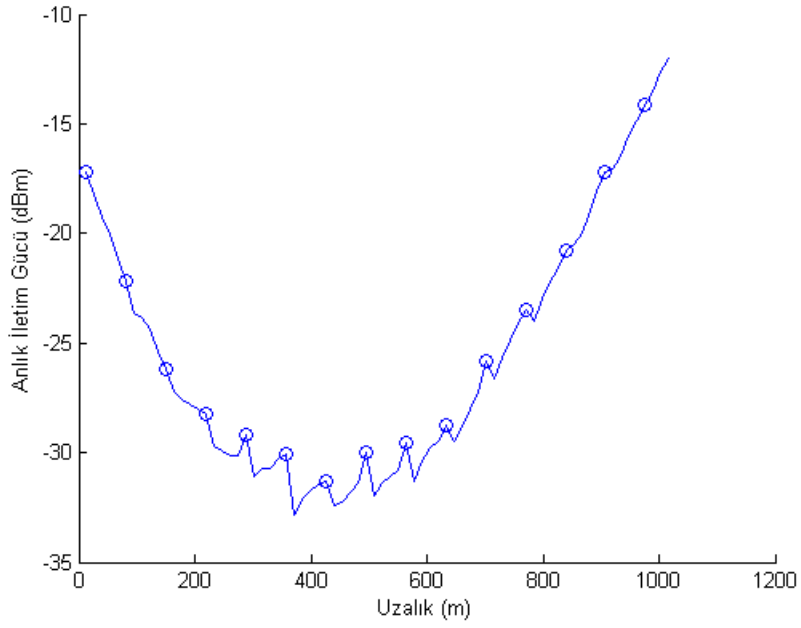
olarak hesaplanır ve değeri 163.4 dB'dir. Mobil kullanıcının maksimum iletim gücü 24 dBm'dir. Kayıp $L_{(anlık)}$ değerinin o anda toplam kayıp değeri gölgeme ve yol kaybının toplamıdır. Anlık iletilen gücün (TP = transmit power) hesaplanması için;

$$TP = 24 - 163.4 + L_{(anlık)}, \quad (3.3)$$

eşitliği kullanılır.

Aynı zamanda ilgili referans dokümanında da 4G sınıfındaki mobil kullanıcının maksimum iletilen güç değeri yaklaşık 23 dB olarak tespit edilmiştir [18].

Şekil 3.2'de rastgele küçük hücre dağılımı için olan örnek senaryoda mobil kullanıcının hızı 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniyedir.



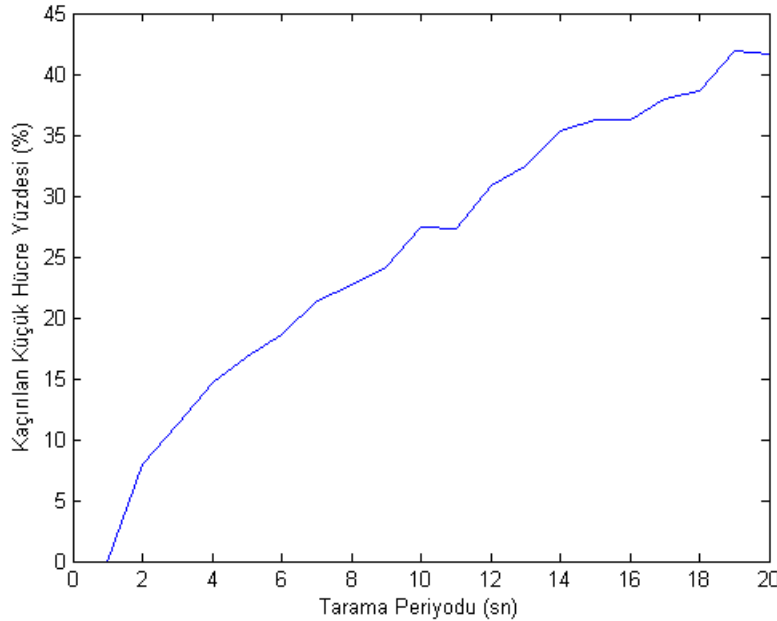
Şekil 3.2. Anlık iletim gücünün mobil kullanıcının pozisyonuna bağlı değişimidir. $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn

Şekil 3.2'de daha fazla küçük hücreye erişim olduğu noktalarda mobil kullanıcı daha iyi sinyal alabildiği için iletim gücü düşük seviyelerde kalmıştır.

3.3 Kaçırılan Küçük Hücreler

Kaçırılan küçük hücre bilgisi mobil kullanıcının hareketi boyunca yüksek sinyal almasına rağmen, tarama yapmaması yüzünden bağlanamadığı küçük hücrelerin yüzdesini gösterir. Bu bilgi tarama yapılmadığında ortamda mobil kullanıcıya daha yüksek güç sağlayabilecek küçük hücrelerin var olduğu anda mobil kullanıcının bu hücrelere bağlanamadığı anların toplam hareket süresine oranıdır. Şekil 3.3'de mobil kullanıcının daha iyi güç aldığı hücreye geçebilme durumunu kullanamayarak bağlı olduğu hücrede kalmaya devam etme oranının tarama periyoduna bağlı değişimi gösterilmektedir.

Şekil 3.3'de rastgele küçük hücre dağılımı için olan örnek senaryoda mobil kullanıcının hızı 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6'dır.



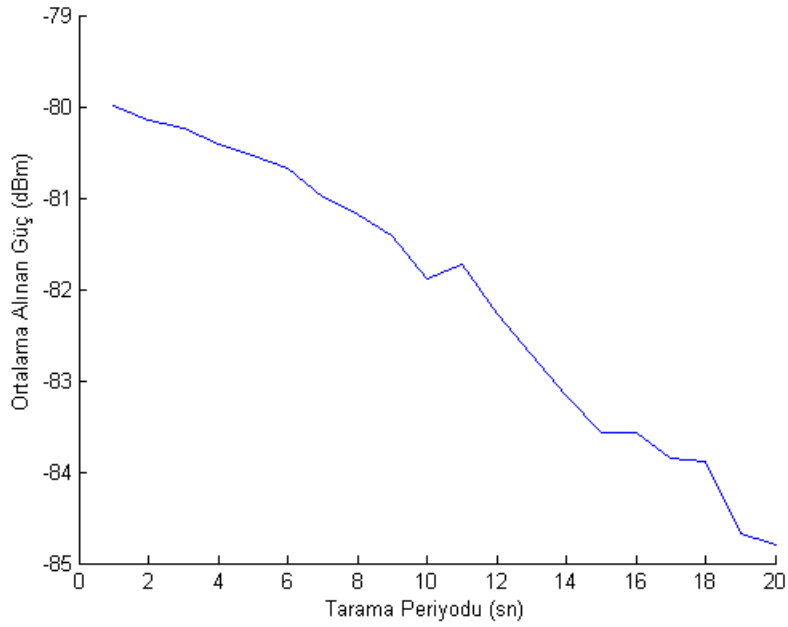
Şekil 3.3. Kaçırılan Küçük Hücre Yüzdesinin Tarama periyoduna bağlı değişimidir. $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Şekil 3.3'e göre tarama periyodu arttıkça kaçırılan küçük hücre yüzdesi de artmaktadır. Tarama periyodu 20 sn iken kaçırılan küçük hücre oranı %40'lara kadar çıkmaktadır. Bu da alınan güçte önemli azalmalara sebep olabilir. Bölüm 3.4'te bu incelenmiştir.

3.4 Ortalama Güç

Ortalama güç Bölüm 3.1’de belirtilen mobil kullanıcıdaki anlık alınan gücün tüm hareket boyunca ortalamasıdır. Grafikte mobil kullanıcının hareketi boyunca aldığı ortalama gücün tarama periyoduna bağlı değişimi belirtilmektedir.

Şekil 3.4’te rastgele küçük hücre dağılımı için olan örnek senaryoda mobil kullanıcının hızı 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6’dır.



Şekil 3.4. Ortalama gücün periyoda bağlı değişimidir. $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Şekil 3.4’te görüldüğü gibi mobil kullanıcının tarama periyodu arttıkça hareketi boyunca aldığı ortalama güç azalmaktadır. Ortalamada 5 dB’ye varan kayıplar görülmektedir.

3.5 Anlık Bit Hızı

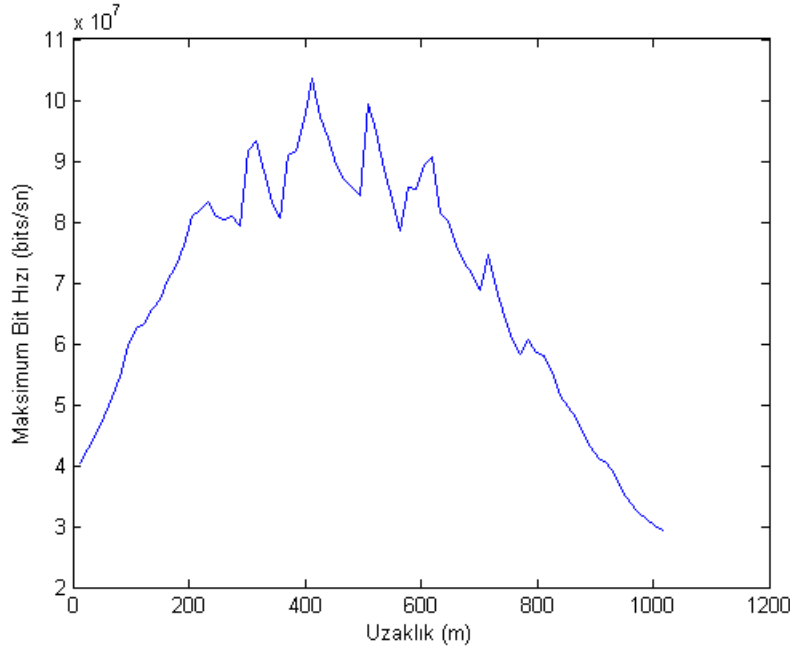
Anlık maksimum bit hızının hesaplanması için Shannon-Hartley teoremi kullanılmıştır. 1948 yılında Claude Shannon herhangi bir iletişim sisteminde ulaşılabilecek maksimum bit hızını bulmuştur. Kanaldaki gürültünün N (Watts) hesaplanması için white noise ve bant genişliği göz önünde bulundurulmuştur. Bant genişliği w (Hz), beyaz gürültü güç spektral yoğunluğu ise N_0 (Watts/Hz), alınan güç ise $RecPow$ (Watts)'dır.

$$N = N_0 \cdot w \quad (3.4)$$

$w = 10$ MHz, $T = 588$ Kelvin, k ise Boltzmann sabitidir. Buradan yola çıkarsak maksimum bit hızını şu şekilde hesaplarız.

$$BitRate = w \cdot \log_2\left(1 + \frac{RecPow}{N_0 w}\right). \quad (3.5)$$

Şekil 3.5'de mobil kullanıcının aldığı anlık bit hızının mobil kullanıcının pozisyonuna bağlı değişimi gösterilmektedir. Rastgele küçük hücre dağılımı için olan örnek senaryoda mobil kullanıcının hızı $13,75$ m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniyedir.

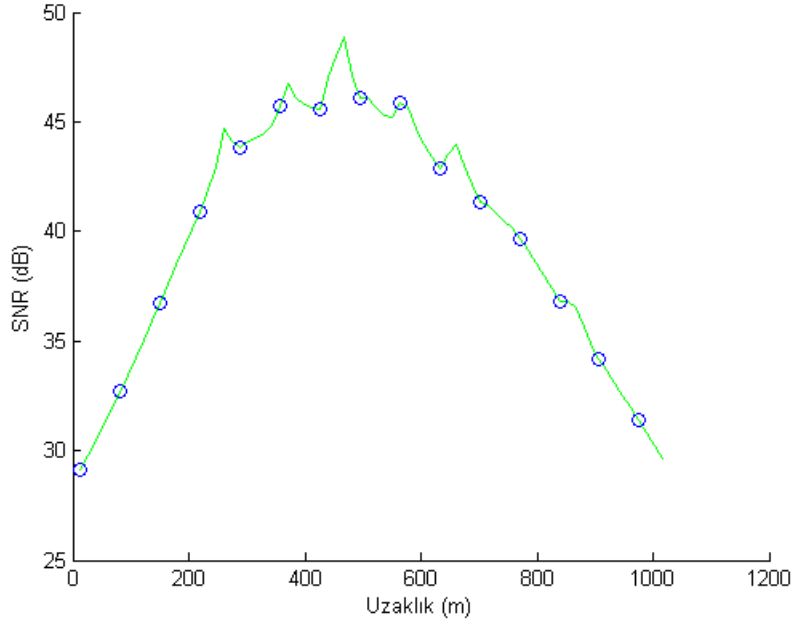


Şekil 3.5. Anlık maksimum bit hızı $V = 13,75$ m/s, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Anlık bit hızı anlık alınan güç değerlerinde olduğu gibi küçük hücre yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda en yüksek seviyelere ulaşmaktadır.

3.6 İşaret Gürültü Oranı

Bölüm 2.4'te tanımladığı gibi İşaret gürültü oranı istenen sinyalin istenmeyen gürültü gücü seviyesi ile karşılaştıran bir ölçümdür. Şekil 3.6 rastgele küçük hücre dağılımına göre 2.10'a göre elde edilen çizimdir.



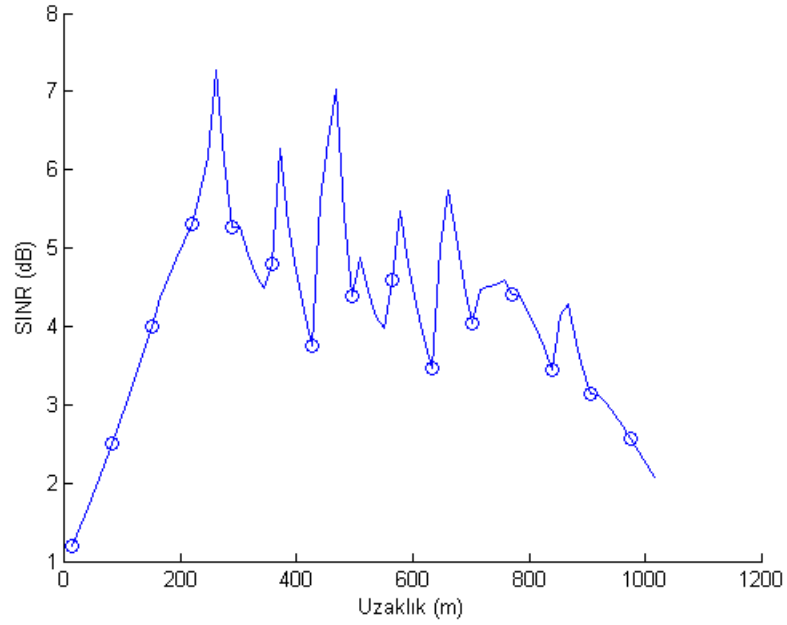
Şekil 3.6. Anlık maksimum bit hızı $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.

Şekil 3.6'da rastgele küçük hücre dağılımı için olan örnek senaryoda mobil kullanıcının hızı 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu 5 saniyedir.

3.7 İşaret Gürültü ve Girişim Oranı

Bölüm 2.6'de tanımladığı gibi kablosuz ağ iletişim sistemlerinde kanal kapasitesinin teorik üst limitini gösteren aşağıdaki çizim rastgele dağılım senaryosunda oluşturulmuştur. Şekil 3.7 rastgele küçük hücre dağılımına göre 2.11 eşitliği ile hesaplanarak elde

edilen çizimdir.



Şekil 3.7. Anlık maksimum bit hızı $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.

Şekil 3.7'de rastgele küçük hücre dağılımı için olan örnek senaryoda mobil kullanıcının hızı 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu 5 saniyedir.

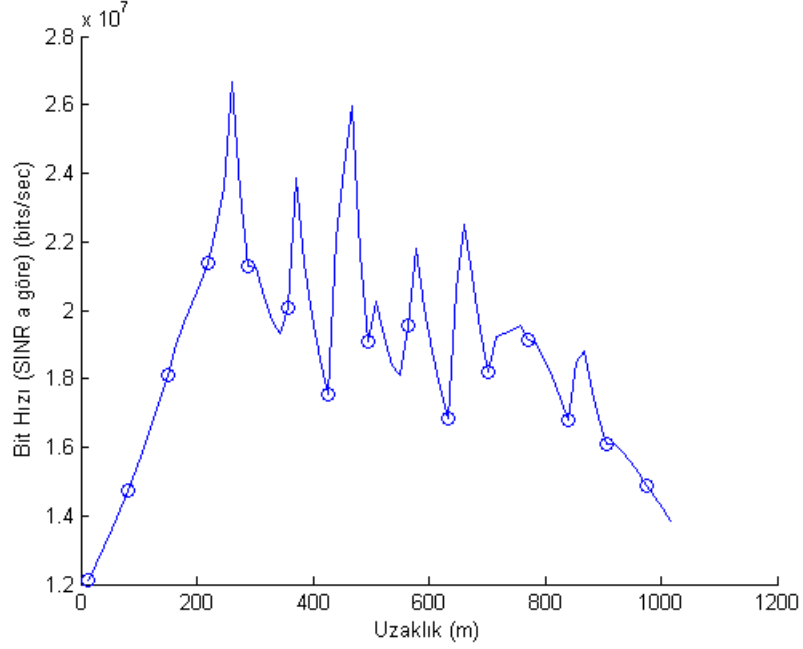
3.8 İşaret Gürültü ve Girişim Oranı Bazlı Bit Hızı

Girişim olduğu durumda Eşitlik 3.5'teki ulaşılabilecek maksimum bit hızı aşağıdaki forma dönüşür. Buradaki SINR Bölüm 2.6'da verilen işaretin gürültü ve girişime oranıdır. Buna göre teoremin basit formu aşağıdaki gibidir [1].

$$BitRate = w \cdot \log_2(1 + SINR). \quad (3.6)$$

İlgili eşitlikte w bant genişliği (Hz), BitRate kanal kapasitesi (bits/sec), SINR ise işaret, gürültü ve girişim oranıdır (dB).

Şekil 3.5'de rastgele küçük hücre dağılımı için olan örnek senaryoda mobil kullanıcının hızı 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu 5 saniyedir.



Şekil 3.8. Anlık maksimum bit hızı $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.

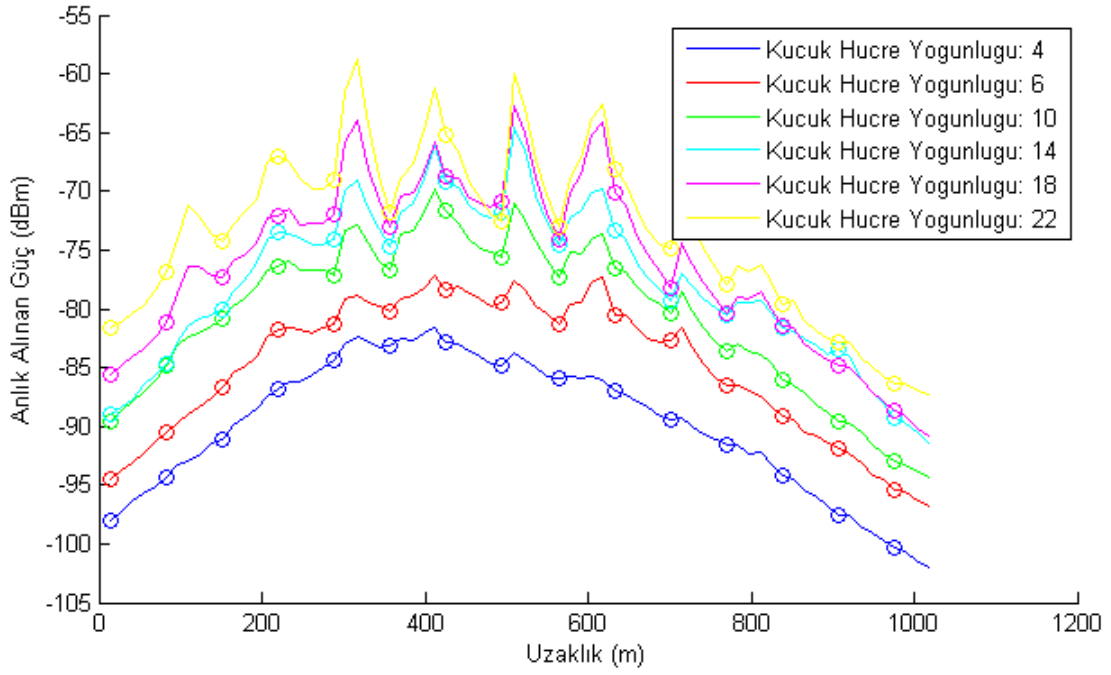
4. GİRİŞİM OLMADIĞI VE KÜÇÜK HÜCRELERİN RASTGELE DAĞITILDIĞI DURUM

Bu bölüm, Bölüm 5 ve Bölüm 6, Bölüm 3'te anlatılan ve basit örnekleri verilen simülasyon yöntemleri farklı senaryolarda farklı parametrelerin sistem performansını nasıl etkilediğini incelemek için kullanılacaktır. Bu bölümde girişim hesabı yer almayıp, küçük hücrelerin rastgele dağıtıldığı durumda parametrelerin etkileri ele alınmıştır.

4.1 Anlık Alınan Gücün İncelenmesi

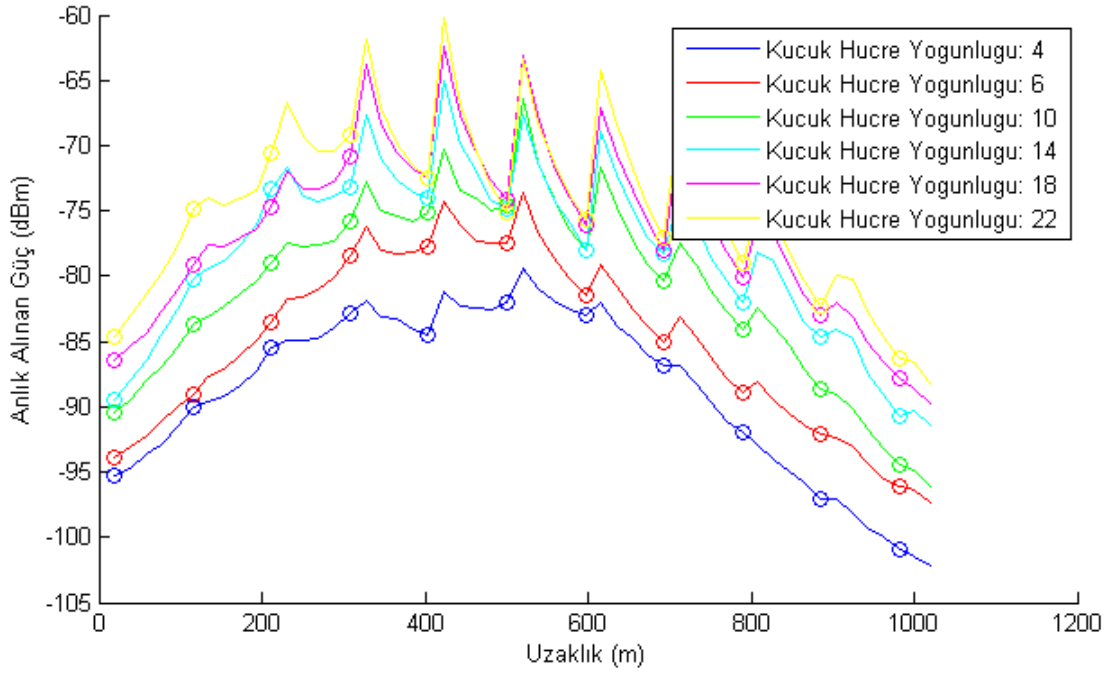
4.1.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık Alınan Güce Etkisi

İlk olarak Şekil 4.1'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Buna göre beklendiği gibi küçük hücre yoğunluğu arttıkça mobil kullanıcının aldığı güç katettiği 1 km'lik yol boyunca artmaktadır. Baz istasyonu ve mobil kullanıcı arasında mükemmel diyebileceğimiz bir iletişim kurulabilmesi için alınan güç değeri değerinin -80 dBm'in üzerinde olması gerekmektedir. Bu sebeple düşük yoğunluktaki hücreler bu seviyeye çıkamadığı ya da çok kısa bir süre bu değerlere ulaşabildiği görülmektedir. -100 dBm'in altındaki değerler ise mobil kullanıcının sinyalinin kesilmesi anlamına gelir.



Şekil 4.1. Anlık Alınan Güç $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Farklı bir hızda gözlemlendiğinde örneğin 70 km/h Şekil 4.2'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Hızın artması ile sinyal seviyesindeki değişim daha çabuk gerçekleşmektedir ve tarama noktaları arasındaki uzaklık artmaktadır. Yani sinyal gücü daha çabuk artıp daha çabuk azalmaktadır.

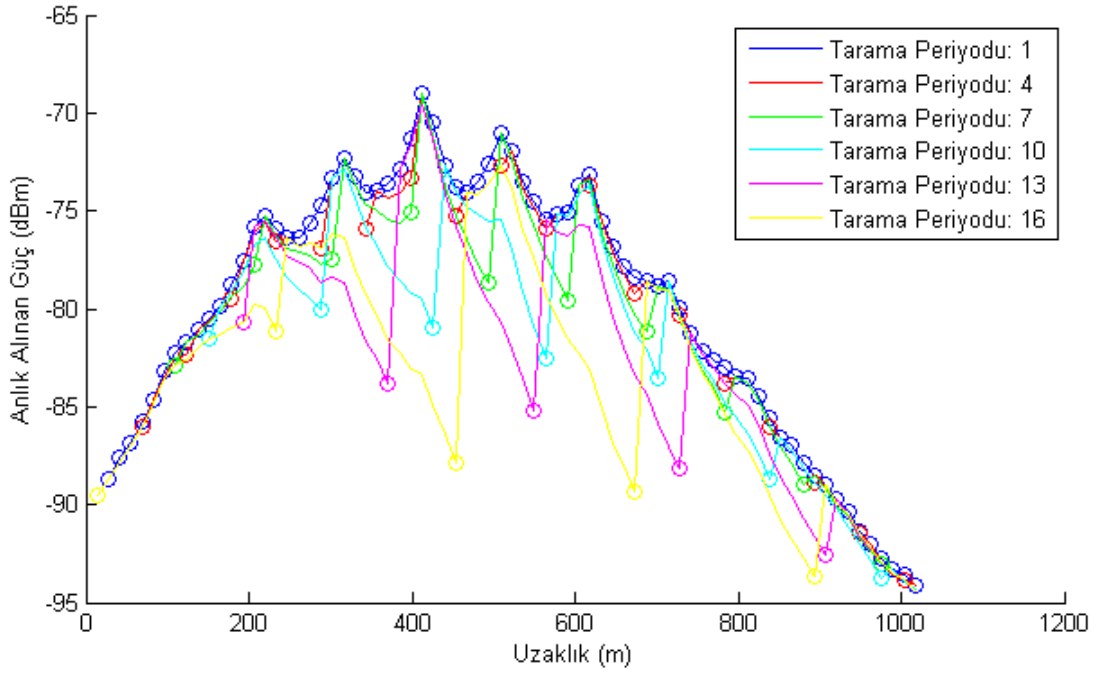


Şekil 4.2. Anlık Alınan Güç $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Aynı tarama periyoduna ait bu grafikler dikkate alındığında yoğunluk arttıkça hangi hızda olursa olsun anlık alınan gücün daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi mobil kullanıcının sinyal alınan hücreye ne kadar yakın olursa daha az kayıpla o kadar yüksek güç elde etmesidir.

4.1.2 Tarama Periyodunun Anlık Alınan Güce Etkisi

Bu bölümdeki ise tarama periyodu değiştiğinde anlık alınan gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.3'de tarama periyodunun anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

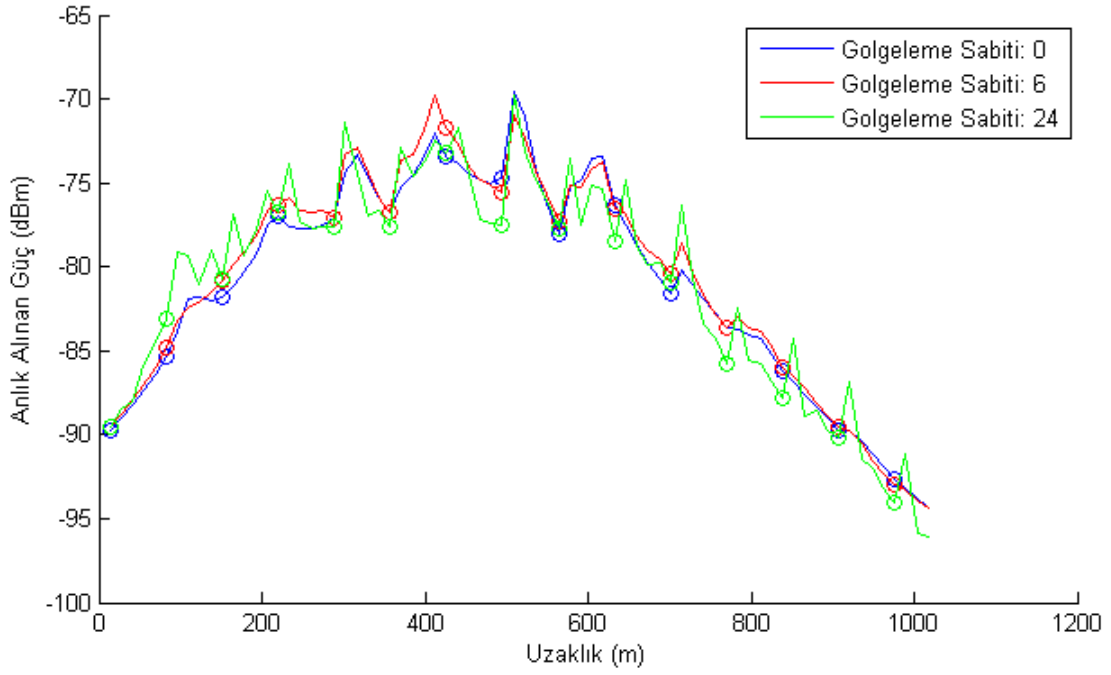


Şekil 4.3. Anlık Alınan Güç $V = 13,75\text{m/s}$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcının daha iyi sinyal aldığı hücreye geçisi gecikmektedir, daha kötü sinyal aldığı hücreye bağlı kalmak durumundadır. Bu da mobil kullanıcının bu süre boyunca sinyal kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bunun toplam alınan ortalama güce etkilerini 6.5.2 ve 6.5.1 bölümlerinde göreceğiz.

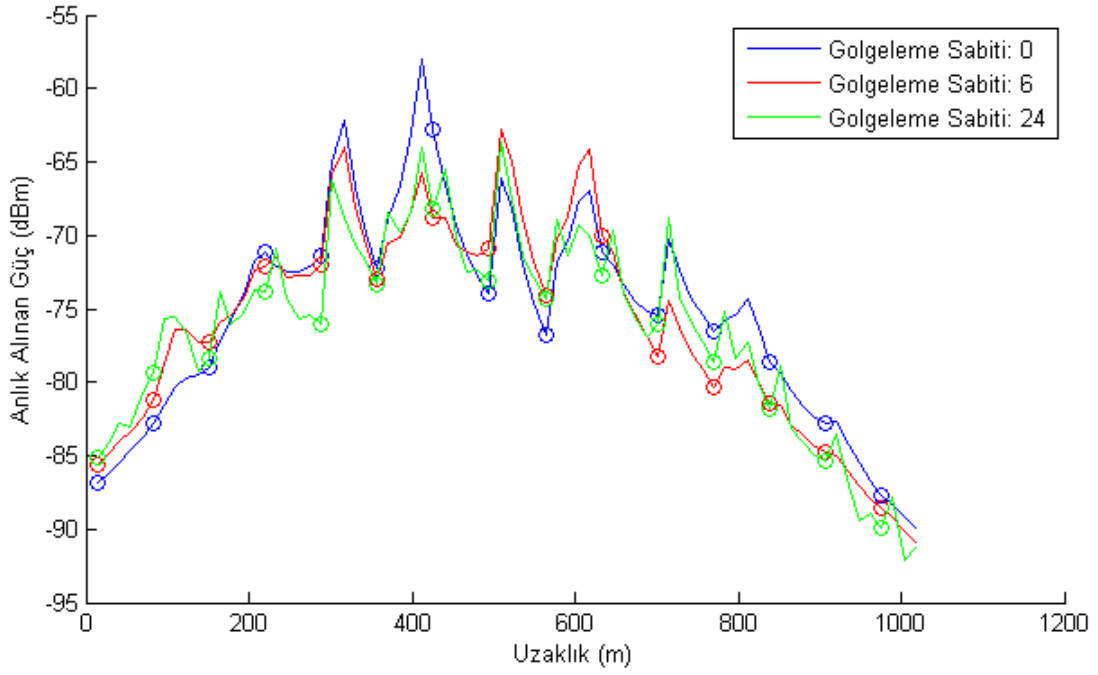
4.1.3 Gölgeleme Sabitinin Anlık Alınan Güce Etkisi

Gölgeleme sabiti sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 4.4'de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık alınan güce etkisinin hız $13,75\text{ m/s}$ (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve tarama periyodu 5 sn . iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 4.4. Anlık Alınan Güç $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.

Ortam koşulları sinyal gücünü arttırabilir veya engel olup azaltabilir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi gölgeleme pozitif ya da negatif etki yaratabilir. Şekil 4.5'te küçük hücre yoğunluğu arttırılıp gölgeleme sabitinin etkisini incelediğimizde de sinyal gücünü arttırıp azalttığını görüyoruz.

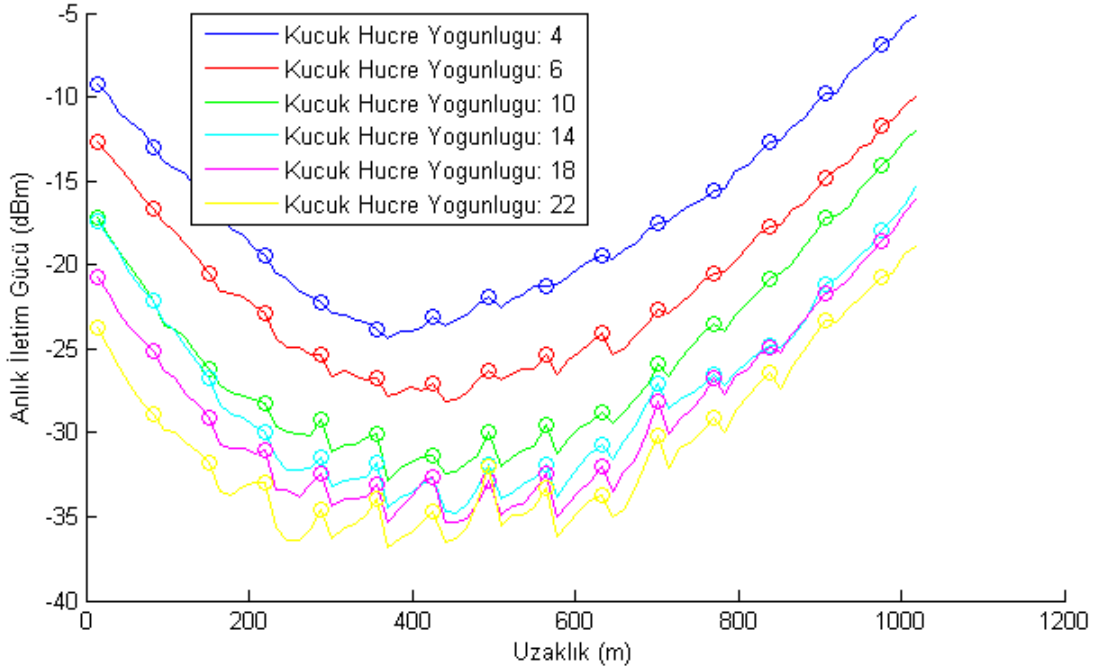


Şekil 4.5. Kaçırılan Küçük Hücre değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

4.2 Anlık İletilen Gücün İncelenmesi

4.2.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık İletilen Güce Etkisi

Bu bölümde, bölüm 3.2'de belirtilen ve örneği verilen anlık iletilen güç için diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Şekil 6.18'de küçük hücre yoğunluğunun anlık iletilen güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

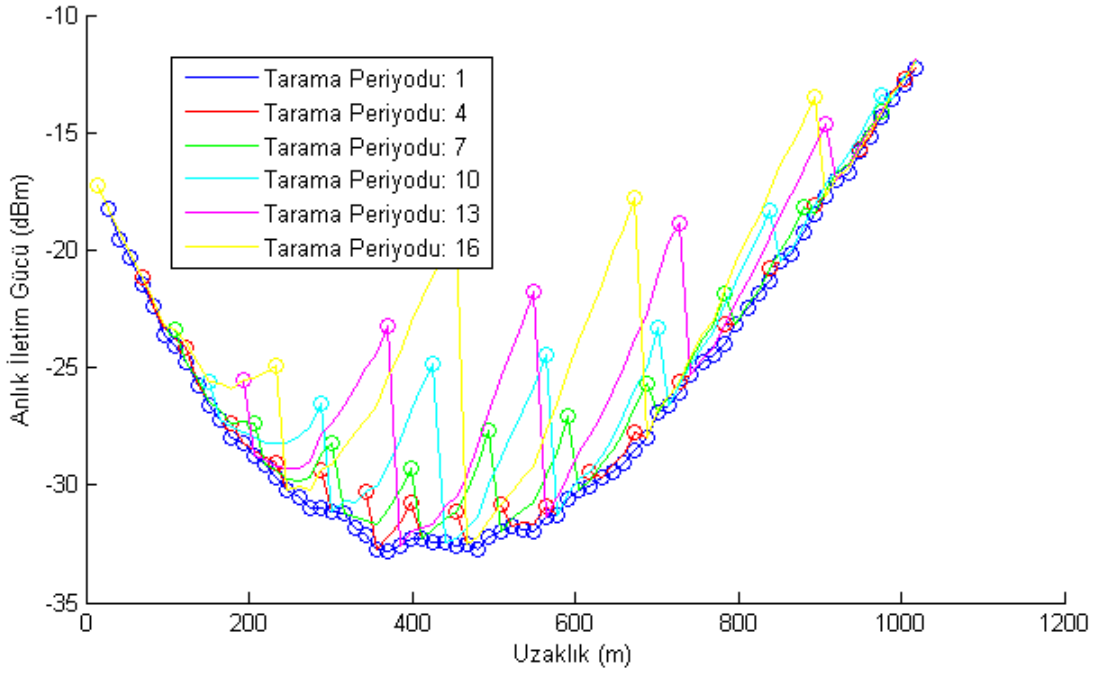


Şekil 4.6. Anlık İletilen Güç $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Alınan güce bağlı olarak hesaplanan iletim gücü için Şekil 4.1'e ile karşılaştırdığımızda alınan güç arttıkça iletim gücü azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda küçük hücre yoğunluğu arttıkça iletim gücü azalmaktadır. Bu da mobil kullanıcının harcadığı gücü azaltarak pil ömrünü uzatır.

4.2.2 Tarama Periyodunun Anlık İletilen Güce Etkisi

Bu bölümde ise tarama periyodu değiştiğinde anlık iletilen gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.7'de tarama periyodunun anlık iletilen güce etkisinin hız $13,75$ m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

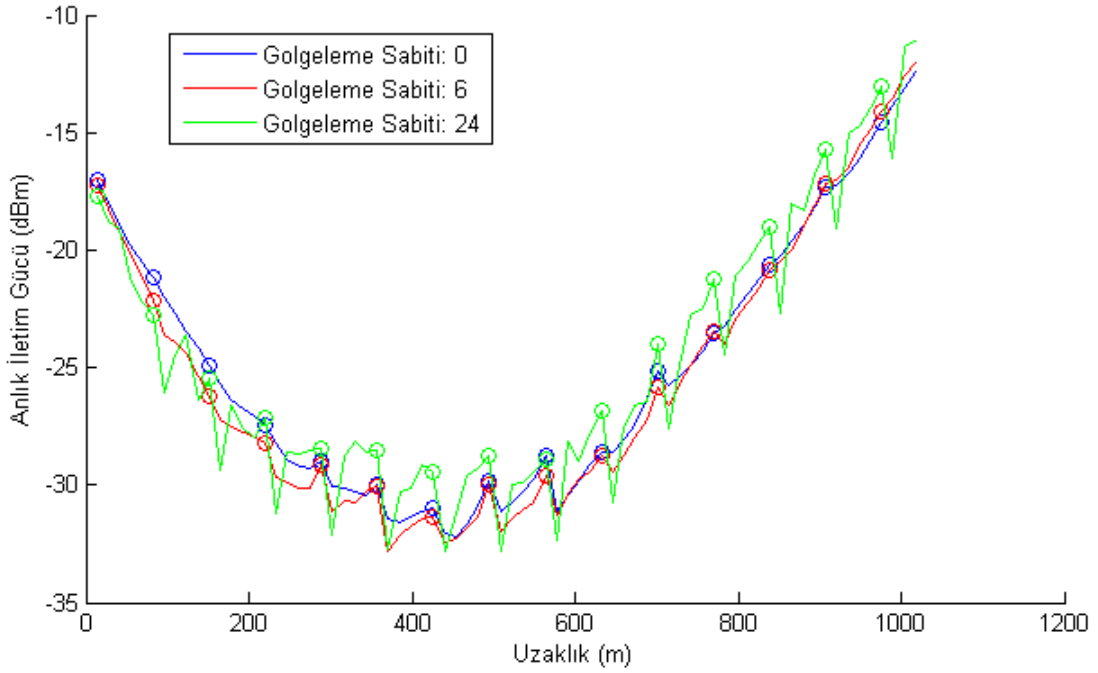


Şekil 4.7. Anlık İletilen Güç $V = 13,75\text{m/s}$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcı daha az sinyal aldığı ve tarama yapamadığı için bağlı kalmak zorunda olduğu hücreyle iletişim sağlamak için daha fazla güç sarf etmektedir. Bu da mobil kullanıcının pil kullanım süresini azaltmaktadır.

4.2.3 Gölgeleme Sabitinin Anlık İletilen Güce Etkisi

Gölgeleme sabiti sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 4.8'de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık iletilen güce etkisinin hız $13,75\text{ m/s}$ (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve tarama periyodu 5 sn. iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 4.8. Anlık İletim Güçü $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.

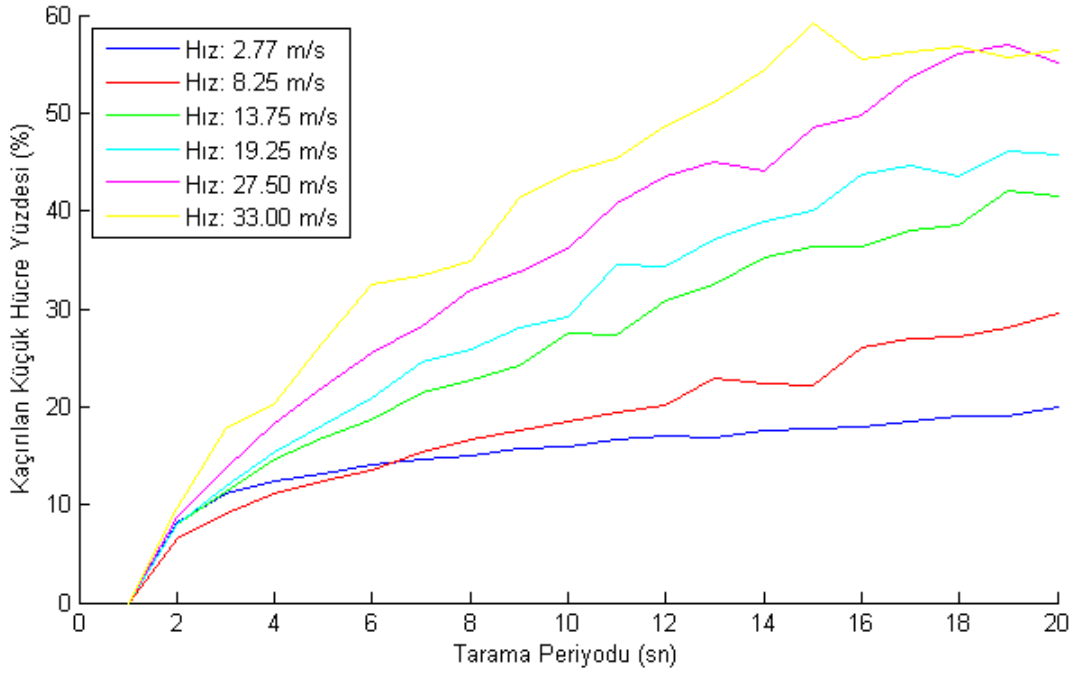
Bu grafikte de görüldüğü gibi gölgelemenin pozitif ya da negatif etkileri vardır ve anlık olarak değişmektedir.

4.3 Kaçırılan Küçük Hücre Oranının İncelenmesi

4.3.1 Hızın Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Mobil kullanıcının hızındaki değişim küçük hücre keşif edilmediğinde daha iyi bir hücre varken bağlanmama durumunu etkilemektedir. Mobil kullanıcı hareketi yavaş iken küçük hücre kapsama alanında daha fazla bulunmakta ve tarama periyodunun etkisi daha az görülmektedir. Mobil kullanıcı daha hızlı hareket ettiğinde kapsama alanında bulunma süresi azalmakta ve tarama periyodunun etkisi daha fazla görülmektedir.

Şekil 4.9'da tarama periyodu ve hızın kaçırılan hücre oranına etkisinin küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve tarama periyodu 5 sn. iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

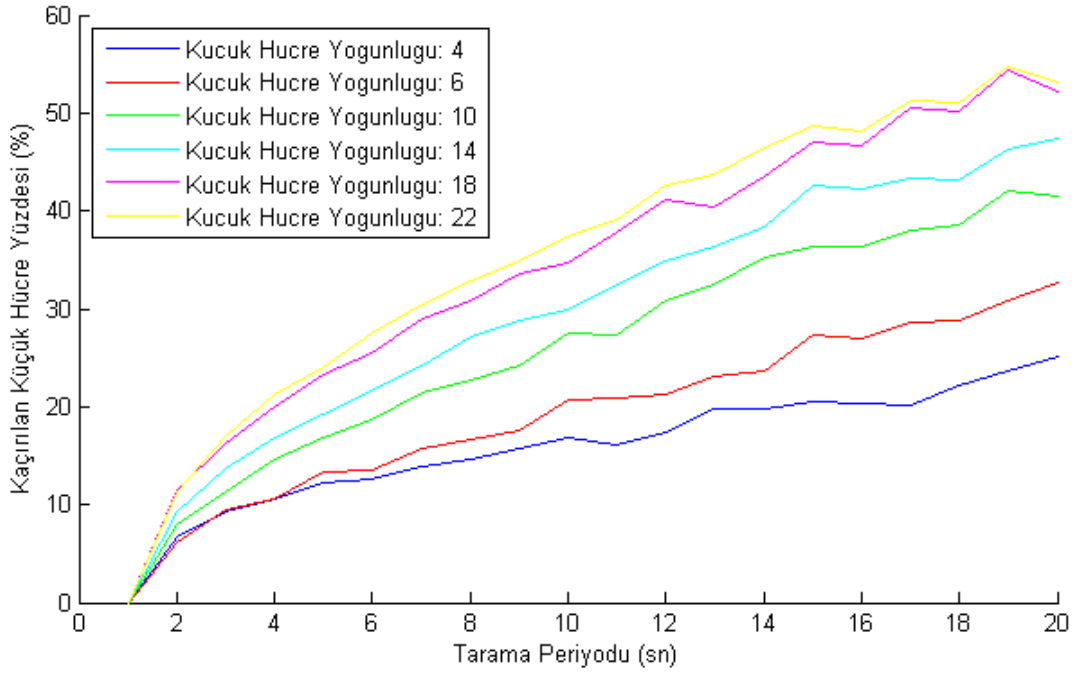


Şekil 4.9. Kaçırılan Küçük Hücre değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Şekil 4.9'e bakıldığında hız arttıkça küçük hücreye bağlanma olasılığının azaldığı, aynı zamanda tarama periyodu da arttıkça kaçırma oranının arttığı görülmektedir. Buna göre hız arttıkça daha iyi sinyal alınan bir hücreye bağlanmak için tarama periyodunun daha düşük tutulması gerekmektedir. Bu sonucu destekleyici çizimleri ortalama alınan güç grafiklerini incelediğimiz 6.5.2 bölümünde göreceğiz.

4.3.2 Küçük Hücre Yoğunluğunun Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Şekil 4.10'da tarama periyodu ve küçük hücre yoğunluğunun kaçırılan küçük hücre oranına etkisinin hız $V = 13,75m/s$ ve gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

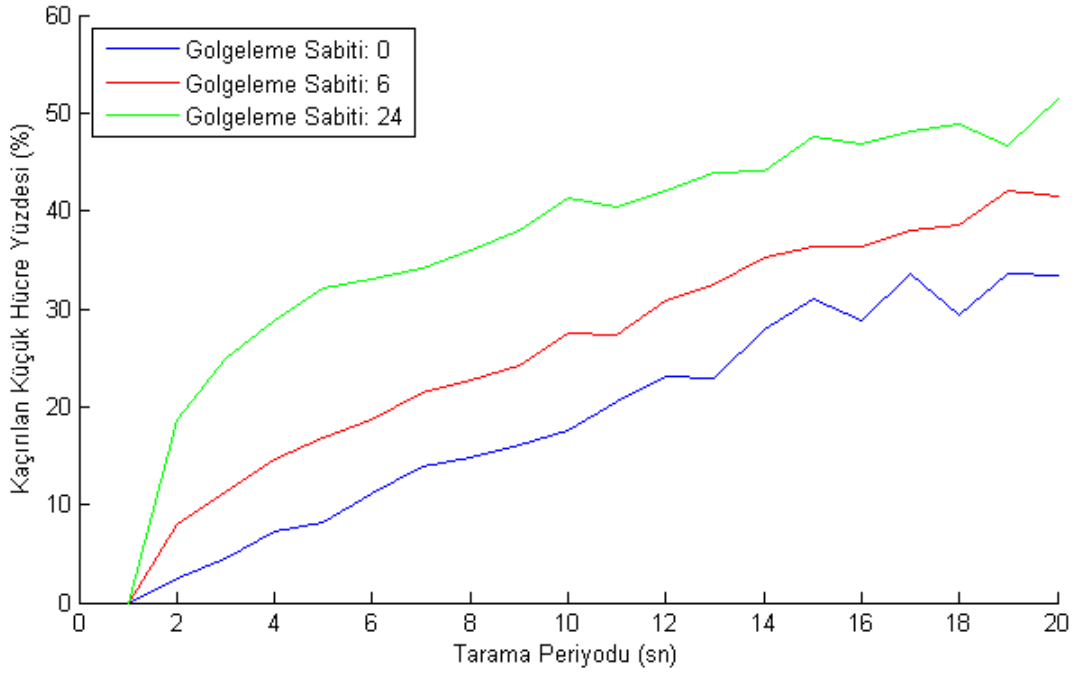


Şekil 4.10. Kaçırılan Küçük Hücre $V = 13,75m/s$, değişen küçük hücre yoğunluğu (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6

Şekil 4.10'e göre tarama periyodu arttıkça tüm yoğunluklar için kaçırılan küçük hücre oranının artmaktadır. Beklendiği gibi küçük hücre yoğunluğundaki artış ile kaçırılan küçük hücre oranı da artmaktadır. Küçük hücre yoğunluğu 4 iken kaçırılan küçük hücre oranı maksimum %20'lerde kalırken, küçük hücre yoğunluğu arttıkça bu oran %60'ları bulmaktadır.

4.3.3 Gölgeleme Sabitinin Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Gölgelemenin mobil kullanıcının yer değiştirmesinde yarattığı anlık etkiler pozitif veya negatif olabilir ve bu anlık değişimler kaçırılan küçük hücre yüzdesini de etkilemektedir. Şekil 4.11'de tarama periyodu ve gölgeleme sabitinin kaçırılan küçük hücre oranına etkisinin hız $V = 13,75m/s$ ve küçük hücre yoğunluğu 10 iken nasıl olduğu yer almaktadır.



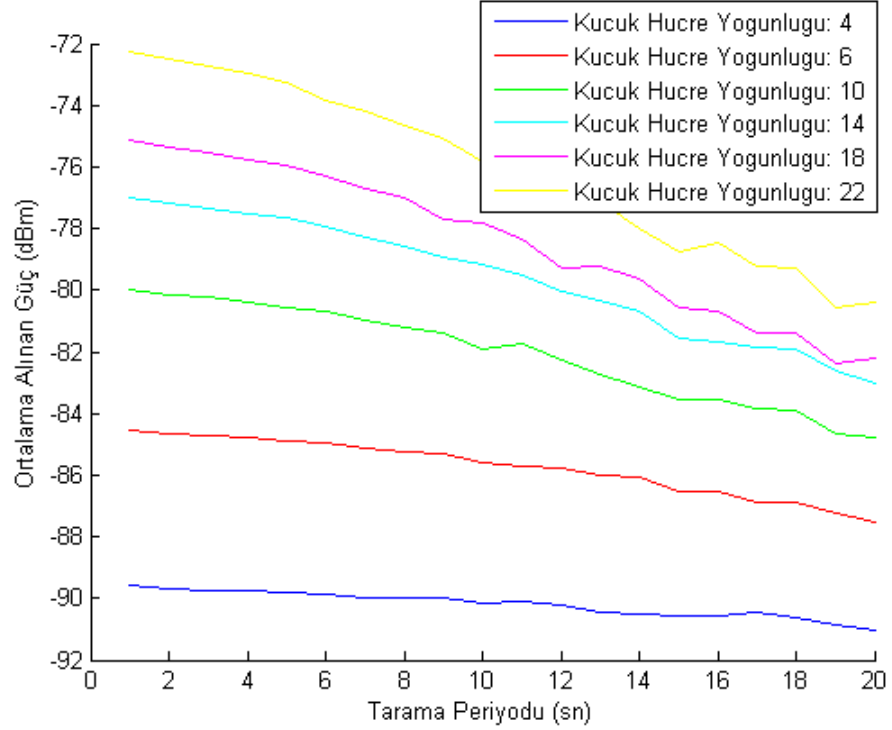
Şekil 4.11. Kaçırılan Küçük Hücre $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi gölgeleme sabitinin artışı sinyal üzerinde daha fazla değişim yarattığından, kaçırılan küçük hücre oranını da artırmaktadır.

4.4 Ortalama Alınan Gücün İncelenmesi

4.4.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Ortalama Güce Etkisi

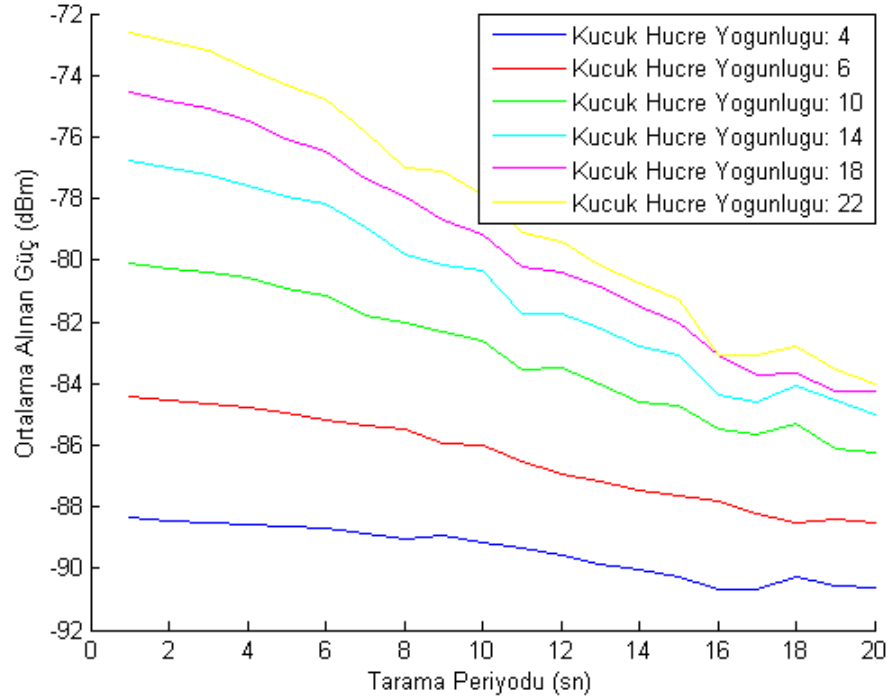
Bu bölümde, bölüm 3.4’de belirtilen ve örneği verilen ortalama alınan gücün diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar ortaya çıkardığı karşılaştırmalı olarak görülmektedir. İlk olarak Şekil 4.12’de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin hız $13,75 m/s$ ($50 km/h$), gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 4.12. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6

Şekil 4.12'e göre küçük hücre yoğunluğundaki artış, mobil kullanıcının ortalama aldığı gücü de artırmaktadır. Hücre yoğunluğu 14'ün üzerinde iken tarama periyodu artsa bile mobil kullanıcının çok iyi iletişim sağlayabildiği -80 dBm'in altına ancak tarama periyodu 14 sn'nin üzerine çıktığında düşmektedir. Düştüğü seviyeler de iyi iletişim kurmak için yeterli seviyelerdir.

Farklı bir hızda gözlemlendiğinde örneğin 70 km/h Şekil 4.13'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

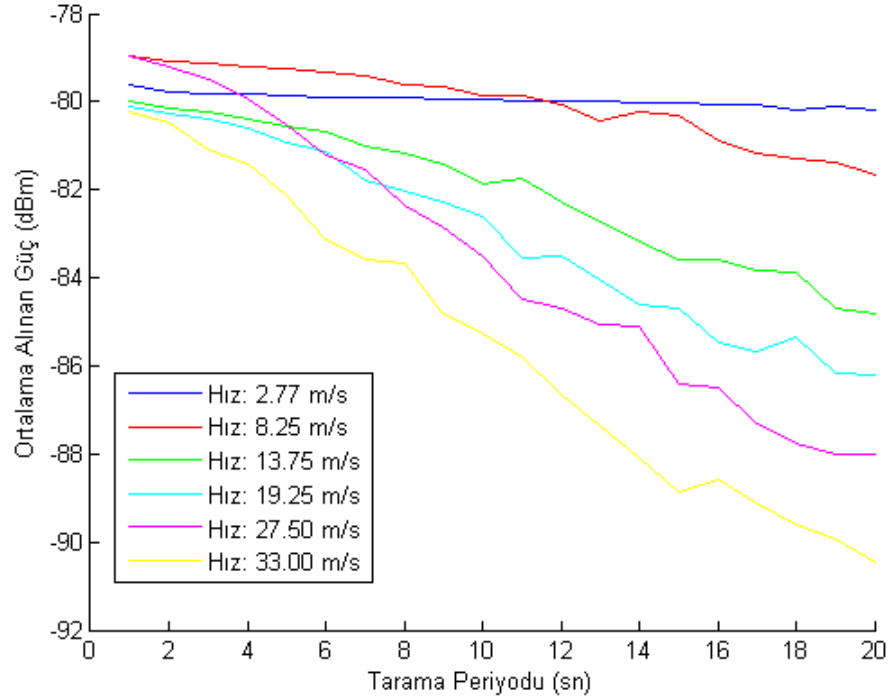


Şekil 4.13. Ortalama Alınan Güç $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Aynı tarama periyoduna ait bu grafikler dikkate alındığında yoğunluk arttıkça hangi hızda olursa olsun anlık alınan gücün daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi mobil kullanıcının sinyal alınan hücreye ne kadar yakın olursa daha az kayıpla o kadar yüksek güç elde etmesidir. Ancak yüksek hızda tarama periyodunun etkisi daha fazla görülmektedir. Hız arttıkça ortalama güç daha hızlı düşmektedir. İlgili hızda hücre yoğunluğu 14'ün üzerinde iken tarama periyodu artsa bile mobil kullanıcının çok iyi iletişim sağlayabildiği -80 dBm'in altına tarama periyodu 8 sn'nin üzerine çıktığında düşmektedir.

4.4.2 Hızın Ortalama Alınan Güce Etkisi

Bu bölümde ise tarama periyodu değiştiğinde ortalama alınan gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.14'te tarama periyodunun ortalama alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

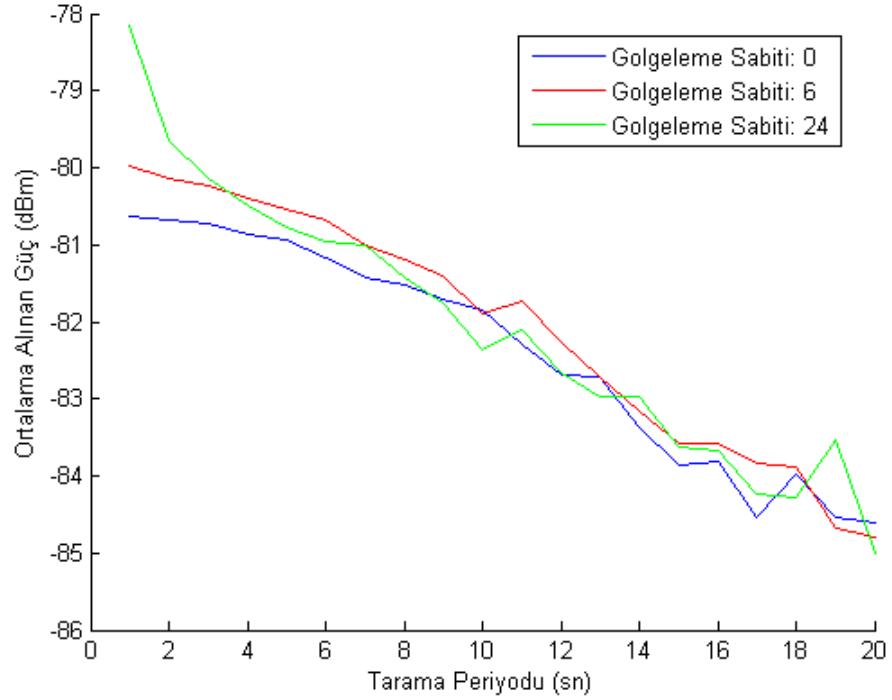


Şekil 4.14. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6

Şekil 4.14’de görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcının daha iyi sinyal aldığı hücreye geçişi gecikmektedir, daha kötü sinyal aldığı hücreye bağlı kalmak durumunda olduğu için de hareketi boyunca aldığı ortalama güç azalmaktadır. Fakat bu durumun etkisini düşük hızlarda daha az görürken, yüksek hızlarda ciddi sinyal gücü kayıplarıyla karşılaşmaktayız. Yani yüksek hızlarda tarama periyodunun düşük tutulması kullanıcının sinyal gücünün düşmemesi için önemli bir parametredir.

4.4.3 Gölgeleme Sabitinin Ortalama Alınan Güce Etkisi

Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 4.15’de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



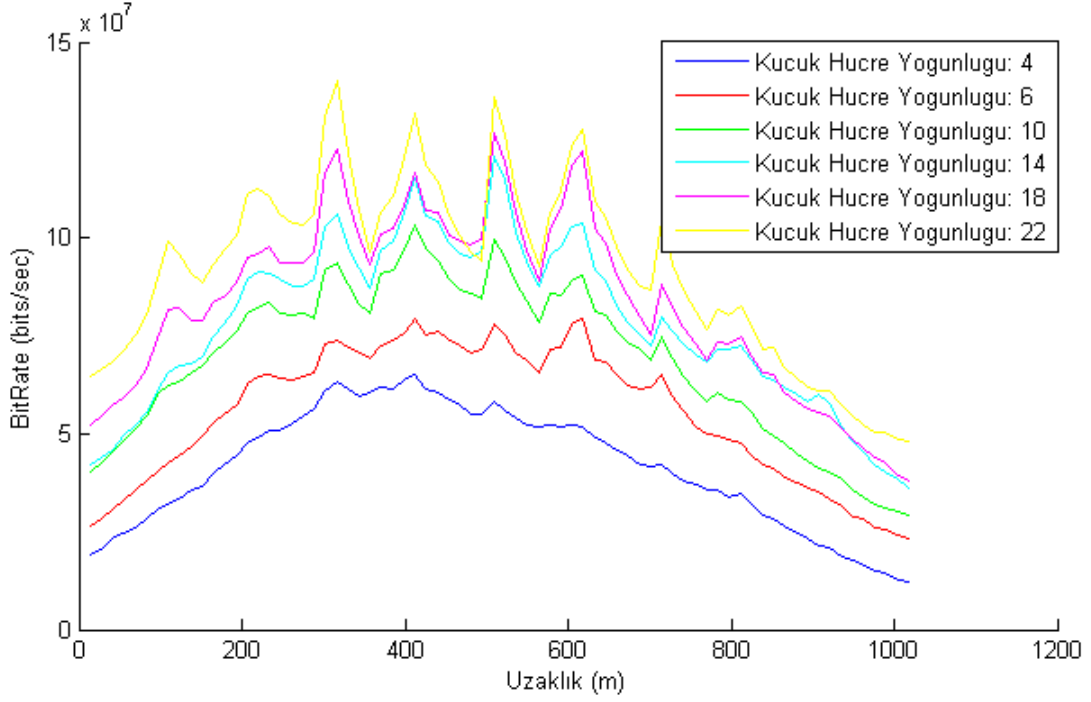
Şekil 4.15. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti

Ortam koşulları sinyal gücünü arttırabilir veya engel olup azaltabilir. Şekil 4.15'de görüldüğü gibi gölgeleme pozitif ya da negatif etki yaratabilir. Şekil 4.5'de küçük hücre yoğunluğu arttırılıp gölgeleme sabitinin etkisini incelediğimizde de sinyal gücünü arttırıp azalttığını görüyoruz.

4.5 Maksimum Bit Hızının İncelenmesi

4.5.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Bit Hızına Etkisi

Bu bölümde, bölüm 3.5'de belirtilen ve örneği verilen anlık bit hızının diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiğini karşılaştırmalı olarak görmektedir. Şekil 4.16'de küçük hücre yoğunluğunun anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

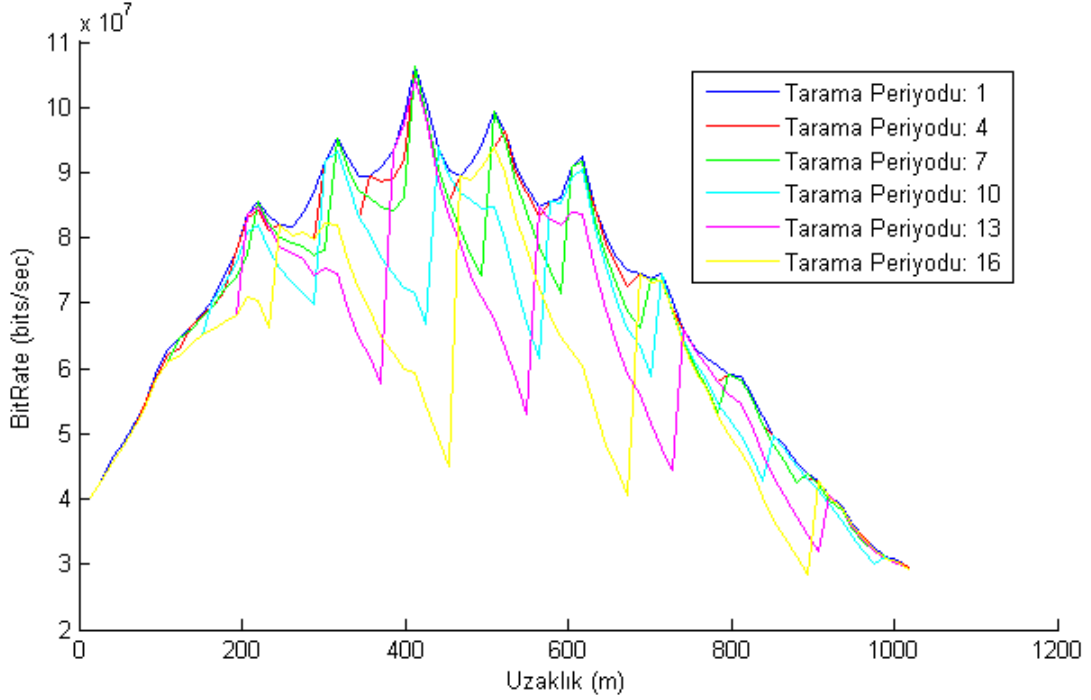


Şekil 4.16. Bit Hızı, $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Şekil 4.16'de görüldüğü gibi küçük hücre yoğunluğunun artmasıyla birlikte bit hızı da artmaktadır. Küçük hücre yoğunluğunun 4'ten 18'e çıkması bit hızında en az iki kat artış olmasını sağlar.

4.5.2 Tarama Periyodunun Bit Hızına Etkisi

Şekil 4.17'de tarama periyodunun anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

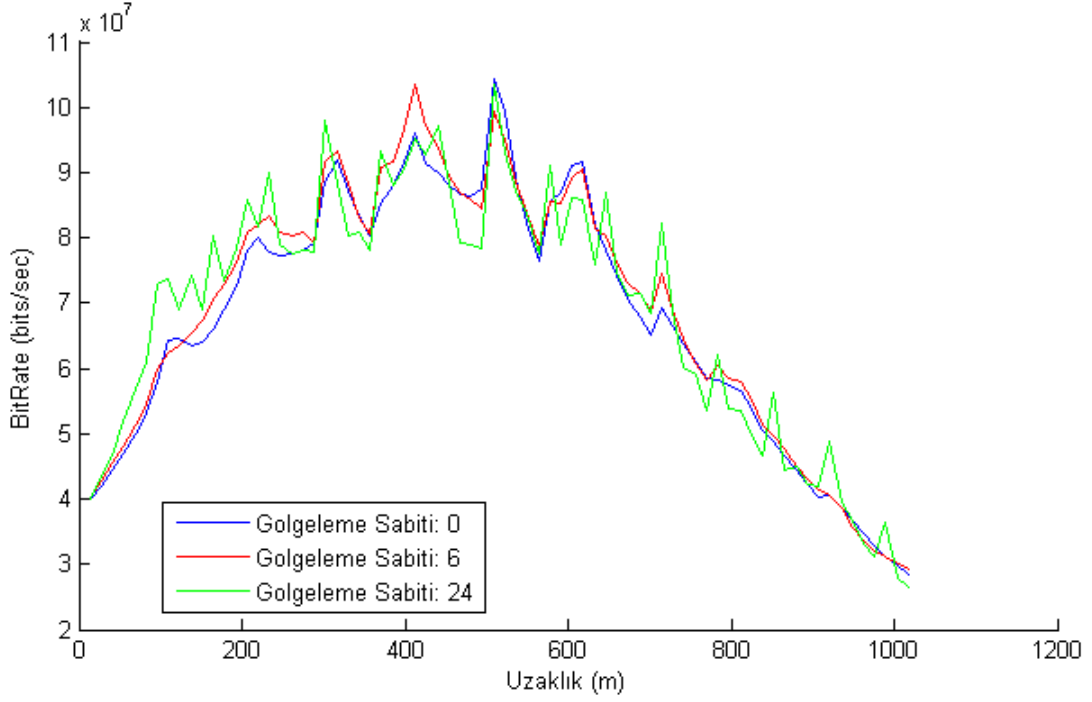


Şekil 4.17. Kaçırılan Küçük Hücre $V = 13,75m/s$, değişen küçük hücre yoğunluğu (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Tarama periyodunun artışı bit hızını olumsuz etkilemektedir. Tarama periyodu ne kadar uzun olursa yeni bir hücre keşvetme olasılığı azaldığı için ve aynı zamanda bağlı olunan hücreden uzaklaşıldığı için bit hızı düşmektedir.

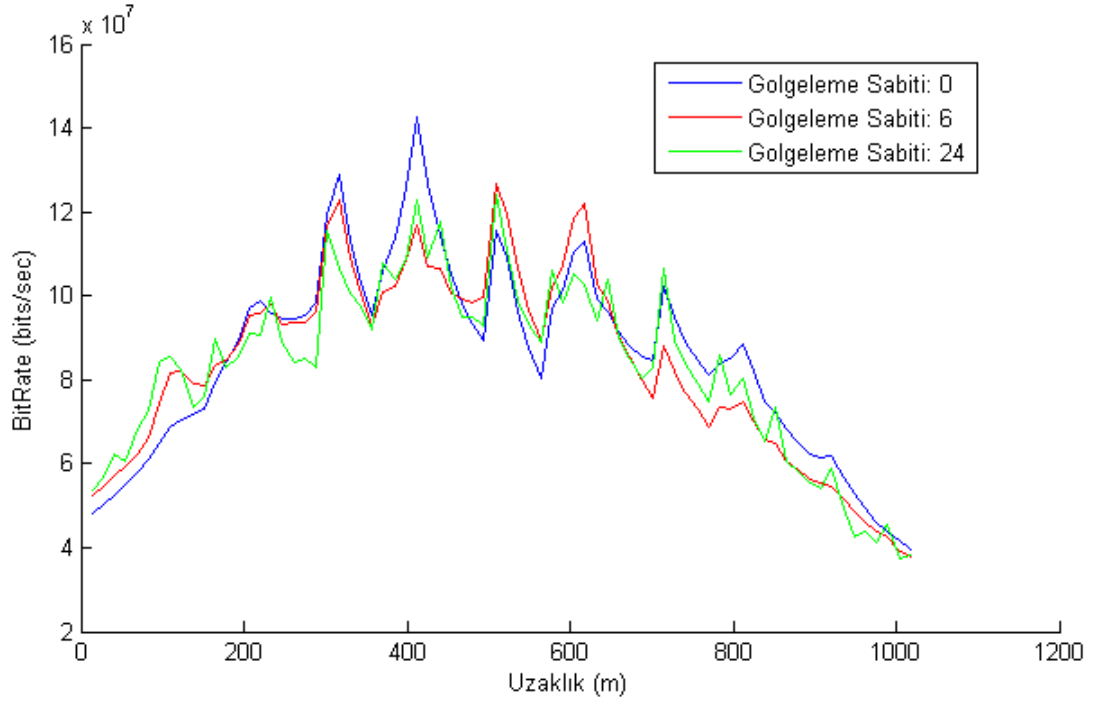
4.5.3 Gölgeleme Sabitinin Anlık Bit Hızına Etkisi

Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 4.18'de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık bit hızına etkisinin hız $13,75$ m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve tarama periyodu 5 sn. iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 4.18. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.

Ortam koşulları sinyal gücünü artırabilir veya engel olup azaltabilir. Şekil 4.18'de görüldüğü gibi gölgeleme pozitif ya da negatif etki yaratabilir. Şekil 4.19'de küçük hücre yoğunluğu artırılıp gölgeleme sabitinin etkisini incelediğimizde de sinyal gücünü artırıp azalttığını görüyoruz. Ancak küçük hücre yoğunluğunun artmasıyla birlikte maksimum bit hızı değerlerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 4.19. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.

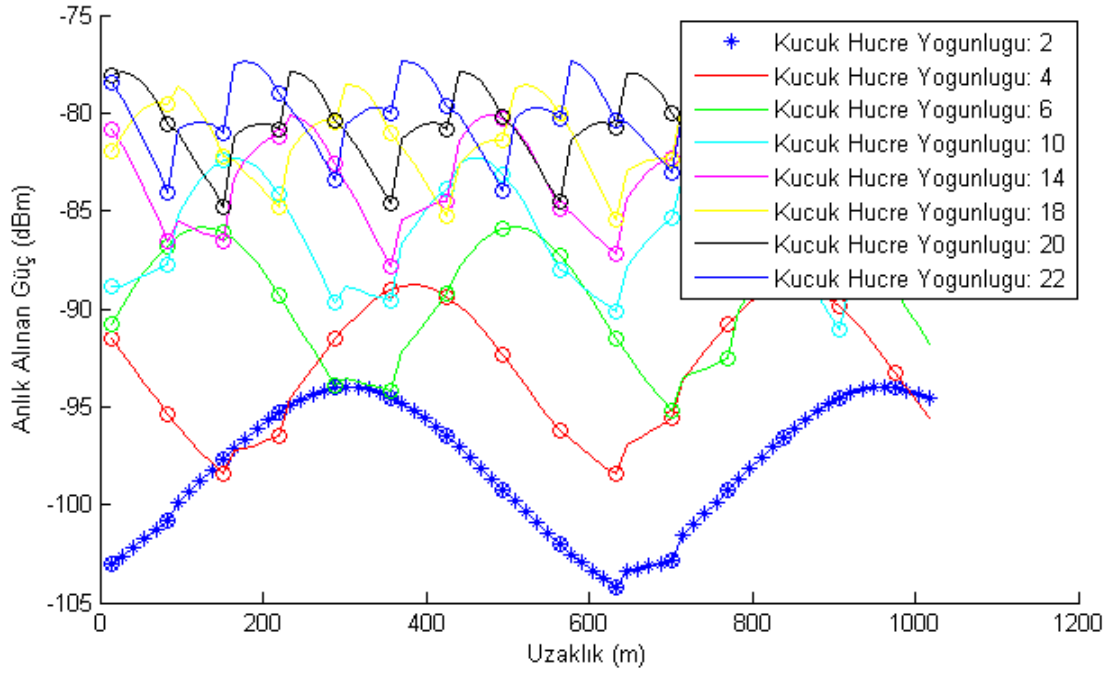
5. EŞİT DAĞILIMLI KÜÇÜK HÜCRELERDE HÜCRELER ARASI GİRİŞİM OLDUĞU DURUM

Elde ettiğimiz verileri bir de küçük hücre çıkış gücündeki değişikliklerle yani küçük hücrelerden gönderilen farklı güçleri kullanarak aynı zamanda hücreler arası girişimin de var olduğu, makro hücrenin yer almadığı senaryoda inceleyelim. Bu senaryoda eşit dağııımlı hücreler kullanılmış olup çıkış gücü 20 mW, 200 mW, 1W ve 2W olarak değişmektedir. Mobil kullanıcının hücre el deĐiŐtirmelerinde SINR değerleri kullanılmıştır ve mobil kullanıcı o anda yüksek SINR değeri alınan hücreye bağlanmıştır. Mobil kullanıcı hareketi farklı hızlarda, farklı küçük hücre yoğunluklarında, farklı gölgeleme değişkenleri altında ve farklı küçük hücre gönderim güçlerinde girişimin de olduğu aynı senaryo üzerinde gerçekleştirilmiŐtır. Mobil kullanıcının 1 km boyunca hareketi incelenmiş olup elde edilen verilerin karşılaştırmalı sonuçları aşağıda verilmiştir.

5.1 Anlık Alınan Gücün İncelenmesi

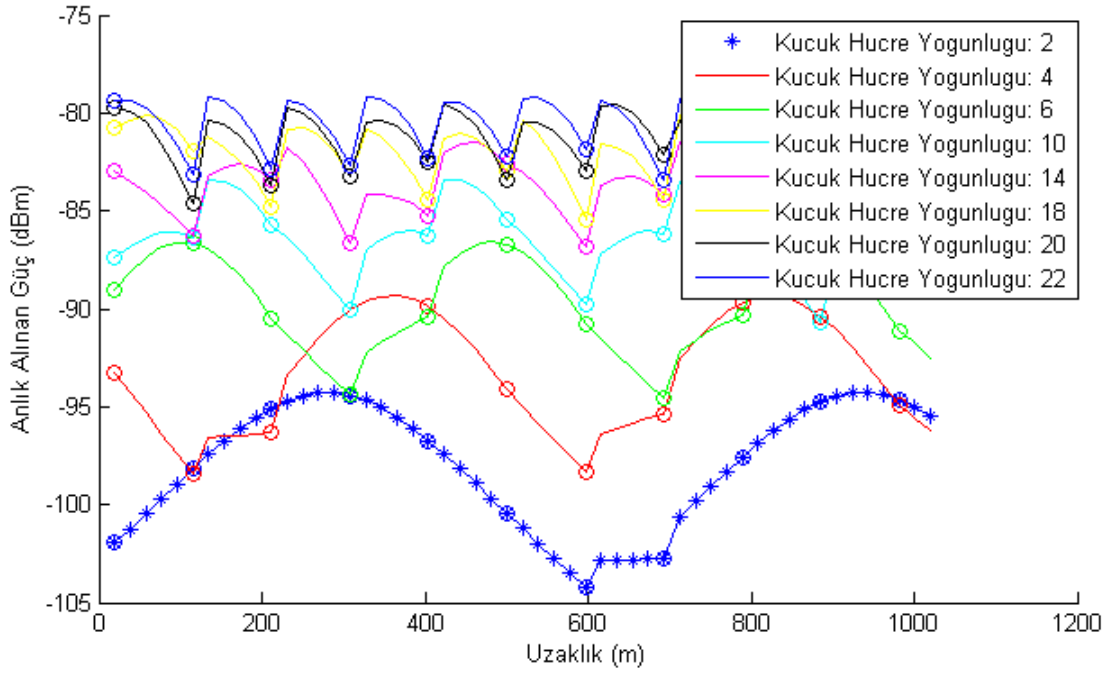
5.1.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık Alınan Güce Etkisi

AŞağıda yer alan çizimlerde, bölüm 3.1'de belirtilen ve örneği verilen anlık alınan gücün diğer parametrelerde değişiklik yapıldığındaki sonuçlar karşılaştırmalı olarak görülmektedir. İlk olarak daha net inceleyebilmek adına gölgeme etkisi olmadan, Şekil 5.1'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gönderilen güç değeri 200mW ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl deĐiŐtiĐini inceleyelim.



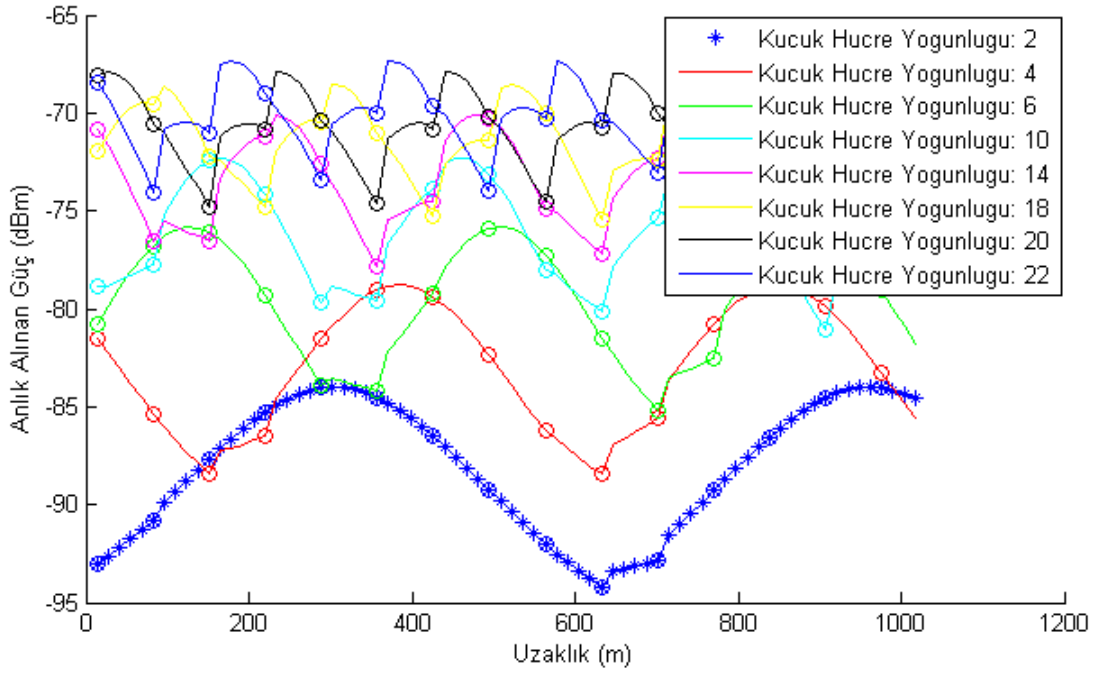
Şekil 5.1. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.

Şekilde görüldüğü gibi mobil kullanıcının tüm hareketi boyunca hücre yoğunluğu arttıkça alınan maksimum güç değeri artmaktadır. Hücre yoğunluğu azaldıkça alınan maksimum alınan güç değeri de azalmaktadır. Grafiği aynı koşullarda farklı bir hızda inceleyerek, örneğin mobil kullanıcının hızı 70 km/h Şekil 5.2'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200mW ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



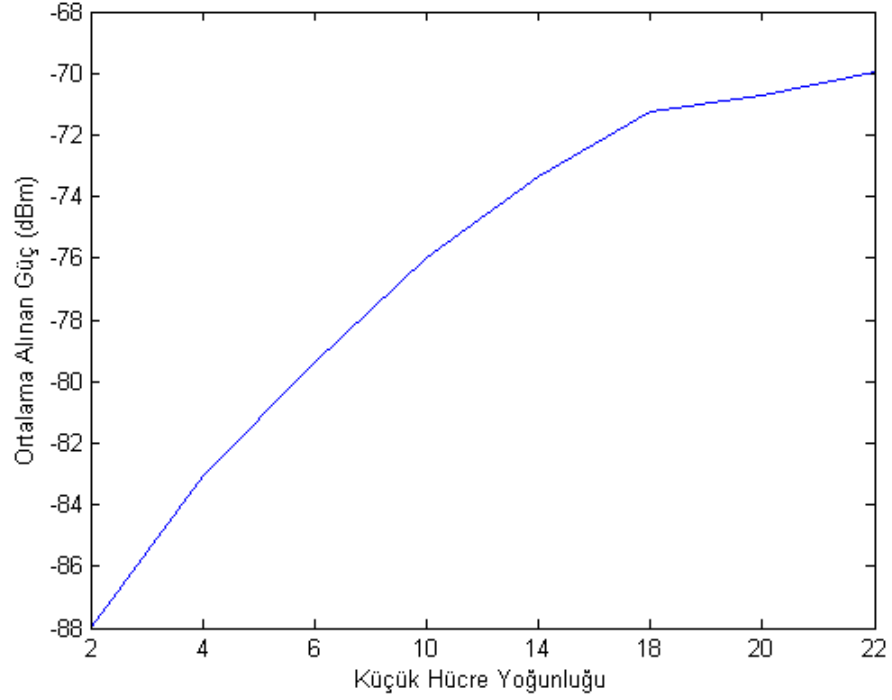
Şekil 5.2. Anlık Alınan Güç; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.

Grafiği aynı koşullarda farklı bir gönderilen güç değeri için incelersek, örneğin gönderilen güç değeri 2000 mW, hız 50 km/h Şekil 5.3'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin gölgeleme sabiti 0 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Bu çizimde de ilk gönderim gücüne bağlı olarak maksimum değerler artarken yoğunluğa bağlı değişim, mobil kullanıcının tüm hareketi boyunca, yine hücre yoğunluğu arttıkça alınan maksimum güç artarken, hücre yoğunluğu azaldıkça alınan maksimum güç azalmaktadır şeklinde olmaktadır.



Şekil 5.3. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gönderilen güç değeri 2 W, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.

Aynı tarama periyoduna ait bu çizimler dikkate alındığında yoğunluk arttıkça hangi hızda olursa olsun anlık alınan gücün de arttığı görülmektedir. Bunun sebebi mobil kullanıcının sinyal alınan hücreye ne kadar yakın olursa daha az kayıpla o kadar yüksek güç elde etmesidir. Eğer mobil kullanıcının hareketi boyunca aldığı ortalama güce bakarsak örnek olarak hız 50 km/h iken Şekil 5.4'daki grafiği göreceğiz.

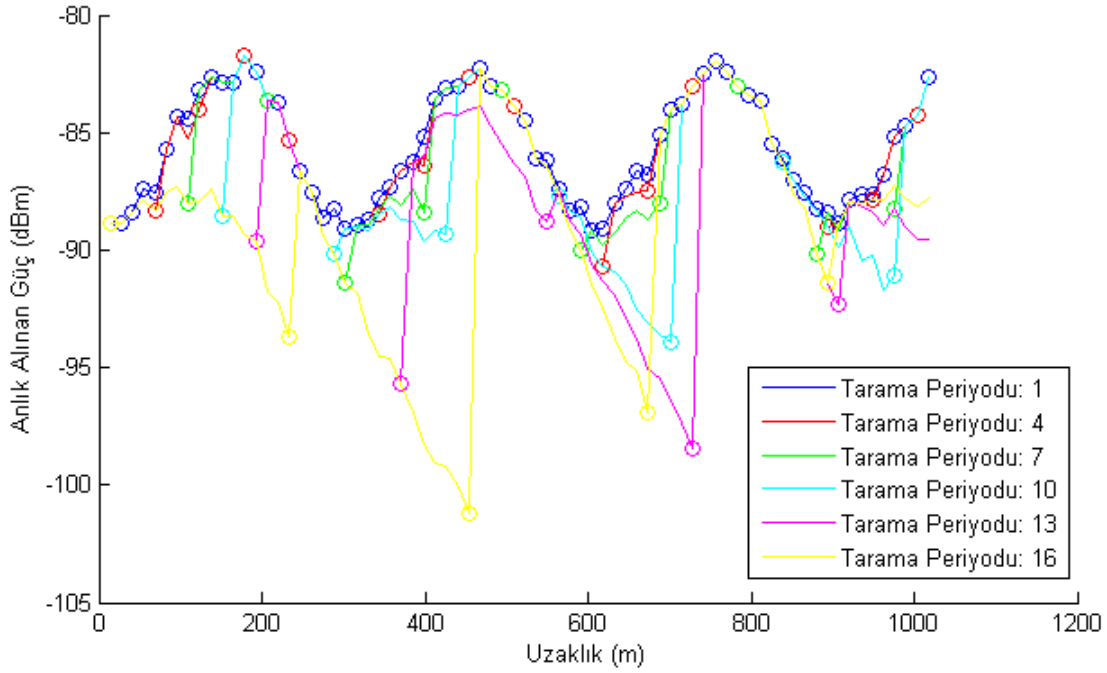


Şekil 5.4. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200mW ve $T = 5$ sn.

Şekil 5.4'de de açıkça küçük hücre yoğunluğu arttıkça mobil kullanıcının hareketi boyunca aldığı güç artar diyebiliriz. Gerçek sistemlere uygun olması için gürültüyü ve hücreler arası girişimi de hesaba katıp sinyal kalitesini bölüm 5.2.1'de inceleyeceğiz.

5.1.2 Tarama Periyodunun Anlık Alınan Güce Etkisi

Bu bölümdeki çizimde ise tarama periyodu değiştiğinde anlık alınan gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.5'de tarama periyodunun anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



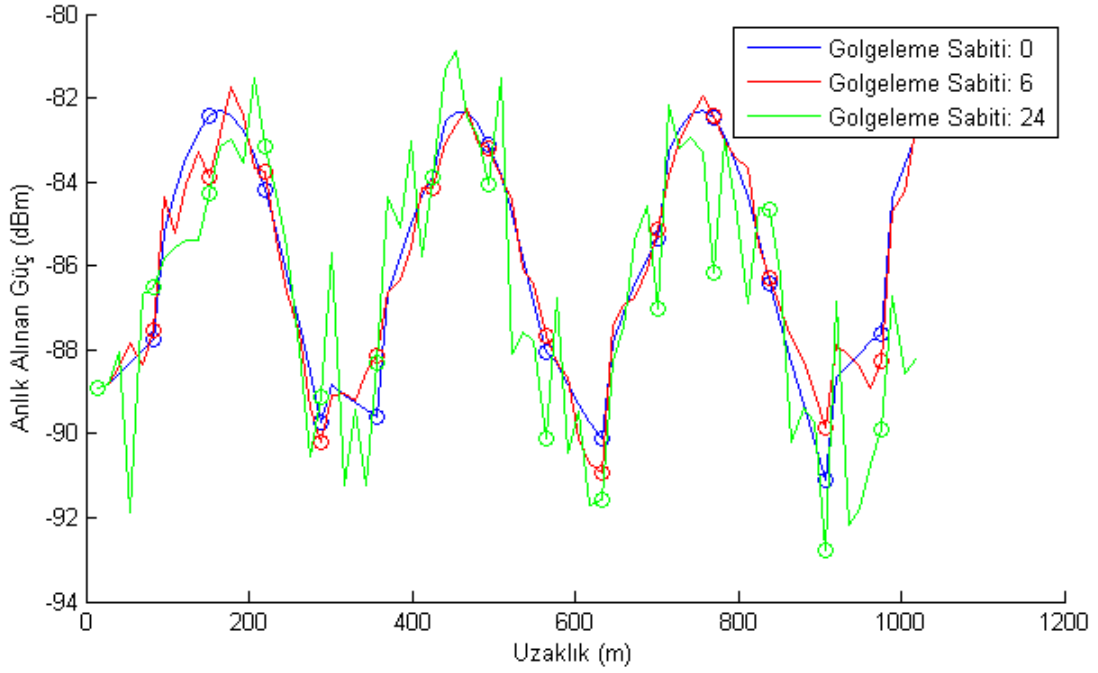
Şekil 5.5. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75\text{m/s}$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 6

Çizimlerde de görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcının daha iyi sinyal aldığı hücreye geçişi gecikmektedir, daha kötü sinyal aldığı hücreye bağlı kalmak durumundadır. Bu da mobil kullanıcının düşük kalitede sinyal almasına neden olmaktadır. İyi bir ağ performansı için mobil kullanıcının alınan güç değeri -90 dBm'in üzerinde olmalıdır. İlgili senaryo dikkate alındığında iyi bir ağ performansı için mobil kullanıcının tarama periyodunun 4 sn'den fazla olmaması gerektiği söylenir. Tarama periyodunun toplam alınan ortalama güce etkilerini 5.5.2 ve 5.5.1 bölümlerinde göreceğiz.

5.1.3 Gölgeleme Sabitinin Anlık Alınan Güce Etkisi

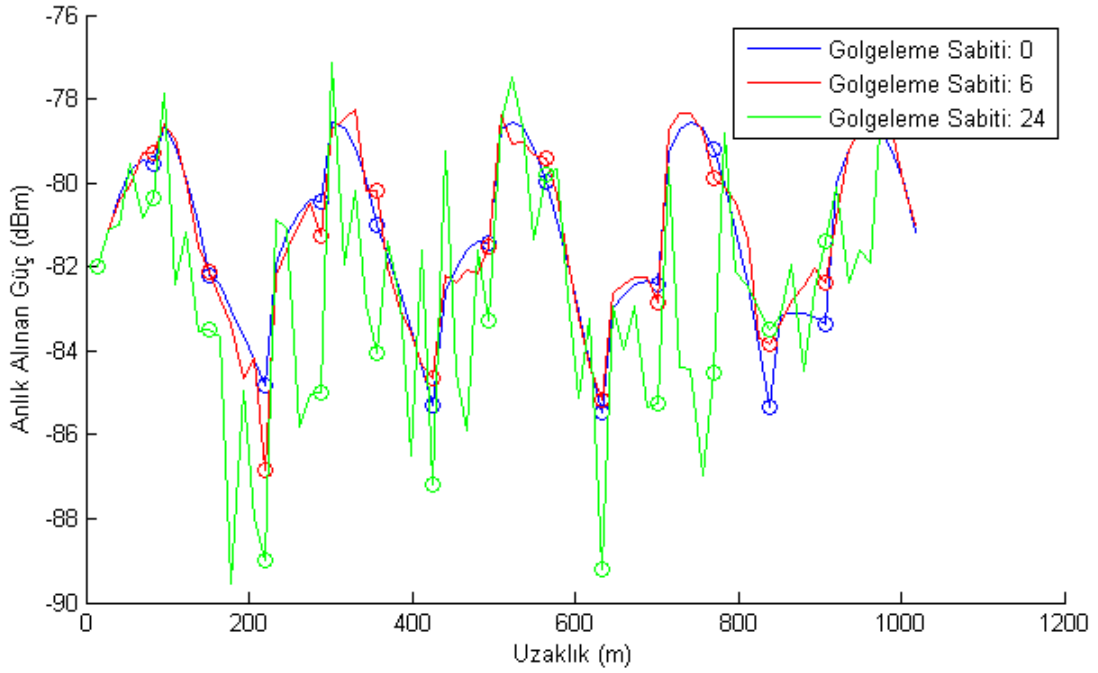
Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 5.6'de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW ve tarama periyodu

5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



şekil 5.6. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

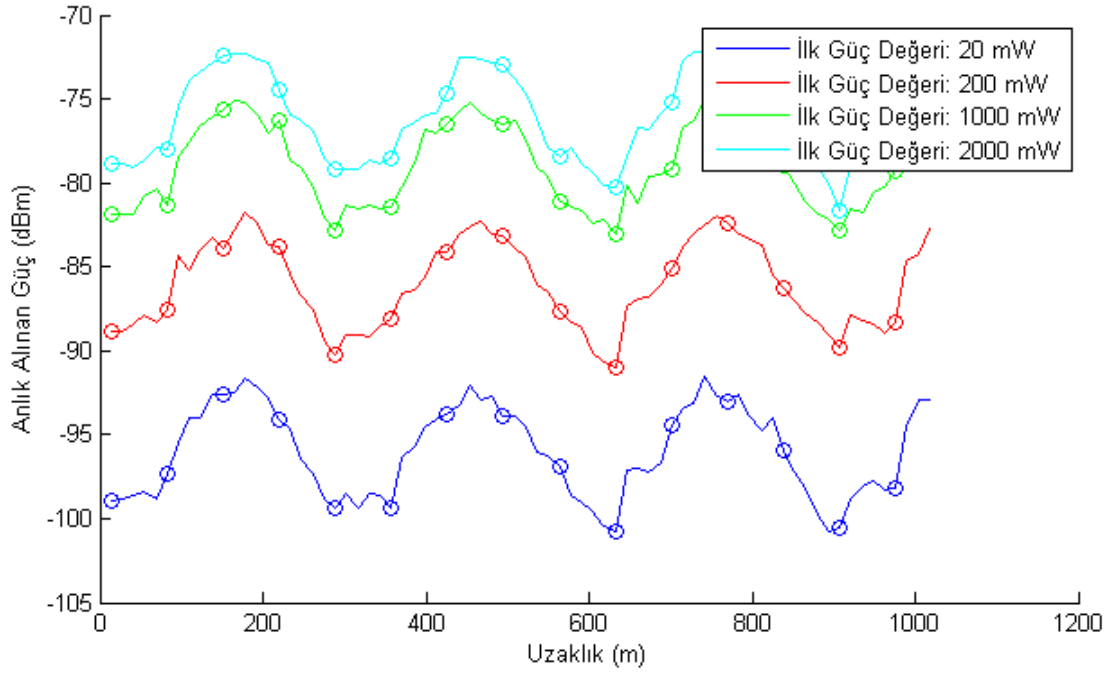
Ortam koşulları sinyal gücünü arttırabilir veya engel olup azaltabilir. şekil 5.6'de görüldüğü gibi gölgeleme pozitif ya da negatif etki yaratabilir. Gögelemenin yüksek olduğu bölgelerde sinyalde ani düşüşler yaşanabilir. Bu da mobil kullanıcının servis kalitesini kötü etkileyebilir. şekil 5.7'de küçük hücre yoğunluğu arttırılıp gölgeleme sabitinin etkisini incelediğimizde gölgeleme etkilerini ve ani sinyal düşülerini daha çok görüyoruz.



Şekil 5.7. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti değişken, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

5.1.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık Alınan Güce Etkisi

Küçük hücrelerin ilk çıkış güçleri de mobil kullanıcının aldığı gücü etkilemektedir. Alınan güç hesaplanırken hücrenin ilk çıkış gücünden toplam kayıplar çıkarılır. Bunlar gölgeme ve yol kayıplarıdır. Şekil 5.8'de görüldüğü üzere mobil kullanıcının hareketi boyunca ilk çıkış güç değeri arttıkça mobil kullanıcının aldığı güç de artmaktadır. Çevredeki diğer hücrelerin etkilerinin de görüldüğü SINR hesaplanmasını da bölüm 5.2.4'de göreceğiz.

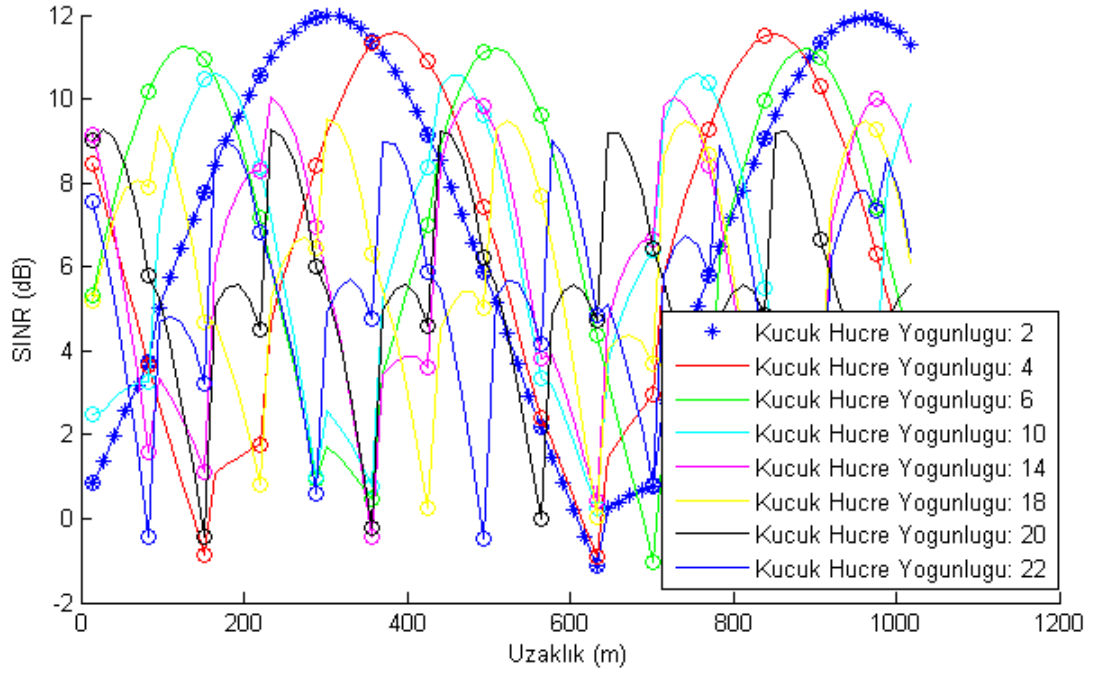


Şekil 5.8. Kaçırılan Küçük Hücre değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri değişken ve $T = 5$ sn.

5.2 İşaret Gürültü ve Girişim Oranının İncelenmesi

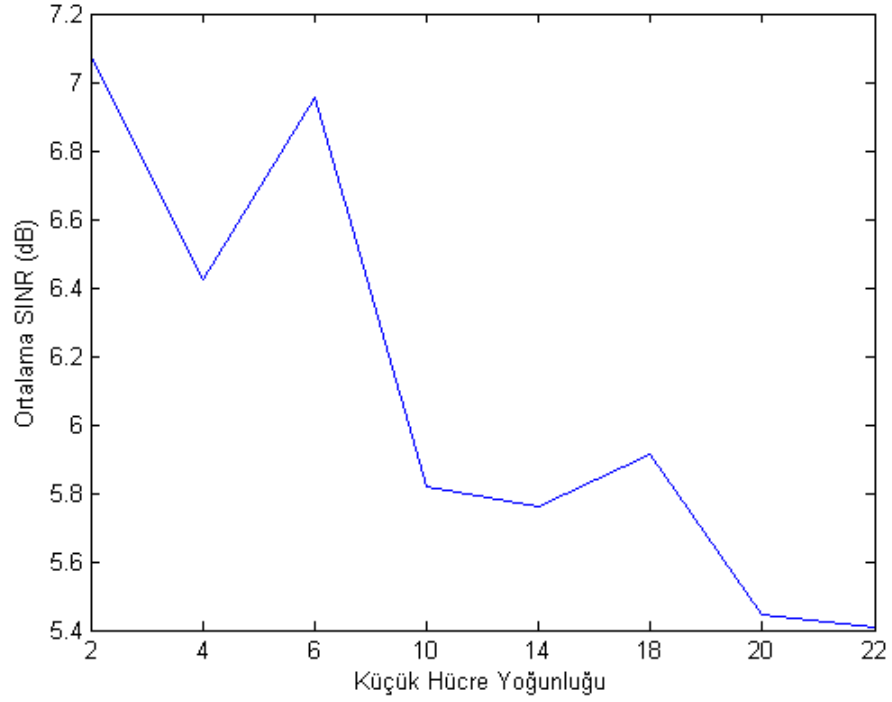
5.2.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi

Alınan güç ile SINR ilişkisinin anlaşılabilmesi için yine aynı değerleri kullanarak karşılaştırma yapabiliriz. Aşağıdaki grafikte yer alan ve bölüm 3.7’de örneği verilen işaret gürültü ve girişim oranı değerleri ile diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir.



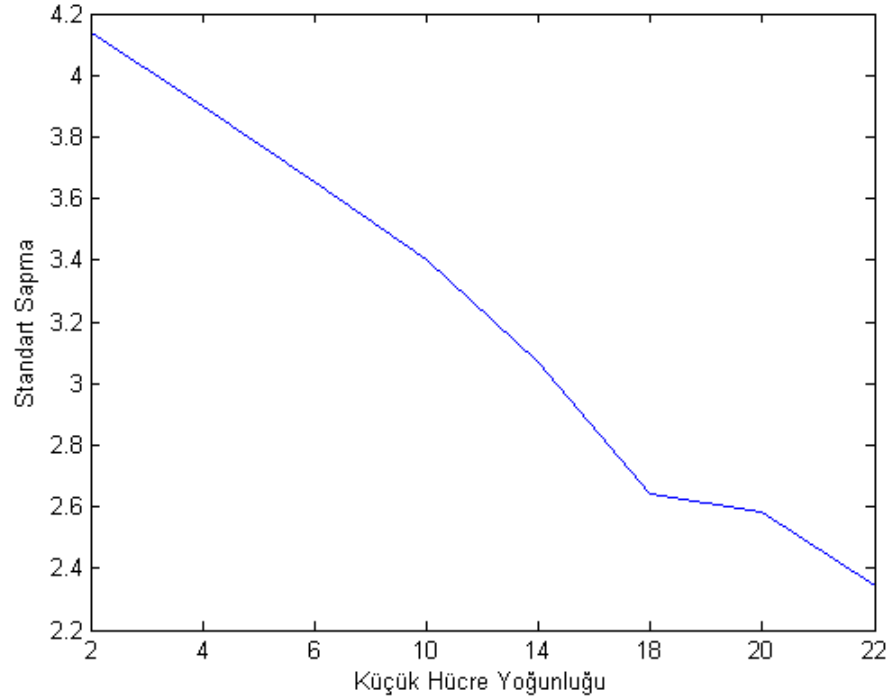
Şekil 5.9. SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Çizim incelendiğinde küçük hücreye yakın noktalarda komşu hücrelerin girişim etkisinin en az görüldüğü yoğunluk en düşük yoğunluktur. Yani sinyale girişim etkisi en az yoğunluğun düşük olduğu kısımlarda görülmektedir. SINR değerlerinin maksimum seviyeleri yoğunluk arttıkça düşmektedir. Fakat hareket boyunca SINR seviyelerine bakıldığında düşük yoğunluğun her zaman avantaj olmadığı görülmektedir. Mobil kullanıcı düşük yoğunluklarda hücre kenar bölgelerinde (cell edge) uzun süre düşük sinyal almak zorunda kalmıştır.



Şekil 5.10. Ortalama SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Şekil 5.10'de ortalama SINR değerlerine bakacak olursak $d=6$ 'dan sonra hücre yoğunluğu arttıkça sinyal kalitesinin az da olsa azaldığını görüyoruz. Fakat bunu hareket boyunca incelersek, sinyal kalitesinin azaldığı dip değerlerini de göz önünde bulundurursak genel olarak düşük yoğunlukların girişim yüzünden daha avantajlı olduğunu söyleyebiliriz. Ancak küçük hücrelerin kurulum amaçlarından biri de hücre yoğunluklarının önüne geçmek olduğu için yoğunluğun 6 olduğu senaryo bu koşullar için en avantajlı senaryo olarak öne çıkmaktadır.

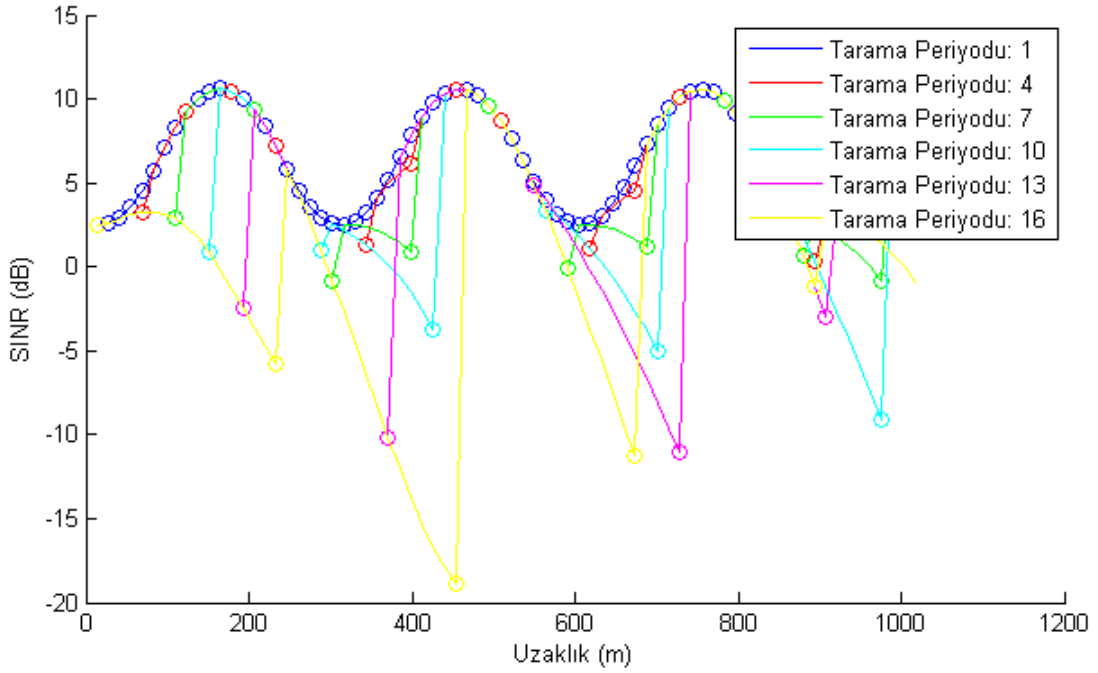


Şekil 5.11. Standart Sapma; $V = 13,75 \text{ m/s}$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

SINR değerlerindeki genliklere baktığımızda ise en çok değişimin düşük yoğunluklarda olduğunu görüyoruz. Yani belli yoğunluktaki senaryo için maksimum ve minimum seviye farkının ortalamaya göre değişimi en fazla yoğunluk 2 iken görülmektedir.

5.2.2 Tarama Periyodunun İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi

Bu bölümde ise tarama periyodu değiştiğinde işaret gürültü ve girişim oranının lokasyon bazlı değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.12'de tarama periyodunun SINR'a etkisi hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve ilk güç çıkış değeri 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



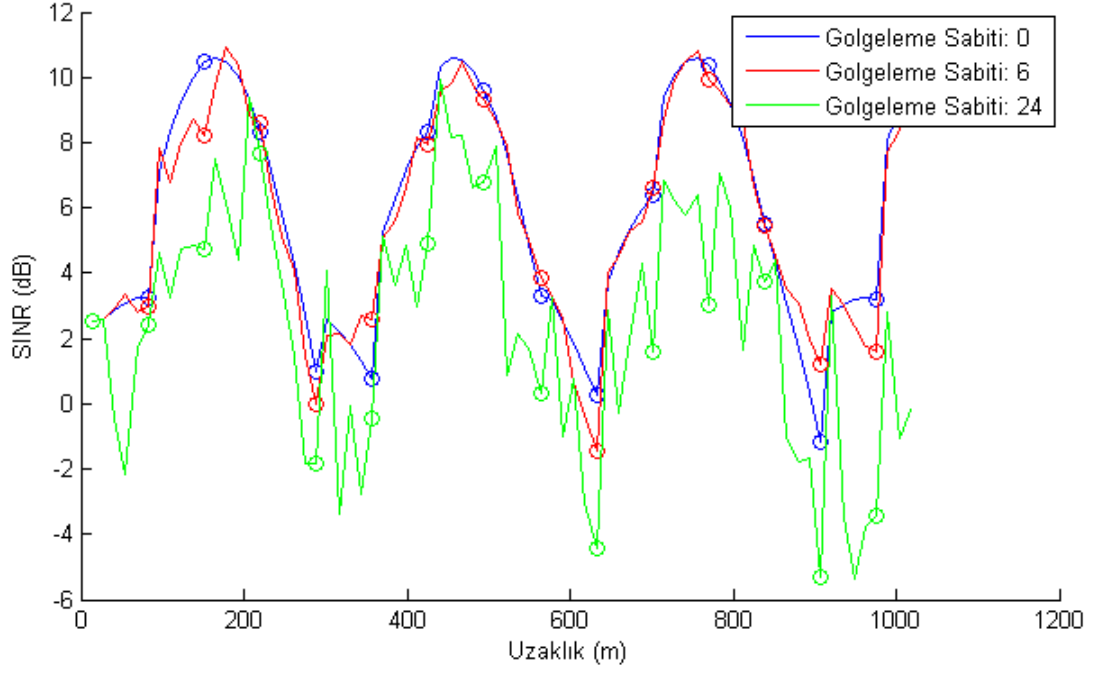
Şekil 5.12. SINR; $V = 13,75\text{m/s}$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk güç değeri 200 mW ve T tarama periyodu değişkendir

Grafiklerde de görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcının daha iyi sinyal aldığı hücreye geçişi gecikmektedir, daha kötü sinyal aldığı hücreye bağlı kalmak durumundadır. Bu da mobil kullanıcının düşük kalitede sinyal almasına neden olmaktadır. Aynı zamanda taramanın geç yapılması geç el değiştirmeye sebep olup mobil kullanıcının servisinin kesilmesine sebep olabilir ve 'offload' zamanını da geciktirmektedir. SINR değerinin sıfırın altına düştüğü bölgeler optimize kapsama alanı için kesinlikle kabul edilemez bölgelerdir. Bu sebeple ilgili senaryo için tarama periyodu 7 sn üzerinde olmamalıdır.

5.2.3 Gölgeleme Sabitinin İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi

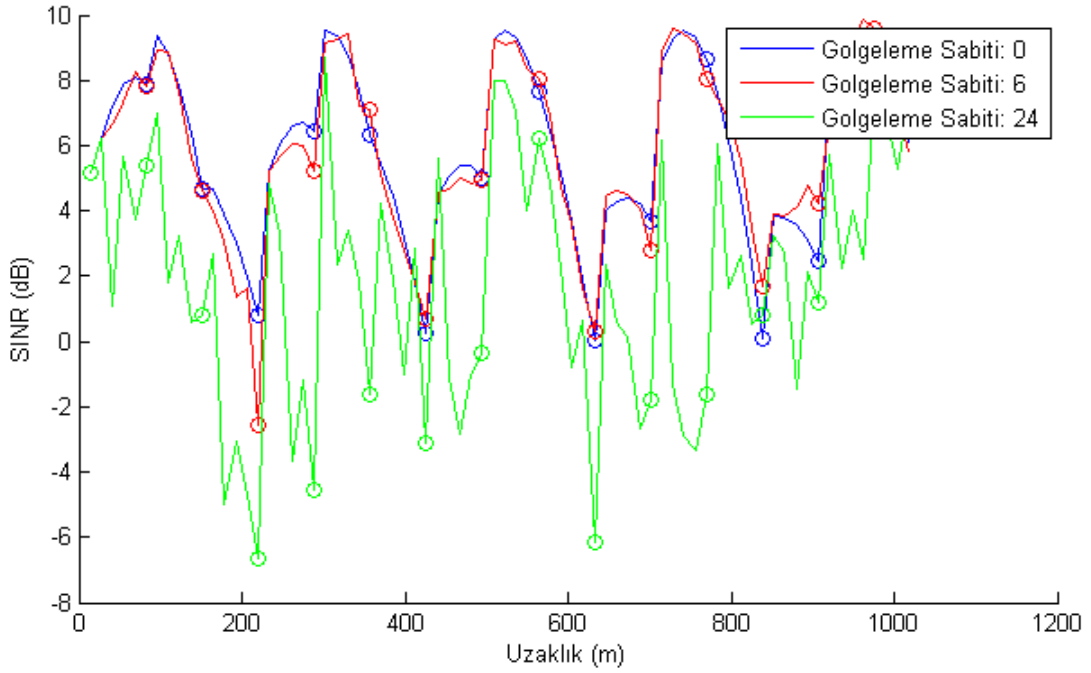
Şekil 5.13'de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaştığında sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Gölgelemenin çok olduğu yerlerde sinyal kalitesinde aşırı düşmeler yaşan-

maktadır.



Şekil 5.13. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti değişken, ilk güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Şekil 5.14'e baktığımızda yoğunluktan bağımsız olarak gölgelemenin yüksek olduğu alanlarda sinyalde ani düşüşler yaşanmakta ve SINR değeri 0'ın altında olduğu süre çoğunluktadır. Bu sebeple gölgelemenin yüksek olduğu bu alanlarda hücre yoğunluğu artırılıp gölgeleme etkisinin en aza indirilmesi sağlanmalıdır.

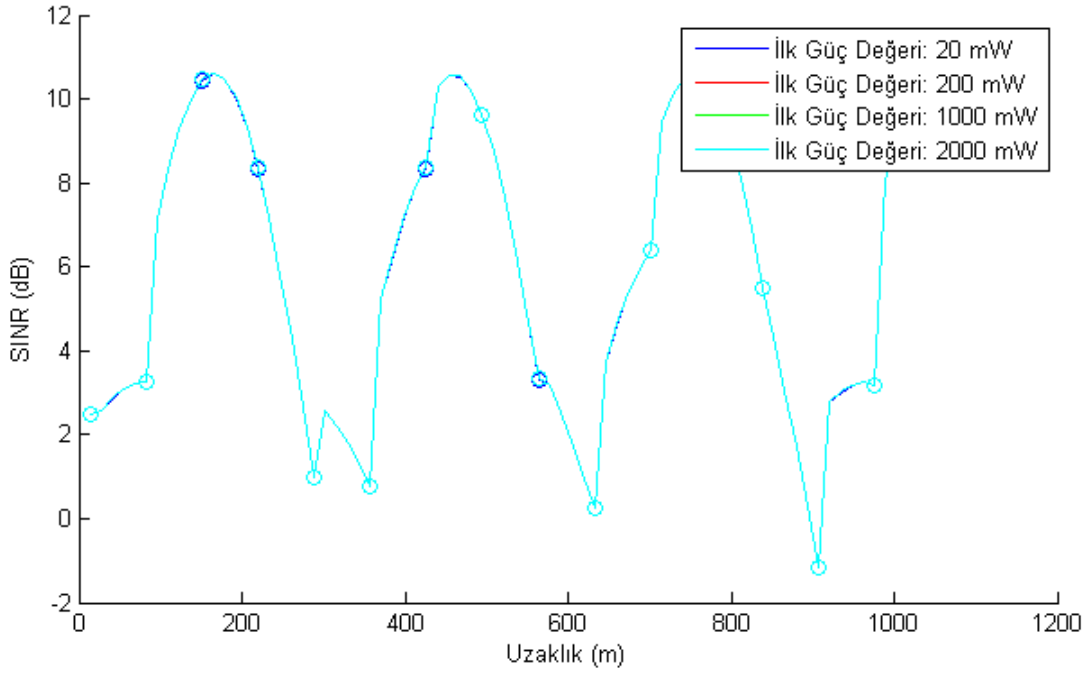


Şekil 5.14. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti değişken, ilk güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

5.2.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi

Küçük hücrelerin ilk çıkış güçleri mobil kullanıcının aldığı SINR değerini etkilemektedir. SINR hesaplanırken kaynak hücrenin ilk çıkış gücü, kayıplar, gürültü ve girişim göz önünde bulundurulur. Toplam kayıp hesabı içinde gölgeleme ve yol kaybı mevcuttur.

Şekil 5.15'de görüldüğü üzere SINR'ın ilk güç değerine bağlı değişiminde 5.1.4'te yaptığımız 'mobil kullanıcının hareketi boyunca ilk çıkış gücü arttıkça mobil kullanıcının aldığı güç de artmaktadır' yorumunu yapamayız. Çünkü çizimde de görüldüğü gibi küçük hücrelerin birbirinde yarattığı girişim yüzünden küçük hücre ilk çıkış gücünün etkisi mikro boyutlarda olup, SINR değerleri aynıymış gibi kabul edilebilir. Buradan diğer etkenleri göz ardı ettiğimizde ilk güç değerini arttırmanın bir fayda sağlamayacağını söyleyebiliriz.



Şekil 5.15. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, ilk güç değeri değişken ve $T = 5$ sn.

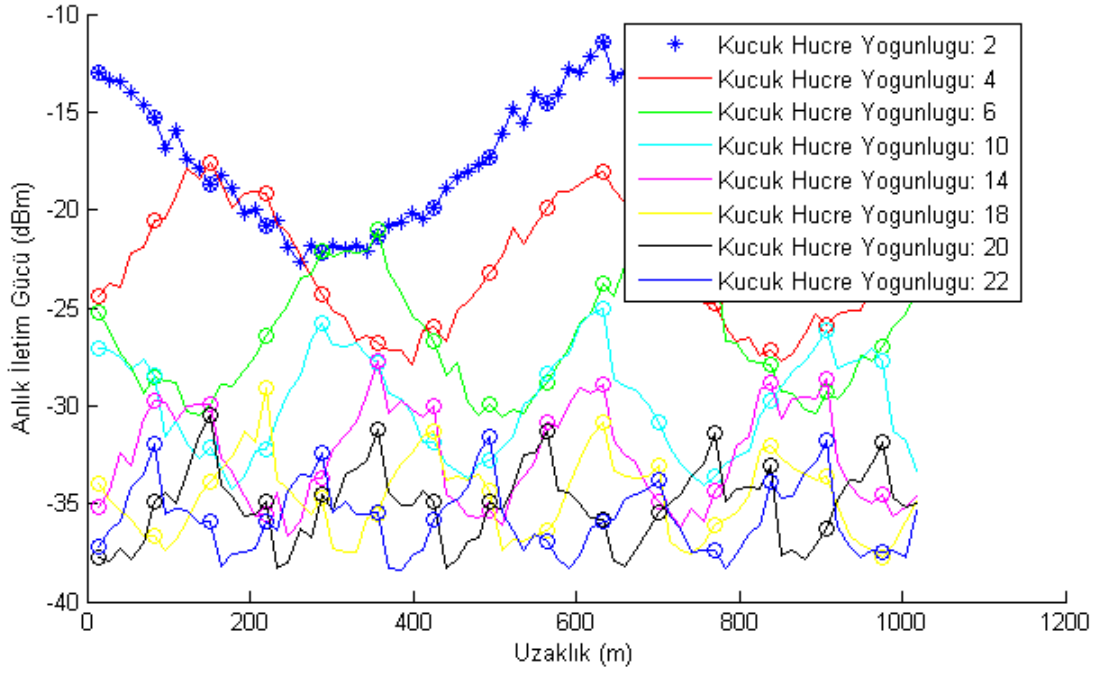
5.3 Anlık İletilen Gücün İncelenmesi

Bu bölümde yer alan çizimlerde, bölüm 3.2'de belirtilen ve örneği verilen anlık iletilen gücün diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiğini karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

5.3.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık İletilen Güce Etkisi

Aşağıda yer alan çizimlerde, bölüm 3.2'de belirtilen ve örneği verilen anlık iletilen gücün diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiğini karşılaştırmalı olarak görülmektedir. İlk olarak Şekil 5.16'da küçük hücre yoğunluğunun anlık iletilen güce etkisinin hız $13,75 m/s$ ($50 km/h$), gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır. 5.1.1'deki alınan güç ile karşılaştırıldığında, daha az güç alınan noktalarda mobil kullanıcının daha fazla güç harcadığını görüyoruz. Yani yoğunluk az iken daha fazla güç harcayan mobil kullanıcı yoğunluk fazla iken daha az güç harcamaktadır. Fakat alınan güç ile alınan gücün kalitesi tutarsız olduğu için aslında

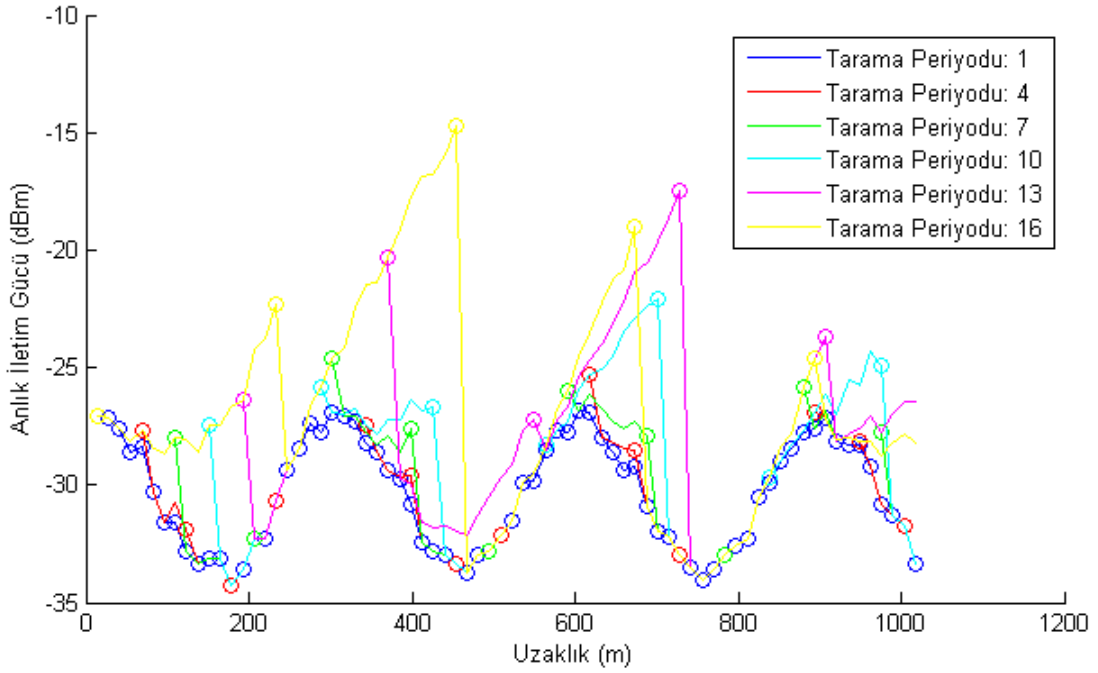
mobil kullanıcının kaliteye göre güç harcaması gerekmektedir.



Şekil 5.16. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75 \text{ m/s}$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

5.3.2 Tarama Periyodunun Anlık İletilen Güce Etkisi

Bu bölümdeki çizimde ise tarama periyodu değiştiğinde anlık iletilen gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.17'de tarama periyodunun anlık iletilen güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

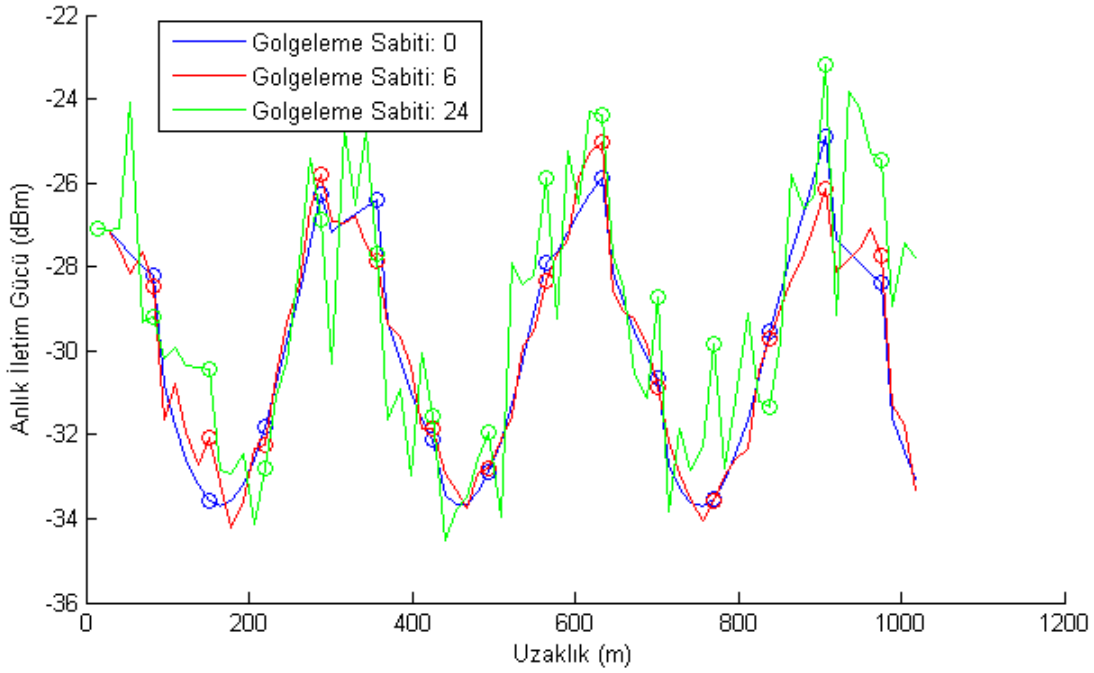


Şekil 5.17. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75\text{m/s}$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve değişken T

Çizimde görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcı daha az sinyal aldığı ve tarama yapamadığı için bağlı kalmak zorunda olduğu hücreyle iletişim sağlamak için daha fazla güç sarf etmektedir. Bu da mobil kullanıcının pil kullanım süresini azaltmaktadır.

5.3.3 Gölgeleme Sabitinin Anlık İletilen Güce Etkisi

Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 5.18'de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık iletilen güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

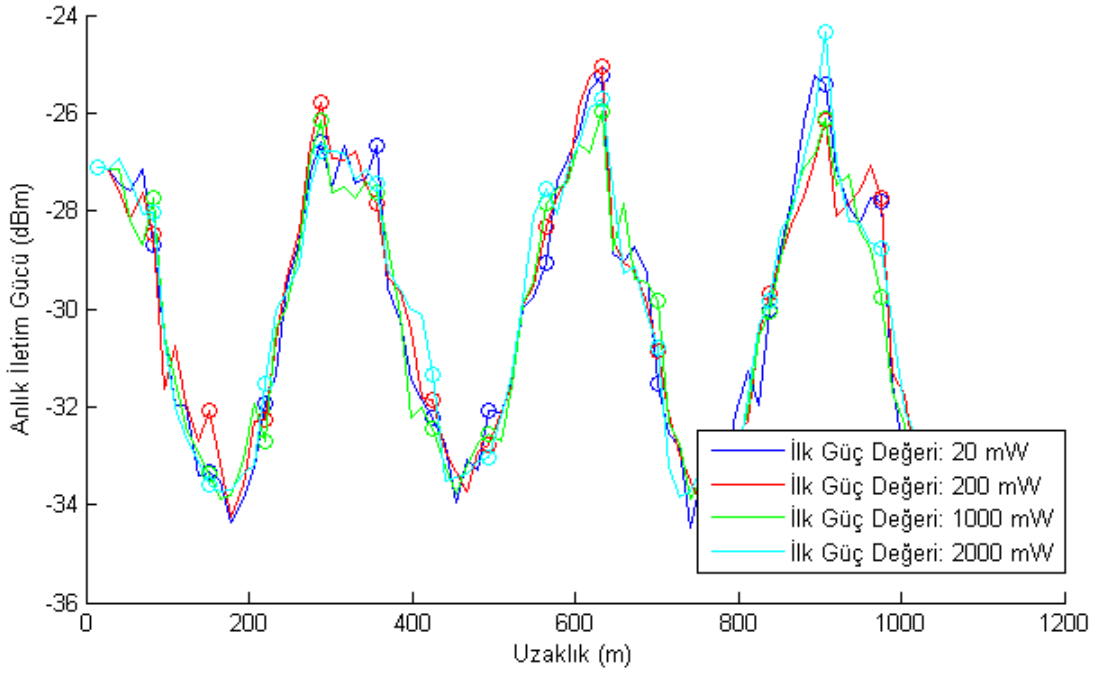


Şekil 5.18. Anlık İletilen Güç $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Bu çizimde de görüldüğü gibi gölgelemenin pozitif ya da negatif etkileri vardır ve anlık olarak değişmektedir. Gölgeleme fazla iken mobil kullanıcı iletilen gücünde ani değişimler olmaktadır. Genel olarak baktığımızda gölgelemenin fazla olmasının mobil kullanıcının fazla güç harcamasına sebep olduğunu ve pil ömrünü kısalttığını söyleyebiliriz.

5.3.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık İletilen Güce Etkisi

Bu bölümdeki grafikte ise küçük hücrelerin ilk çıkış gücü değiştiğinde anlık iletilen gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.19'da ilk çıkış gücünün anlık iletilen güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 5.19. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Çizim incelendiğinde küçük hücre başlangıç çıkış gücünün, mobil kullanıcının anlık iletim gücünde fazla bir değişim yaratmadığı görülmektedir. Gölgeleme etkisi dışında mikro boyutlarda fark olduğunu ve diğer parametreler göz ardı edildiğinde düşük küçük hücre başlangıç çıkış gücünün enerji verimliliği açısından avantaj olduğunu söyleyebiliriz.

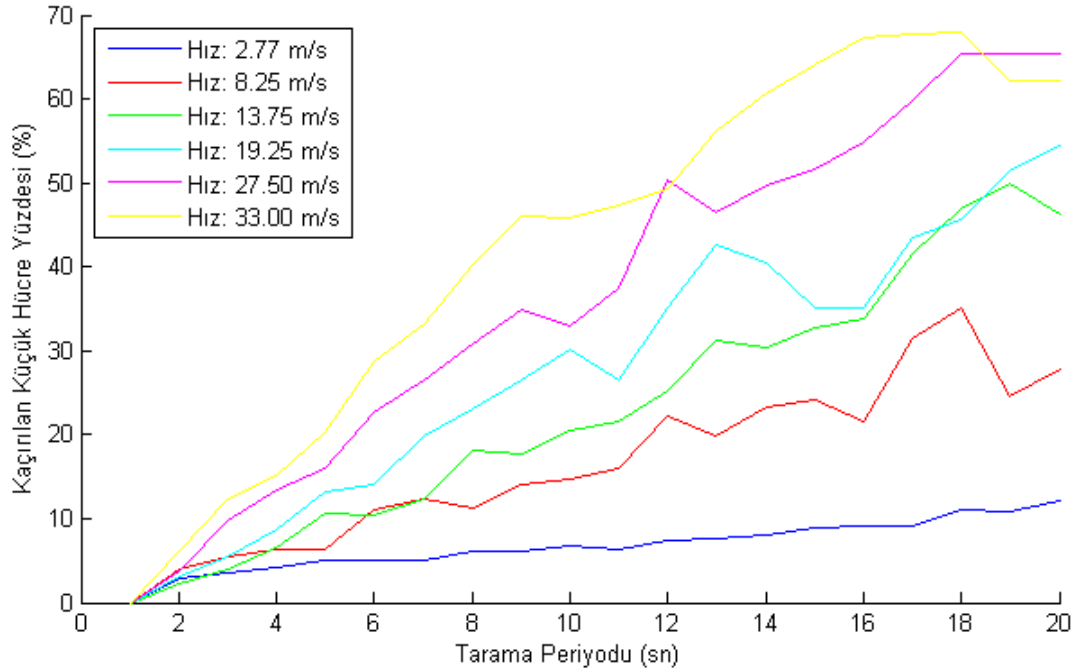
5.4 Kaçırılan Küçük Hücre Oranının İncelenmesi

Bu bölümde yer alan çizimlerde, Bölüm 3.3'te belirtilen ve örneği verilen kaçırılan küçük hücre oranı için diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Amaç diğer parametrelerin 'offload' şansını nasıl etkilediğini görmektir.

5.4.1 Hızın Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Mobil kullanıcının hızındaki değişim küçük hücre keşif edilmediğinde daha iyi bir hücre varken bağlanmama durumunu etkilemektedir. Mobil kullanıcı hareketi yavaş iken küçük hücre kapsama alanında daha fazla bulunmakta ve tarama periyodunun etkisi daha az görülmektedir. Mobil kullanıcı daha hızlı hareket ettiğinde herhangi bir küçük hücrenin kapsama alanında bulunma süresi azalmakta ve tarama periyodunun etkisi daha fazla görülmektedir.

Şekil 5.20’de tarama periyodu ve hızın kaçırılan hücre oranına etkisinin küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve ilk çıkış gücü 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 5.20. Kaçırılan Küçük Hücre; değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve ilk çıkış gücü 200 mW

Şekil 5.20’e bakıldığında hız arttıkça küçük hücreye bağlanma olasılığının azaldığı, aynı zamanda tarama periyodu da arttıkça kaçırma oranının arttığı görülmektedir. Bu çizime göre hız arttıkça daha iyi sinyal alınan hücreye bağlanmak için tarama periyodunun daha düşük tutulması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Bu sonucu destekleyici çizim-

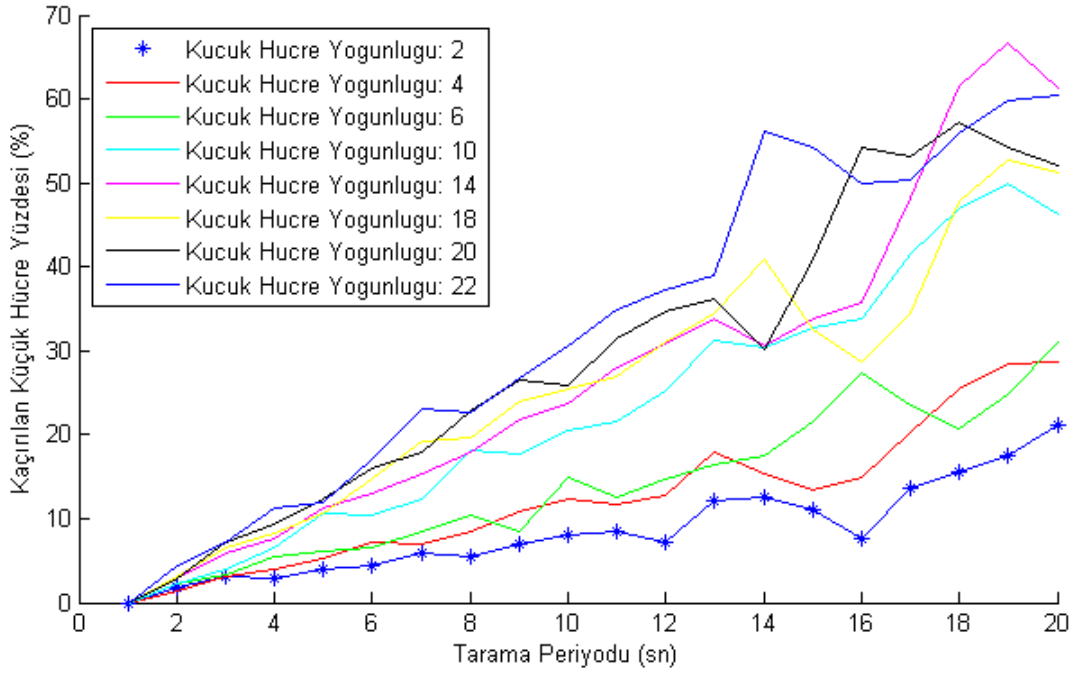
leri 5.5'te ortalama alınan güç çizimlerini incelediğimizde de görebiliriz.

Kaçırılan küçük hücre oranı belli seviyenin altında tutulmalıdır. Örneğin, bu oranı %10 un altında tutmak için mobil kullanıcı hızı 10 km/h iken tarama periyodunu 17 sn ye kadar çıkarabiliriz. 30 km/h hızda iken ise maksimum 6 sn, diğer hızlarda ise ortalama 3 saniyeyi geçmemelidir.

5.4.2 Küçük Hücre Yoğunluğunun Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Mobil kullanıcının hareket ettiği ortamdaki küçük hücre sayısı da küçük hücre keşif edilmediğinde daha iyi bir hücre varken bağlanmama durumunu yani 'offload' şansını etkilemektedir. Genel olarak bakıldığında ortamda daha fazla küçük hücre varsa daha fazla yeni hücreyle karşılaşabileceği anlamına gelmektedir. Fakat oransal olarak bakmak istersek çizimleri incelememiz gerekir.

Örneğin; Şekil 5.21'de tarama periyodu ve küçük hücre yoğunluğunun kaçırılan hücre oranına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 5.21. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, değişen küçük hücre yoğunluğu (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW

Şekil 5.21'e bakıldığında küçük hücre sayısından bağımsız olarak tarama periyodu arttıkça kaçırılan küçük hücre yüzdesi artmaktadır. Tarama periyodu düşük iken tüm yoğunluklar benzer davranış sergilemektedir. Tarama periyodu arttığında; yoğunluğun kaçırma oranını nasıl etkilediğini daha iyi görebiliyoruz. Yüksek yoğunluklarda kaçırma oranı %70'leri bulurken, düşük yoğunluklarda maksimum seviye %30'u geçmemektedir.

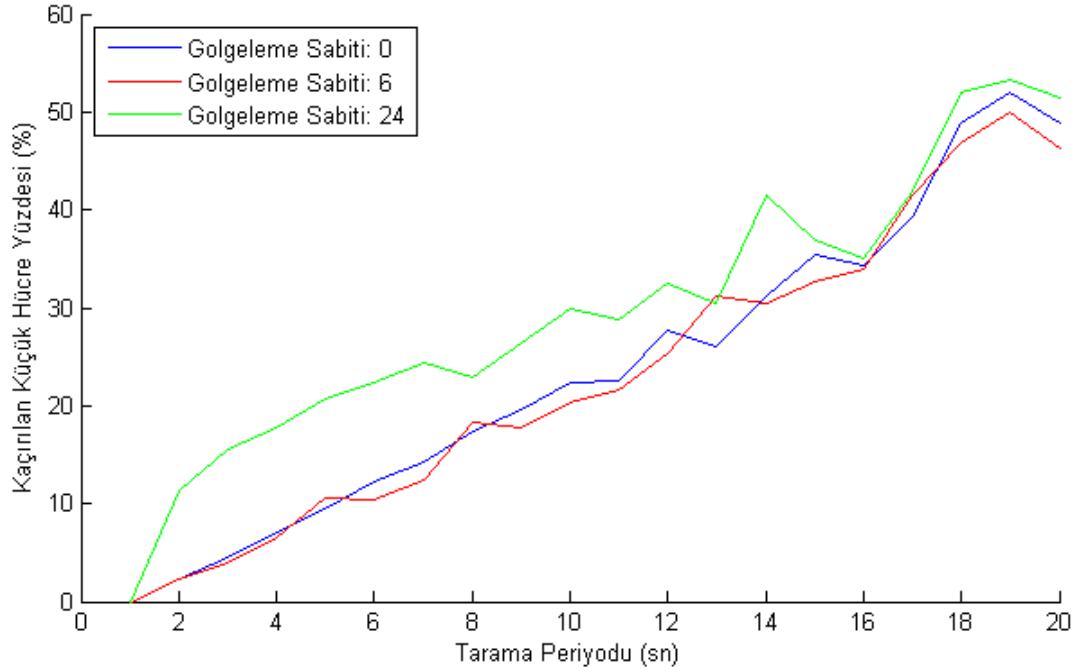
Kaçırılan küçük hücre oranı için kabul edilebilir seviyeyi daha önceki bölümlerde olduğu gibi %10 olarak belirlersek küçük hücre yoğunluğu 2 iken bu senaryoda tarama periyodunu 12'ye kadar yükseltebiliriz. Diğer daha yüksek yoğunluklarda ise tarama periyodu 4 saniyeyi geçmemelidir.

5.4.3 Gölgeleme Sabitinin Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Gölgeleme sinyal kalitesi üzerinde pozitif veya negatif ani dalgalanmalara sebep olmaktadır. Bu da her örnek zamanda hücrelerin sağladığı sinyal kalitesinde ani düşüş ve artışlara sebep olur. Tarama geç yapıldığında da bu değişimlerden etkilenilmesi ka-

çınılmazdır.

Örneğin; Şekil 5.22'de gölgeleme sabiti 6 iken çıkan sonuçlar gölgeleme yok iken çıkan sonuçlardan biraz daha yüksektir. Aradaki bu fark kabul edilebilir düzeydedir. Ancak gölgeleme sabiti 24 iken Şekil 6.15'teki sinyal seviyesindeki ani ve yüksek değerli değişimlerin kaçırılan küçük hücre oranındaki aşırı artışa sebep olduğunu görüyoruz.



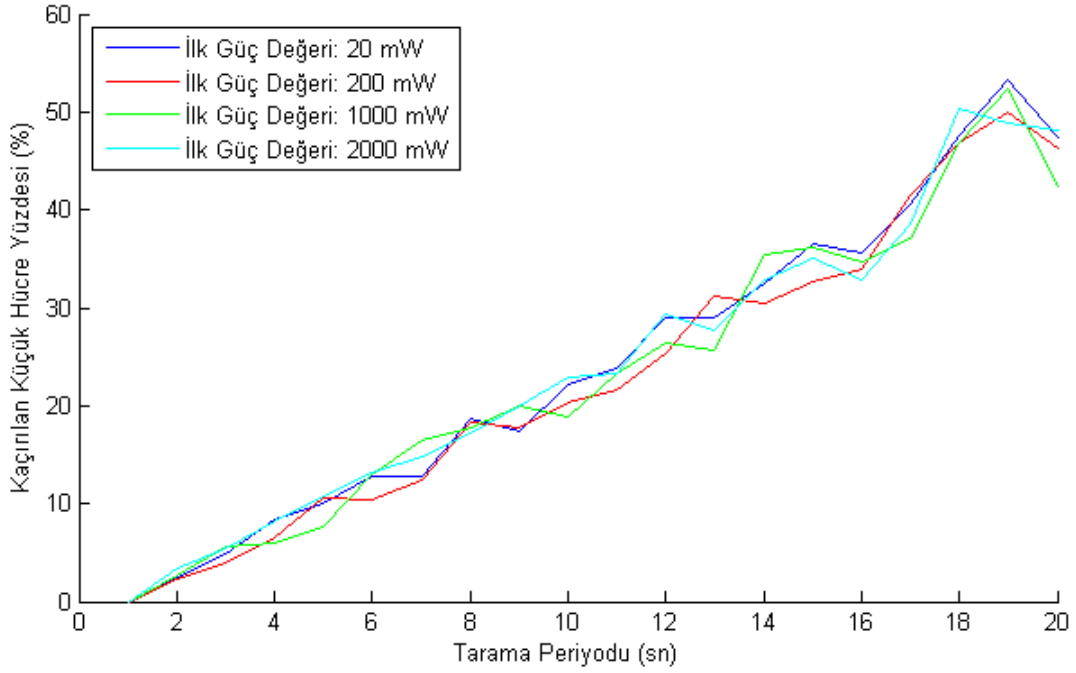
Şekil 5.22. Kaçırılan Küçük Hücre $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW

Bu sonuçlardan yola çıkarak; gölgeleme etkisinin fazla olduğu yerlerde tarama periyodunun minimum seviyede mümkün olduğunca düşük tutulması gerektiği söylenebilir. Gölgeleme etkisinin az olduğu yerlerde ise tarama periyodu 6 saniyeye kadar çıkartılabilir.

5.4.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

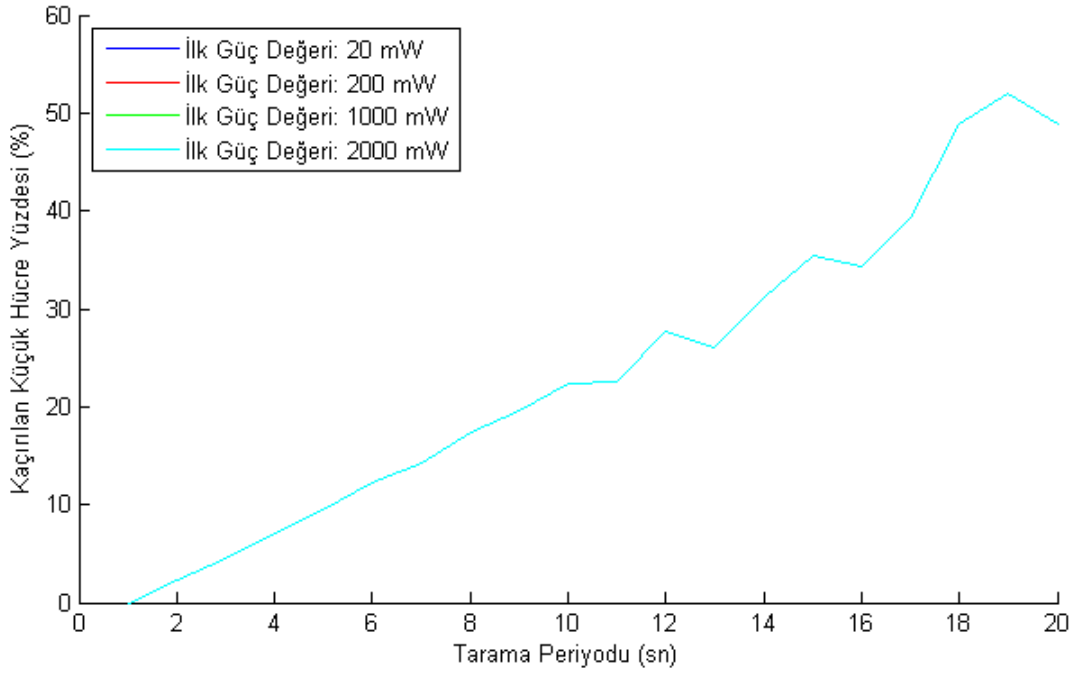
Küçük hücre başlangıç çıkış gücünün küçük hücre kaçırma oranına etkisini hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 iken

nasıl değişimini Şekil 5.23'te inceleyeceğiz.



Şekil 5.23. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri değişken

5.2.4'teki SINR değerlerinin aynı olmasından dolayı kaçırılan küçük hücre oranları da benzer çıkmaktadır. Gölgelemenin etkisini de Şekil 5.24'te kaldırırsak kaçırılan küçük hücre oranını tüm küçük hücre gönderilen güçleri için birebir aynı olduğunu görüyoruz.



Şekil 5.24. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri değişken

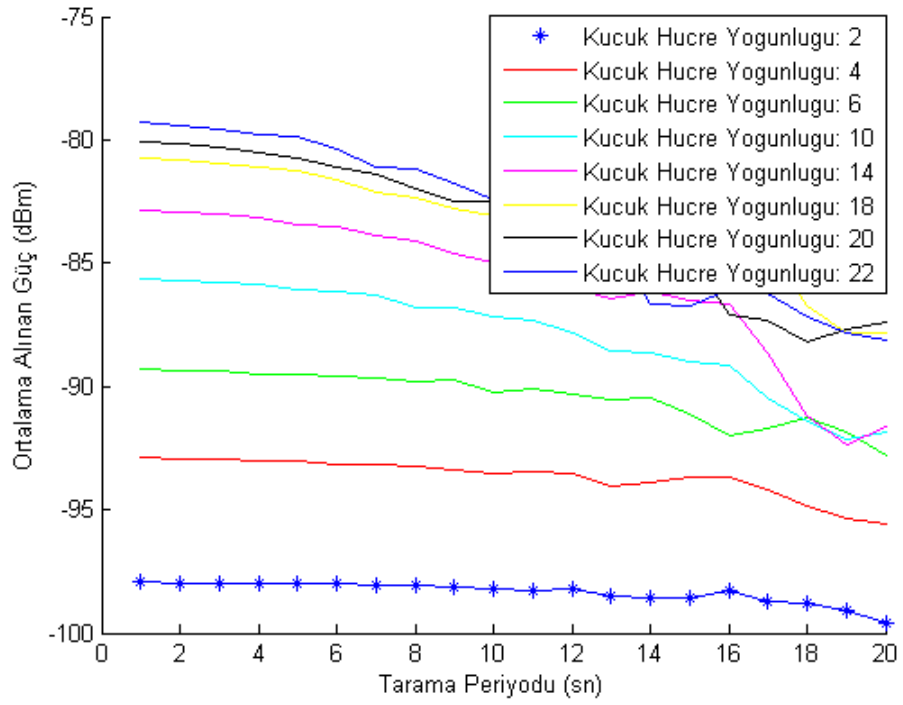
Yani tüm küçük hücre gönderilen güç değerleri için kaçırma oranının %10'u geçmemesi için tarama periyodu 5 saniyeyi geçmemelidir.

5.5 Ortalama Alınan Gücün İncelenmesi

Aşağıda yer alan çizimlerde, bölüm 3.4'te belirtilen ve örneği verilen anlık alınan gücün diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiğini karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

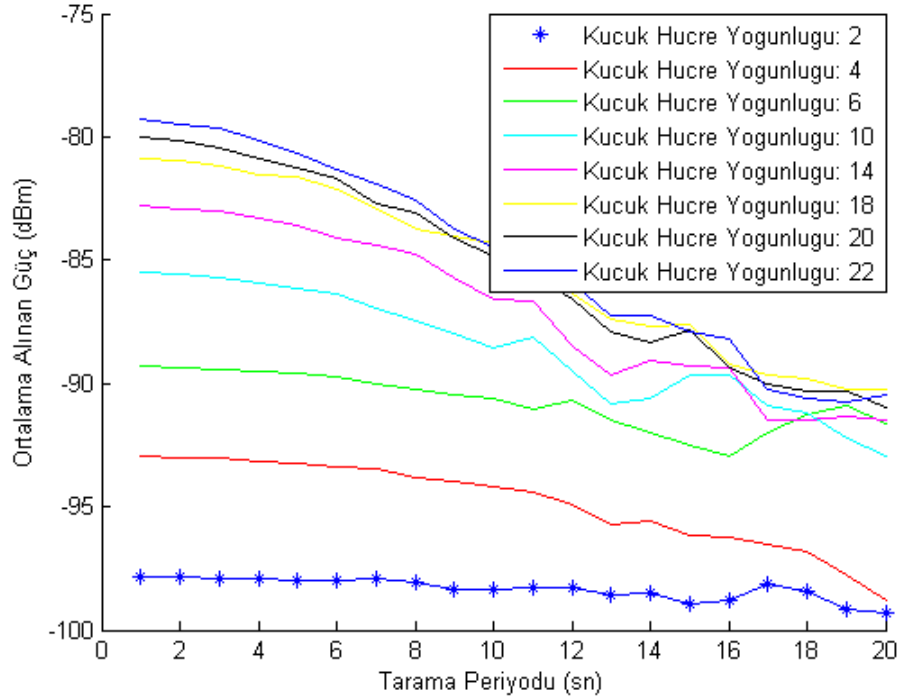
5.5.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Ortalama Alınan Güce Etkisi

Şekil 5.25'te küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 5.25. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW

Farklı bir hızda gözlemlendiğinde örneğin 70 km/h Şekil 5.26'da küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

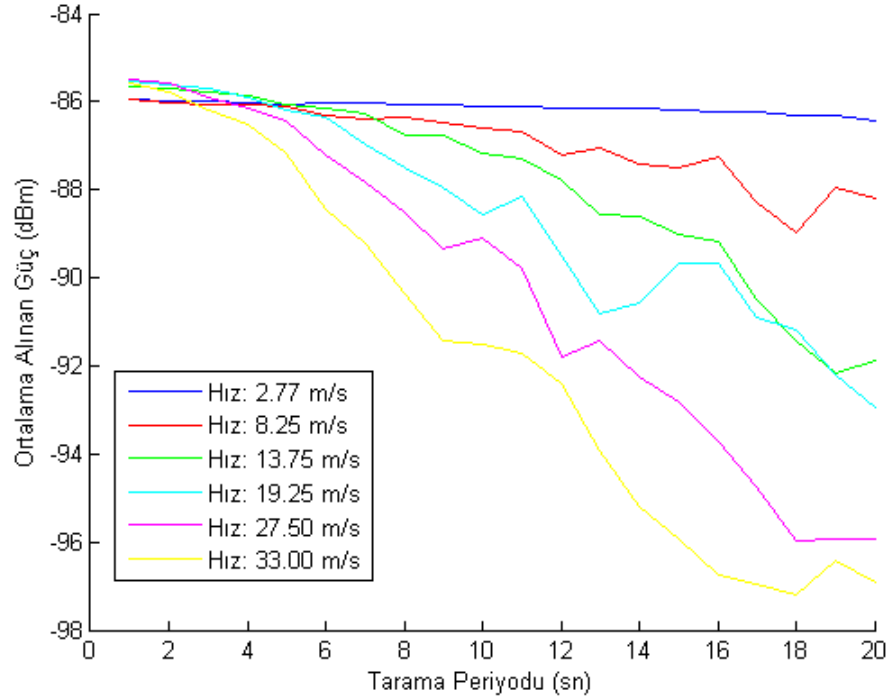


Şekil 5.26. Ortalama Alınan Güç; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Aynı tarama periyoduna ait bu çizimler dikkate alındığında yoğunluk arttıkça hangi hızda olursa olsun ortalama alınan gücün daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi mobil kullanıcının sinyal alınan hücreye ne kadar yakın olursa daha az kayıpla o kadar yüksek güç elde etmesidir. Fakat iki farklı hız için karşılaştırma yaptığımızda daha hızlı giden mobil kullanıcının tarama periyodu arttıkça daha düşük ortalama güce sahip olduğunu görüyoruz.

5.5.2 Hızın Ortalama Alınan Güce Etkisi

Bu bölümdeki çizimde ise mobil kullanıcının hızı değiştiğinde alınan ortalama gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.27’de tarama periyodunun ortalama alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



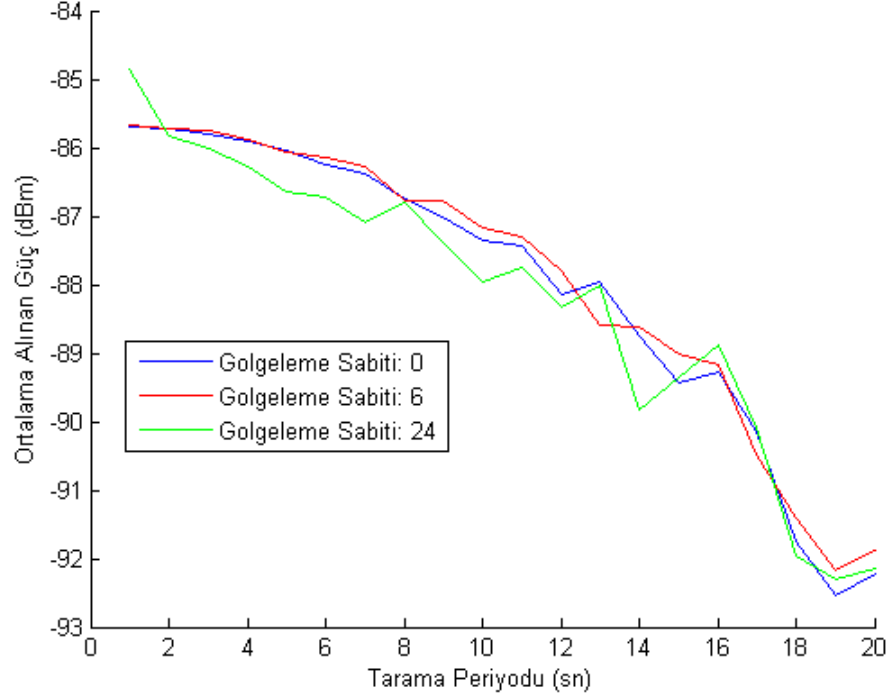
Şekil 5.27. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW

Önceki çizimlerde de görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcının daha iyi sinyal aldığı hücreye geçisi gecikmektedir, daha kötü sinyal aldığı hücreye bağlı kalmak durumunda olduğu için de hareketi boyunca aldığı ortalama güç azalmaktadır. Fakat bu durumun etkisini düşük hızlarda daha az görürken, yüksek hızlarda ciddi sinyal gücü kayıplarıyla karşılaşmaktayız. Sonuç olarak mobil kullanıcının hızı yüksek iken tarama periyodunun düşük tutulması mobil kullanıcının ortalama alınan gücünü arttırmaktadır ve hareketi boyunca sorunsuz iletişime sahip olmasını sağlar. Tabiki bu durum kullanıcının pil ömrünü de olumsuz etkiler.

5.5.3 Gölgeleme Sabitinin Ortalama Alınan Güce Etkisi

Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 5.28'de gölgeleme sa-

bitinin değişiminin ortalama alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) iken nasıl değiştiiği yer almaktadır.

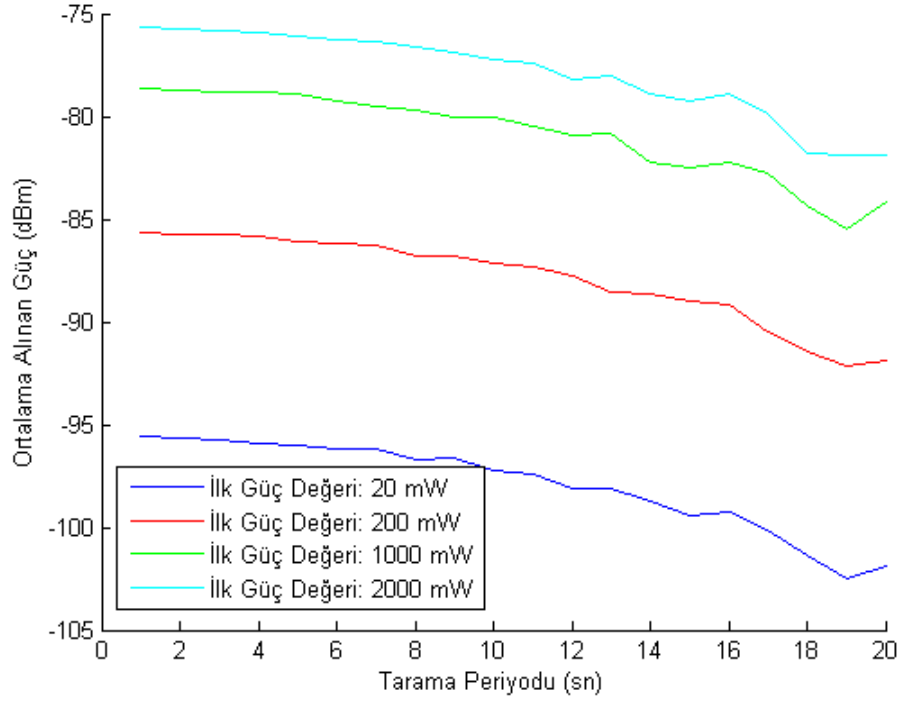


Şekil 5.28. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW

Ortam koşulları sinyal gücünü arttırabilir veya engel olup azaltabilir. Şekil 5.28'de görüldüğü gibi gölgelemenin genel olarak negatif etki yarattığını görüyoruz. Buna engel olmak için tarama periyodunun düşük tutulması gerektiğini söyleyebiliriz.

5.5.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Ortalama Alınan Güce Etkisi

Şekil 5.29'da küçük hücre başlangıç çıkış gücü değişiminin ortalama alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) iken nasıl değiştiiği yer almaktadır.



Şekil 5.29. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri değişken ve $T = 5$ sn.

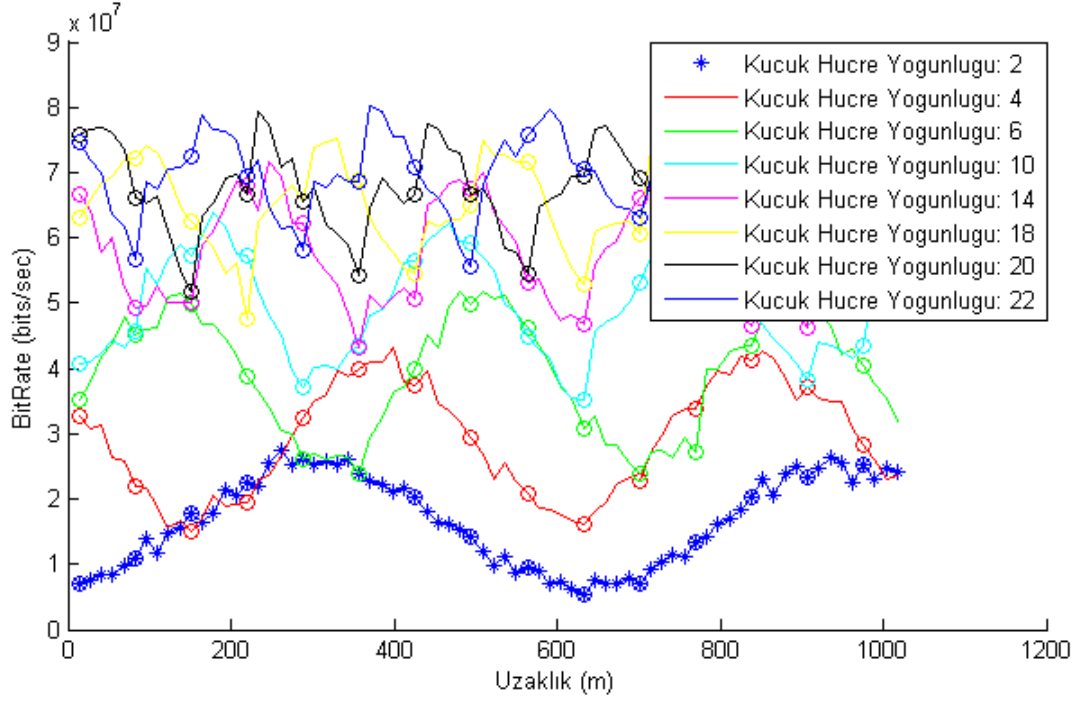
Küçük hücre başlangıç çıkış gücü arttıkça anlık alınan güç değerleri de arttığı için ortalama alınan güç değerleri de artmaktadır.

5.6 Maksimum Bit Hızının İncelenmesi

Aşağıda yer alan çizimlerde, bölüm 3.5'de belirtilen ve örneği verilen anlık bit hızının diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

5.6.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Bit Hızına Etkisi

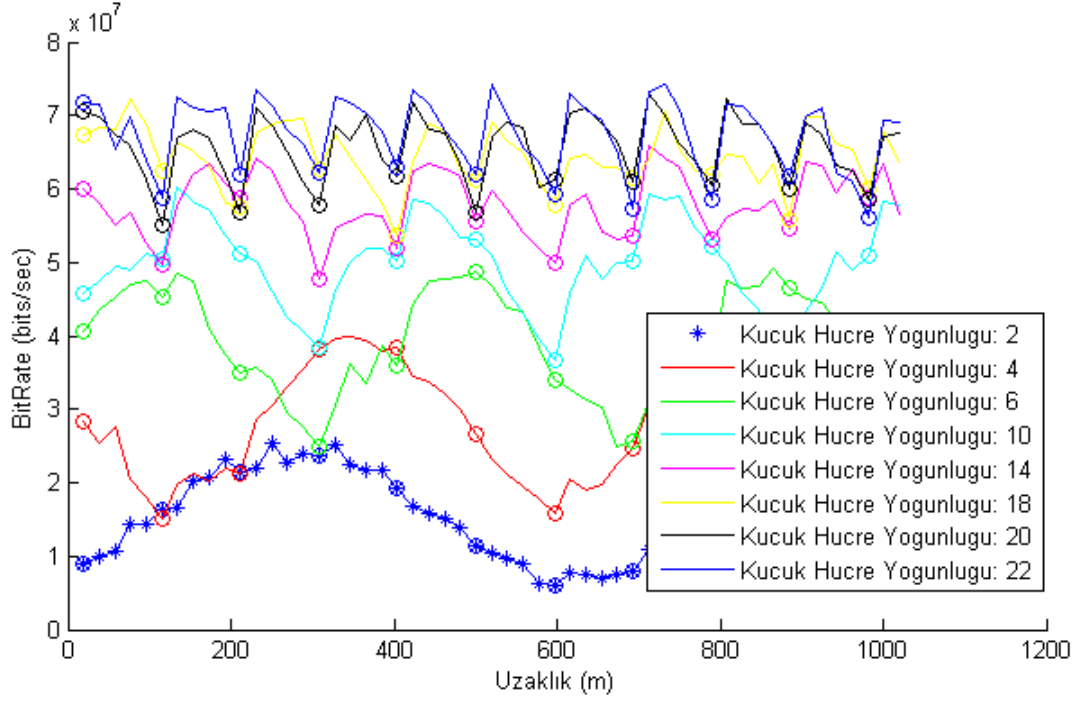
Şekil 5.30'da küçük hücre yoğunluğunun anlık bit hızına etkisinin hız $13,75$ m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 5.30. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Şekil 5.30'a bakıldığında hücre yoğunluğu az iken mobil kullanıcının aldığı güç ile bağlantılı olarak bit hızı da düşük kalmaktadır. Küçük hücre yoğunluğu arttıkça bit hızı da artmaktadır.

Farklı bir hızda gözlemlendiğinde örneğin 70 km/h Şekil 5.31'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

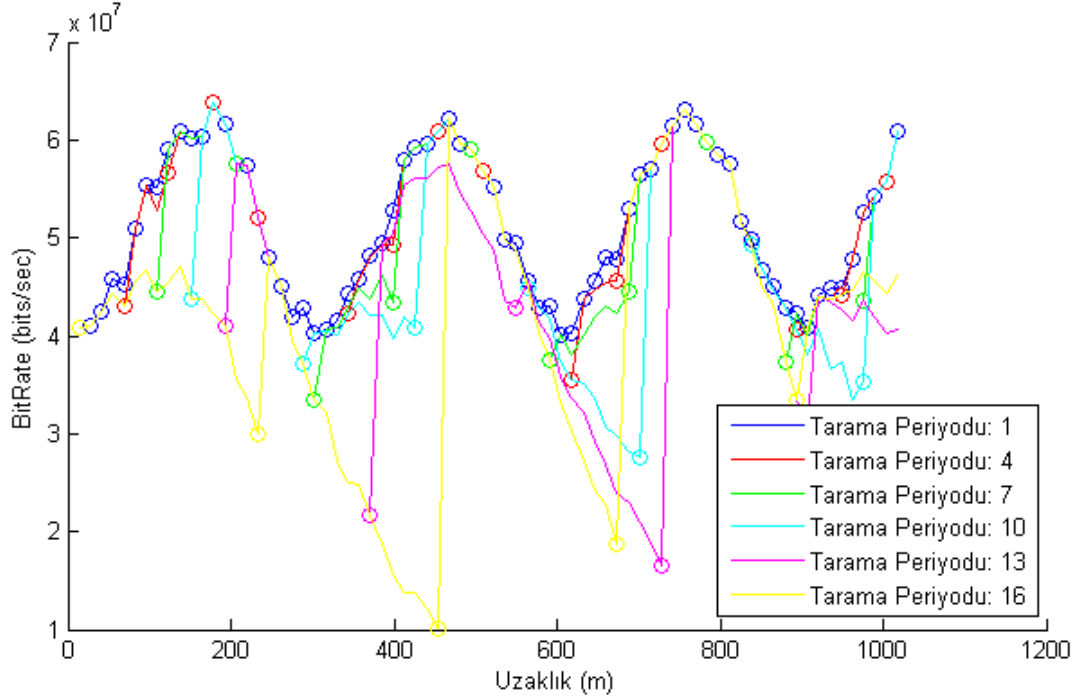


Şekil 5.31. Anlık Bit Hızı; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Aynı tarama periyoduna ait bu çizimler dikkate alındığında yoğunluk arttıkça hangi hızda olursa olsun anlık alınan gücün daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi mobil kullanıcının sinyal alınan hücreye ne kadar yakın olursa daha az kayıpla o kadar yüksek güç elde etmesidir. Hızın artarken de tepe noktası değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Ayrıca iki tarama zamanı arasındaki mesafe de uzamaktadır.

5.6.2 Tarama Periyodunun Bit Hızına Etkisi

Bu bölümdeki çizimde ise tarama periyodu değiştiğinde anlık bit hızının değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.34'te tarama periyodunun anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



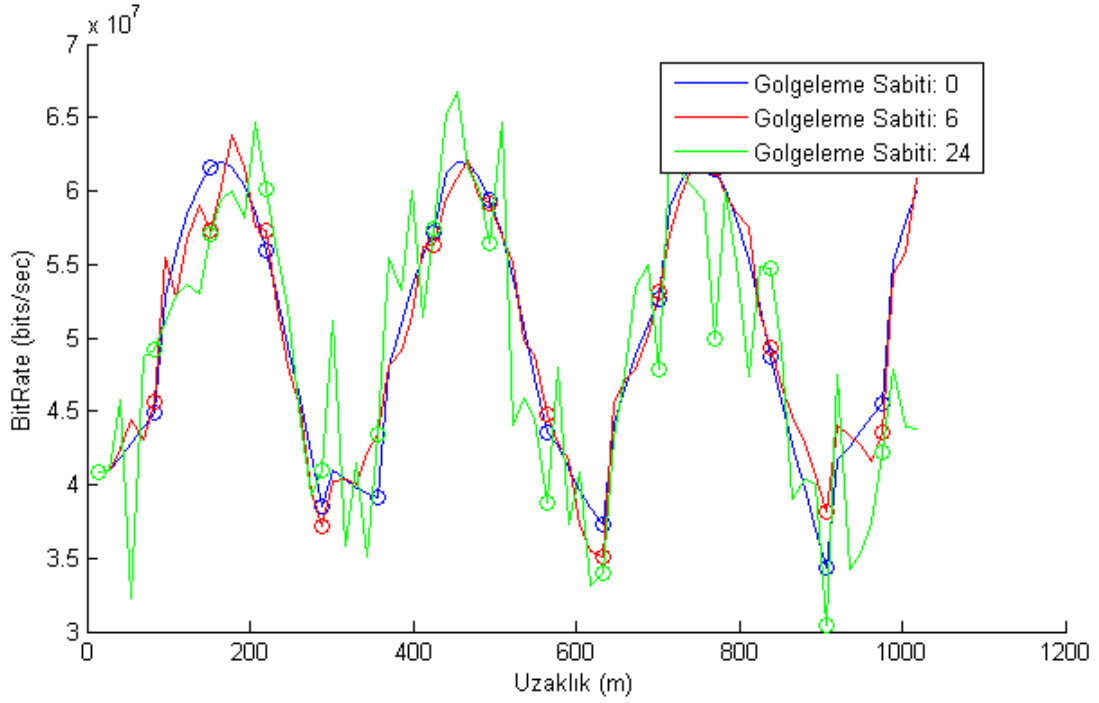
Şekil 5.32. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75\text{m/s}$, değişen küçük hücre yoğunluğu (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW

Çizimde görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcı daha iyi sinyal aldığı hücreye geçemediği için daha düşük sinyal aldığı hücreye bağlı kalması yüzünden bit hızı düşmektedir. Mobil kullanıcının aldığı servise göre bit hızının da önemi vardır. Örneğin; görüntülü görüşme yapan bir kullanıcının bit hızı tarama periyodunun uzun olması yüzünden düşerse, kullanıcı görüntü kaybı yaşayabilir ve son kullanıcı memnuniyetsizliği ortaya çıkabilir. Böyle durumlarda tarama periyodunu düşük tutmak yararlı olabilir.

5.6.3 Gölgeleme Sabitinin Anlık Bit Hızına Etkisi

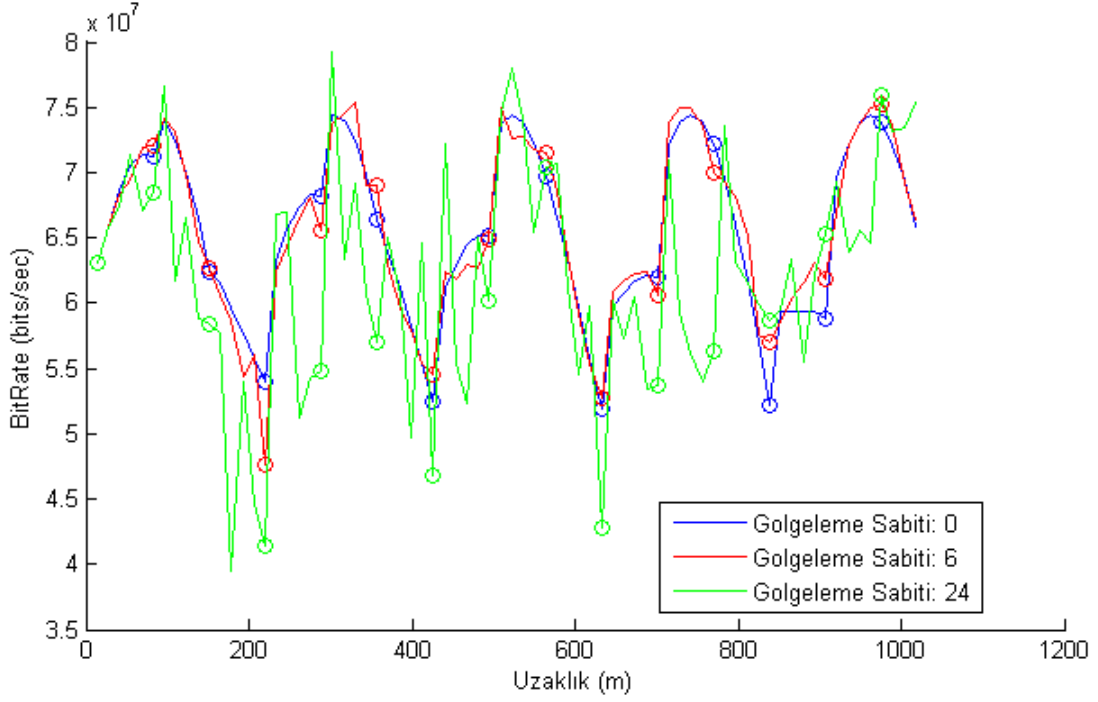
Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 5.33'te gölgeleme sabitinin değişiminin anlık alınan güce etkisinin hız $13,75\text{ m/s}$ (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer

almaktadır.



Şekil 5.33. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

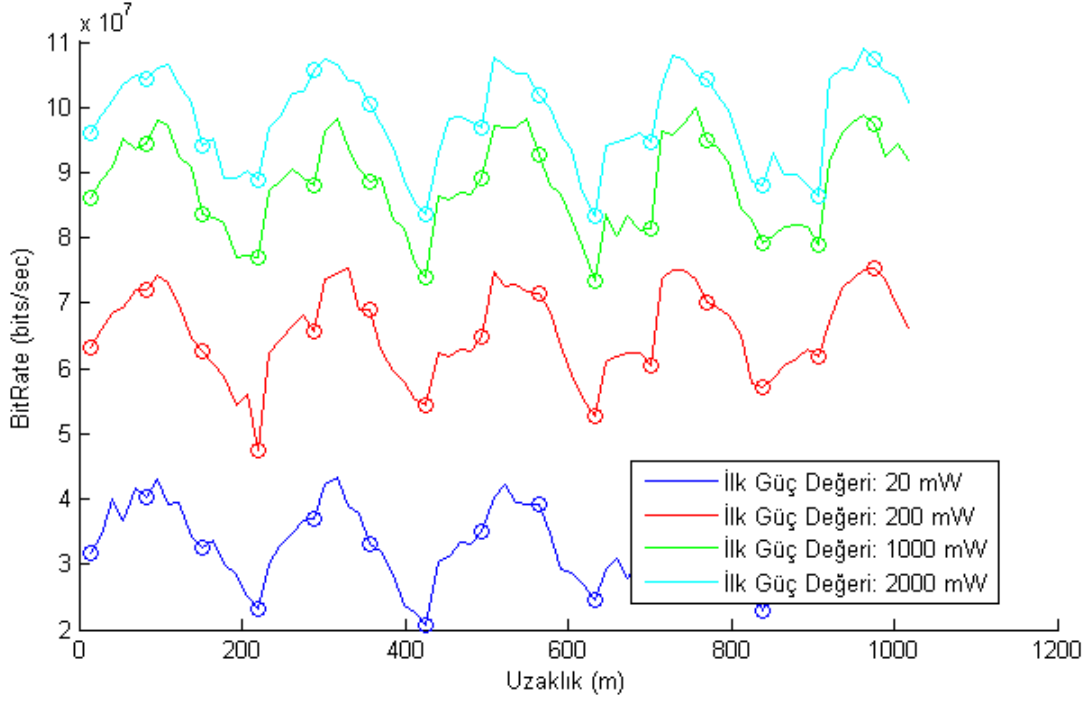
Ortam koşulları sinyal gücünü arttırabilir veya engel olup azaltabilir. Şekil 5.33'te görüldüğü gibi gölgeleme pozitif ya da negatif etki yaratabilir. Şekil 5.34'te küçük hücre yoğunluğu arttırılıp gölgeleme sabitinin etkisini incelediğimizde de sinyal gücünü arttırıp azalttığını görüyoruz.



Şekil 5.34. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

5.6.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık Bit Hızına Etkisi

Küçük hücrelerin ilk çıkış güçleri de mobil kullanıcının anlık bit hızını da etkilemektedir. Şekil 5.35'e baktığımızda ilk gönderilen güç değeri arttıkça bit hızının da arttığını görmekteyiz.



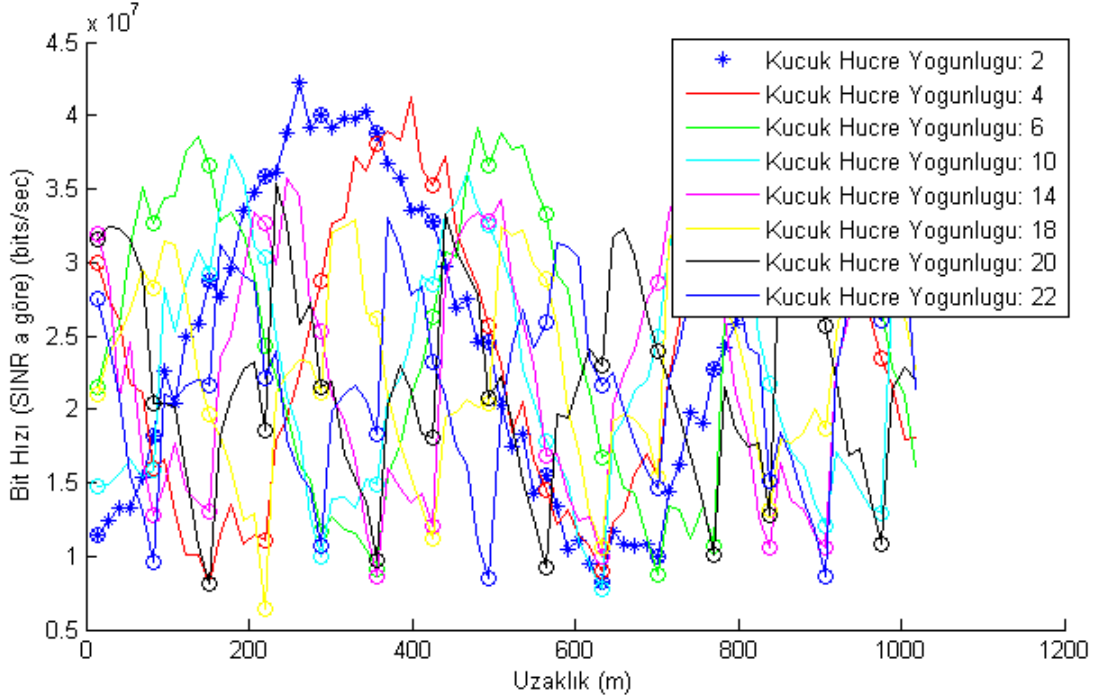
Şekil 5.35. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

5.7 SINR'a Göre Anlık Bit Hızının İncelenmesi

Aşağıda yer alan çizimlerde, bölüm 3.8'de belirtilen ve örneği verilen SINR'a göre anlık bit hızının diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

5.7.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi

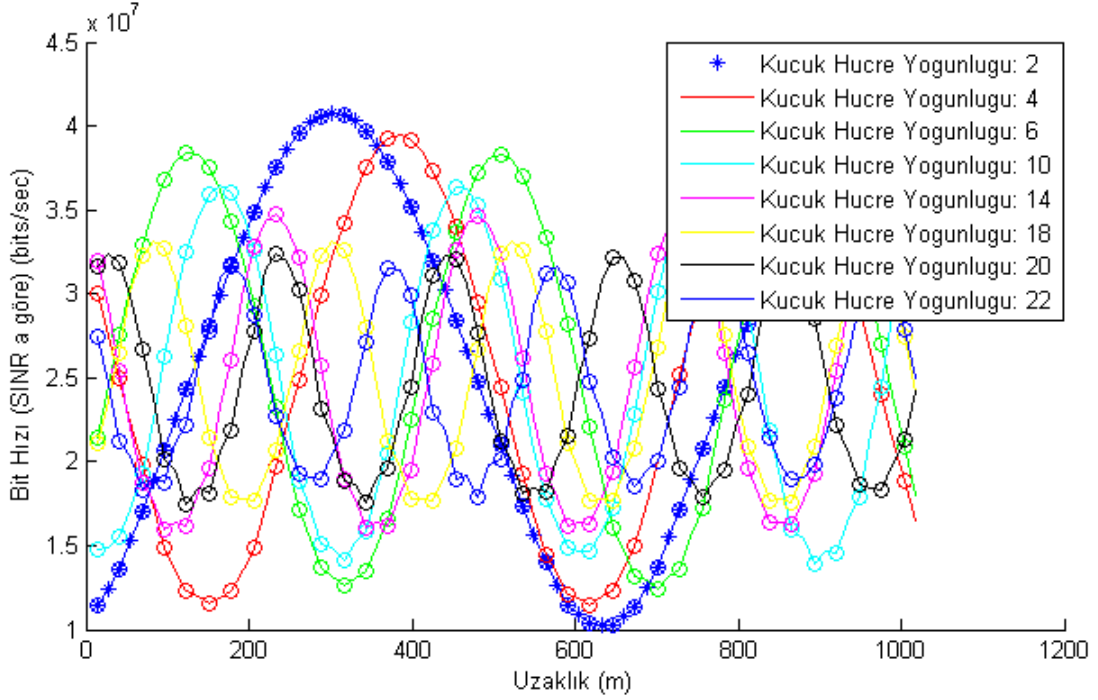
Şekil 5.36'de küçük hücre yoğunluğunun anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 5.36. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Çizim incelendiğinde küçük hücrelerin merkezine yakın noktalarda komşu hücrelerin girişim etkisinin en az görüldüğü ve bit hızı seviyesinin en yüksek olduğu yoğunluk en düşük yoğunluktur. Bu nedenle maksimum seviyenin en yüksek olduğu bölgeler düşük yoğunluktaki küçük hücre merkezleridir. Bit hızı değerlerinin maksimum seviyeleri yoğunluk arttıkça düşmektedir. Fakat hareket boyunca bit hızı seviyelerine bakıldığında düşük yoğunluğun her zaman avantaj olmadığı görülmektedir. Mobil kullanıcı düşük yoğunluklarda hücre kenar bölgelerinde (cell edge) uzun süre düşük sinyal almak zorunda kalmıştır. Ancak mobil kullanıcı hareketine devam ettiğinde düşük küçük hücre yoğunlukları için bit hızının da düşük kaldığını söyleyebiliriz. Aynı zamanda Bölüm 5.6.1'deki sonuçlar ile karşılaştırdığımızda da bit hızı maksimum seviyelerinin girişim yüzünden düştüğünü görmekteyiz.

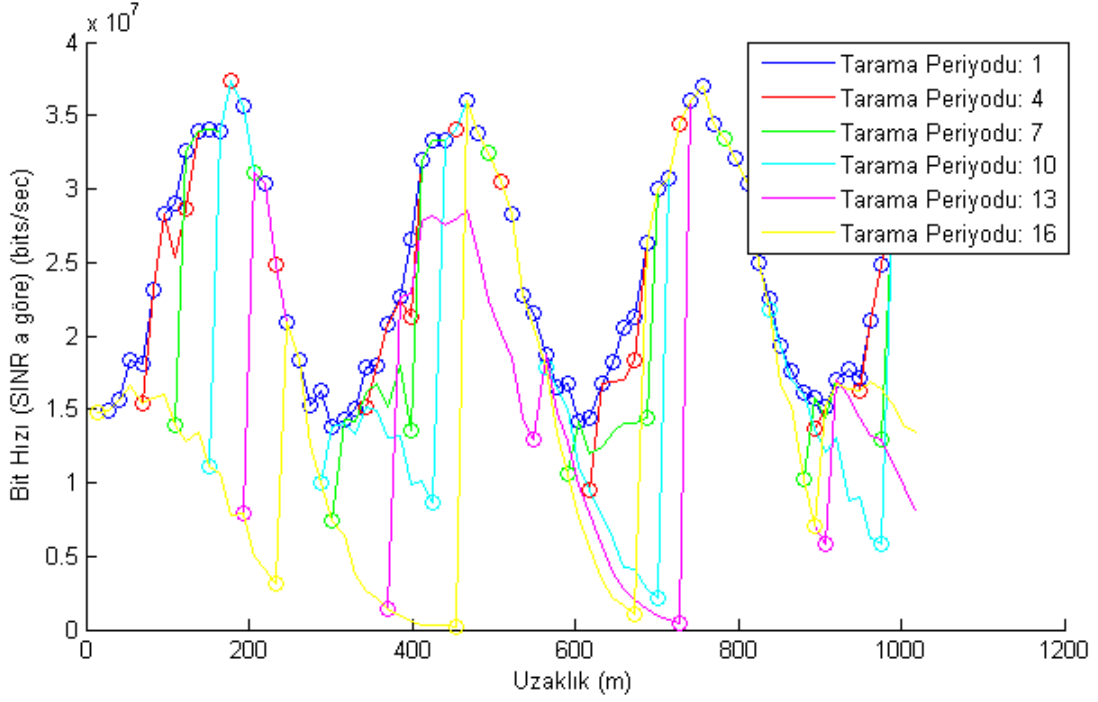
Bu gibi durumlarda kullanıcının servis isteğine göre tarama periyodunu arttırıp minimum bit hızı verilerini Şekil 5.37'de olduğu gibi az da olsa yukarı çekebiliriz.



Şekil 5.37. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 2$ sn

5.7.2 Tarama Periyodunun SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi

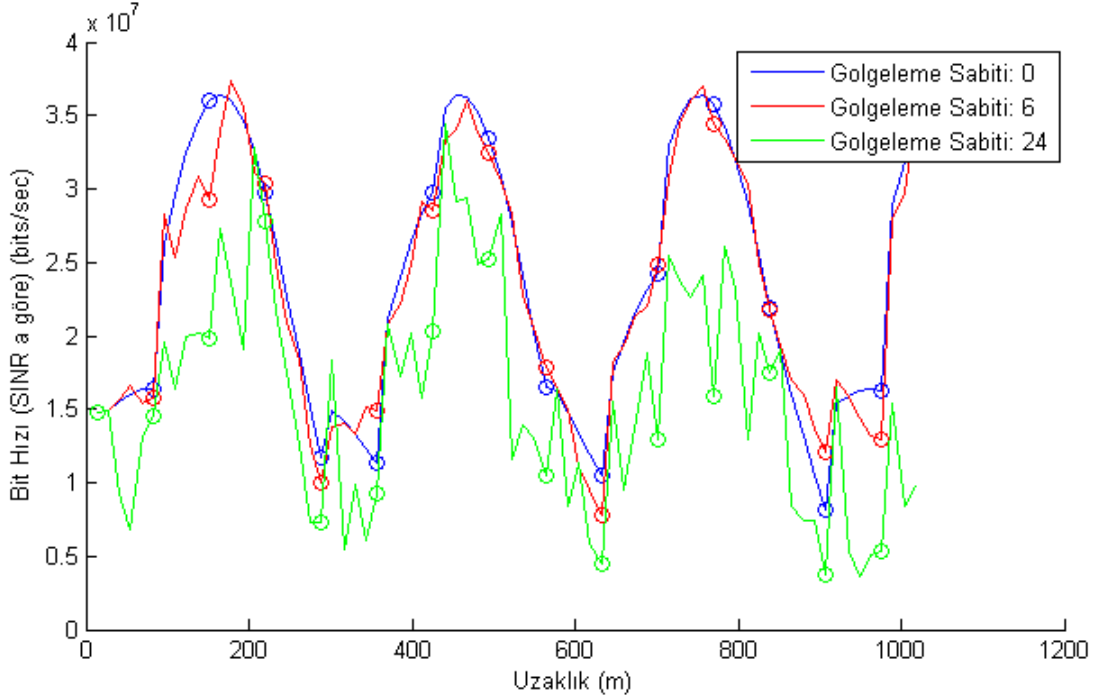
Bu bölümde tarama periyodu değiştiğinde SINR'a göre anlık bit hızının değişimi lokasyona göre incelenmiştir. Şekil 5.38'de tarama periyodundaki değişimin SINR bazlı anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Bu çizim ile Bölüm 5.6.2'deki çizimi karşılaştırsak maksimum bit hızı değerleri düşmüştür. Ancak her iki durumda da tarama periyodu arttıkça bit hızının azaldığını görebiliriz.



Şekil 5.38. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 6, değişen tarama periyodu

5.7.3 Gölgeleme Sabitinin SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi

SINR bazlı bit hızında da gölgeleme sabitinin değişimi olumlu ya da olumsuz etki yaratabilir. Ancak gölgeleme çok olduğu noktalarda ani bit hızı düşüşlerine yol açabilir. Bu da kullanıcının servis kalitesinin düşmesine sebep olabilir. Şekil 5.39'da gölgeleme sabitinin değişiminin SINR'a göre anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

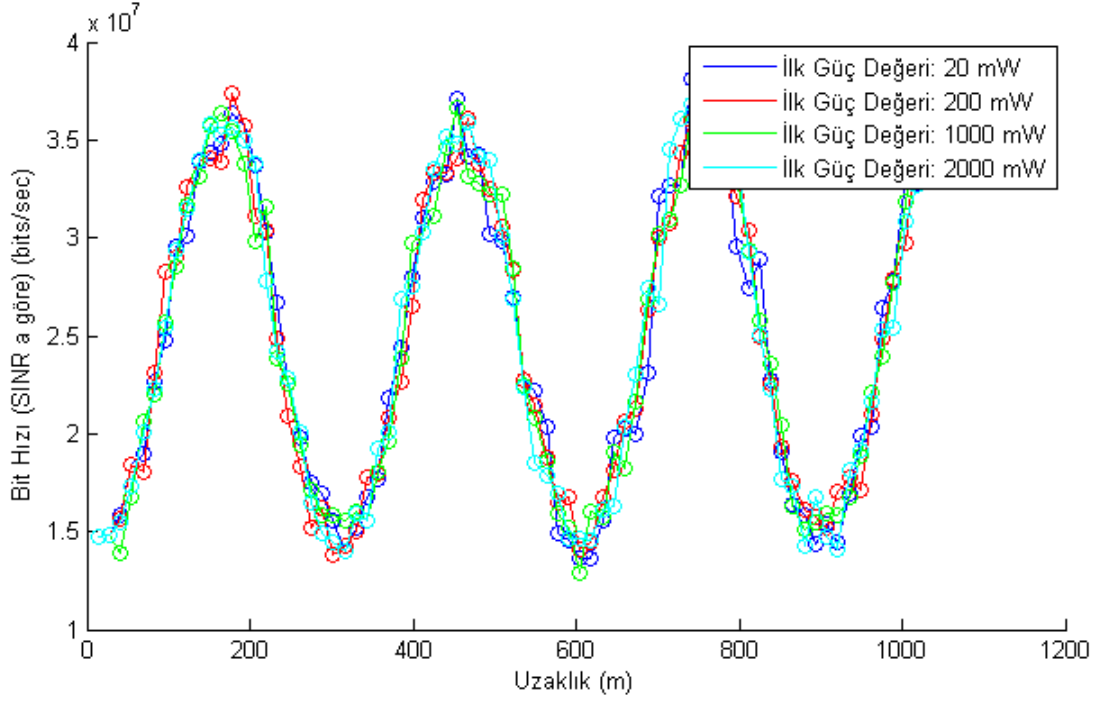


Şekil 5.39. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13, 75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW, değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.

Grafiği incelediğimizde gölgeleme düşük seviyede iken değişimin en fazla %10 civarında olduğunu görüyoruz. Ancak yüksek seviyede gölgeleme etkisi görülen alanlarda ani oluşan sinyal seviyesi farklarının %50'ye kadar çıktığını görüyoruz.

5.7.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi

Küçük hücrelerin ilk çıkış güçleri de SINR'a göre anlık bit hızını etkilememektedir. Şekil 5.40'ı incelediğimizde gönderilen güç değerinin ilgili senaryoda mobil kullanıcının bit hızında bir değişim yaratmadığını söyleyebiliriz. Gölgeleme etkisi dışındaki fark mikro boyutlarda olup, diğer parametreler göz ardı edildiğinde düşük küçük hücre çıkış gücünün avantaj olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.40. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri değişken, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

6. MAKRO HÜCRE VE EŞİT DAĞILIMLI KÜÇÜK HÜCRELERDE HÜCRELER ARASI GİRİŞİM OLDUĞU DURUM

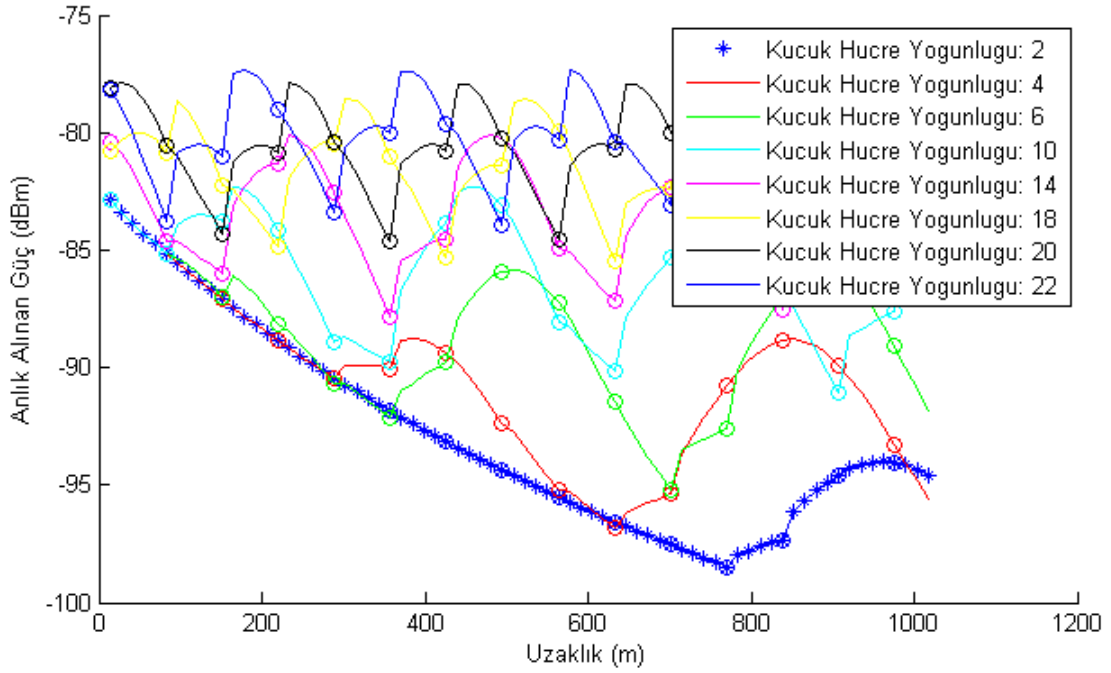
Elde ettiğimiz verileri bir de makro hücre varken ve küçük hücre çıkış gücündeki değişikliklerle yani farklı çıkış güçlerini kullanarak aynı zamanda hücreler arası girişimin de var olduğu senaryoda inceleyelim. Bu senaryoda çıkış gücü 30 W olan makro hücre ile eşit dağılımlı küçük hücreler kullanılmış olup küçük hücrelerin çıkış gücü 20 mW, 200 mW, 1W ve 2W olarak değişmektedir. Hücre geçişlerinde SINR değerleri göz önünde bulundurulmuştur ve mobil kullanıcı o anda yüksek SINR değeri alınan hücreye bağlanmıştır. Mobil kullanıcı hareketi farklı hızlarda, farklı küçük hücre yoğunluklarında, farklı tarama periyodları ile, farklı gölgeleme değişkenleri altında ve farklı ilk çıkış güçlerinde aynı senaryo üzerinde gerçekleştirilmiştir. Senaryoda mobil kullanıcı hareketine başladıktan sonra 1 km boyunca hareketi incelenmiş olup tüm toplanan verilerin karşılaştırmalı sonuçları aşağıda verilmiştir.

6.1 Anlık Alınan Gücün İncelenmesi

Aşağıda yer alan çizimlerde, Bölüm 3.1'de belirtilen ve örneği verilen anlık alınan gücün diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

6.1.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık Alınan Güce Etkisi

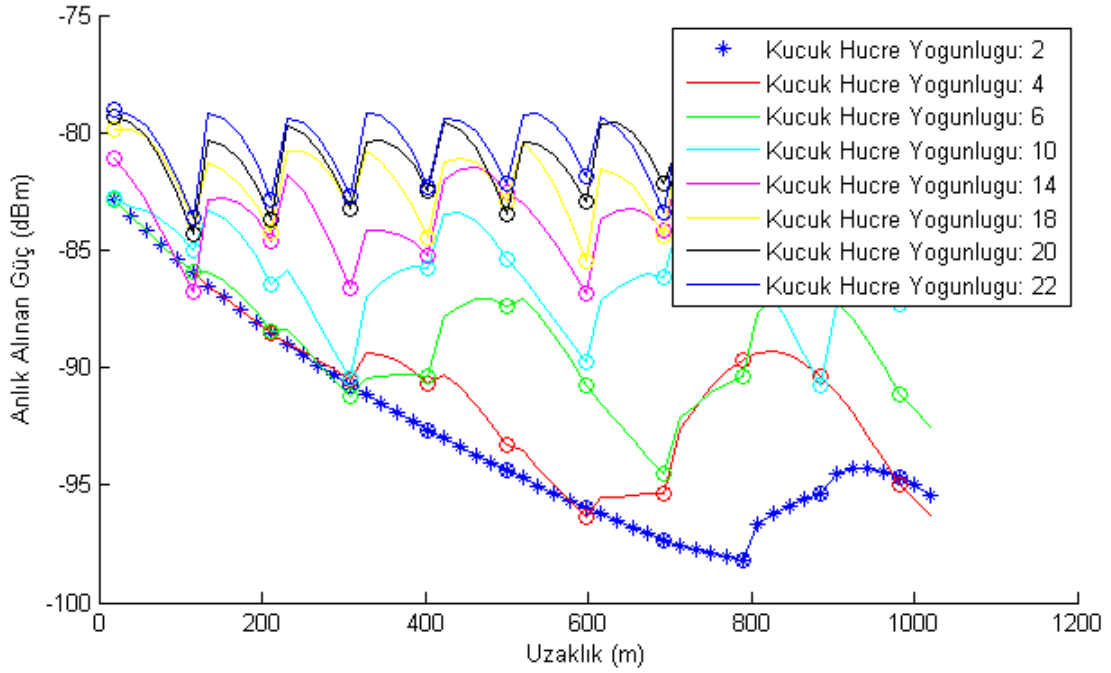
Makro hücrenin de küçük hücreler ile aynı frekansta çalıştırılması senaryosunu ilk olarak daha net inceleyebilmek adına gölgeme etkisi olmadan, Şekil 6.1'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gönderilen güç değeri 200mW ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer inceleyelim.



Şekil 6.1. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75\text{m/s}$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Şekilde yoğunluğun az olduğu ve makro hücreye yakın olan hareket alanında başta bir süre makro hücreye bağlı kaldığı görülmektedir. Bunun sebebi küçük hücre yakın olmasına rağmen gücünün makro hücreye göre yeterince baskılayıcı olmamasıdır. Bunun sebebi hem girişim olması hem de küçük hücre güç değerlerinin yüksek olmamasıdır.

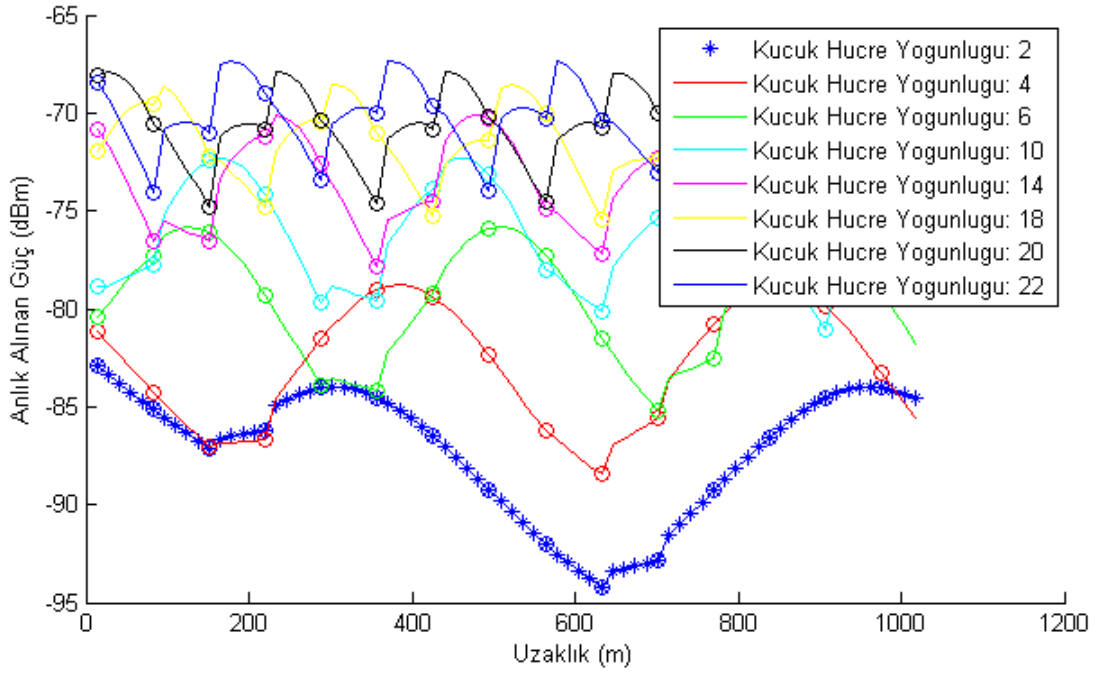
Şekilde görüldüğü gibi hücre yoğunluğu arttıkça alınan maksimum güç seviyesi artarken, hücre yoğunluğu azaldıkça alınan minimum güç seviyesi de düşmektedir. Grafiği aynı koşullarda farklı bir hızda incelersek, örneğin 70 km/h hız için, Şekil 6.2'de küçük hücre yoğunluğu değişiminin anlık alınan güce etkisinin gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200mW ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 6.2. Anlık Alınan Güç; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gönderilen güç değeri 200 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.

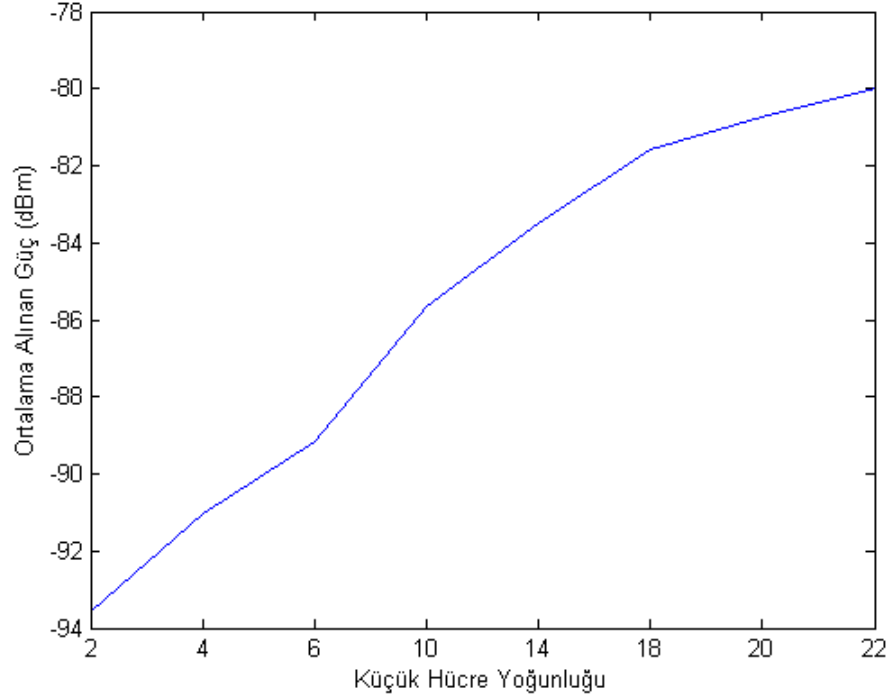
Şekil 6.2'de de yine önceki çizimde olduğu gibi hücre yoğunluğu arttıkça alınan maksimum güç seviyesi artarken, hücre yoğunluğu azaldıkça alınan minimum güç seviyesi de düşmektedir. İki grafiğin maksimum seviyeleri karşılaştırıldığında hız daha yüksek iken alınan güç seviyelerinde azalma görülmektedir.

Grafiği aynı koşullarda farklı bir gönderilen güç değeri için incelersek, örneğin gönderilen güç değeri 2000 mW, hız 50 km/h Şekil 6.3'te küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin gölgeleme sabiti 0 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Bu çizimde de ilk çıkış gücüne bağlı olarak maksimum değerler artarken yoğunluğa bağlı değişim yine hücre yoğunluğu arttıkça alınan maksimum güç tepe noktası artarken, hücre yoğunluğu azaldıkça alınan minimum güç seviyesi de azalmaktadır.



Şekil 6.3. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gönderilen güç değeri 2000 mW, gölgeleme sabiti 0 ve $T = 5$ sn.

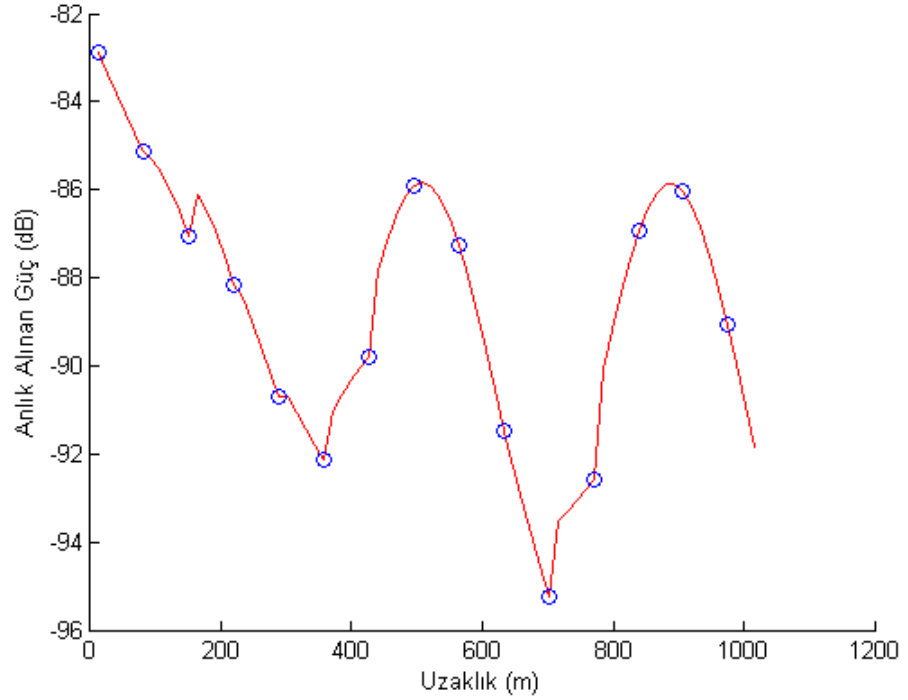
Aynı tarama periyoduna ait bu çizimler dikkate alındığında yoğunluk arttıkça hangi hızda olursa olsun anlık alınan gücün de arttığı görülmektedir. Bunun sebebi mobil kullanıcının sinyal alınan hücreye ne kadar yakın olursa daha az kayıpla o kadar yüksek güç elde etmesidir. Eğer mobil kullanıcının hareketi boyunca aldığı ortalama güce bakarsak örnek olarak hız 50 km/h iken Şekil 6.4'teki grafiği göreceğiz.



Şekil 6.4. Ortalama Alınan Güç $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

İncelediğimiz bu çizimlerde alınan güç değerleri hesaplanmasında uzaklık yani yol kaybı, gölgeleme yani ortam etkisi parametreleri yer almaktadır. Her ne kadar bağlı olunması gereken hücre kararı işaret gürültü ve girişim oranına göre verilse de alınan gücün hesaplanmasında bu değerler yer almamaktadır. Yani asıl sinyal kalitesinin belirlenmesi için yeterli parametreler bunlar değildir. Bir de gürültüyü ve hücreler arası girişimi de hesaba katıp sinyal kalitesini bu şekilde inceleyelim.

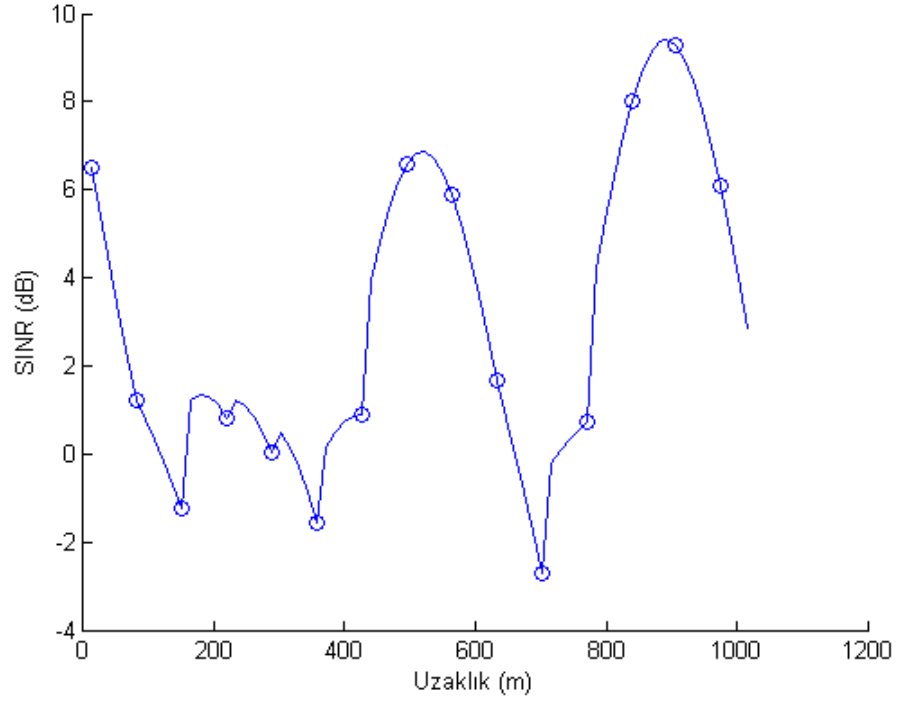
Alınan güç ile işaret gürültü ve girişim oranı (SINR) ilişkisinin anlaşılabilmesi için tek bir senaryo için iki grafiği karşılaştırabiliriz. Örnek senaryomuz; 50 km/h hız için gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200mW ve tarama periyodu 5 saniye olsun. İlk olarak alınan güç grafiğine bakalım. Şekil 6.5'te başta makro hücreye bağlı olan mobil kullanıcı 150. metrelerde sinyal kalitesine göre bir küçük hücreye el değiştirme ile geçmektedir. Bu adımdan sonra sinyal kalitesine ve tarama periyoduna göre diğer adımlarda hücre değişimlerine yön vermektedir.



Şekil 6.5. Anlık Alınan Güç $V = 13,75m/s$, $d = 6$ (hücre sayısı/ km^2) , gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

İyi bir network performansı için SINR değerinin en az 0-13 dB arasında olması gerekmektedir. Gerçekten iyi bir performans için değer 13-20 dB arasında, mükemmel performans için ise 20 dB'den büyük olmalıdır.

Aynı senaryo için Şekil 6.6'da işaret gürültü ve girişim oranı grafiğine baktığımızda küçük hücreye bağlanılan 150. metre civarında girişimden dolayı alınan gücün kalitesi çok düşmüştür. İlgili küçük hücre makro hücreye çok yakında olduğu için bu durum gözlenmektedir. Mabil kullanıcı hareketine devam ettiğinde girişim etkisinin azaldığı görülmektedir. Ancak küçük hücreye yaklaştıkça sinyal kalitesinin arttığı görülmektedir. Hücre kesişim bölgelerinde tekrar sinyal kalitesinin düşmesi hücreler arası girişim problemini burada da ortaya çıkarmaktadır.

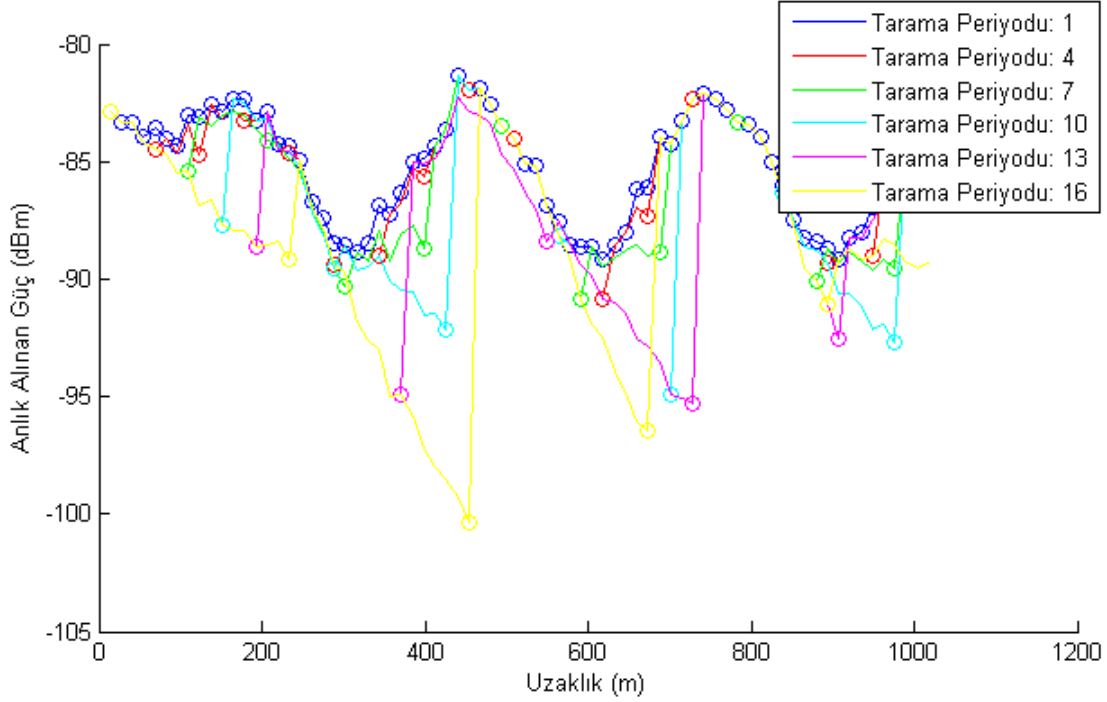


Şekil 6.6. İşaret Gürültü ve Girişim oranı; $V = 13,75m/s$, $d = 6$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

İşaret gürültü ve girişim oranı karşılaştırmalı incelemelerini Bölüm 6.2.1'de göreceğiz.

6.1.2 Tarama Periyodunun Anlık Alınan Güce Etkisi

Bu bölümde ise tarama periyodu değiştiğinde anlık alınan gücün lokasyon bazlı değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.7'de tarama periyodunun anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

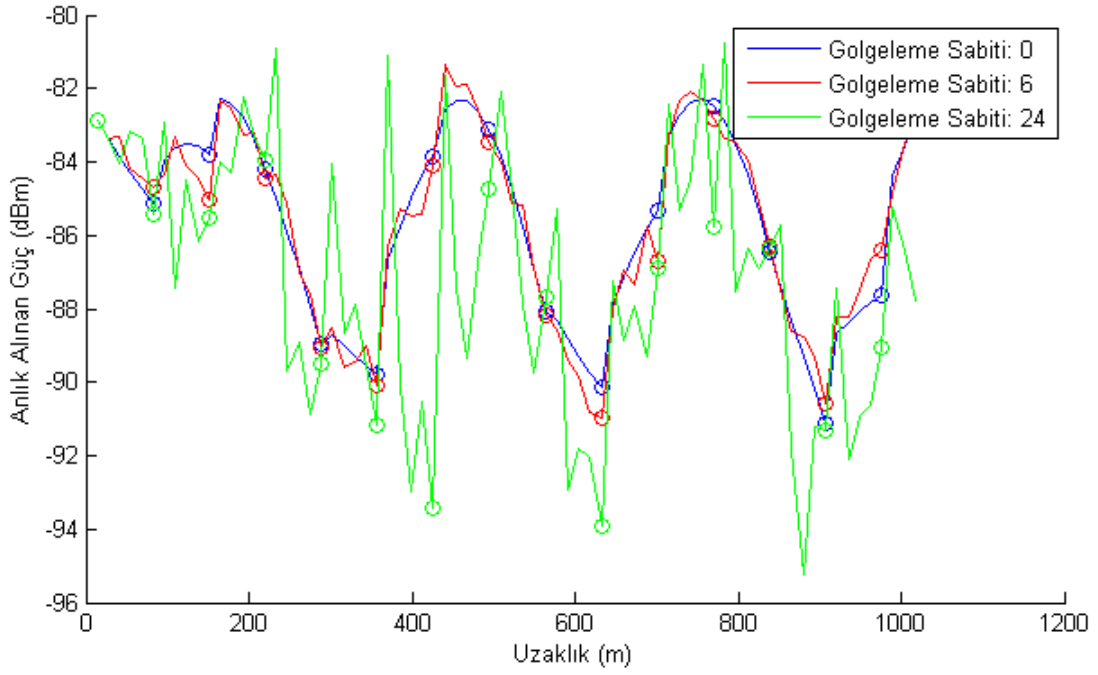


Şekil 6.7. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75\text{m/s}$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW ve gölgeleme sabiti 6

Çizimlerde de görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcının daha iyi sinyal aldığı hücreye geçişi gecikmektedir, daha kötü sinyal aldığı hücreye bağlı kalmak durumundadır. Bu da mobil kullanıcının düşük kalitede sinyal almasına neden olmaktadır. Aynı zamanda taramanın geç yapılması geç el değiştirmeye sebep olup mobil kullanıcının servisinin kesilmesine sebep olabilir ve 'offload' zamanını da geciktirmektedir. Bunun alınan ortalama güce etkilerini 6.5.2 ve 6.5.1 bölümlerinde göreceğiz.

6.1.3 Gölgeleme Sabitinin Anlık Alınan Güce Etkisi

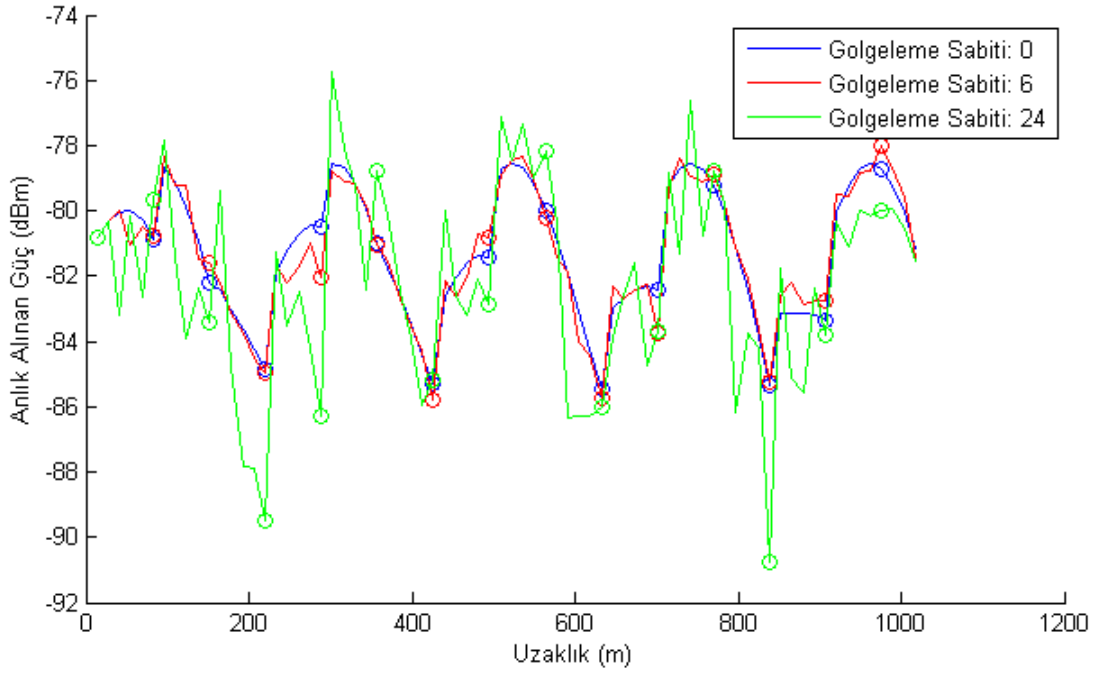
Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 6.8'de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 6.8. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişken gölgeleme sabiti, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Ortam koşulları sinyal gücünü arttırabilir veya engel olup azaltabilir. Şekil 6.8'de görüldüğü gibi gölgeleme pozitif ya da negatif etki yaratabilir.

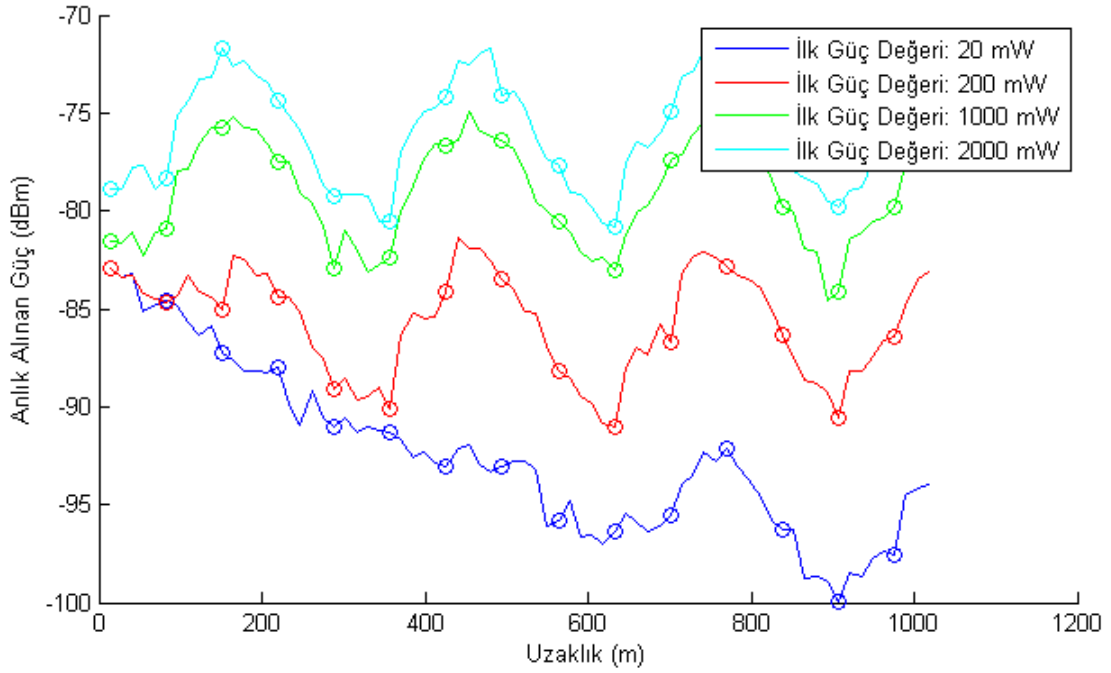
Şekil 6.9'da küçük hücre yoğunluğu arttırılıp gölgeleme sabitinin etkisini incelediğimizde de sinyal gücünü arttırıp azalttığını görüyoruz.



Şekil 6.9. Anlık Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti değişken, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

6.1.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık Alınan Güce Etkisi

Küçük hücrelerin ilk çıkış güçleri de mobil kullanıcının aldığı gücü etkilemektedir. Alınan güç hesaplanırken hücrenin ilk çıkış gücünden toplam kayıplar çıkarılır. Toplam kayıp hesabı içinde gölgeleme ve yol kaybı mevcuttur. Şekil 6.10'da görüldüğü üzere ilk çıkış güç değeri arttıkça mobil kullanıcının aldığı güç de artmaktadır. Fakat aynı durum çevredeki diğer hücrelerin etkilerinin de görüldüğü SINR hesaplanmasında geçerli değildir. Küçük hücre başlangıç çıkış gücünün SINR değerindeki etkilerini Bölüm 6.2.4'te göreceğiz.

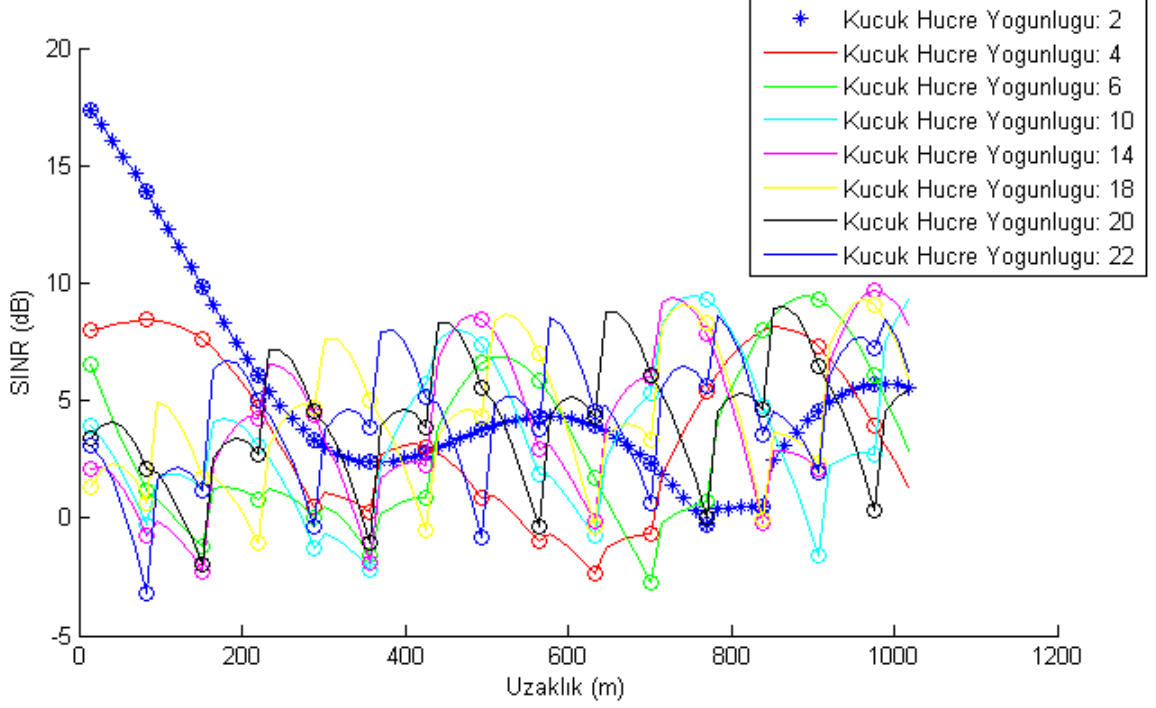


Şekil 6.10. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, değişken gönderilen güç değeri ve $T = 5$ sn.

6.2 İşaret Gürültü ve Girişim Oranının İncelenmesi

6.2.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi

Alınan sinyalin kalitesi incelemek için bölüm 6.1.1'deki anlık alınan güç senaryosundaki aynı değerler kullanılır. Aşağıdaki garfikte yer alan ve bölüm 3.7'de örneği verilen işaret gürültü ve girişim oranı değerleri ile diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

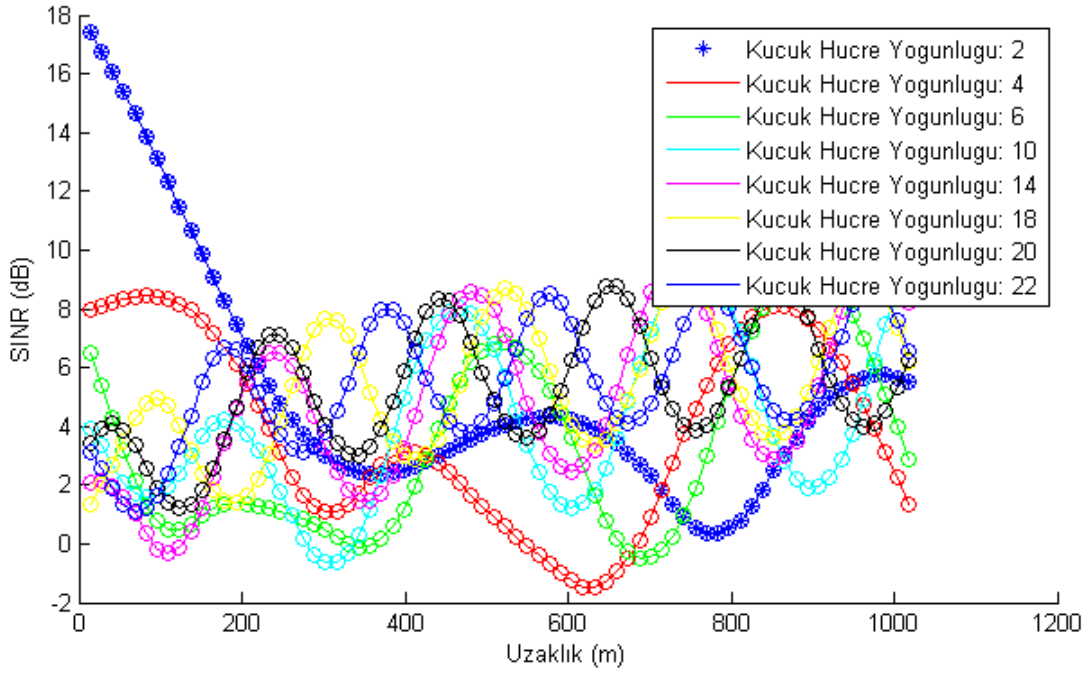


Şekil 6.11. SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

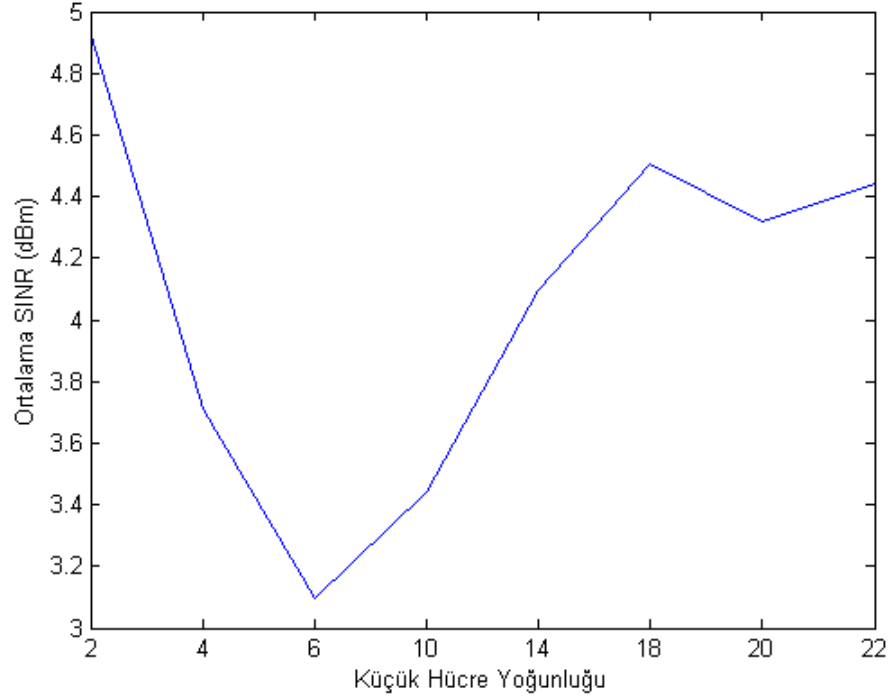
Çizimde ilk dikkat çeken yoğunluk düşük seviyede iken mobil kullanıcı harekete başladığında makro hücreye bağlanmasıdır. Çünkü mobil kullanıcı makro hücreye yakınken makro hücre küçük hücrelere göre daha iyi sinyal kalitesi sağlayabilmektedir. Çizim incelendiğinde mobil kullanıcının küçük hücreye yakın olduğu noktalarda komşu hücrelerin girişim etkisinin en az görüldüğü yoğunluk en düşük yoğunluktur. Fakat hareket boyunca SINR seviyelerine bakıldığında düşük yoğunluğun her zaman avantaj olmadığı görülmektedir. Düşük yoğunluklarda makro hücrenin girişim etkisi yüzünden uzun süre düşük sinyal kalitesine sahip olduğu görülmektedir. Ortalama sinyal kalitesinin, yüksek yoğunluklarda mobil kullanıcı hücreden uzaklaştıkça diğer hücrelerin girişim değerleri yüzünden hızla düştüğü görülmektedir.

Yüksek yoğunluklarda tarama periyodunun azaltılıp ani sinyal düşüşleri yaşamamak için bir an önce el değiştirmenin gerçekleşmesi mobil kullanıcının avantajına olacaktır. Yoksa girişim etkisi yüzünden mobil kullanıcının servisinin kesilmesi durumu oluşur ve 'offload' zamanını da geciktirmiş olur.

Şekil 6.11’de en düşük ve en yüksek değerler tarama periyodu yüzünden etkilenmektedir. Daha iyi inceleyebilmek için tarama periyodunun 1 saniyeye düşürüldüğü Şekil 6.12’de inceleyelim. Mobil kullanıcının makro hücreye yakın olduğu noktalarda, makro hücrenin yarattığı girişim yüzünden maksimum ve minimum değerler düşük olmaktadır. Makro hücreden uzaklaştıkça girişim azaldığı için değerler yükselmektedir. Ayrıca düşük yoğunluklarda minimum değerlerin çok daha düştüğü görülmektedir. SINR değerinin sıfırın altında kalması mobil kullanıcının kopması anlamına gelebilir. Özellikle yoğunluklardan $d= 10$ ve altı olan senaryolar kesinlikle kapsama alanı optimizasyonu gerektirmektedir.



Şekil 6.12. SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 0, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 1$ sn.

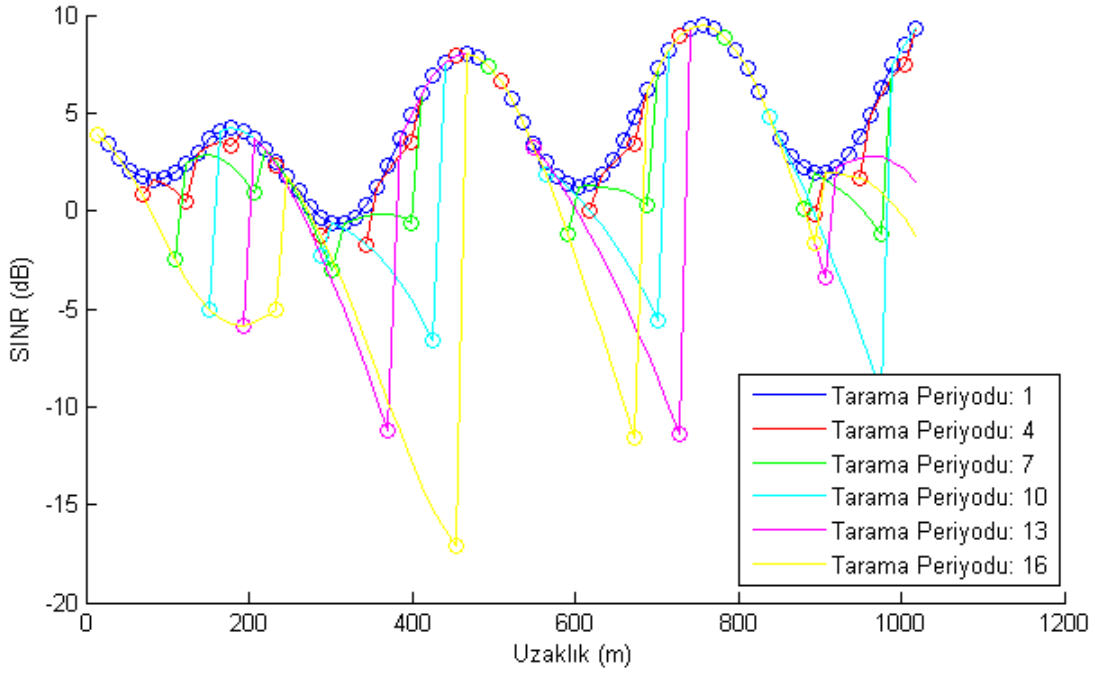


Şekil 6.13. Ortalama SINR; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Şekil 6.13'teki ortalama SINR değerlerine baktığımızda en yüksek değer yoğunluk 2 iken alındığını görüyoruz. Ancak bunun sebebi ilk başta mobil kullanıcının makro hücreden servis almasıdır. Düşük yoğunluklarda standart sapma değeri yüksektir. Yani mobil kullanıcının hareketi boyunca güç seviyesi farkı fazladır. Bunun dışında ortalama değerler birbirine yakın olup yoğunluk arttıkça az da olsa ortalama değerler yükselmektedir.

6.2.2 Tarama Periyodunun İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi

Bu bölümde ise tarama periyodu değiştiğinde işaret gürültü ve girişim oranının lokasyon bazlı değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.14'te tarama periyodunun SINR'a etkisi hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 ve ilk güç çıkış değeri 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



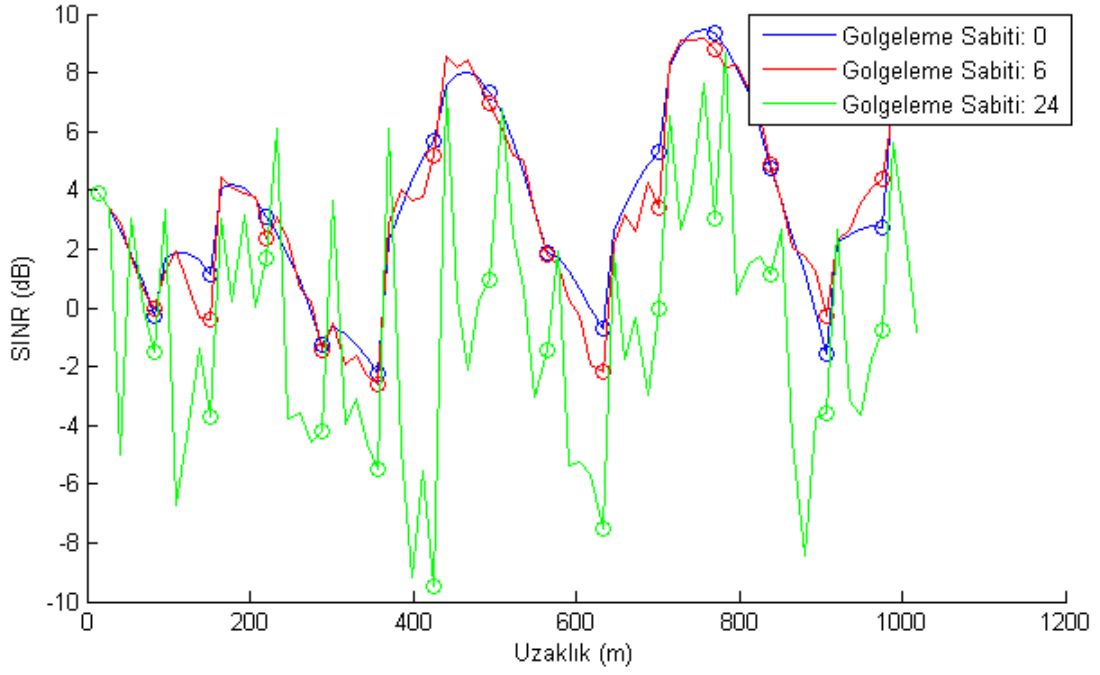
Şekil 6.14. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve T tarama periyodu değişkendir

Çizimlerde de görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcının daha iyi sinyal aldığı hücreye geçişi gecikmektedir, daha kötü sinyal aldığı hücreye bağlı kalmak durumundadır. Bu da mobil kullanıcının düşük kalitede sinyal almasına neden olmaktadır. Aynı zamanda taramanın geç yapılması geç el değiştirmeye sebep olup mobil kullanıcının servisünün kesilmesine sebep olabilir ve 'offload' zamanını da geciktirmektedir. SINR değerinin sıfırın altına düştüğü bölgeler optimize kapsama alanı için kesinlikle kabul edilemez bölgelerdir. İlgili hız ve yoğunluk için tarama periyodu makro hücreye yakinken minimum seviyede olmalıdır. Makro hücreden uzaklaştıkça tarama periyodu yükseltilebilir.

6.2.3 Gölgeleme Sabitinin İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi

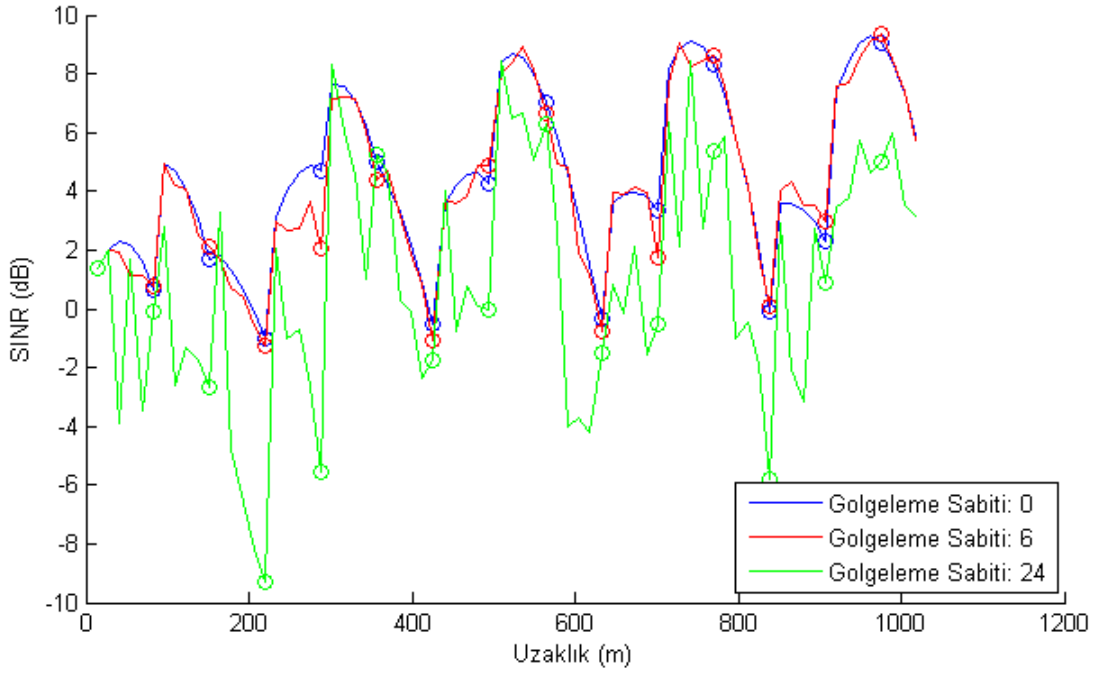
Şekil 6.15'de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemekte-

dir. Gölgelemenin çok olduğu yerlerde sinyal kalitesinde aşırı düşmeler yaşanmaktadır.



Şekil 6.15. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti değişken, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

Şekil 6.16'ya baktığımızda minimum SINR seviyelerinin daha kabul edilebilir oranda olduğu görülmektedir. Bu sebeple gölgelemenin yüksek olduğu bu alanlarda hücre yoğunluğu artırılıp gölgeleme etkisinin en aza indirilmesi sağlanmalıdır.

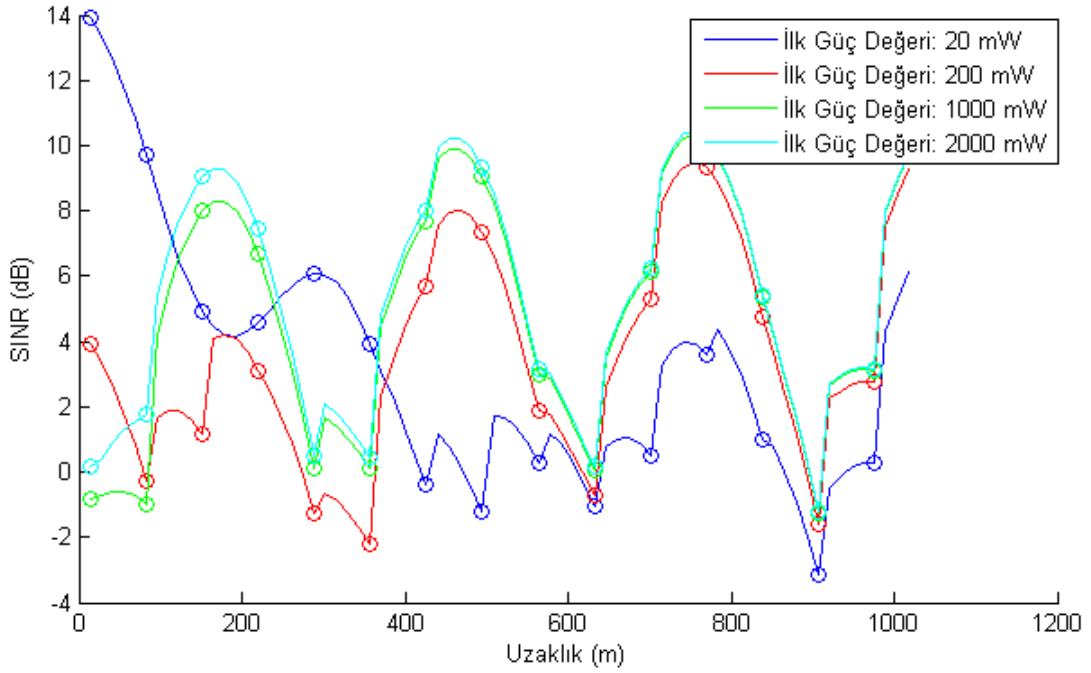


Şekil 6.16. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti değişken, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

6.2.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün İşaret Gürültü ve Girişim Oranına (SINR) Etkisi

Küçük hücrelerin ilk çıkış güçleri mobil kullanıcının aldığı SINR değerini etkilemektedir. SINR hesaplanırken kaynak hücrenin ilk çıkış gücü, kayıplar, gürültü ve girişim göz önünde bulundurulur. Toplam kayıp hesabı içinde gölgeleme ve yol kaybı mevcuttur.

Şekil 6.17'de görüldüğü üzere SINR'ın gönderilen güç değerine bağlı değişiminde 6.1.4'te yaptığımız 'ilk çıkış güç değeri arttıkça mobil kullanıcının aldığı güç de artmaktadır' yorumunu yapamayız. Bu çizimde ilk göze çarpan küçük hücrenin gönderilen güç değeri 20 mW iken mobil kullanıcının hareketin başlangıcından itibaren uzun bir süre makro hücreye bağlı kalmasıdır. Mobil kullanıcı 200 m civarındaki küçük hücreye yaklaştığında bu hücreden aldığı aldığı sinyal kalitesi makro yüzünden baskılanmakta ve bu durumda halen makro hücreye bağlı kalmaktadır. Ancak küçük hücrenin makro hücre üzerinde girişim oluşturduğunu da görmekteyiz.



Şekil 6.17. SINR; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2) küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri değişken ve $T = 5$ sn.

Diğer yandan ilk çıkış gücü 200 mW iken mobil kullanıcı ilk başlarda küçük hücreye bağlanırken aldığı SINR değeri ise makro hücrenin neden olduğu girişim yüzünden düşük seviyelerde kalmaktadır. Makro hücrenin baskın olduğu yerlerde 200 mW altında güce sahip küçük hücreler kullanılmamalıdır.

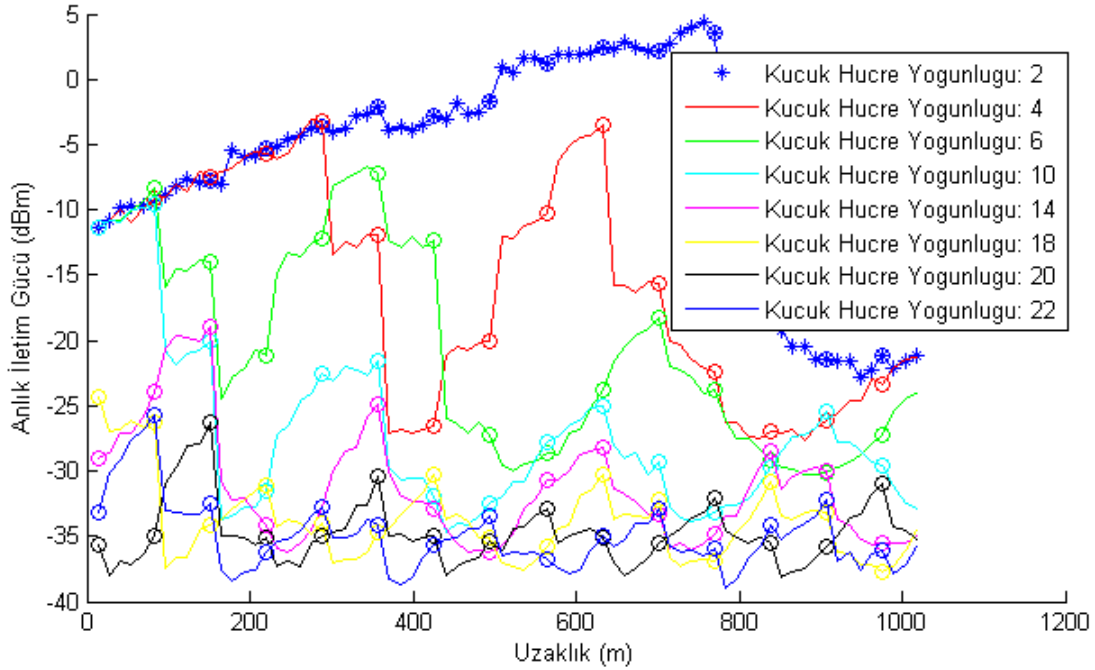
Mobil kullanıcı makro hücreden uzaklaştığında ise gönderilen güç değeri 200 mW ve üstü olan değerlerde kullanıcı sinyali kalitesi benzer olup, iyi bir ağ performansı için yeterlidir.

6.3 Anlık İletilen Gücün İncelenmesi

Bu bölümde yer alan çizimlerde, Bölüm 3.2'de belirtilen ve örneği verilen anlık iletilen gücün diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiğini karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

6.3.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Anlık İletilen Güce Etkisi

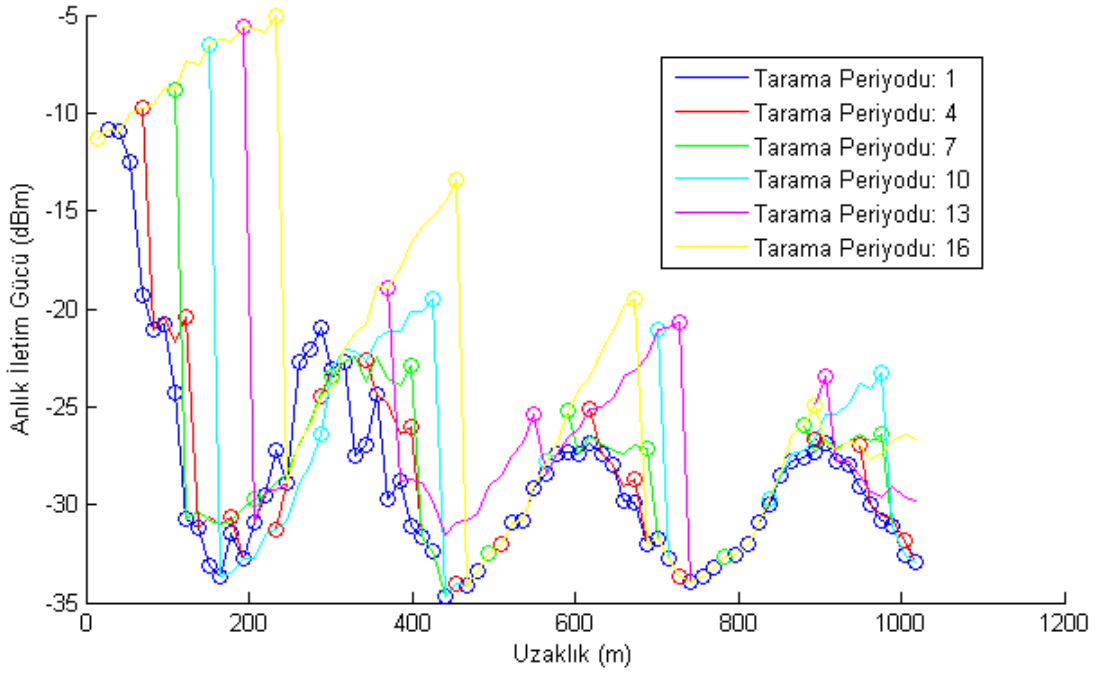
İlk olarak Şekil 6.18'de küçük hücre yoğunluğunun anlık iletilen güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Bölüm 6.1.1'deki alınan güç ile karşılaştırıldığında, daha az güç alınan noktalarda mobil kullanıcının daha fazla güç harcadığını görüyoruz. Özellikle mobil kullanıcı makro hücreye bağlı iken harcadığı güç maksimum seviyelere ulaşmıştır. Yani yoğunluk az iken daha fazla güç harcayan mobil kullanıcı yoğunluk fazla iken daha az güç harcamaktadır.



Şekil 6.18. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve $T = 5$ sn.

6.3.2 Tarama Periyodunun Anlık İletilen Güce Etkisi

Bu bölümdeki çizimde ise tarama periyodu değiştiğinde anlık iletilen gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.19'da tarama periyodunun anlık iletilen güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

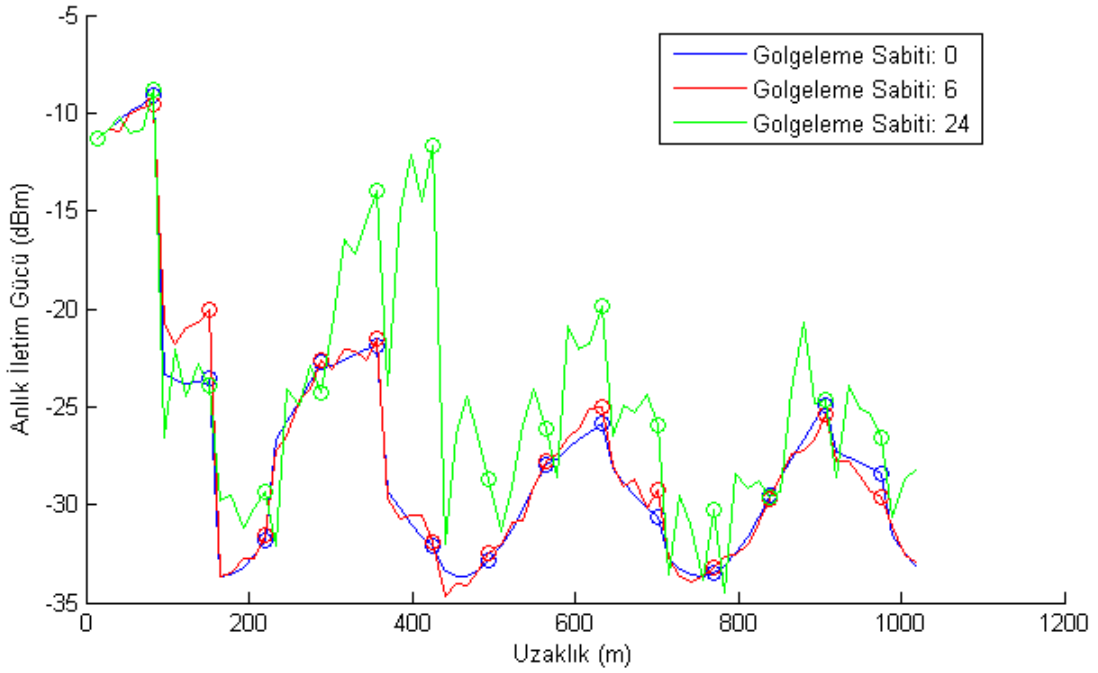


Şekil 6.19. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW ve T tarama periyodu değişkendir

Çizimde görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcı daha az sinyal aldığı ve tarama yapamaması yüzünden bağlı kalmak zorunda olduğu hücreyle iletişim sağlamak için daha fazla güç sarf etmektedir. Bu da mobil kullanıcının pil kullanım süresini azaltmaktadır.

6.3.3 Gölgeleme Sabitinin Anlık İletilen Güce Etkisi

Bu bölümdeki Şekil 6.20'de gölgeleme sabitinin değişiminin anlık iletilen güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gönderilen güç değeri 200 mW ve tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

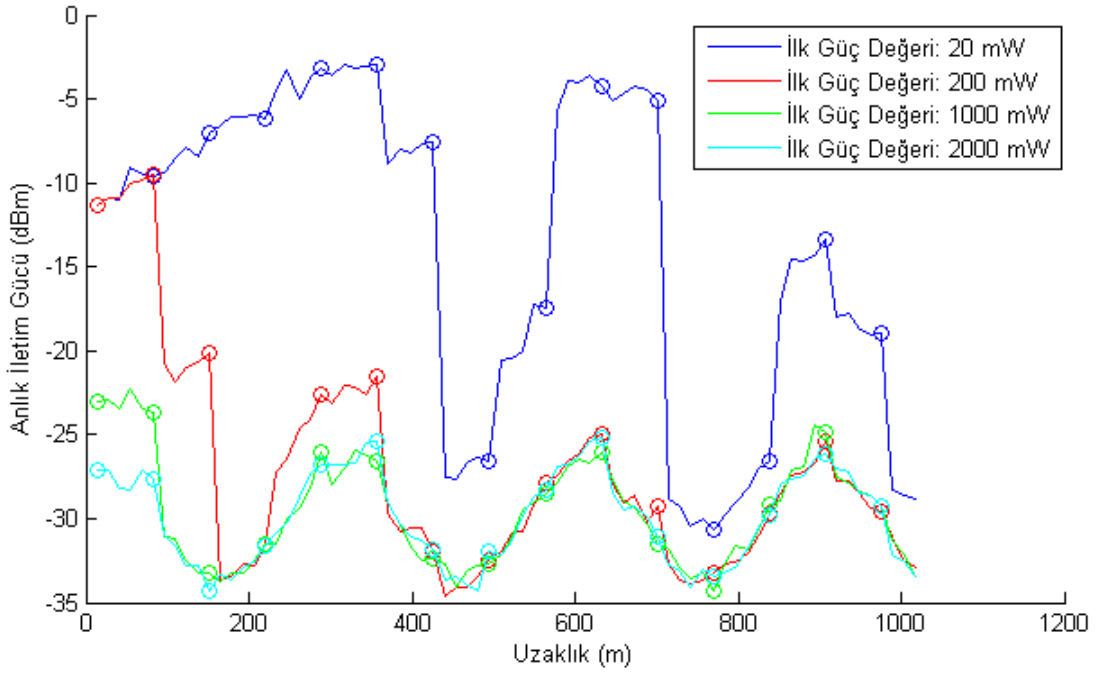


Şekil 6.20. Anlık İletilen Güç $V = 13,75\text{m/s}$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.

Bu çizimde de görüldüğü gibi gölgelemenin pozitif ya da negatif etkileri vardır ve anlık olarak değişmektedir. Bazı noktalarda olumlu etkileri görülse de genel sisteme bakıldığında gölgelemenin mobil kullanıcının fazla güç harcamasına sebep olup pil ömrünü azalttığını söyleyebiliriz.

6.3.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık İletilen Güce Etkisi

Bu bölümdeki çizimde ise küçük hücrelerin ilk çıkış gücü değiştiğinde anlık iletilen gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.21’de ilk çıkış gücünün anlık iletilen güce etkisinin hız $13,75\text{ m/s}$ (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 , tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 6.21. Anlık İletilen Güç; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, değişken ilk çıkış gücü ve $T = 5$ sn.

Çizim incelendiğinde küçük hücrenin gönderilen güç değeri düşük iken özellikle makro hücreye bağlı kalmak zorunda olduğu durumlarda fazla iletim gücü harcamaktadır. Mobil kullanıcı makro hücreye yakın iken küçük hücrenin ilk çıkış gücü arttıkça gereken iletim gücü azalmaktadır diyebiliriz. 200 mW ve üzeri küçük hücre ilk çıkış değerinde mobil kullanıcı makro hücreden uzaklaştıkça benzer iletim gücü performansı sergilemektedir.

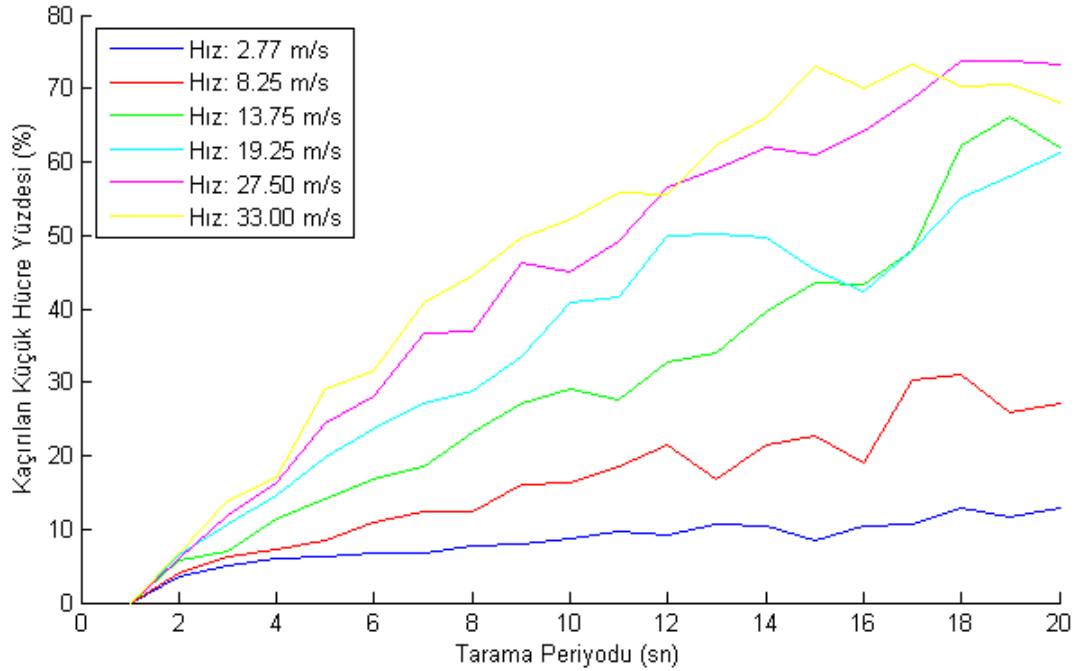
6.4 Kaçırılan Küçük Hücre Oranının İncelenmesi

Bu bölümde yer alan çizimlerde, bölüm 3.3'te belirtilen ve örneği verilen kaçırılan küçük hücre oranı için diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Amaç diğer parametrelerin 'offload' şansını nasıl etkilediğini görmektir.

6.4.1 Hızın Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Mobil kullanıcının hızındaki değişim küçük hücre keşif edilmediğinde daha iyi bir hücre varken bağlanmama durumunu yani 'offload' şansını etkilemektedir.

Şekil 6.22'de tarama periyodu ve hızın kaçırılan hücre oranına etkisinin küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) ve ilk çıkış gücü 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Mobil kullanıcı hareketi yavaş iken küçük hücre kapsama alanında daha fazla bulunmakta ve tarama periyodunun etkisi daha az görülmektedir. Mobil kullanıcı daha hızlı hareket ettiğinde kapsama alanında bulunma süresi azalmakta ve tarama periyodunun etkisi daha fazla görülmektedir.



Şekil 6.22. Kaçırılan Küçük Hücre; değişen hız, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW

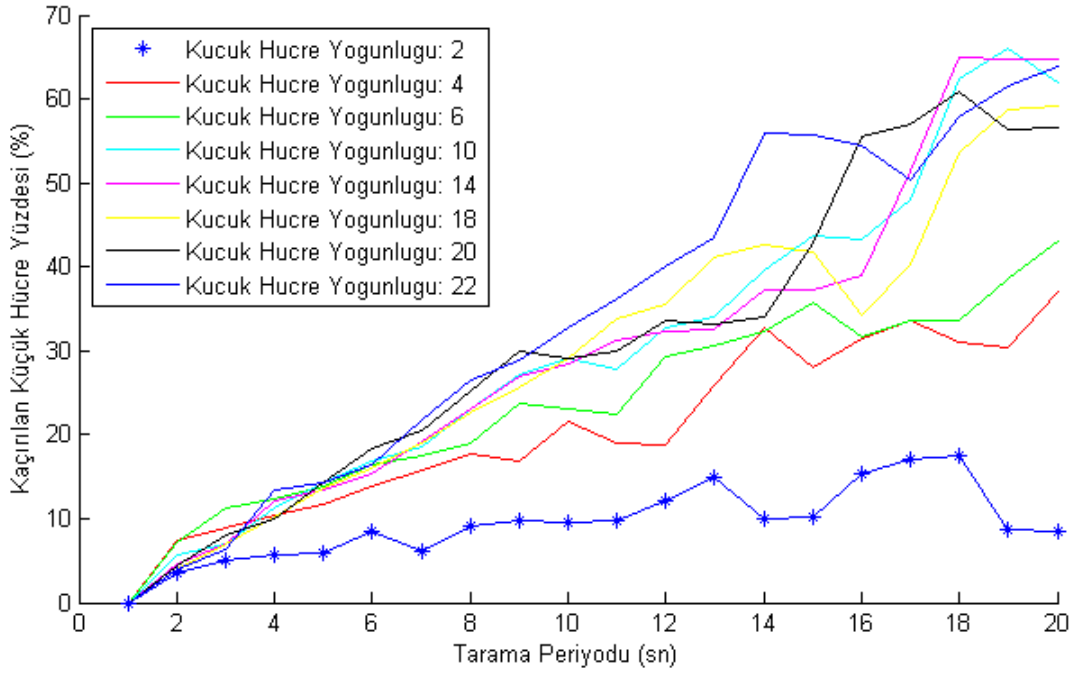
Kaçırılan küçük hücre oranı belli seviyenin altında tutulmalıdır. Örneğin bu oranı %10 un altında tutmak için mobil kullanıcı hızı 10 km/h iken tarama periyodunu 12 saniyeye kadar çıkarabiliriz. 30 km/h hızda iken ise maksimum 8 sn, diğer hızlarda ise ortalama 3 saniyeyi geçmemelidir.

Şekil 6.22'ye bakıldığında hız arttıkça küçük hücreye bağlanma olasılığının azaldığı, aynı zamanda tarama periyodu da arttıkça kaçırma oranının arttığı görülmektedir. Aradaki dalgalanmaların sebebi küçük hücrelerin aynı noktalarda yer alması ve tarama zamanlamasının bu iyi hücrelere geçiş aşamasında iyi bir noktaya denk gelmesidir. Bu çizimlere göre hız arttıkça daha iyi sinyal alınan bir hücreye bağlanmak için tarama periyodunun daha düşük tutulması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Bu sonucu destekleyici çizimleri 6.5 bölümünde ortalama alınan güç çizimlerini incelediğimizde de görebiliriz.

6.4.2 Küçük Hücre Yoğunluğunun Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Mobil kullanıcının hareket ettiği ortamdaki küçük hücre sayısı da küçük hücre keşif edilmediğinde daha iyi bir hücre varken bağlanmama durumunu yani 'offload' şansını etkilemektedir. Genel olarak bakıldığında ortamda daha fazla küçük hücre varsa daha fazla yeni hücreyle karşılaşabileceği anlamına gelmektedir. Fakat oransal olarak bakmak istersek çizimleri incelememiz gerekir.

Örneğin; Şekil 6.23'de tarama periyodu ve küçük hücre yoğunluğunun kaçırılan hücre oranına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 6.23. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişken, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6

Şekil 6.23'a bakıldığında küçük hücre sayısından bağımsız olarak tarama periyodu arttıkça kaçırılan küçük hücre yüzdesi artmaktadır. Tarama periyodu düşük iken tüm yoğunluklar benzer davranış sergilemektedir. Tarama periyodu arttığında; yoğunluğun kaçırma oranını nasıl etkilediğini daha iyi görebiliyoruz. Yüksek yoğunluklarda kaçırma oranı %70 leri bulurken, düşük yoğunluklarda maksimum seviye %40'ı geçmemektedir.

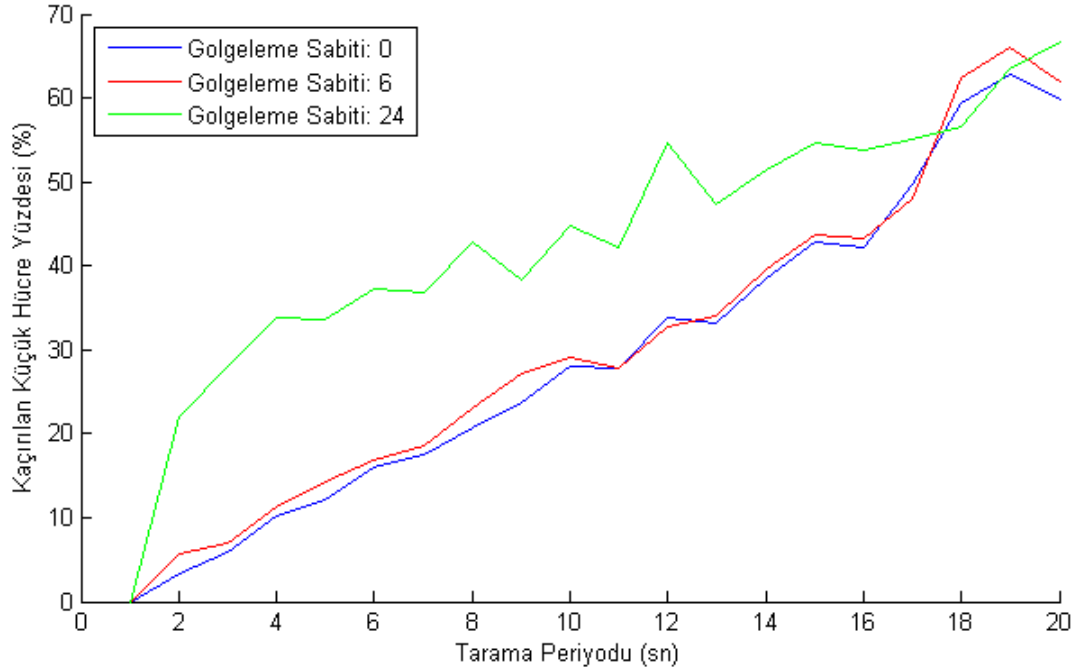
Kaçırılan küçük hücre oranı için kabul edilebilir seviyeyi daha önceki bölümlerde olduğu gibi %10 olarak belirlersek küçük hücre yoğunluğu 2 iken bu senaryoda tarama periyodunu 11'e kadar yükseltebiliriz. Diğer daha yüksek yoğunluklarda ise tarama periyodu 4 saniyeyi geçmemelidir.

6.4.3 Gölgeleme Sabitinin Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Gölgeleme sinyal kalitesi üzerinde pozitif veya negatif ani dalgalanmalara sebep olmaktadır. Bu da her örnek zamanda hücrelerin sağladığı sinyal kalitesinde ani düşüş ve artışlara sebep olur. Tarama geç yapıldığında da bu değişimlerden etkilenilmesi ka-

çınılmazdır.

Örneğin; Şekil 6.24'te gölgeleme sabiti 6 iken çıkan sonuçlar gölgeleme yok iken çıkan sonuçlardan biraz daha yüksektir. Aradaki bu fark kabul edilebilir düzeydedir. Ancak gölgeleme sabiti 24 iken Şekil 6.15'teki sinyal seviyesindeki ani ve yüksek değerli değişimlerin kaçırılan küçük hücre oranındaki aşırı artışa sebep olduğunu görüyoruz.



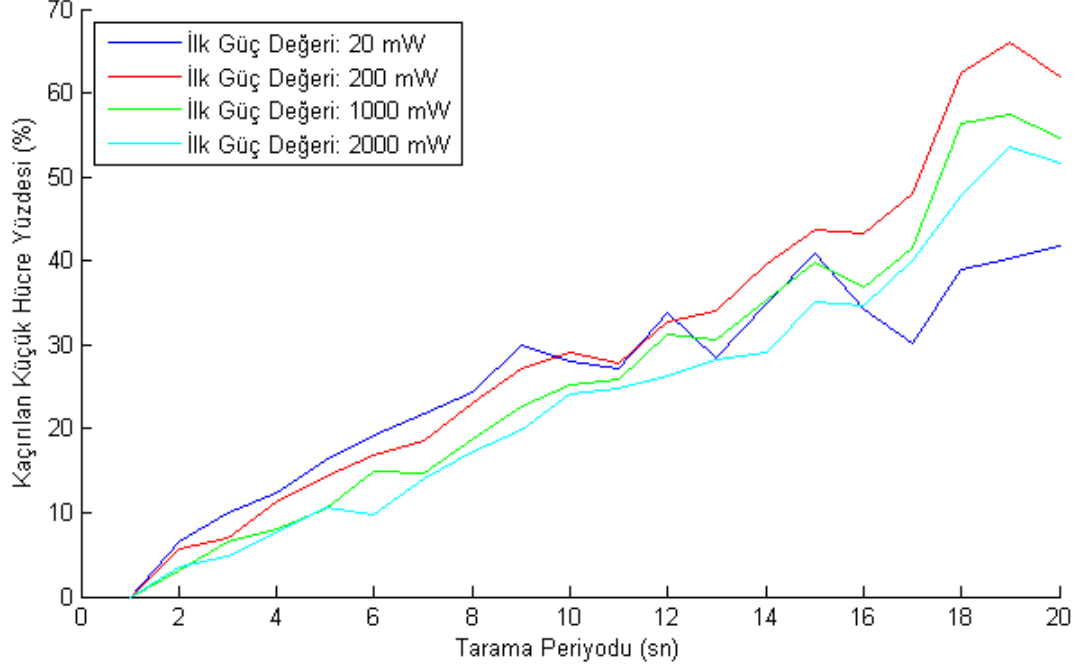
Şekil 6.24. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, değişen gölgeleme sabiti

Bu sonuçlardan yola çıkarak; gölgeleme etkisinin fazla olduğu yerlerde tarama periyodunun minimum seviyede mümkün olduğunca düşük tutulması gerektiği söylenebilir. Gölgeleme etkisinin az olduğu yerlerde ise tarama periyodu 4 saniyeye kadar çıkartılabilir.

6.4.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Kaçırılan Küçük Hücre Oranına Etkisi

Küçük hücre başlangıç çıkış gücünün kaçırılan küçük oranına etkisini tahmin etmek pek de kolay değildir. Bu açıdan küçük hücre başlangıç çıkış gücünün küçük hücre kaçırma

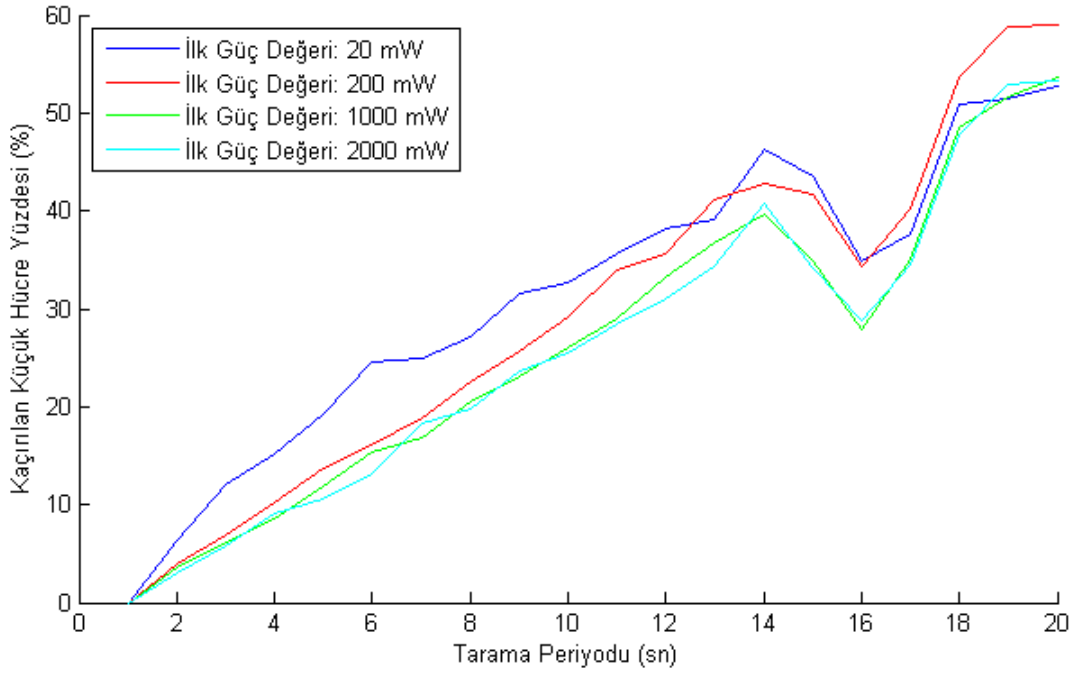
oranına etkisini hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değişimini Şekil 6.25'de inceleyelim.



Şekil 6.25. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü değişken, gölgeleme sabiti 6

Şekil 6.25'te görüldüğü üzere tüm güç seviyeleri benzer özellik göstermektedir. Genel yapıda gönderilen güç değeri fazla olan küçük hücrenin bulunduğu ortam gönderilen güç değeri daha az olan diğer küçük hücrelerin bulunduğu ortama göre daha az kaçırılan küçük hücre oranına sahiptir. Ancak bu davranış tarama periyodu arttıkça gönderilen güç değeri 20 mW olan hücrelerde belli bir değere yakınsadığı için tarama periyodu yüksek iken bu tip ortamlar arasında daha avantajlı olabilir.

Diğer yandan Şekil 6.26'da gönderilen güç değerinden bağımsız olarak tüm çizimler aynı davranışı sergilemektedir. Genel yapı olarak şunu söyleyebiliriz ki tarama periyodu arttıkça veya küçük hücrelerin gönderilen güç değeri düştükçe kaçırılan küçük hücre oranı artmaktadır.



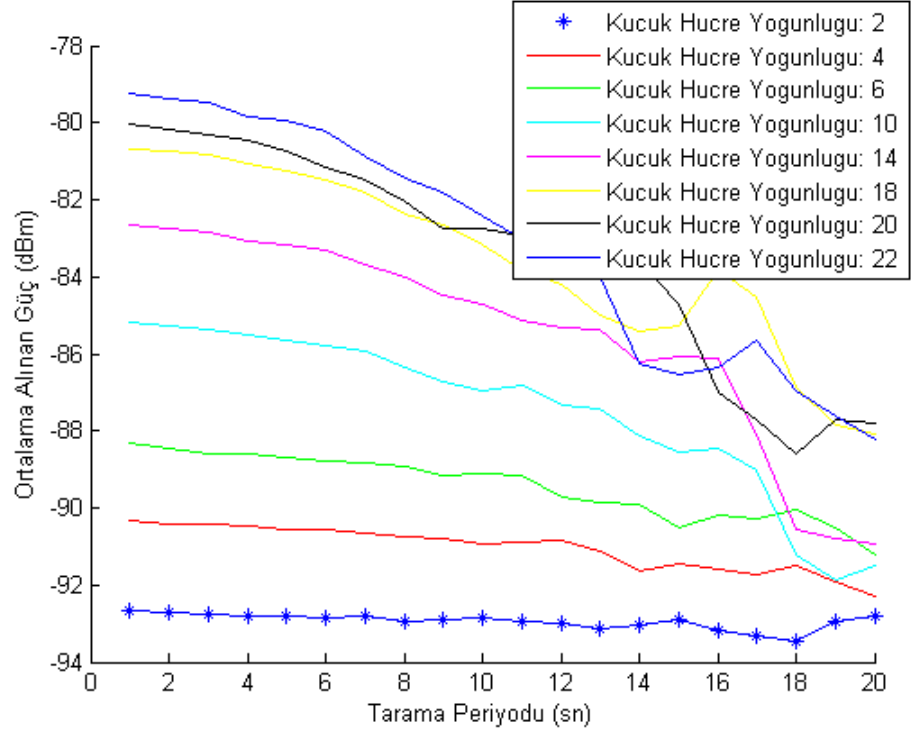
Şekil 6.26. Kaçırılan Küçük Hücre; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü değişken, gölgeleme sabiti 6

6.5 Ortalama Alınan Gücün İncelenmesi

Aşağıda yer alan çizimlerde, bölüm 3.4'de belirtilen ve örneği verilen ortalama alınan güç için diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

6.5.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Ortalama Alınan Güce Etkisi

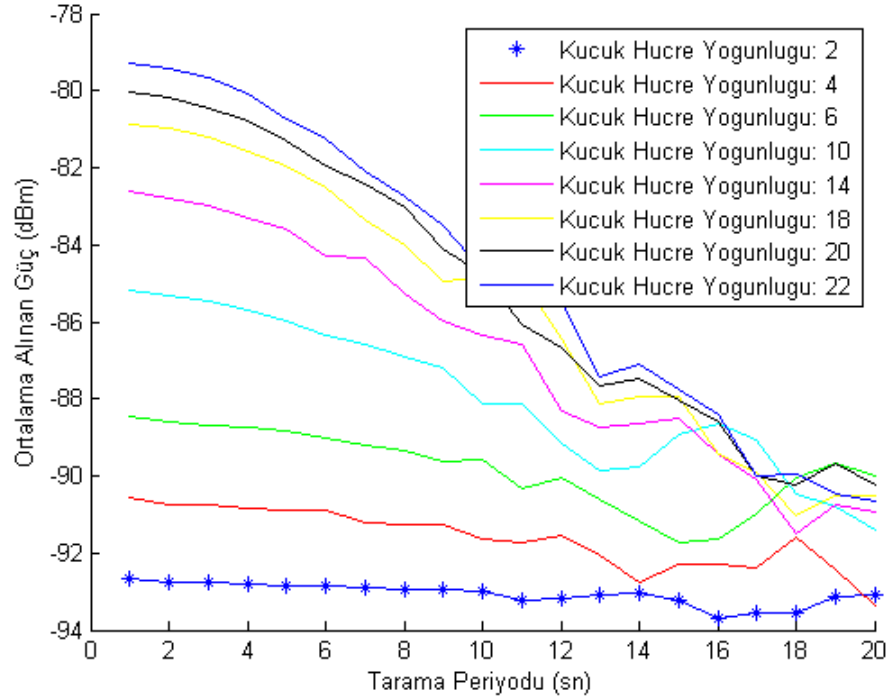
Şekil 6.27'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin hız $13,75 m/s$ ($50 km/h$), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü $200 mW$ iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 6.27. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6

Grafiğe göre küçük hücre yoğunluğu arttıkça ortalama alınan güç de artmaktadır. Tarama periyodu arttıkça ise genel davranış ortalama alınan gücün düştüğü yönündedir. Ancak, düşük yoğunluklarda bu düşüş az iken, yüksek yoğunluklarda ortalama alınan güç daha fazla düşmektedir. Yani düşük periyotlarda tarama yapıldığında ortalama alınan gücün yoğunluk yüksek iken avantajlı olduğunu görüyoruz.

Farklı bir hızda gözlemlendiğinde örneğin 70 km/h, Şekil 6.28'de küçük hücre yoğunluğunun anlık alınan güce etkisinin gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

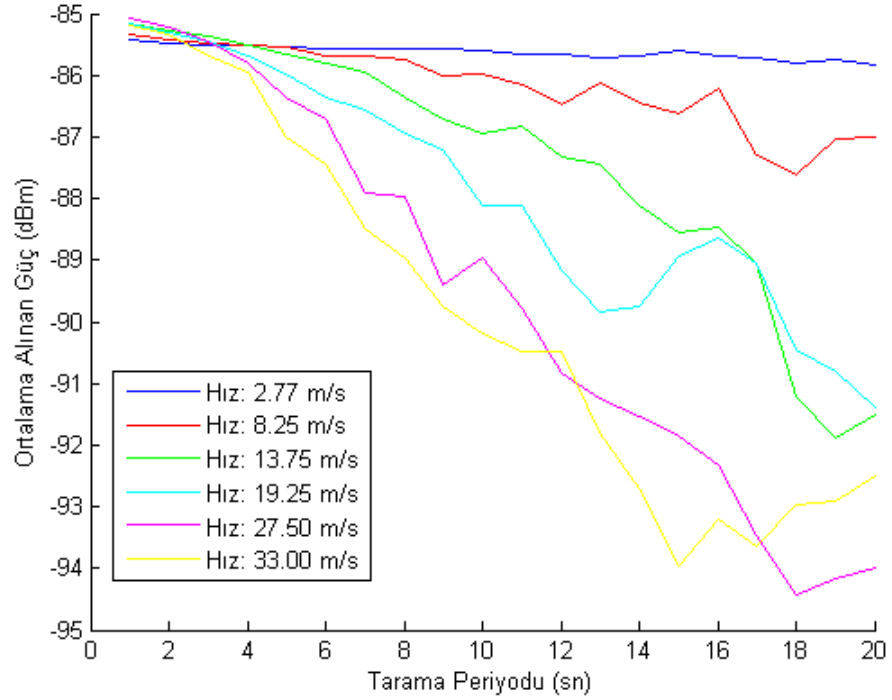


Şekil 6.28. Ortalama Alınan Güç; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6

Aynı tarama periyoduna ait bu çizimler dikkate alındığında yoğunluk arttıkça hangi hızda olursa olsun anlık alınan gücün daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi mobil kullanıcının sinyal alınan hücreye ne kadar yakın olursa daha az kayıpla o kadar yüksek güç elde etmesidir. Fakat iki farklı hız için karşılaştırma yaptığımızda tarama periyodu arttıkça hızlı giden mobil kullanıcının ortalama gücündeki azalma eğilimi daha fazladır. Yani tarama periyodu yüksek iken daha hızlı giden mobil kullanıcının daha düşük ortalama güce sahip olduğunu görüyoruz.

6.5.2 Hızın Ortalama Alınan Güce Etkisi

Bu bölümdeki çizimde ise mobil kullanıcının hızı değiştiğinde alınan ortalama gücün değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.29'de tarama periyodunun ortalama alınan güce etkisinin küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW ve gölgeleme sabiti 6 iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



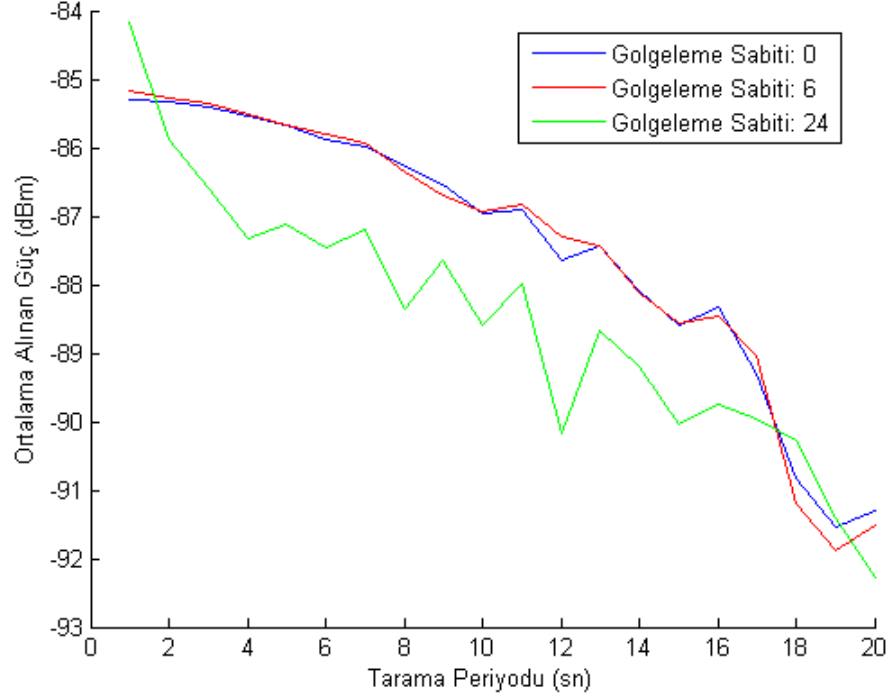
Şekil 6.29. Ortalama Alınan Güç; hız değişken, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6

Önceki çizimlerde de görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcının daha iyi sinyal aldığı hücreye geçisi gecikmektedir, daha kötü sinyal aldığı hücreye bağlı kalmak durumunda olduğu için de hareketi boyunca aldığı ortalama güç de azalmaktadır. Fakat bu durumun etkisini düşük hızlarda daha az görürken, yüksek hızlarda ciddi sinyal gücü kayıplarıyla karşılaşmaktayız. Sonuç olarak mobil kullanıcının hızı yüksek iken tarama periyodunun düşük tutulması mobil kullanıcının ortalama alınan gücünü arttırmaktadır ve hareketi boyunca sorunsuz iletişime sahip olmasını sağlar. Tabiki bu durum kullanıcının pil ömrünü de olumsuz etkiler.

6.5.3 Gölgeleme Sabitinin Ortalama Alınan Güce Etkisi

Gölgeleme sabitinin değişimi sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 6.30'da gölgeleme sa-

bitinin değişiminin ortalama alınan güce etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW iken nasıl değiştiiği yer almaktadır.



Şekil 6.30. Ortalama Alınan Güç; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, değişen gölgeleme sabiti

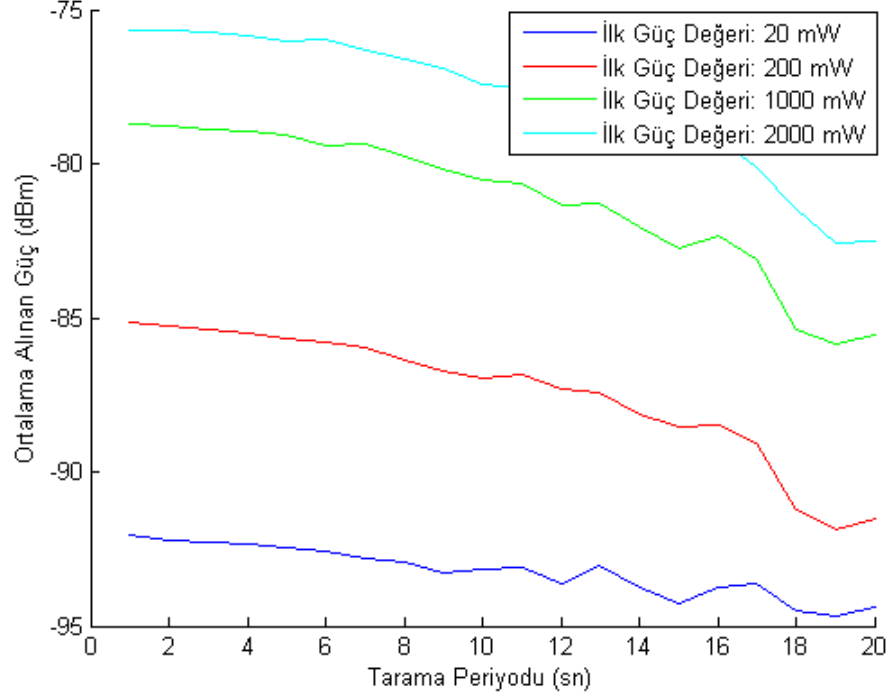
Ortam koşulları sinyal gücünü arttırabilir veya engel olup azaltabilir. Gölgeleme etkisinin yüksek olması ortalama alınan gücün düşmesine sebep olmaktadır. Şekil 4.15'te görüldüğü gibi gölgeleme pozitif ya da negatif etki yaratabilir.

Şekil 6.30 incelendiğinde gölgelemenin yüksek olduğu alanlarda ortalama alınan güç değerinin daha düşük olduğu, bunun önüne geçebilmek için de tarama periyodunun düşük tutulması gerektiği söylenebilir.

6.5.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Ortalama Alınan Güce Etkisi

Küçük hücrelerin ilk çıkış güçleri de mobil kullanıcının aldığı ortalama gücü etkilemektedir. Şekil 6.31'de küçük hücre başlangıç çıkış gücü değişiminin ortalama alınan güce

etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2) iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 6.31. Ortalama Alınan Güç; $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü değişken, gölgeleme sabiti 6

Küçük hücre başlangıç çıkış gücü arttıkça anlık alınan güç değerleri de arttığı için ortalama alınan güç değerleri de artmaktadır.

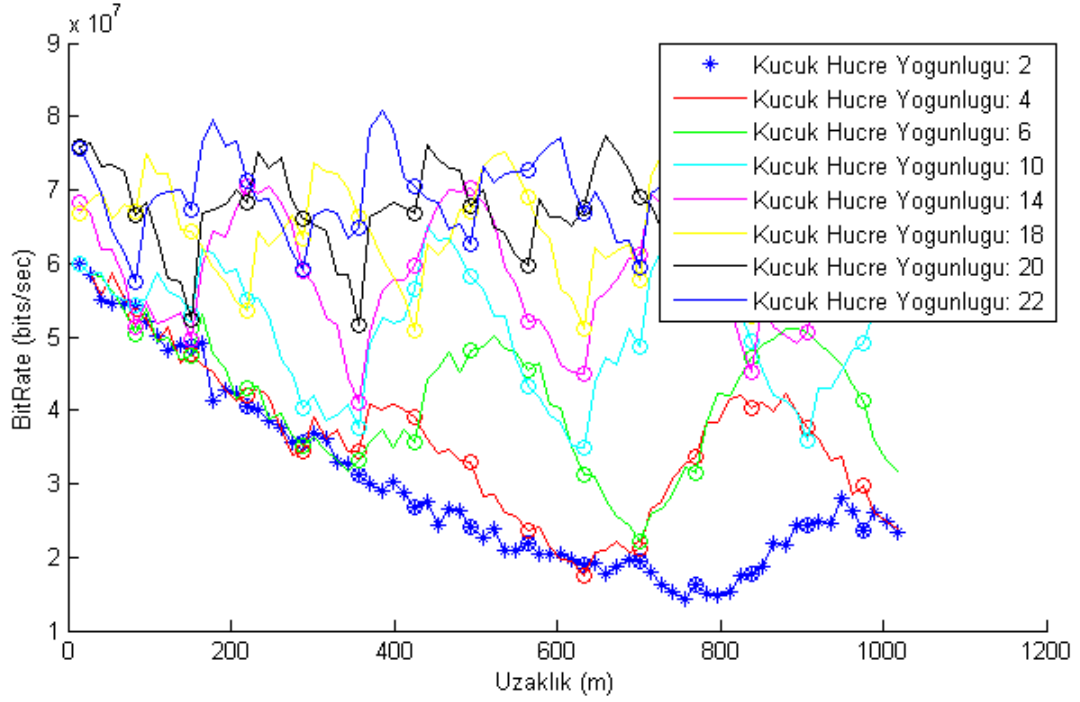
6.6 Maksimum Bit Hızının İncelenmesi

Anlık bit hızı, Bölüm 6.1.1'deki alınan güce göre teorik olarak maksimum seviyesi hesaplanmaktadır. Aşağıda yer alan çizimlerde, Bölüm 3.5'te belirtilen ve örneği verilen anlık bit hızının ilgili senaryoda diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiği karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

6.6.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun Bit Hızına Etkisi

Şekil 6.32'de küçük hücre yoğunluğunun anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu 5 saniye iken

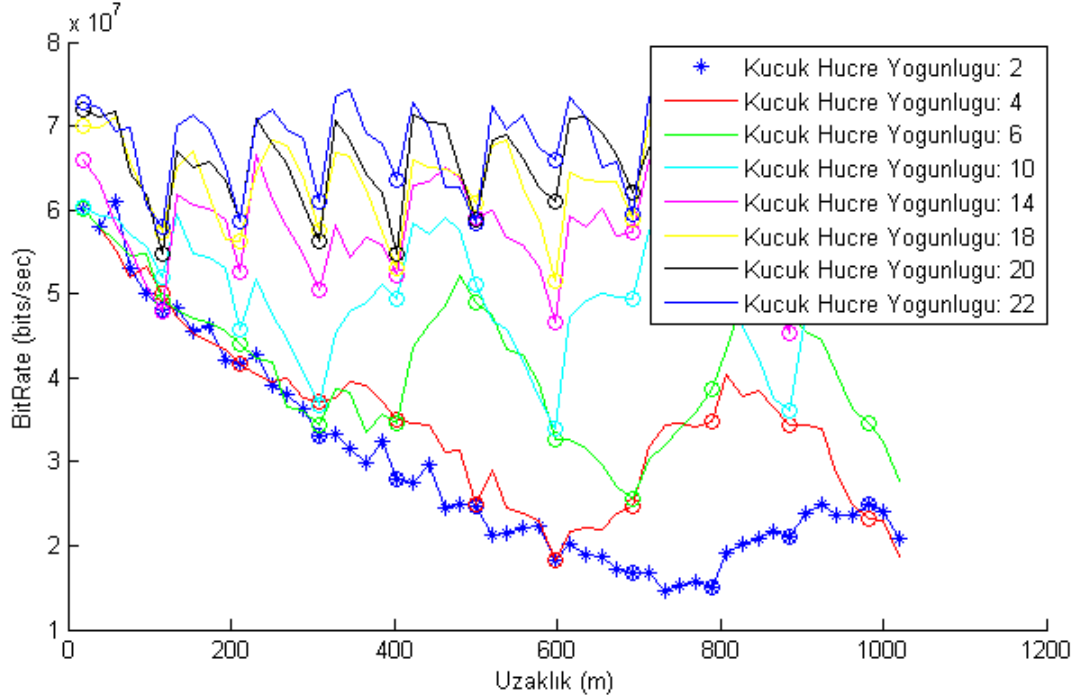
nasıl değiştiği yer almaktadır.



şekil 6.32. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

şekil 6.32'ye bakıldığında hücre yoğunluğu az iken mobil kullanıcının makro hücreye bağlı olduğu durumlarda en düşük bit hızına sahip olduğunu görüyoruz. Küçük hücre yoğunluğu arttıka küçük hücreye bağlı olma durumu da artmakta aynı zamanda bit hızı da artmaktadır.

Farklı bir hızda gözlemlendiğinde örneğin 70 km/h şekil 6.33'de küçük hücre yoğunluğunun anlık bit hızına etkisinin gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

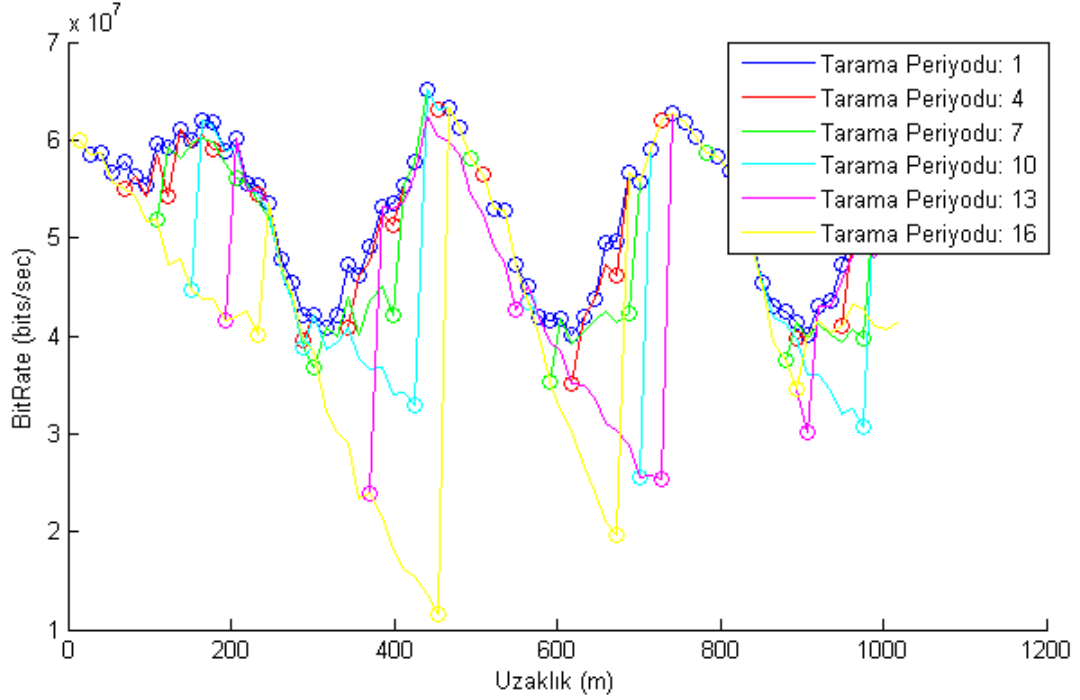


Şekil 6.33. Anlık Bit Hızı; $V = 19.25m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Aynı tarama periyoduna ait bu çizimler dikkate alındığında yoğunluk arttıkça hangi hızda olursa olsun anlık alınan gücün daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi mobil kullanıcının sinyal alınan hücreye ne kadar yakın olursa daha az kayıpla o kadar yüksek güç elde etmesidir. Yoğunluğun fazla olması da mobil kullanıcının küçük hücreye yakın olma olasılığını artırmaktadır. İlgili senaryo için hız açısından da bakarsak maksimum bit hızı seviyelerinde hız arttıkça azalma olduğunu görüyoruz.

6.6.2 Tarama Periyodunun Bit Hızına Etkisi

Bu bölümdeki çizimde ise tarama periyodu değiştiğinde anlık bit hızının değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.34'te tarama periyodunun anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, gönderilen güç değeri 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



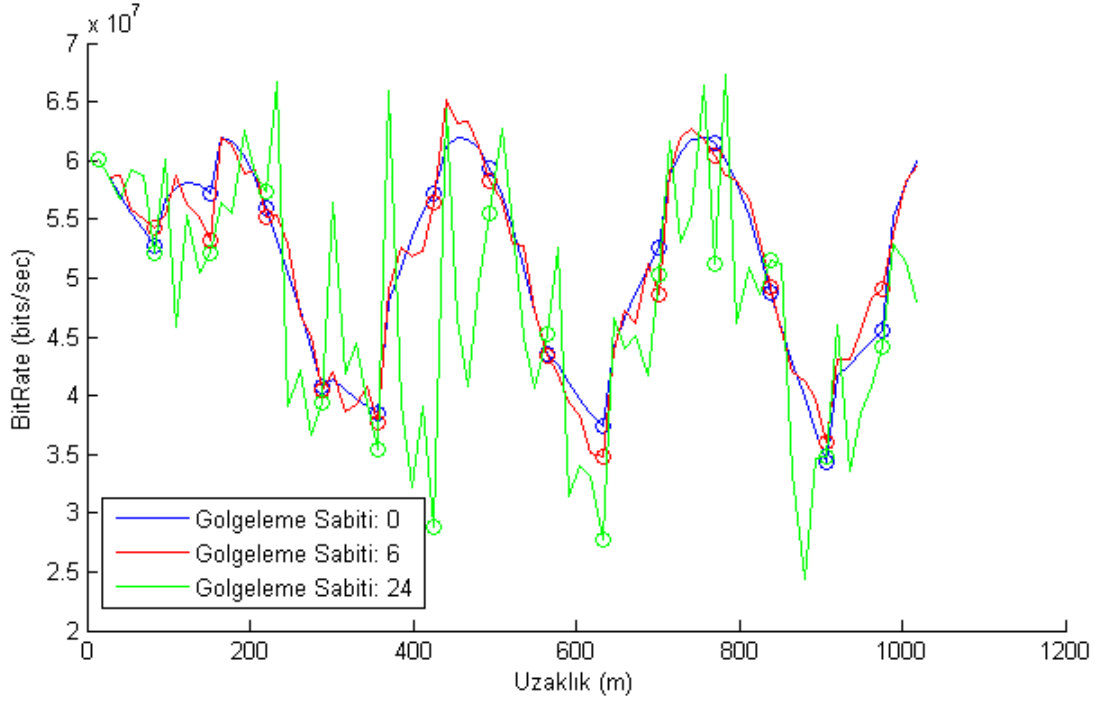
Şekil 6.34. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75\text{m/s}$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu değişken

Çizimde görüldüğü gibi tarama periyodu arttıkça mobil kullanıcı daha az sinyal aldığı ve tarama yapamaması yüzünden bağlı kalmak zorunda olduğu hücreye bağlı kaldığı için bit hızı giderek düşmektedir. Mobil kullanıcının aldığı servise göre bit hızı da önemlidir. Örneğin; çevrimiçi oyun oynayan bir kullanıcı için hem servisin sürekliliği hem de bit hızı kullanıcının servis kalitesi açısından önemlidir. Böyle durumda tarama periyodunu minimum seviyede tutmak gerekir. Optimize bir sistem için kullanıcının servisine göre tarama periyodu ayarlanabilir.

6.6.3 Gölgeleme Sabitinin Anlık Bit Hızına Etkisi

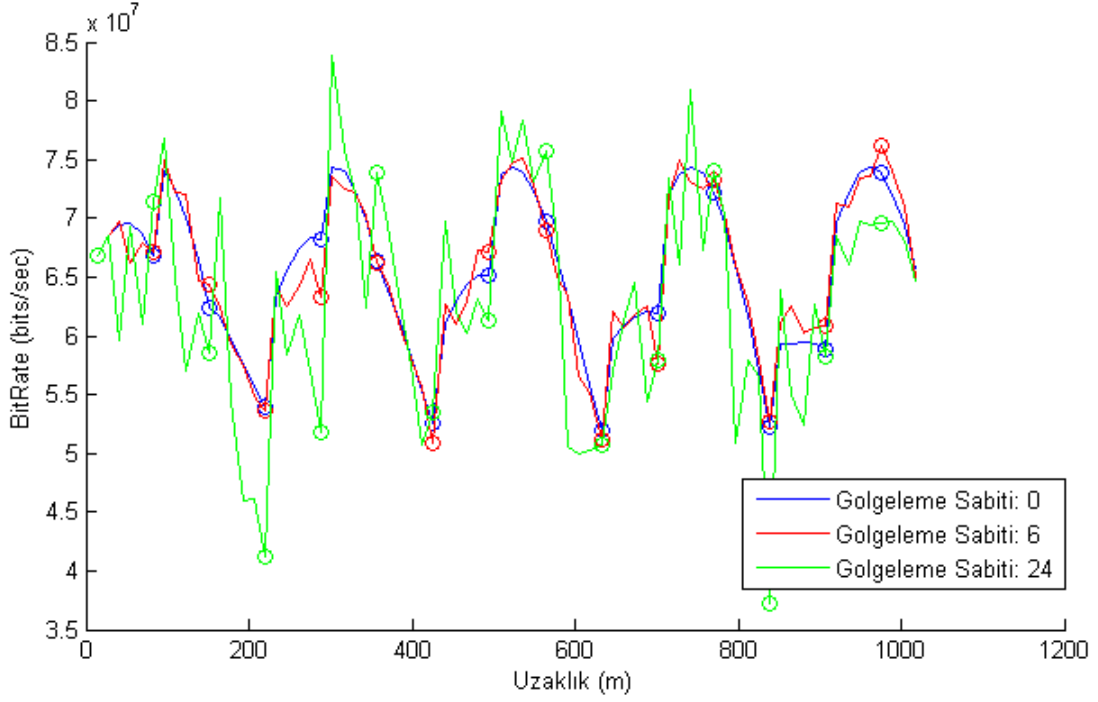
Gölgeleme sabitinin değişimi, sinyallerin engellerle karşılaşarak sinyal kalitesinin ne derece düşeceğine ya da artacağına etkisini belirlemektedir. Eğer gölgeleme sabiti sıfır ise sinyale hiçbir engelleyici dış etki yok demektir. Eğer gölgeleme sabiti yüksek değerlerde ise gölgelemenin sinyal gücüne etkisi de o kadar yüksektir. Şekil 6.35'te gölgeleme sabitinin değişiminin anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu 5

sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



şekil 6.35. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.

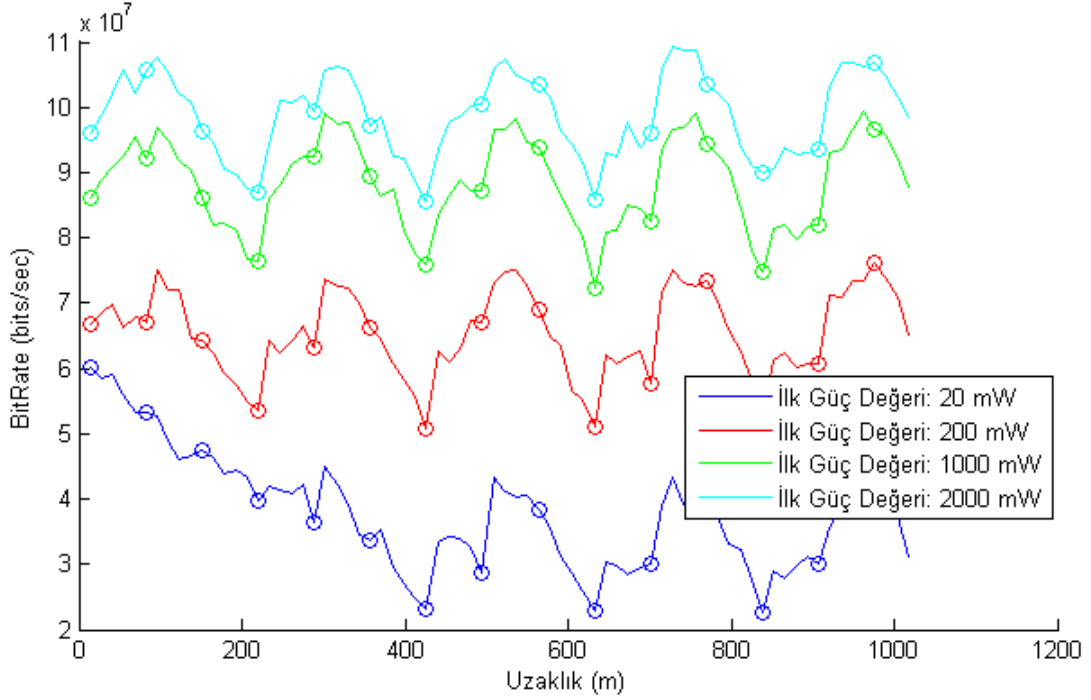
şekil 6.35'te görüldüğü gibi gölgeleme pozitif ya da negatif etki yaratabilir. Negatif etkiler sistem stabilizasyonu için olumsuz etkilerdir. Mobil kullanıcı sürekli data kullanan bir servis aldığında ani negatif düşüşler servis kalitesini olumsuz etkiler. şekil 6.36'da küçük hücre yoğunluğu arttırılıp gölgeleme sabitinin etkisini incelediğimizde de sinyal gücünü arttırıp azalttığını görüyoruz.



Şekil 6.36. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 18$ (hücre sayısı/ km^2), değişen gölgeleme sabiti, ilk çıkış gücü 200 mW ve $T = 5$ sn.

6.6.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün Anlık Bit Hızına Etkisi

Küçük hücrelerin ilk çıkış güçleri de mobil kullanıcının anlık bit hızını da etkilemektedir. Şekil 6.37'de görüldüğü üzere mobil kullanıcı makro hücreye bağlı iken düşük bit hızına sahiptir. Küçük hücrelere bağlantı sağlandığında ise ilk çıkış güç değeri arttıkça mobil kullanıcının bit hızı da artmaktadır.



Şekil 6.37. Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, değişen ilk çıkış gücü ve $T = 5$ sn.

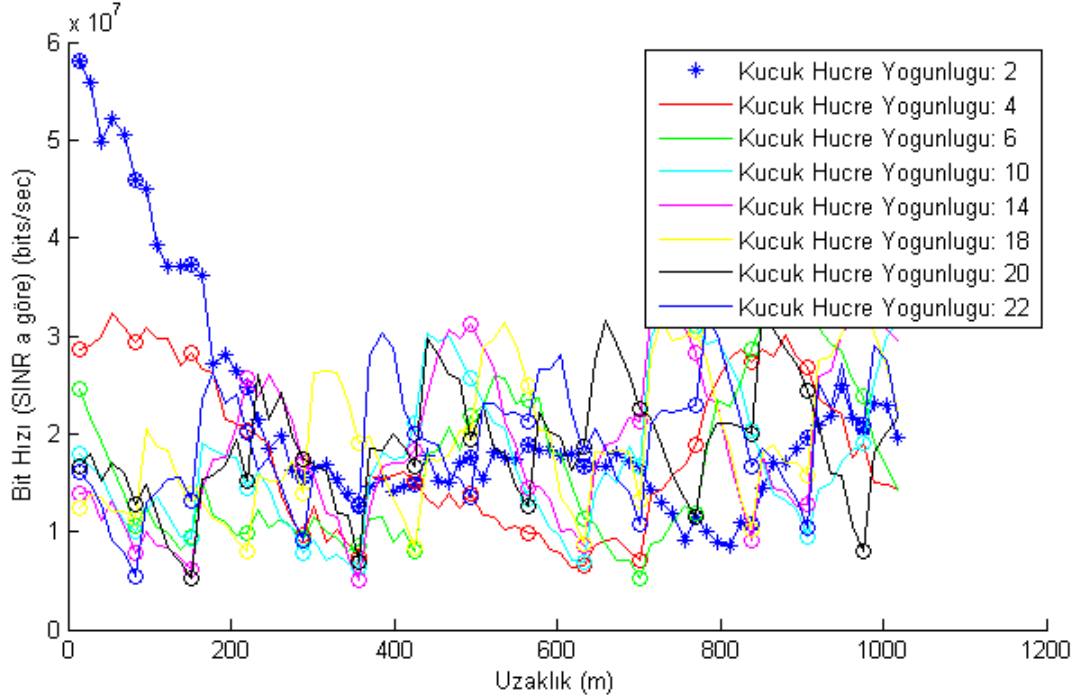
Bu bölümdeki bit hızları anlık alınan güçten yola çıkarak hesaplanmıştır. Ancak bu verilerin girişim değerlerinin de hesaba katıldığı SINR yani sinyal kalitesi ile hesaplandığında nasıl sonuçlar ortaya koyduğunu Bölüm 6.7’de görebiliriz.

6.7 SINR’a Göre Anlık Bit Hızının İncelenmesi

Aşağıda yer alan çizimlerde, bölüm 3.8’de belirtilen ve örneği verilen SINR’a göre anlık bit hızının diğer parametrelerde değişiklik yapıldığında nasıl sonuçlar elde edildiğini karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

6.7.1 Küçük Hücre Yoğunluğunun SINR’a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi

Şekil 6.38’de küçük hücre yoğunluğunun anlık bit hızına etkisinin hız $13,75$ m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6 ve tarama periyodu 5 saniye iken nasıl değiştiği yer almaktadır.

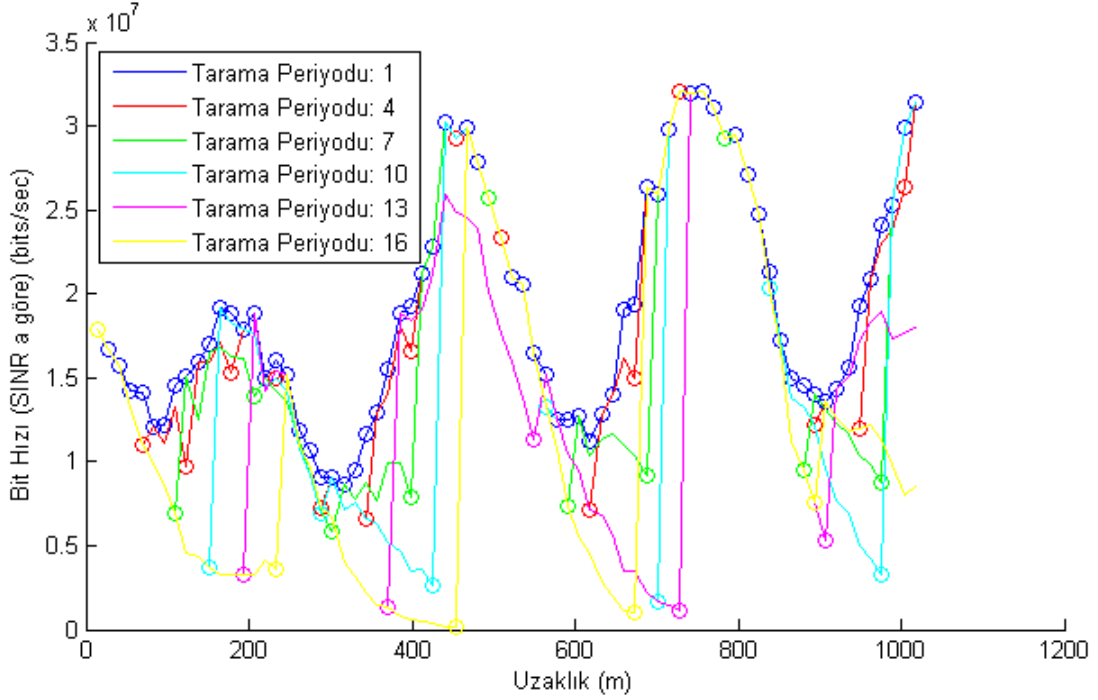


Şekil 6.38. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, d (hücre sayısı/ km^2) değişen küçük hücre yoğunluğu, gölgeleme sabiti 6 ve $T = 5$ sn.

Grafiği incelediğimizde yoğunluk 2 ve 4 iken mobil kullanıcının hareketinin başında makro hücreye bağlı olduğu görülmektedir. Girişim sebebiyle diğer senaryolarda küçük hücreler baskılanmış olduğu için bit hızı daha düşük seviyelerde kalmıştır. Ancak mobil kullanıcı hareketine devam ettiğinde düşük küçük hücre yoğunlukları için bit hızının da düşük kaldığını söyleyebiliriz. Aynı zamanda Bölüm 6.6.1'deki çizimler ile karşılaştırdığımızda da bit hızı maksimum seviyelerinin girişim yüzünden düştüğünü görmekteyiz.

6.7.2 Tarama Periyodunun SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi

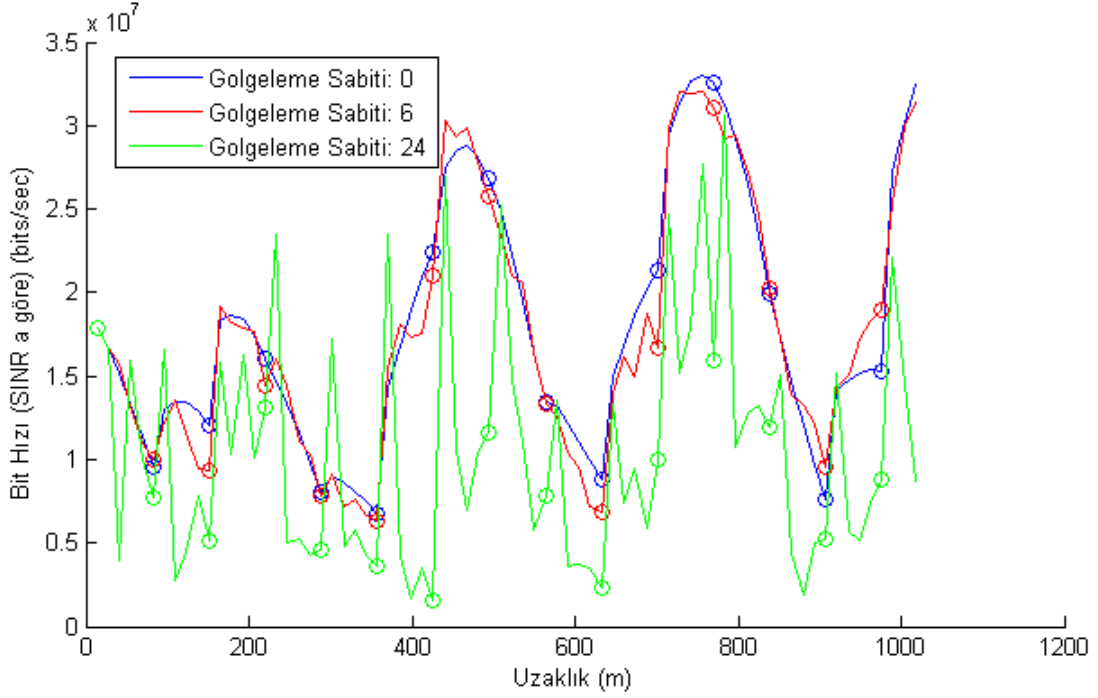
Bu bölümde tarama periyodu değiştiğinde SINR'a göre anlık bit hızının değişimi lokasyona göre incelenmiştir. Şekil 6.39'de tarama periyodundaki değişimin SINR bazlı anlık bit hızına etkisinin hız 13,75 m/s (50 km/h), gölgeleme sabiti 6, ilk çıkış gücü 200 mW iken nasıl değiştiği yer almaktadır. Bu çizim ile Bölüm 6.6.2'deki çizimleri karşılaştırırsak maksimum bit hızı değerleri düşmüştür. Ancak her iki durumda da tarama periyodu arttıkça bit hızının azaldığını görebiliriz.



Şekil 6.39. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75m/s$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, gölgeleme sabiti 6, değişen tarama periyodu

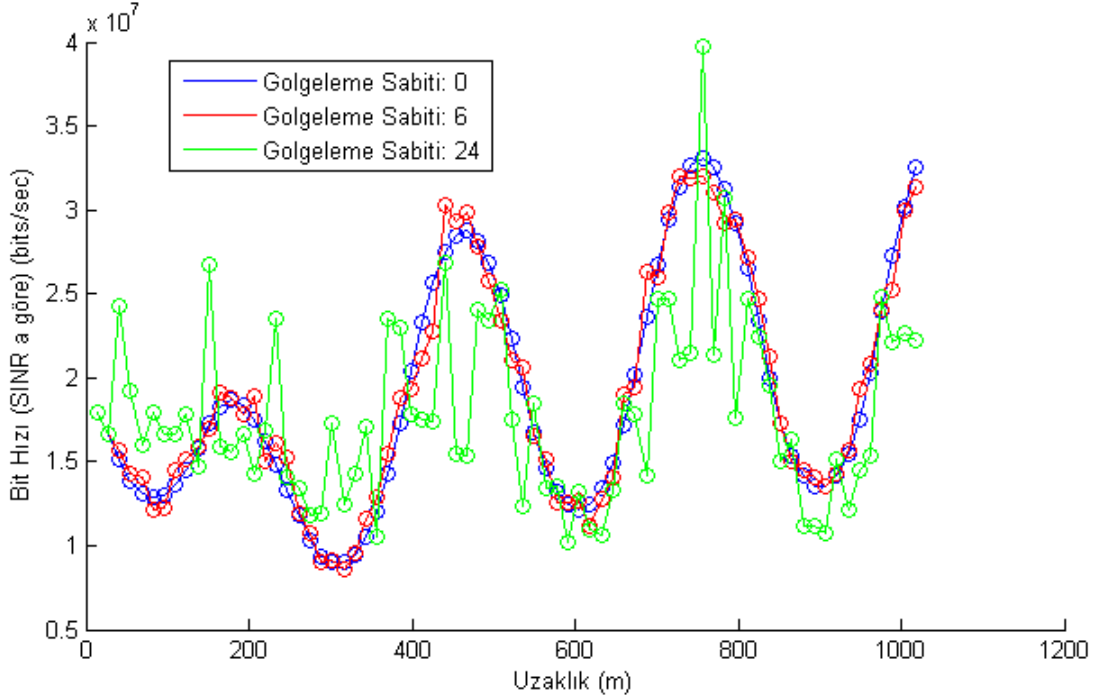
6.7.3 Gölgeleme Sabitinin SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi

SINR bazlı bit hızında da gölgeleme sabitinin değişimi olumlu ya da olumsuz etki yaratabilir. Ancak gölgeleme çok olduğu noktalarda ani bit hızı düşüşlerine yol açabilir. Bu da kullanıcının servis kalitesinin düşmesine sebep olabilir. Şekil 6.40'de gölgeleme sabitinin değişiminin SINR'a göre anlık bit hızına etkisinin hız $13,75 m/s$ ($50 km/h$), küçük hücre yoğunluğu 10 (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW ve tarama periyodu 5 sn iken nasıl değiştiği yer almaktadır.



Şekil 6.40. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, değişen gölgeleme sabiti ve $T = 5$ sn.

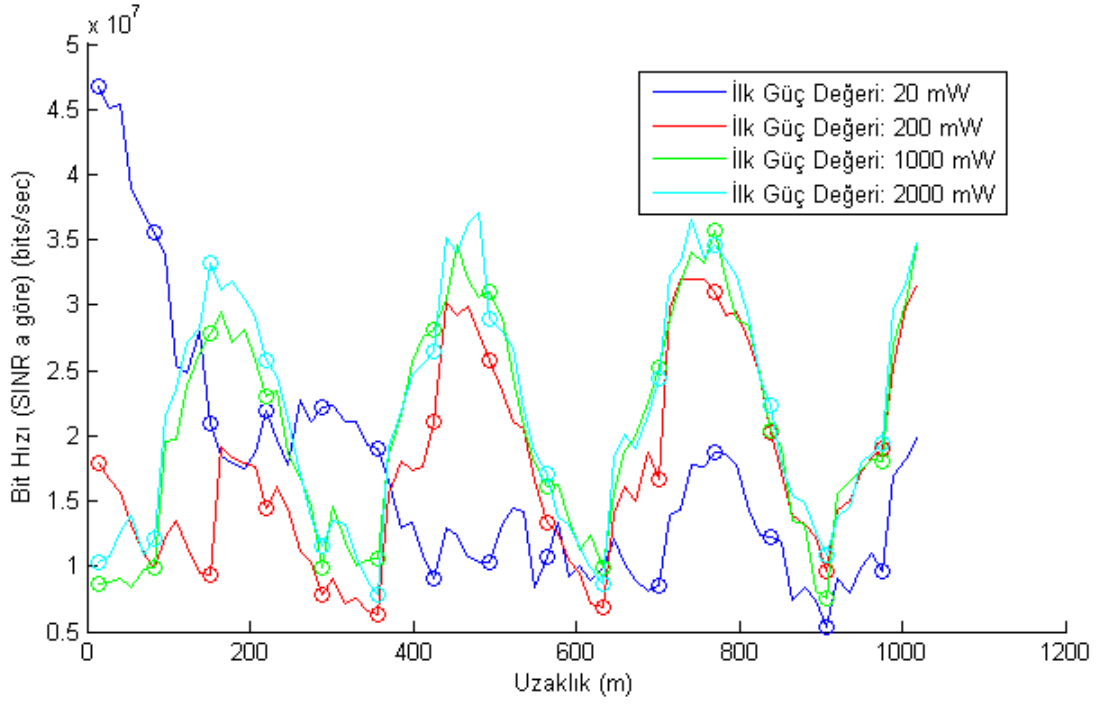
Grafiği incelediğimizde gölgeleme düşük seviyede iken değişimin en fazla %10 civarında olduğunu görüyoruz. Ancak yüksek seviyede gölgeleme etkisi görülen alanlarda ani oluşan sinyal seviyesi farklarının %80'e kadar çıktığını görüyoruz. Servis kalitesinin sağlanmaya devam etmesi için bu tür ortamlarda önlem almak gerekir. Örneğin; Şekil 6.41'de önceki senaryoyu kullanıp tarama periyodunu 1 saniyeye düşürdüğümüzde maksimum gölgeleme etkisini %50'lere düşürdüğünü görüyoruz.



Şekil 6.41. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13, 75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), ilk çıkış gücü 200 mW, değişen gölgeleme sabiti ve $T = 1$ sn.

6.7.4 Küçük Hücre Başlangıç Çıkış Gücünün SINR'a Göre Anlık Bit Hızına Etkisi

Küçük hücrelerin ilk çıkış güçleri de SINR'a göre anlık bit hızını etkilemektedir. Şekil 6.42'yi incelediğimizde gönderilen güç değeri 20 mW iken girişim sebebiyle başta makro hücreye bağlı olan kullanıcı hareketinin başında, yani makro hücreye yakınen yüksek bit hızına sahiptir. Makro hücreden uzaklaştıkça bit hızı düşen kullanıcı hareketi düşük bit hızı ile devam ettirmiştir. Diğer yandan gönderilen güç değeri 200 mW ve üzeri olan senaryolarda, mobil kullanıcı makro hücreye yakınen küçük hücreye bağlıdır. Ancak makro hücrenin ve diğer komşu küçük hücrelerin sebep olduğu girişim yüzünden bit hızı düşük seviyelerle kalmıştır. Mobil kullanıcı hareketine devam edip makro hücreden uzaklaştıkça baskılayıcı girişim azalmış ve bit hızı artmıştır. Bunun en çok etkisini küçük hücre ilk çıkış gücü 200 mW iken görmekteyiz.



Şekil 6.42. SINR'a Göre Anlık Bit Hızı; $V = 13,75$, $d = 10$ (hücre sayısı/ km^2), gölgeleme sabiti 6, değişen ilk güç değeri ve $T = 5$ sn.

7. SONUÇ

Bu tezde heterojen hücresele ağlarda enerji verimliliği üzerine özellikle küçük hücre dağılımlarının ve mobil kullanıcı küçük hücre keşif performansının etkileri üzerinde çalışılmıştır. Enerji verimliliği kapsamında küçük hücre gönderim gücü, mobil kullanıcı iletim gücü, mobil kullanıcı trama periyodu ve bunun pil ömrüne etkileri ile küçük hücre yoğunluğu gibi değerler göz önünde bulundurularak kurulum senaryoları karşılaştırmaları yapılmıştır.

Gerçekleştirilen simülasyonlarda üç temel kurulum senaryosu ele alınmıştır. Bunlar; rastgele dağılımlı küçük hücrelerde girişim olmadığı kurulum senaryosu, eşit dağılımlı küçük hücrelerde hücreler arası girişim olduğu kurulum senaryosu, makro hücre ve son olarak eşit dağılımlı küçük hücrelerde hücrelerarası girişim olduğu kurulum senaryosudur.

Mobil kullanıcının aldığı güç her üç senaryoda da incelendiğinde küçük hücre yoğunluk artışının mobil kullanıcının aldığı gücü her zaman artırdığını görüyoruz. Ancak küçük hücre yoğunluğunu çok fazla artırmanın girişim sebebiyle çok da avantajlı olmadığı SINR incelemelerinde ortaya çıkmıştır. Çok fazla küçük hücre kullanılması hem spektral verimlilik açısından hem de enerji verimliliği açısından olumsuzdur. Bu sebeple küçük hücre konumlandırmaları çok dikkatli belirlenmelidir. Makro hücrenin yeterli olmadığı durumlarda veya veri ihtiyacının çok olduğu alanlara küçük hücreleri konuşlandırmak faydalı olabilir. İlerleyen aşamalarda makro ve küçük hücrelerin bağlı olduğu bir kontrol sistemi ile kapsama alanı optimizasyonu yapılarak enerji verimliliği hedeflenebilir.

Yine tüm senaryolar için tarama periyodunun arttırılması alınan sinyal kalitesini düşürmektedir. Ancak tarama periyodunun kısa tutulması mobil kullanıcının pil ömrünü kısaltmaktadır. Bu sebeple sinyal kalitesini göz önünde bulundurarak tarama periyodunu mobil kullanıcıya fayda sağlayacak şekilde düzenleyebiliriz. Örneğin; alınan ölçüm sonuçları kullandığımız servis için yeterli kullanıcı servis kalitesi sağlıyorsa tarama periyodunu düşürüp ölçüm sonuçları kötüleşmeye başladığında tarama periyodunu sıklaştırarak mümkün olduğunca pil ömrünü uzatabiliriz.

Gölgeleme durumunu incelediğimizde ise gölgelemenin negatif etkilerinden mümkün

olduğunca uzak durabilmek için küçük hücre yoğunluğu artırılabilir veya tarama periyodu düşürülebilir.

Küçük hücre gönderilen güç değeri için ise makro hücre olmadığı durumda mobil kullanıcının aldığı sinyal kalitesi girişim sebebiyle yalnızca mikro boyutlarda değişim göstermektedir. Aynı zamanda mobil kullanıcının iletim gücü de mikro boyutlarda değişim gösterdiği için küçük hücre gönderilen güç değerindeki artış gereksiz yere faaliyet giderlerini artırmaktadır. Bir diğer yandan makro hücrenin de var olduğu senaryoda yüksek ilk çıkış gücü mobil kullanıcının aldığı sinyal gücüne olumlu etki etmektedir.

Bu tezde heterojen hücreli ağlarda enerji verimliliği üzerine özellikle küçük hücre dağılımlarının ve mobil kullanıcı küçük hücre keşif performansının etkileri üzerinde çalışılmıştır. Ağ sağlayıcılara yol göstermesi açısından ilgili parametrelerin performansa etkileri görülmüş ve senaryo bazlı belirlemeler yapılmıştır. Belli durumlar için performans araştırması yapılmıştır. İstenirse farklı senaryolar için de değerlendirmeler yapılabilir. Ağ sağlayıcıların enerji verimliliği ve spektral verimliliklerinin sağlanması için nelere dikkat edilmesi gerektiği belirlenmiştir. Mobil kullanıcıların da performans kaybetmeden enerji verimliliğine katkı sağlamları ile ilgili belirlemeler yapılmıştır. İstenilen durumların incelenip araştırılabilmesi için araç geliştirilmesi yapılmıştır.

İlerleyen aşamalarda mobil kullanıcı performansını maksimize etmek için ölçüm bazlı veya GPS bazlı tarama periyodu belirleme üzerine çalışılabilir. Bunun yanında sistem performansının artırılması ve enerji verimliliği için yük boşaltmanın maliyet üzerindeki etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] C. Cox, *An Introduction to LTE*. WILEY, 2012, vol. 24.
- [2] T. Zhang, J. Zhao, L. An, and D. Liu, "Energy efficiency of base station deployment in ultra dense hetnets: A stochastic geometry analysis," *IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS LETTERS*, vol. 5, no. 2, pp. 184–187, April 2016.
- [3] A. Prasad, O. Tirkkonen, P. Lunden, O. Yilmaz, L. Dalsgaard, and C. Wijting, "Energy efficient inter-frequency small cell discovery techniques for lte-advanced heterogeneous network deployments," *IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS LETTERS*, vol. 5, no. 2, pp. 184–187, April 2013.
- [4] S. Navaratnarajah, A. Saeed, M. Dianati, and M. A. Imran, "Energy efficiency in heterogeneous wireless access networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 20, no. 13914145, pp. 37–43, October 2013.
- [5] D. Feng, C. Jiang, D. Mehrdad, G. Lim, L. J. Cimini, G. Feng, and G. Y. Li, "A survey of energy-efficient wireless communications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 13914145, pp. 167–178, February 2012.
- [6] A. Damnjanovic, J. Montojo, Y. Wei, T. Ji, T. Luo, M. Vajapeyam, T. Yoo, O. Song, and D. Malladi, "A survey on 3gpp heterogeneous networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 18, no. 12062891, pp. 10–21, June 2011.
- [7] S. C. Jha, M. Gupta, A. T. Koc, and R. Vannithamby, "On the impact of small cell discovery mechanisms on device power consumption over lte networks," *First International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, pp. 116–120, 2013.
- [8] A. Prasad, P. Lundén, O. Tirkkonen, and C. Wijting, "Enhanced small cell discovery in heterogeneous networks using optimized rf fingerprints," *IEEE*, no. 13916169, November 2013.
- [9] A. Prasad, P. Lundén, O. Tirkkonen, C. Wijting, O. N. Yilmaz, and L. Dalsgaard, "Energy-efficient inter-frequency small cell discovery techniques for lte-advanced heterogeneous network deployments," *IEEE*, vol. 51, pp. 72–81, May 2013.
- [10] W. Chen, H. Li, Z. Li, Z. Xiao, and D. Wang, "Optimization of small cell deployment in heterogeneous wireless networks," *ETRI Journal*, no. 16233151, July 2016.
- [11] S. N. K. Marwat, "Lte channel modelling for system level simulations," Master's thesis, University of Bremen, Bremen, 09 2011, master Mini-Project.
- [12] A. Prasad, O. Tirkkonen, P. Lunden, O. Yilmaz, L. Dalsgaard, and C. Wijting, "Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the umts," *European Telecommunications Standards Institute*, vol. 3.2.0, no. 2, pp. 184–187, April 1998.

- [13] M. R. Akdeniz, L. Yuanpeng, M. K. Samimi, S. Sun, S. Rangan, T. S. Rappaport, and E. Erkip, "Millimeter wave channel modeling and cellular capacity evaluation," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 14469236, pp. 1164–1179, June 2014.
- [14] M. Franceschetti and R. Meester, *Random networks for communication: from statistical physics to information systems*. Cambridge University Press, 2007, vol. 24.
- [15] S. Lee, S. Lee, K. Kim, and Y. H. Kim, "Base station placement algorithm for large-scale lte heterogeneous networks," *PLoS One*, October 2015.
- [16] H.-S. Park, Y.-S. Choi, B.-C. Kim, and J.-Y. Lee, "Lte mobility enhancements for evolution into 5g," *ETRI Journal*, vol. 37, no. 6, pp. 1065–1076, December 2015.
- [17] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE*. Wiley, 2010, vol. 5.
- [18] P. Joshi, D. Colombi, B. Thors, L.-E. Larsson, and C. Törnevik, "Output power levels of 4g user equipment and implications on realistic rf emf exposure assessments," *IEEE Access*, vol. 5, no. 16811602, pp. 2169–3536, March 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Cansu GENÇOĞLU

Doğum Yeri: Magosa

Medeni Hali: Bekar

E-posta: cansugencoglu@gmail.com

Adresi: Turan Güneş Bulv. MNG Sitesi No:1 D:4 , Çankaya / ANKARA

Eğitim

Lise: Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi, ANKARA

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : Çok İyi

İş Deneyimi

Aralık 2012 - Mart 2013 : R&D Mühendisi Türk Telekom ARGE, ANKARA

Mart 2013 - ... : R&D Mühendisi ARGELA, ANKARA

Deneyim Alanı

LTE Radyo Kaynak Yönetimi

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 07/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: HETEROJEN HÜCRESEL AĞLARDA KÜÇÜK HÜCRE KEŞİF PERFORMANSI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 167 sayfalık kısmına ilişkin, 05/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %2'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: CANSU GENÇOĞLU
Öğrenci No: N12127257
Anabilim Dalı: ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
Programı: TEZLİ YÜKSEK LİSANS
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza

03.07.2018

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Emre Aktaş

(Unvan, Ad Soyad, İmza)