

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖNBELLEKLEME YAPAN HAREKETLİ KABLOSUZ HABERLEŞME  
SİSTEMLERİNDE GECİKME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kunter ATAĞ**

**Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ayşe Melda YÜKSEL TURGUT**

**TEMMUZ 2019**



Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....  
**Prof. Dr. Osman EROĞUL**  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....  
**Doç. Dr. Tolga GİRİCİ**  
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Yüksek Lisans öğrencisi **Kunter ATAK**'nın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**ÖNBELLEKLEME YAPAN HAREKETLİ KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE GECİKME ANALİZİ**" başlıklı tezi **22.07.2019** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı:** **Doç. Dr. A. Melda YÜKSEL TURGUT** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri:** **Doç. Dr. Tolga GİRİCİ** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Doç. Dr. A. Melda YÜKSEL TURGUT** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Doç. Dr. Cenk Toker** .....  
Hacettepe Üniversitesi



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Kunter ATAK



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÖNBELLEKLEME YAPAN HAREKETLİ KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE GECİKME ANALİZİ

Kunter ATAK

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. A. Melda YÜKSEL TURGUT

Tarih: TEMMUZ 2019

Bu tez çalışmasında, kullanıcıların kendi hafızalarını ve baz istasyonlarını kullanarak, istedikleri dosyalara ulaşabilmeleri için gereken süre hesaplanmak istenmiştir. Tezin ilk kısmında, daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir ve birbirleri arasındaki farkları, benzerlikleri ve iki seviyeli mimari için gecikme analizi yapılması için eklenmesi gereken eksikleri tespit edilmiştir. Kullanıcıların hem kendi hafızasını hem de baz istasyonunun hafızasını kullandığı durum için gecikme analizi yapılmadığı tespit edilmiş. Tezin devamında ise, uzamsal yaklaşım yöntemini kullanarak baz istasyonları için gecikme analizi yapılmıştır. Daha sonrasında ise sistemin kapsamı genişletilmiştir. İki seviyeli mimari oluşturulmuştur. Kullanıcıların hem kendi hafızasını hem de baz istasyonunun hafızasını kullandığı durum için gecikme analizi yapılmıştır. Baz istasyonlarının kullanıcı hafızaları ile birlikte kullanılması verimliliği oldukça arttırmıştır. Bu gecikme süresini en aza indirmek için akıllı önbellekleme tekniği bulunmuştur. Kullanıcıların isteklerine göre en uygun önbellekleme yöntemini optimizasyon ile tespit etmektedir. Hesaplamalar sonucunda gecikme süresi olarak bir alt sınır belirlenmiştir ve bu alt sınır değeri kullanılarak gerçekçi bir gecikme süresi bulunmuştur. Sadece kullanıcıların hafızasının ya da sadece baz istasyonlarının kullanıldığı durumlara göre iki seviyeli yapı oldukça verimli çalışmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Önbellekleme, İki seviyeli mimari, Eniyileme, Gezginlik, Cihazdan cihaza, Benzetim.





## **ABSTRACT**

Master of Science

### **DELAY ANALYSIS IN MOBILE WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS WITH CACHING**

Kunter ATAĞ

TOBB University of Economics and Technology  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Doç. Dr. A. Melda YÜKSEL TURĞUT

Date: TEMMUZ 2019

In this thesis, it is aimed to calculate the time required for users to access their files by using their own cache and base stations. In the first part of the thesis, the previous studies are examined and the differences, similarities and shortcomings of the two level architecture are determined. It is determined that there is no delay analysis for the situation where users use both their own cache and the cache of the base station. In the continuation of the thesis, delay analysis is performed for the base stations in the spatial domain. Then, the scope of the system is expanded. A two-level architecture is created. Delay analysis is performed for the users where they use both their own cache and the base station caches. The use of base stations along with other users has increased the efficiency considerably. An intelligent caching technique is found to minimize latency. The optimization framework determines the most suitable cache placement according to the users' requests. As a result of the calculations, a lower limit was determined as the latency and a realistic latency is found by using the lower bound. The two layer architecture is superior compared to using only device caches or only base station caches.

**Keywords:** Caching, 2-tier network, Optimization, Mobility, D2D, Simulation.



## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, sınırsız sabrı, zamanı, dürüst eleştirisi ile çalışmalarımı destekleyen değerli hocam Doç. Dr. Ayşe Melda YÜKSEL TURGUT'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Kablosuz haberleşme alanındaki kapsamlı bilgi ve tecrübesi, problem çözme yöntemlerindeki farklı bakış açısı ve çalışma etiği konusundaki prensipleri benim için ilham kaynağı olmuştur ve çalışmalarım boyunca bana yardımcı olmuştur. Ayrıca, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Doç. Dr. Tolga GİRİCİ'ye ve eğitim hayatım boyunca gerek fikirleri gerek yardımları ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine çok teşekkür ederim. Ayrıca, yüksek lisans eğitimi boyunca sağladığı araştırma imkanları ve burs desteğinden dolayı, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İkinci olarak, aileme teşekkürlerimi sunuyorum. Onların sevgileri ve destekleri hiçbir zaman unutulmayacaktır. Bu günlere gelebilmekte ki en önemli desteği onlar sağladı. Yaptıkları fedakarlıklar halen aklımda bulunmaktadır.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivasyon .....	1
1.2 Tezin Katkısı .....	2
1.3 Matematiksel Gösterim .....	3
1.4 Tez Organizasyonu .....	3
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ</b> .....	<b>5</b>
2.1 Zipf Dağılımı .....	5
2.2 Önbelleklemenin Faydası .....	7
2.3 Kodlama .....	8
2.3.1 Fountain kodlama .....	9
2.3.2 LT kodlama .....	9
2.3.3 Raptor kodlama .....	9
2.4 Kullanıcıların Sabit Olduğu Sistemler .....	10
2.4.1 Hücrel önbellekleme .....	10
2.4.1.1 SINR .....	11
2.4.1.2 Hücrel önbellekleme konusuyla ilgili çalışmalar .....	11
2.4.2 Cihazlardan cihaza önbellekleme .....	14
2.4.3 İki seviyeli mimariye sahip heterojen sistemde önbellekleme .....	15
2.4.3.1 İki seviyeli mimariye sahip heterojen sistemde önbellekleme konusuyla ilgili çalışmalar .....	16
2.5 Kullanıcıların Gezgini Olduğu Sistemler .....	17
2.5.1 Hücrel önbellekleme ve baz istasyonları ile etkileşim .....	17
2.5.1.1 Uzamsal yaklaşım .....	18
2.5.1.2 İstatistiksel yaklaşım .....	19
2.5.1.3 Önbellekleme .....	20
2.5.1.4 Hücrel önbellekleme konusuyla ilgili çalışmalar .....	22
2.5.2 Cihazdan cihaza önbellekleme ve cihazlar arası etkileşim .....	23
2.5.2.1 Uzamsal yaklaşım .....	25
2.5.2.2 İstatistiksel yaklaşım .....	26
2.5.2.3 Önbellekleme .....	27
2.5.2.4 Cihazdan cihaza önbellekleme konusuyla ilgili çalışmalar .....	29

2.5.3 İki seviyeli mimariye sahip heterojen sistemde önbellekleme ve etkileşim.....	31
2.5.3.1 Önbellekleme.....	32
2.5.3.2 İki seviyeli mimariye sahip heterojen sistemde önbellekleme konusuyla ilgili çalışmalar.....	32
<b>3. UZAMSAL YAKLAŞIM İLE SİSTEM ANALİZİ.....</b>	<b>35</b>
3.1 Amaç.....	35
3.2 Sistem Modeli.....	35
3.3 Yürüme Modellerinin Karşılaştırılması.....	36
<b>4. İKİ SEVİYELİ MİMARİYE SAHİP SİSTEMDE GECİKME ANALİZİ .</b>	<b>41</b>
4.1 Amaç.....	41
4.2 Sistem Modeli.....	41
4.3 Çözüm Yöntemi.....	46
4.4 Benzetim Sonuçları.....	50
<b>5. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>59</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>60</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>65</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Zipf dağılımı. ....	7
Şekil 2.2: Önbellekleme. ....	8
Şekil 2.3: İki seviyeli mimari sistemde iletişim kanalları için akış şeması. ....	16
Şekil 2.4: Hücresel sistem. ....	17
Şekil 2.5: Bölgelere ayrılmış hücresel sistem. ....	19
Şekil 2.6: Baz istasyonları için etkileşim süreleri. ....	20
Şekil 2.7: Cihazdan cihaza (D2D). ....	24
Şekil 2.8: Yürüme modeline sahip kullanıcının etkileşimleri. ....	26
Şekil 2.9: Kullanıcının etkileşim sürelerini gösteren çizelge. ....	27
Şekil 2.10: İki seviyeli mimari sistemde iletişim kanalları. ....	32
Şekil 3.1: Rastgele yürüme modelinin rotası. ....	37
Şekil 3.2: Rastgele yön modelinin yürüme rotası. ....	38
Şekil 3.3: Yürüme modellerinin karşılaştırması. ....	39
Şekil 4.1: Gecikmeye, $T$ , karşılık baz istasyonu kapasitesi, $H'_b$ . ....	51
Şekil 4.2: Gecikmeye, $T$ , karşılık kullanıcı kapasitesi $H_i$ . ....	52
Şekil 4.3: Ağ yükleme oranına ( $R'$ ) karşı gecikme süresi ( $T$ ). ....	53
Şekil 4.4: Gecikmeye, $T$ , karşılık kullanıcı kapasitesi $H_i$ . ....	54
Şekil 4.5: Gecikmeye, $T$ , karşılık kullanıcı kapasitesi $H_i$ . ....	55
Şekil 4.6: Gecikmeye, $T$ , karşılık önbellekleme yöntemi $\mathbf{X}_{alt}^*$ . ....	56





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 4.1: Önbellekleme haritası.....	57
---	----





## KISALTMALAR

<b>BW</b>	: Bandwidth (Bant genişliği)
<b>HD</b>	: High Definition (Yüksek çözünürlük)
<b>BS</b>	: Base Station (Baz istasyonu)
<b>GSM</b>	: Global System for Mobile Communications (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem)
<b>D2D</b>	: Device-to-Device (Cihazdan cihaza)
<b>OYF</b>	: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunu
<b>MPC</b>	: Most Popular Content (En çok talep edilen içerik)
<b>SINR</b>	: Signal-to-Interference Plus Noise Ratio (İşaret Girişim ve Parazit Oranı)
<b>PPP</b>	: Poisson Point Process (Poisson Nokta Süreci)
<b>TV</b>	: Television (Televizyon)
<b>DC</b>	: Difference of Convex (Dışbükey fark)



## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler Açıklama

K	Kullanıcı
B	Baz istasyonu
H	Önbellek büyüklüğü
M	Baz istasyonunun bağlantı sayısı rastgele değişkenleri
D	Dosya sayısı
$\bar{S}^d$	Toplam bölüt sayısı
$\underline{S}^d$	Gerekli bölüt sayısı
x	Hafızada bulunan bölüt sayısı
C	İletilen bölüt sayısı
P	Talep etme olasılığı
S	Toplanan toplam veri miktarı
T	Gecikme süresi
E	Beklenen değer operatörü
$R'$	Ağ yükleme sınırı
F	Adım uzunluğu
A	Toplam adım sınırı
$\lambda$	Poisson katsayısı
r	Sistem uzunluğu
$\alpha$	Yol kaybı katsayısı
$N_0$	Gürültü seviyesi



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Motivasyon

Günümüzde teknolojik gelişmeler kullanıcıların istekleri doğrultusunda yol almaktadır. Her geçen gün daha çok insan mobil internet kullanmaya başlamaktadır. Ayrıca kullanıcılar tarafından istenilen verilerin boyutları da her geçen gün büyümektedir. Eskiden sadece iletişim aracı olarak kullanılan cep telefonları artık sosyal medyada gezmek, video izlemek, müzik dinlemek gibi yüksek veri alışverişi gerektiren durumlar için kullanılmaya başlanmıştır. Herhangi bir kullanıcı tuttuğu takımın maçını ya da sevdiği bir diziyi televizyon (TV) yerine bilgisayarlarından hatta telefonundan internet üzerinden izlemek istemektedir. Cep telefonları internete bağlanmanın en kolay yoludur. Yolculuk yaparken, birini beklerken ya da şehir dışındayken internete bağlanma fırsatı dolayısıyla zaman geçirme fırsatı vermektedir. Ne yazık ki bu durum, altyapı için karşılayabileceğinden çok daha ağır bir dosya alışverişi yükü oluşturma potansiyeline sahiptir. Altyapının sahip olduğu bant genişliği (BW) belli bir fiziksel sınıra sahiptir. Kullanıcı sayısı ile birlikte talep edilen dosyanın boyutu da artmaktadır. Yüksek çözünürlüklü (HD) yayınlara talep kullanıcılar tarafında oldukça fazladır. Bu yükü azaltmak için farklı yöntemler kullanılabilir. Kullanıcılar bir video izlediği zaman indirdiği dosyalar telefonlarının hafızasında kalmaya devam edecektir. Çevresinde bulunan birisi aynı videoyu izlemek için daha önceden videoyu izlemiş ve dolayısıyla telefonunda dosyalara sahip birisiyle iletişime geçerse, baz istasyonları (BS) üzerindeki yoğunluk azalacaktır. Bu durumdan hareketle önbellekleme önceden planlı bir şekilde yapılabilirse baz istasyonları üzerindeki yük azaltılabilecektir. Her bir kullanıcının telefonundaki önbellekleme verilerini diğer kullanıcılara, mobil ağları kullanmadan, direkt olarak aktarabileceği duruma cihazdan cihaza (D2D) denilmiştir. Bu sayede kullanıcı artışı avantaj olarak kullanılmıştır. Kapsama alanının kısıtlı olması ise dezavantaj oluşturmaktadır. Baz istasyonları doğal olarak daha geniş alana yayın yapabilmektedir. Diğer bir yöntem ise sisteme hafızalı baz istasyonlarının

eklenmesidir. Kapsama alanının geniş olması avantaj sağlamasına rağmen, gezginlik sahibi olmamaları baz istasyonlarının verimini azaltmaktadır. Bu iki yöntem beraberinde pek çok kolaylık ve karmaşıklık da getirmektedir. En önemlisi, verilerin nasıl depolanabileceğini tespit etmektedir. Verimli çalışan bir sistem oluşturabilmek için, sınırlı bir hafızaya sahip olan kullanıcı ve baz istasyonlarına en uygun dosya önbellekleme yöntemi seçilmelidir. Ayrıca küresel mobil iletişim (GSM) sağlayıcıları için daha az masrafsız olması gerekmektedir. Yeni bir altyapı kurmak yerine mevcut altyapıyı geliştirmek daha tasarruflu bir yöntemdir. Buna ek olarak, dünya için enerji verimliliği de sağlayacaktır. En son olarak, kullanıcıların istediklere verilere ortalama ulaşma süreleri kısalmaktadır. Kullanıcılar istedikleri dosyalara belirli bir süre zarfında ulaşamazlarsa, önbellekleme kullanmadan ana taşıyıcı üzerinden geri bağlantı yoluyla ulaşmaya devam edebilirler.

## **1.2 Tezin Katkısı**

Önbellekleme konusunda son dönemde yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde, hem kullanıcıların hafızalarının hem de baz istasyonlarının kullanıldığı bir sistem için gecikme analizi yapılmadığı tespit edilmiştir. Tezin asıl amacı gözlemlenen bu eksiği kapatmaktır. Sadece önbellekleme yapabilen baz istasyonları ya da sadece önbellekleme yapabilen kullanıcıların bulunduğu sistemler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu tezin ikinci kısmında, yapılan diğer literatür çalışmaları incelenmiştir. Birbirleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmalardan çıkan sonuçlar ile, gecikme analizinin yapılabilmesi için gereken, mobil haberleşme sistemi özellikleri tespit edilmiştir. Bunun yanında kullanılan kavramlar incelenmiştir. Üçüncü kısımda ise, sadece baz istasyonlarının bulunduğu sistem için uzamsal yaklaşım kullanılarak gezginlik incelenmiştir. Farklı yürüme modelleri karşılaştırılmıştır. Gezginciliğin sistem için önemi ispat edilmiştir. Tezin son kısmında ise, daha önceki kısımda belirtildiği gibi, iki seviyeli mimari için gecikme analizi yapılmıştır. Literatüre yaptığı yararlar açıklanmıştır. Buradan çıkan sonuçlar sayesinde cihazdan cihaza (device-to-device, D2D) iletişimin yetersiz kaldığı durumlarda baz istasyonlarının eklenmesinin, verimliliği ne kadar arttırdığı gözlemlenmiştir. Yüksek kapasiteli az sayıda baz istasyonu ile düşük kapasiteli çok



sayıda baz istasyonunun sistem üzerindeki verimliliği incelenmiştir. Tercih edilen önbellekleme yönteminin sistem analizi üzerindeki etkisi de bulunmuştur.

### 1.3 Matematiksel Gösterim

Bu tez çalışmasında kullanılan matematiksel gösterim ifadeleri şu şekildedir:  $\mathbb{K}$  kullanıcı indeksini,  $\mathbb{B}$  baz istasyonu indeksini,  $\mathbb{D}$  dosya indeksini göstermektedir.  $K_i$  kullanıcı indeksindeki kullanıcıları,  $B_b$  baz istasyonu indeksindeki baz istasyonlarını belirtmektedir.  $E\{.\}$  gösterimi beklenen değer işlemini ifade etmektedir.  $i$ . kullanıcının ve  $b$ . baz istasyonunun hafızalarındaki  $d$  dosyasına ait bölüt sayısı  $x_{di}$  ve  $x_{db}$  olarak belirtilmiştir. Sırasıyla,  $i$ . kullanıcının ve  $b$ . baz istasyonunun önbellek kapasiteleri  $H_i$  ve  $H'_b$  kadardır.  $M_{ij}$  ve  $M_{ib}$ , parametreleri sırasıyla  $\lambda_{ij}T$  ve  $\lambda_{ib}T$  olan Poisson rastgele değişkenleridir. Dosyalar toplam  $\bar{S}^d$  adet bölüte kodlanarak ayrılmıştır. Bu bölütlerden, birbirinden farklı  $\underline{S}^d$  adet elde edildiğinde, ilgili  $d$  dosyasının kod çözümü yapılabilir.  $R(\mathbf{X}, T)$ , ortalama ağ yükleme oranını hesaplayan fonksiyonu ifade etmektedir.  $\mathbf{X}$ , kullanıcılarda ve baz istasyonlarında, her bir dosyanın bölütlerinden kaçar tane saklandığını göstermektedir.  $(K + B) \times (\sum_{d \in D} \bar{S}^d)$  boyutunda bir matristir.

### 1.4 Tez Organizasyonu

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde kapsamlı literatür araştırması yapılmıştır. Literatürde yer alan çalışmaların incelenmesinin yanında önbellekleme konu başlığı altında bulunan kavramlar incelenmiştir. Cihazdan cihaza dosya alışverişi, hücresele dosya alışverişi ve iki seviyeli mimariye ait sistemde dosya alışverişi olmak üzere üç ana başlık altında incelemeler yapılmıştır. Her bir başlıkta etkileşim ve önbellekleme olmak üzere iki farklı aşamada kullanılacak yöntemler gösterilmiştir. Bu başlıkların içinde ya da sonrasında yardımcı olabilecek bazı kavramlar da eklenmiştir. Üçüncü bölümde, gerçekçi bir yürüme modeline sahip bir sistem için analiz yapılmıştır. İki farklı yürüme modeli incelenmiştir. Kullanıcıların gezgin olmasının sistem üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Üçüncü bölümde, iki seviyeli mimariye sahip bir heterojen ağ için gecikme analizi yapılmıştır. Farklı durumlar için

incelemeler yapılmıştır. Beşinci bölümde ise sonuç açıklaması yapılmış ve gelecek çalışmalar ele alınmıştır.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Her geçen gün yeni bir teknolojik gelişmenin yaşandığı günümüzde mobil haberleşme sektörü de payını almaktadır. Geçmişte 1G/2G/3G teknolojileri kullanılmıştır, günümüzde 4G kullanılmaktadır, gelecekte ise 5G/6G teknolojileri hayatımıza girecektir. Günümüzde kullanılan teknolojik yöntemler, ne yazık ki, gelecekteki kullanıcı beklentilerini karşılayamayacaktır. Örnek vermek gerekirse, akıllı sistemler günlük hayattaki alışkanlıklarımızın değişmesine neden olmaktadır. 25 yıl öncesine kadar cep telefonu diye bir kavramın toplum içinde kullanılmadığı zamanlardan, cep telefonları ile evindeki teknolojik aletleri kontrol edebileceği zamanlara geldiğimiz düşünülürse; günümüzde gelinen nokta oldukça korkutucu ve aynı zamanda oldukça ilgi çekicidir. Yeni ortaya çıkan teknolojiler yanında yeni gereksinimler de getirmektedir. Mobil haberleşme teknolojilerinin gelişmesiyle dosya alışverişi yöntemleri çeşitlenmektedir. Mobil kullanıcı sayısı ve kullanıcıların ulaşmak istedikleri veri miktarı her geçen gün artmaktadır. Youtube, Twitter, Instagram gibi sosyal ağlar ve iTunes, Spotify gibi uygulamalar bu internet trafiğinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır [1]. Geleneksel baz istasyonları ile yapılan mobil iletişim günümüzde ihtiyaçları karşılıyor olsa bile, kullanılacak dosya boyutlarının artmasıyla beraber yetersiz kalmaya başlayacağı öngörülmektedir. Bu sebepten dolayı alternatif teoriler ortaya çıkmıştır. Gelecekte kullanılması muhtemel yeni yöntemler tezin devamında ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır. Bu yöntemlerin her biri kendine has avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bu yöntemlere geçmeden önce, kullanıcıların dosya taleplerinin istatistiksel olarak açıklaması olan Zipf dağılımı açıklanmalıdır.

### 2.1 Zipf Dağılımı

İnsanların sahip oldukları alışkanlıklar yıllar boyunca merak konusu olmuştur. Toplumların talep ettikleri kavramlar zamanla değişmiş olsa bile, talep etme olasılıkları benzerlik göstermiştir. Mevcut alfabeyi kullanarak oluşturulan kelimeler

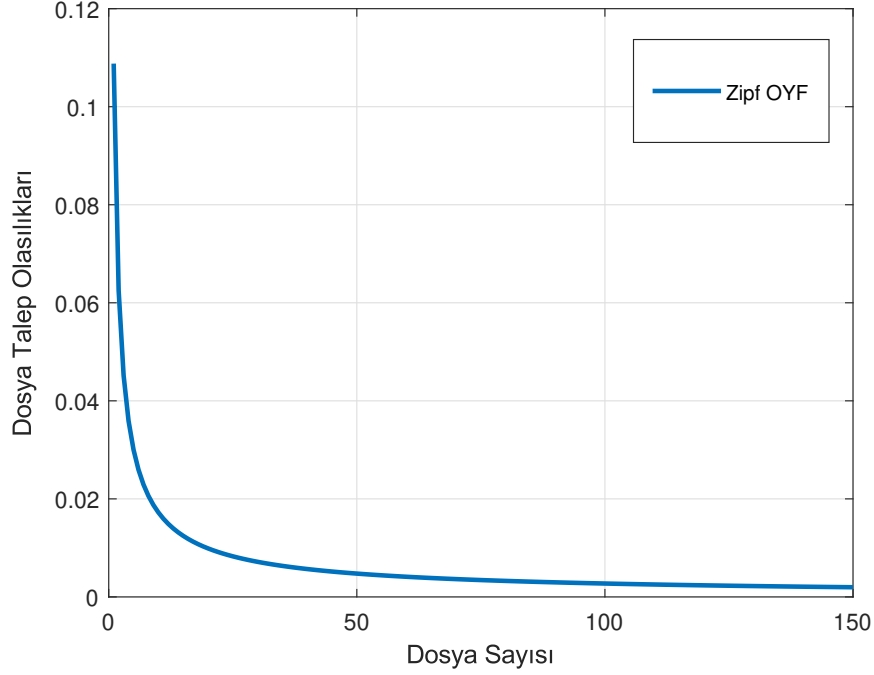
incelendiğinde, bazı harflerin diğer harflere göre oldukça fazla kullanıldığı dil bilimi uzmanları tarafından gözlemlenmiştir. Bu durum günümüzdeki internet ortamı için de uyarlanabilmektedir. Mobil kullanıcıların internet üzerinden ulaşmak istedikleri dosyalar incelendiğinde, bazı dosyaların diğerlerine göre oldukça fazla indirildiği tespit edilmiştir. Bu dosyalar istatistiksel olarak modellenmiş ve sonucunda Zipf dağılımı olarak adlandırılmıştır. Popüler video izleme platformu olan YouTube üzerinden örnek vermek gerekirse, her bir videonun kendisine özel talep olasılığı bulunmaktadır. Dün oynanan bir maç veya yayınlanmış bir dizi varsa bunların kullanıcı tarafından talep edilme olasılıkları oldukça yüksektir. Birkaç video çok yüksek kullanıcı talebine sahip iken geri kalanlar oldukça düşük kullanıcı talebine sahiptir. Bu dosyaları önbellekleme yaparken öncelikli olarak yerleştirmek sistemin verimliliğini arttıracaktır. Zipf dağılımı sayesinde bu dosyaların talep olasılıkları istatistiksel olarak modellenmektedir. Zipf dağılımını teorik olarak hesaplamak için

$$f(x) = \frac{1}{x^\alpha \sum_{i=1}^n (1/i)^\alpha} \quad (2.1)$$

formülü kullanılmaktadır.  $f(x)$  burada olasılık yoğunluk fonksiyonunu (OYF) ifade etmektedir. Parametreleri ise

- $n$ : Toplam dosya sayısı
- $x$ : Dosya sırası
- $\alpha$ : Dağılımı belirleyen sıfırdan büyük eşit üssel değer

şeklinde.  $\alpha$  parametresi büyüdükçe, yüksek olasılıkla istenilen dosyaların sahip oldukları değerler ile daha az istenilen dosyaların sahip oldukları değerler arasındaki fark açılmaktadır.  $n = 150$  ve  $\alpha = 0.8$  değerleri için OYF grafiği Şekil 2.1'te gösterilmiştir.



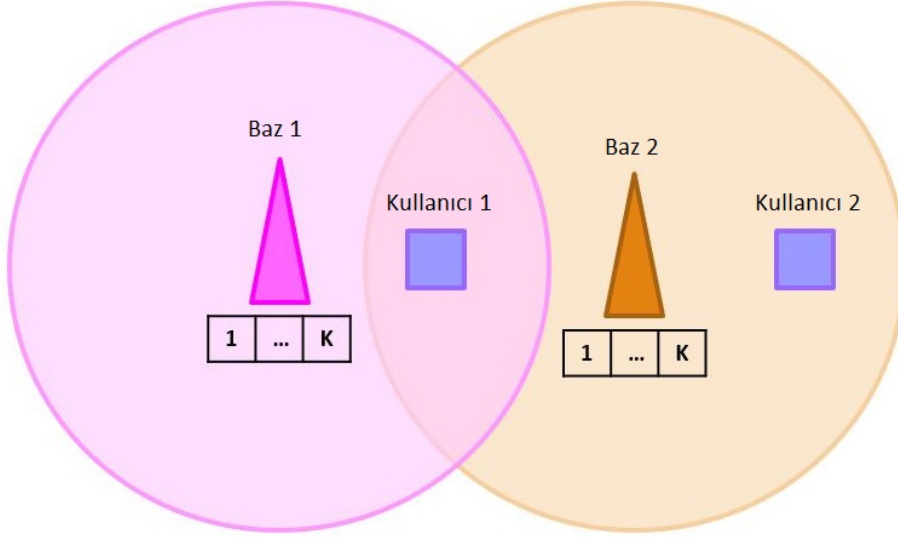
Şekil 2.1: Zipf dağılımı.

## 2.2 Önbelleklemenin Faydası

Kullanıcıların talep olasılıkları Zipf dağılımı ile bulunduğu göre önbellekleme aşamasına geçilebilir. Önbellekleme önemli miktarda fayda sağlamanın yanında zorluklar da getirebilmektedir. Ayrıca, kullanıcılar ve operatörler için tasarruf da sağlanabilmektedir. Dünya için ise, enerji verimliliği sağlanmaktadır. Zorluklardan kastedilen ise, kapasitelerinin kısıtlı olmaları, kapsama alanlarının sınırlı olması ve verimli bir önbellekleme yapılabilmesi için oldukça kapsamlı optimizasyon gereksinimleri oluşturmaktadır.

Önbellekleme yapılması istenilen sistemler farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Sistemde önbellekleme yapabilen baz istasyonları, önbellekleme yapabilen kullanıcılar ayrı ya da toplu olarak bulunabilmektedir. Ayrıca, kullanıcılar gezgin ya da sabit olmak üzere iki farklı özelliğe göre gruplanabilmektedir. Önbellekleme işleminin yalnızca baz istasyonların dosya tutma özelliklerinin olduğu bir sistemde nasıl yapıldığı Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Sistemde iki tane baz istasyonu ve iki tane kullanıcı bulunmaktadır. Buradaki kullanıcıların dosya tutma özellikleri yoktur ve sabittirler. Baz istasyonları  $K$  tane dosya tutabilmektedir. Bu iki baz istasyonu aynı

özelliklere sahip olmalarına rağmen hizmet ettikleri kullanıcı sayısı farklılık göstermektedir. Baz 2, Baz 1'e göre daha fazla kullanıcı ile etkileşim içindedir. Bu sebepten dolayı, Baz 2 hadızasına yerleştirilecek dosyalar Zipf dağılımına göre talep olasılığı yüksek dosyalar olmalıdır[2].



Şekil 2.2: Önbellekleme.

### 2.3 Kodlama

Dosyalar, kullanıcıların veya baz istasyonlarının hafızasına kodlama yapılarak yerleştirilebilir. Dosyaların baz istasyonu ya da kullanıcı hafızalarına kodlama yapılarak yerleştirilmesinin amacı, alıcı pozisyonunda bulunan kullanıcıların daha az dosya bölütü ile dosyalara ulaşmasıdır. Bir dosyanın on adet bölüte kodlanarak ayrıldığı farzedilirse, kullanıcıların geri dosyayı geri oluşturabilmesi için on'dan daha az miktarda dosya bölütüne ihtiyaç duyulmaktadır. Kodlama yapılmayan bir sistemde, dosyaların tamamı hafızaya yerleştirilmek zorundadır. Bu yüzden, kullanıcıların istediklere dosyalara ulaşması için, dosyanın tamamını indirmesi gerekecektir ve zaten kapasiteleri kısıtlı olan sistem elemanları verimsiz bir önbellekleme yapacaktır. Ayrıca, indirdiği dosyada hata oluşursa dosya parçasını tespit ettikten sonra tekrar indirmesi gerekecektir. Kodlama bu sorunlara çözüm olması amacıyla

kullanılmaktadır. Dosyaları yeniden düzenlemek amacıyla farklı kodlama teknikleri kullanılabilir.

- Fountain kodlama
- LT kodlama
- Raptor kodlama

### **2.3.1 Fountain kodlama**

Bu kodlama yönteminde, sistemde bulunan dosyalardan sonsuz sayıda sembol elde edilebilir. Oluşturulan her bir dosya bölütü belli bir sembole atandıktan sonra alıcı tarafına gönderilmeye hazırdır. Alıcının aldığı dosya bölütleri birbirlerinden bağımsız olacaklardır. Dosyayı geri elde etmek için gereken minimum dosya bölütü sayısı sağlandığı takdirde, alıcıdaki dosya bölütlerinin birbirlerinden farkı kalmamaktadır. Gönderilmek istenen dosya alıcı tarafından elde edilebilmektedir [3].

### **2.3.2 LT kodlama**

Fountain kodlama yönteminden geliştirilmiş bir kodlama şeklidir. Sistemde bulunan dosyalardan sonsuz sayıda sembol elde edilebilir. LT kodlama, performans olarak olumsuz etkilenmeden, kodlama ve kod çözme karmaşıklığını oldukça düşürmektedir. Dosyayı geri elde etmek için gereken minimum dosya bölütü miktarı sağlandığı takdirde, Fountain kodlamada olduğu gibi alıcıdaki dosya bölütlerinin birbirlerinden farkı kalmamaktadır. Herhangi bir dosya bölütü dizisi, dosyayı elde etmek için yeterli olacaktır [4].

### **2.3.3 Raptor kodlama**

LT kodlama yönteminden geliştirilmiş bir kodlama şeklidir. Sistemde bulunan dosyalardan sonsuz sayıda sembol elde edilebilir. Raptor kodlamasının LT kodlamasından farkı, uygun bir LT kodunun uygulanmasından önce giriş sembollerinin önceden kodlanmasıdır. Bir LT kodunun, harici başka bir kod ile

birleştirilmesiyle yaratılmaktadır. Temel amacı ise, dosyanın geri elde edilmesi için gereken şartları yumuşatmaktır [5][6].

Önbellekleme işlemini yapabilmek için en önemli gereksinim etkileşim sürelerini doğru tahmin edebilmektir. Kullanıcıların gezginlik özelliğine sahip olup olmamaları, etkileşim süreleri hesaplanmadan önce dikkat edilmesi gereken en önemli başlıktır.

- Kullanıcıların sabit olduğu sistemler
- Kullanıcıların gezgin olduğu sistemler

## **2.4 Kullanıcıların Sabit Olduğu Sistemler**

Kullanıcıların gezgin olmadıkları sistemlerdir. Konumlarını değiştirmedikleri için sistem topolojisi değişmemektedir. Hücresel, cihazdan cihaza ve iki katmanlı heterojen ağlarda farklı amaç fonksiyonları için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, sistem yapısına göre gruplandırılmıştır. Bu başlık altında yapılan açıklamalar genel olarak literatürde yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Kullanıcıların gezgin olduğu sistemler başlığı altından daha fazla bilgiye ulaşılabilir.

- Hücresel önbellekleme
- Cihazlardan cihaza önbellekleme
- İki seviyeli mimariye sahip heterojen sistemde önbellekleme

### **2.4.1 Hücresel önbellekleme**

Sadece baz istasyonlarının dosya tutabilme özelliğinin olduğu sistemlerdir. Kullanıcılar istedikleri dosyalara ulaşmaları için baz istasyonlarının kapsama alanına girmeleri gerekmektedir. Bir baz istasyonu ile bir kullanıcının bağlantı kurabilmesi için İşaret Girişim ve Parazit Oranı (SINR) hesaplanmalıdır.



### 2.4.1.1 SINR

Kullanıcılar ile baz istasyonu arasında dosya alışverişi yapılabilmesi için sinyal gücünün, gürültü ve girişim gücünden belli bir oranda büyük olmalıdır. Eğer bu oran yeterli bir seviyede olamazsa sağlıklı bir dosya alışverişi yapılamaz. Baz istasyonundan çıkan sinyal yol kat ettikçe gücünü kaybetmektedir. Baz istasyonlarının birbirlerine olan olumsuz etkilerine girişim denmektedir. İki tane anten birbirine çok yakın olursa birbirlerinin sinyallerini bozabilecek özelliğindedir. SINR oranı

$$SINR(x) = \frac{S}{N + G} \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. S sinyal gücünü, N gürültü gücünü, G ise girişim gücünü tanımlamaktadır. SINR oranını matematiksel olarak ifade edebilmek için yol kaybı hesaplanmalıdır. Yol kaybı  $|x - y|^\alpha$  şeklinde bulunabilmektedir.  $\alpha$  değeri sinyalin hareket ettiği ortamın kırılma katsayısıdır. x baz istasyonlarının bulunduğu konumu, y ise kullanıcının bulunduğu konumu tanımlıyor. Şimdi istenilen SINR modeli elde edilebilir.

$$SINR(x_i) = \frac{\frac{F_i}{|x_i - y|^\alpha}}{\sum_{j \neq i} \frac{F_j}{|x_j - y|^\alpha} + N} \quad (2.3)$$

Burada n değeri, sistemde bulunan toplam baz istasyonu sayısıdır.  $F_i$  ve  $F_j$  değerleri, kanalın özelliğine göre değişen rastgele değişkenlerdir. Kanalın sönüm miktarını belirtmektedir [7]. Hesaplanan SINR değeri belli bir sınırın üzerinde çıkarsa sorunsuz bir şekilde dosya alışverişi yapılabildiği doğrulanabilmektedir.

### 2.4.1.2 Hücresele ön bellekleme konusuyula ilgili çalışmalar

[8]'de yapılan çalışmada, hücresele baz istasyonlarında ön bellekleme hakkında yapılan pek çok çalışma incelenmiştir. Hücresele ön bellekleme hakkında yapılan çalışmalar genellikle, geri bağlanım üzerindeki yükü azaltmak amacıyla. Baz istasyonları hafızalarına yerleştirecekleri dosyalar, insanların internete girmedikleri gece

saatlerinde yüklenirse yoğunluk oluşturmazacaktır. Ayrıca, hücrel ön bellekleme ile enerji tasarrufu sağladığı da eklenmiştir.

[9]'de yayınlanan makalede, kapsama alanı değişen iki farklı baz istasyonu çeşiti bulunmaktadır. Bu baz istasyonlarının yanında kullanıcılar da yer almaktadır ancak kendi aralarında dosya alışverişi gerçekleşmemektedir. Bu sistemde bulunan elemanlar Poisson Point Process (PPP) ile yerlerine yerleştirilmektedir. Her küçük baz istasyonunun kendine özel rastgele ön bellekleme stratejisi bulunmaktadır. Geri bağlantı üzerindeki masrafı azaltmak amacıyla, baz istasyonlarında ön bellekleme yapılabilmesi için dosya talep profili hesaplanmaktadır. Belli bir zaman aralığındaki anlık kullanıcı talepleri kullanılmaktadır. Uygun olan rastgele ön bellekleme stratejisine göre geri bağlantı üzerinde oluşan masraf hesaplanmaktadır. Zipf gibi dağılımlar kullanılarak yapılan işlemlerde, çalışma süresinde azalma gözlemlenmiştir.

[10]'da stokastik dağılıma göre konumlandırılmış baz istasyonları için en iyi ön bellekleme yöntemi araştırılmaktadır. Yalnız bu sistemde baz istasyonları kısıtlı geri bağlantı kapasitesine sahiptir. Baz istasyonu konumlarının önemini arttırmak amacıyla, böyle bir tanımlama yapılmıştır. Baz istasyonları Poisson point process (PPP) ile konumlandırılmıştır. Kullanıcılar en yakın baz istasyonu ile ilişkilendiriliyor ve her bir baz istasyonu, Poisson-Voronoi mozaiklerinin içerisinde bulunmaktadır. Eğer kullanıcılar istedikleri dosyalara baz istasyonunda bulamazlar ise geri bağlantı yoluyla internet üzerinden indirmektedir. Sağlıklı bir bağlantı kurulabilmesi için işaret girişim ve parazit oranı (SINR) belli bir değerden yüksek olmalıdır. Bu makaledeki amaç fonksiyonları, kesinti olasılığı ve dosyaların ortalama teslimat oranlarını hesaplamaktadır. Baz istasyonları veya onların dosya kapasiteleri artırıldığında, kesinti olasılığı azalırken, dosyaların ortalama teslimat oranı arttığı gözlemlenmiştir. Dosyaların bit hızı arttığında ise kesinti olasılığı diğer durumların aksine artış göstermektedir. Bu etkiyi azaltmak için dosya kapasitesinin artırılabilirliği ek olarak belirtilmiştir. En son olarak ise, dosyaların talep olasılıklarını belirleyen dağılımın parametresi artırılmıştır. Düşük parametre değeri uniform dağılıma daha yakın iken, yüksek parametre değeri daha az dosyanın yüksek miktarda talep edilmesine yol açmaktadır. Bu sebepten dolayı, hafızaya yerleştirilmesi gereken dosya miktarı azalacaktır. Bu makalede ayrıca; yüksek kapasiteli az sayıdaki

baz istasyonlarının, düşük kapasiteli çok sayıdaki baz istasyonlarına göre daha verimli çalıştığı belirtilmiştir.

[11]'da yapılan çalışmada ise, önbelleklemenin verimli çalışabilmesi için baz istasyonlarında, küçük hücre baz istasyonlarında ve kullanıcıların hafızalarında saklanacak içeriklerin, sistemin topolojisine göre eniyilemesi incelenmiştir. Baz istasyonları poisson point process (PPP) ile konumlandırılmıştır. İstenilen dosyanın baz istasyonunun hafızasında bulunabilme olasılığı hesaplanmak istenmektedir. Kullanıcıların baz istasyonlarının kapsama alanında olup olmadığını hesaplamak için işaret girişim ve parazit oranı(SINR), boolean ve overlaid 2-Network modelleri kullanılmaktadır. Bir kullanıcı birden fazla baz istasyonunun kapsama alanına girebilmektedir. Dosyalar eşit parçalara ayrılmıştır ve her bir dosyanın talep olasılı Zipf dağılımı ile belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu olarak, dosyanın kullanıcı tarafından ulaşılabilme oranı hesaplanmak istenmektedir. Makalenin sonunda ulaşılan sonuç ise, en popüler dosyaları önbellekleme yapmanın, her zaman işe yaramayacağı olarak söylenmektedir. En iyi çözümün bulunabilmesi için, birden fazla baz istasyonu tarafından kapsamlan alanların tespit edilmesi ve bu alanları kapsayan baz istasyonlarının hafızasına yerleştirilecek dosyaların seçiminin, çok önemli olduğu belirtilmiştir.

[12]'de ise, hafızalı baz istasyonlarında önbellekleme için daha önce anlatılan yöntemlerden farklı bir yaklaşım kullanılmıştır. Baz istasyonları birden fazla kullanıcıya hizmet verebilmektedir. Amaç fonksiyonu olarak, ortalama dosya indirme süresini asgari düzeye düşürmek istenmektedir. Ancak bu problem NP-hard karmaşıklığında olduğu için, dağıtık algoritma temelli çarpan çizgesine eşdeğer markov rasgele alanı üstüdeki kanı yayılma algoritması yoluyla çözüme ulaşılmıştır. Kullanıcının istediği dosya tek bir baz istasyonundan gelebileceği gibi diğer baz istasyonlarından da imcece usulü gelebilmektedir. Eğer istenilen dosya baz istasyonlarının hafızasında yoksa geri bağlanım üzerinden ulaşılmaktadır. Baz istasyonları arasında dosya kapasitelerini, kullanıcıların dosya isteklerini ve olası iletim şemalarını içeren bilgi alışverişi yapılmaktadır. Yapılan simulasyonlar ile beraber ulaşılan sonuç ise, birbirleri ile iletişim halinde olan baz istasyonları dağıtık algoritma sayesinde, dosyaları normalden daha kısa sürede kullanıcılara

ulaştırabilmektedir.

[13]'te geniş kablosuz ağlar, hem önbellekleme hem de diğer makalelerden farklı olarak multicast özeliğine sahiptir. Sistem elemanları PPP ile dağıtılmıştır. Kullanıcıların dosya talepleri, rastgele olarak birer tane dosya istenecek şekilde tanımlanmıştır. Dosya talep olasılığı için Zipf dağılımı kullanılmıştır. İlk olarak, dosyaların başarılı iletim olasılığı hesaplanmıştır. Daha sonrasında, eniyileme yöntemleri kullanılarak algoritmalar çıkartılmıştır. En sonunda ise, bulunan algoritmalar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

[14]'te bulunan baz istasyonları önbellekleme ve multicast özelliklerine sahiptir. Baz istasyonları bulunan bu sistem heterojen olarak tasarlanmıştır. İlk olarak multicast özelliğinin önbellekleme için ne kadar yararlı olabileceği incelenmiştir. Daha sonrasında ise, enerji tasarrufu sağlama amacıyla eniyileme algoritması oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda multicast ve önbellekleme sayesinde, oldukça büyük miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabileceği gözlemlenmiştir.

#### **2.4.2 Cihazlardan cihaza önbellekleme**

Kullanıcıların dosya tutabilme özelliğine sahip olduğu sistemlerdir. Kullanıcılar belli bir alanda istatistiksel dağılımlara göre konumlandırılır.

[8]'de yapılan çalışmada cihazdan cihaza önbellekleme hakkında yapılan pek çok çalışma incelenmiştir. Cihazdan cihaza önbellekleme hakkında yapılan çalışmalar genellikle, geri bağlantım üzerindeki yükü azaltmayı ve sistemdeki elemanların dosya alışverişi miktarını arttırmayı amaçlamaktadır. Hücresele önbelleklemede olduğu gibi kullanıcıların önbellekleme yapacağı dosyalar, geri bağlantım üzerinde düşük yoğunluğunun olduğu zaman dilimlerinde indirilmelidir. Kullanıcıların sistem üzerindeki dağılımları için Poisson Point Process (PPP), Poisson temelli küme modeli veya grid temelli grup modeli kullanılabilir. PPP'de kullanıcılar tekil olarak koordinat sistemine yerleştirilmiştir. Poisson temelli küme modelinde ise kullanıcılar kümelere ayrılıyor ve her bir küme sisteme PPP kullanılarak konumlandırılıyor. Kullanıcılar ise küme içerisine normal dağılım ile dağıtılıyor. Grid temelli grup modelinde ise, kullanıcılar ızgaraların kesişme noktalarına yerleştirilmektedir. Cihazdan cihaza

dosya alışverişi için en önemli kısıt ise, önbellekleme yapılacak dosyaların konumlarıdır. Eğer en uygun şekilde yerleştirilemezse kullanıcılar dosyalara ulaşamayacaktır.

[15]'te hücresele önbellekleme ile cihazdan cihaza dosya alışverişi birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Baz istasyonları kullanıcıların sahip olduğu cihazlara göre daha fazla dosya tutabilmektedir. Harcanan enerji miktarı bakımından ise tam tersi bir durum vardır, cep telefonları daha az enerji harcamaktadır. Kullanıcılar ve baz istasyonları PPP ile sistem üzerine yerleştirilmiştir. Sadece baz istasyonlarının ya da sadece kullanıcıların önbellekleme yapabildiği iki farklı sistem yaratılmıştır. Dosyaların talep olasılıkları Zipf dağılımı ile belirlenmektedir. Amaç fonksiyonu olarak, harcanan ortalama enerji miktarı ve kullanıcıların istedikleri dosyalara ulaşabilme yüzdesi hesaplanmak istenmektedir. Baz istasyonlarının olduğu istemdeki kullanıcılar istedikleri dosyalara daha yüksek oranda ulaşabilmektedir. Bunun sebebi olarak, yüksek dosya tutma kapasitesi gösterilmiştir. Bu durum aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlamaktadır çünkü, geri bağlantı üzerinden dosya indirilirken harcanacak ortalama enerji azalacaktır. En son olarak belirtmek gerekirse, yüksek kullanıcı yoğunluğunun olduğu sistemlerde, cihazdan cihaza etkileşim ile dosya alışverişi oldukça verimli olmaktadır.

### **2.4.3 İki seviyeli mimariye sahip heterojen sistemde önbellekleme**

Hem baz istasyonlarının, hem de kullanıcıların önbellekleme yapabildiği sistemlerdir. Kullanıcılar istedikleri dosyalara ulaşamazlar ise geri bağlantı üzerinden indirmektedir. Bu durum istenmeyen bir durumdur. Bu sistemlerin en büyük özelliği geniş bir önbellekleme fırsatı tanınmasıdır. Kullanıcılar hareketli olmadığı için pek fazla literatür çalışması bulunmamaktadır. Bu sistemin akış şemasına 2.3'den ulaşılabilir.



Şekil 2.3: İki seviyeli mimari sistemde iletişim kanalları için akış şeması.

### 2.4.3.1 İki seviyeli mimariye sahip heterojen sistemde önbellekleme konusuya ilgili çalışmalar

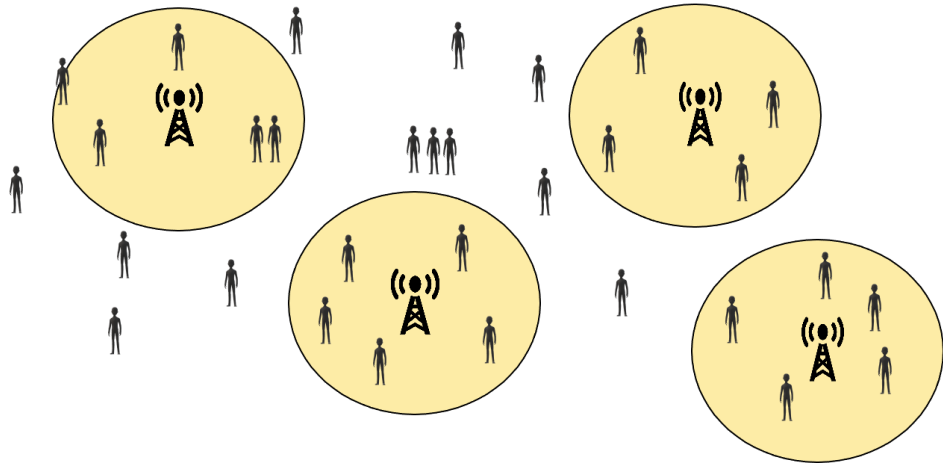
[16]'da yapılan çalışma bu sistem yapısına uygun dizayn edilmiştir. Büyük baz istasyonları, küçük baz istasyonları ve kullanıcılar bulunmaktadır. Bu makalenin amaç fonksiyonu, talep edilen dosyaların karşılanma yüzdesini azami düzeye çekmektir. Kullanıcılar gezgin özelliğe sahip değildir. Küçük baz istasyonları ve kullanıcılar, farklı yoğunluk katsayılarına sahip Poisson Point Process (PPP) ile sistem içerisine yerleştirilmektedir. Kullanıcılar ilk olarak kendi hafızalarını kontrol etmektedirler. Eğer istenilen veriye ulaşamazlarsa, çevresindeki kullanıcılara ve küçük baz istasyonlarına sormaktadır. İstenilen dosya halen bulunamaz ise, kullanıcılar büyük baz istasyonlarına istek göndermektedir. Çözüm yöntemi olarak ise, dış bükey olmayan problemi difference of convex (DC) programlama'ya uygun hale getirmektedir. Simülasyon sonuçlarında ise, en popüler içeriklerin nispeten düşük yoğunluklu sistem elemanlarının hafızasında önbelleğe alınması gerektiğini göstermektedir. Yüksek yoğunluklu sistemlerde ise eşit olasılıkla önbellekleme yapılması önerilmektedir.

## 2.5 Kullanıcıların Gezgin Olduğu Sistemler

Bu tezin konusu gezgin ağlardır. Kullanıcıların konumları zamanla değişmektedir. Daha önceki kısımda olduğu gibi üç farklı sistem yapısında araştırmalar yapılmıştır.

### 2.5.1 Hücresel önbellekleme ve baz istasyonları ile etkileşim

Mobil iletişim yöntemlerinden birisi hücresel dosya alışverişi yöntemidir. Dosya önbellekleme özelliğine sahip hücresel baz istasyonlarının olduğu bu sistemde, kullanıcılar baz istasyonları ile iletişim halindedir. Kullanıcıların kendi aralarında dosya alışverişi amacıyla etkileşimleri bulunmamaktadır. Geri bağlanım üzerindeki yoğunluğu azaltmak amacıyla baz istasyonlarının kendi hafızaları kullanılmaktadır. Geri bağlanım üzerindeki veri trafiği yükünün azaltılması amacıyla, kullanıcıların hafızaları kullanılmaktadır. Baz istasyonları kapsama alanı içinde bulunan kullanıcıya istediği verileri, eğer hafızasında mevcutsa, iletişim ağını kullanmadan gönderebilmektedir. Ayrıca, kullanıcılar gezgin oldukları için, pek çok baz istasyonu ile iletişim halinde olabilmektedir. Kullanıcıların dosya önbellekleme için hafızaları bulunmadığından, kendi aralarında etkileşimde bulunmadıkları varsayılmaktadır. Sadece baz istasyonları ile kullanıcılar arasında dosya alışverişi bulunmaktadır. Baz istasyonlarının aynı ya da farklı kapsama alanlarına sahip oldukları sistemler mevcuttur. Aynı kapsama alanına sahip baz istasyonlarının bulunduğu bir sistemin topolojisi, Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Hücresel sistem.

Kullanıcıların baz istasyonları ile yaptığı etkileşimler incelenecektir. Kullanıcılar gezgin olmalarından dolayı kullanıcıların sistemdeki konumları sürekli değişmektedir ancak baz istasyonları sabittir. Kullanıcıların baz istasyonları ile arasındaki etkileşim süreleri kendi aralarında farklılık göstermektedir. Etkileşim sürelerini tahmin etmek ve buna en uygun önbellekleme yöntemini belirlemek çok önemlidir. Kullanıcıların baz istasyonları ile etkileşimleri istatistiksel modeller ile hesaplanabilmektedir. Bu veriler ışığında, daha çok etkileşime sahip olması muhtemel baz istasyonuna, yüksek olasılıkla talep edilmesi muhtemel dosyalar yerleştirilmelidir. Baz istasyonlarının kendi aralarında herhangi bir etkileşimi bulunmamaktadır. Etkileşim sürelerini hesaplamak için iki farklı bakış açısı kullanılabilir [17]. Bunlar, fiziksel bir sistemde kullanıcıların yürüdüğü ve her birinin koordinat sistemindeki konumlarının kaydedildiği, baz istasyonlarının kapsama alanlarına göre incelendiği uzamsal yaklaşım ile insan davranışlarının araştırılmasıyla ortaya konulmuş istatistiksel modellerin kullanıldığı istatistiksel yaklaşımdır. Her ikisinin de kendine ait avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

- Uzamsal yaklaşım
- İstatistiksel yaklaşım

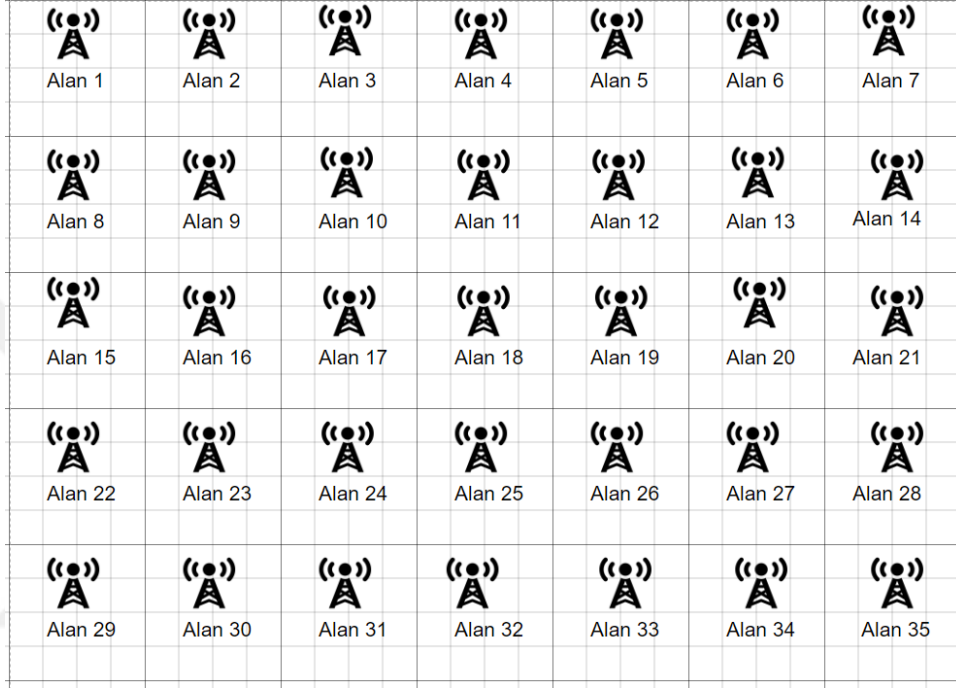
### **2.5.1.1 Uzamsal yaklaşım**

Kullanıcıların hareketleri rastgele yön modeli, Brown hareketi, Lévy uçuş modeli vb. modellerle hesaplanabilir. Burada her bir kullanıcının kendine özel bir yürüyüş rotası bulunmaktadır. Kullanıcıların dosya alışverişi içinde olması için baz istasyonlarının kapsama alanlarına giriş yapması gerekmektedir. Kapsama alanın dışında olurlarsa iletişim yapamazlar. Doğal olarak böyle bir sistemin en önemli değişkenleri baz istasyonlarının sahip oldukları konumlar ve kapsama alanlarıdır. Baz istasyonlarının sistem üzerindeki koordinatları Poisson nokta süreci, Binom nokta süreci, Poisson kümesel nokta süreci vb. modeller ile gerçekleştirilebilir. Çok fazla kullanıcının bulunduğu sistemlerde bütün herkesin yürümesi ve elde edilen verilerin işlenmesi oldukça zaman almaktadır [18].

Diğer bir yöntem ise, kullanıcıların bölgeler arasındaki geçişlerine göre etkileşim



miktarının bulunmasıdır. Sistem haritası belli bölgelere ayrılmıştır ve bölge içindeki bütün kullanıcıların, o bölgedeki baz istasyonu ile etkileşimde oldukları varsayılmaktadır. Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Bu yöntemde kullanıcılar yürümek yerine, bölgeler arasında yer değiştirirler. Markov zincir modeli buna en iyi örnektir. Bulunduğu kapsama alanından başka bir kapsama alanına geçmesi belli bir olasılık dahilinde gerçekleşmektedir.



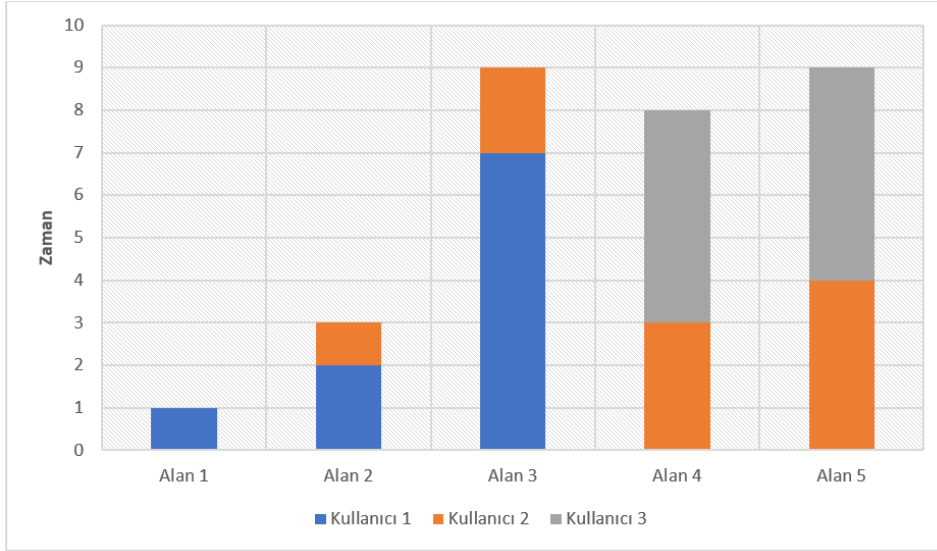
Şekil 2.5: Bölgelere ayrılmış hücreli sistem.

### 2.5.1.2 İstatistiksel yaklaşım

Bir kablosuz cihazın baz istasyonları ile kurduğu etkileşim, zamanın istatistiksel olarak modellenmesiyle de incelenebilmektedir. Kullanıcıların baz istasyonlarının kapsama alanına girdiği ortalama süre matematiksel modeller ile uyumludur. Fiziksel olarak bir hesaplama yapmadan istenilen değerlere ulaşılabilir. Baz istasyonlarının her bir kullanıcı ile etkileşim süreleri hesaplanabilmektedir. Şekil 2.5’de olduğu gibi baz istasyonlarının kapsama alanları, sistemin sahip olduğu toplam alanın eşit parçalara ayrılması ile oluşturulabilir. Bu alanlar altıgen şeklini de alabilmektedir. Beş tane baz istasyonu ve üç tane kullanıcının olduğu bir sistem için oluşturulan zaman çizelgesi Şekil 2.6’de gösterilmiştir. Toplam süre 10 saniye olarak alınmıştır. Bu yöntem çok fazla kullanıcının olduğu sistemlerde işlem kolaylığı da sağlamaktadır. kullanıcıların

yürümesini beklemeden baz istasyonları ile etkileşim süreleri bulunabilmektedir.

[19]'da bu yöntem hakkında yazılan bir makale bulunmaktadır. Büyük ve küçük olmak üzere iki farklı baz istasyonu çeşiti bulunmaktadır. Küçük baz istasyonları düzensiz bir şekilde sisteme yerleştirildikleri için, sadece büyük baz istasyonlarının etkisi altında olan bölgelerde işlem yapmak zorlayıcı olmaktadır. Sistemi bölgelere ayırarak bu zorluğu yenmişlerdir. Oluşturulan alanlar sadece büyük baz istasyonunu tarafından kapsanan ve hem büyük baz istasyonu hem de küçük baz istasyonları tarafından kapsanan olmak üzere iki çeşittir. Kullanıcılar bu bölgeler arasında rastgele atlayarak hareket etmektedir. Ortaya konulan yeni yöntemin, matematiksel yürüme modelleri ile uyumlu olduğu, yapılan hesaplamalar sonucunda doğrulanmıştır.



Şekil 2.6: Baz istasyonları için etkileşim süreleri.

### 2.5.1.3 Önbellekleme

Geri bağlantım üzerindeki veri transferinin en fazla olduğu zaman diliminde, daha önceden baz istasyonu hafızasına indirilmiş dosyaların kullanıcılara gönderilmesi, band genişliğinin daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Baz istasyonları kullanıcılara göre daha farklı özelliklere sahiptir. Kullanıcılar gezgin iken baz istasyonları konumlarını değiştirmezler. Kullanıcıların baz istasyonları ile etkileşim süreleri bulunduktan sonra, baz istasyonlarının hafızalarına dosyalar yerleştirilecektir. Etkileşim sürelerini belirlemek verimli bir sistem oluşturmak için büyük önem

oluşturmaktadır. Dosyaların baz istasyonu hafızasındaki konumu, performans analizi yapılırken büyük fark yaratabilmektedir.

Baz istasyonları kullanıcılara göre daha geniş kapsama alanına sahiptir. Bu sebeplerden dolayı, önbelleğe yerleştirilecek dosyalar cihazdan cihaza dosya alışverişine göre daha verimli olacaktır. Ayrıca, baz istasyonlarının kendi aralarında iletişim yapabildiği durumlarda verimlilik oldukça artar. Kapsama alanları değişiklik gösteren baz istasyonlarının bulunduğu heterojen ağlarda, kullanıcıların etkileşimleri de farklılık gösterecektir. Kapsama alanı daha geniş olan baz istasyonları, daha çok kullanıcı ile etkileşime girecektir.

Önbellekleme yapmadan önce kullanıcılar tarafından istenecek dosyaların olasılıkları matematiksel olarak bulunmalıdır. Her bir dosyanın kendine özel olasılık değeri olmalıdır. Bu sebepten dolayı Zipf dağılımı kullanılır. Baz istasyonları ile iletişim kurulurken dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan birisi ise İşaret Girişim ve Parazit Oranı'dır (SINR).

Kullanıcılar arasındaki dosya alışverişinde olduğu gibi, bazı dosyalar kısa bir zaman diliminde, önemli bir talep artışı yaşamaktadır. Kullanıcılar bu dosyalara ulaşmak isteyeceklerdir. Bu talebi karşılamak için baz istasyonlarının hafızalarına ilgili dosyalar önceden yerleştirilebilir. Bu sayede kullanıcılar istedikleri dosyalara, geri bağlanım üzerinde trafik oluşturmadan ulaşabileceklerdir. Zipf dağılımından elde edilen olasılık değerleri sayesinde yerleştirilecek popüler dosya sayısı belirlenebilir. Bu yöntem daha önceki gibi, MPC yöntemi denilebilir. Sistemde bulunan en yüksek olasılığa sahip dosyalar baz istasyonlarının hafızasına yerleştirilir. Bu yerleştirme yöntemi etkileşim sürelerinden bağımsız olarak kullanılmaktadır.

Kullanılabilecek bir diğer önbellekleme yöntemi ise uniform dağılımdır. Dosya talepleri yine Zipf dağılımına sahip iken baz istasyonu hafızasına yerleştirilecek dosyayı seçerken kullanılacak olan olasılık dağılımı uniform olacaktır. Bu önbellekleme yönteminde dosya çeşitliliği artarken, yerleştirilen yüksek olasılığa sahip dosyaların sayısı azalmaktadır. Bu sebepten dolayı, performans verimliliği yeterli seviyede olamayacaktır.

Bu iki yöntemi daha verimli hale getirmek amacıyla kullanıcılar ile baz istasyonları

arasındaki etkileşim süreleri ve kullanıcıların dosya talep istatistikleri kullanılarak eniyileme yapılabilmektedir. Eniyilemenin yanında stokastik geometri ve oyun teorisi yöntemiyle de önbellekleme yapılabilmektedir. Kullanıcıların dosya istekleri doğrultusunda en uygun dosya konumları belirlendikten sonra, istenilen performans analizleri ile sistemin verimliliği incelenebilmektedir.

#### **2.5.1.4 Hücrel önbellekleme konusuyla ilgili çalışmalar**

[20]'de sadece baz istasyonları ve gezgin kullanıcılar bulunmaktadır. Bu makale, sistemde bulunan dosyaların, baz istasyonlarının hafızasına yerleştirilirken ortaya çıkan problemleri temel almaktadır. Bütün sistemi kapsayan, diğer baz istasyonlarından ayrılmış bir adet büyük baz istasyonu da bulunmaktadır. Eğer kullanıcılar istedikleri dosyalara belli bir zaman aralığında ulaşamazsa, geri kalan dosyaları büyük baz istasyonundan istemektedir. Kullanıcılar ayrık zaman markov zincir modeline göre hareket etmektedir. Gerçek hayattan elde edilmiş yürüme rotaları ile de hesaplamalar yapılmıştır ve bulunan algoritmanın klasik en popüler dosyanın yerleştirildiği yönteme göre performans artışı sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca oluşturulan algoritma, baz istasyonlarının etki ettiği alanlar üst üste binse bile verimli çalışmaktadır.

[21]'de dosyaların ortalama indirilme süresini en aza indirmek amacıyla, en uygun önbellekleme yöntemi araştırılmaktadır. Sistemde bulunan küçük baz istasyonları dosya tutabilme özelliğine sahiptir. Baz istasyonları ile kullanıcıların etkileşimleri için iki parçalı graf kullanılmıştır. Kullanıcılar istedikleri dosyalara ulaşamazlar ise, büyük hücrel baz istasyonlarından talep etmektedir. Ayrıca, fountain kodlama ile hiç kodlama yapılmayan durum arasındaki fark gözlemlenmiştir. Kodlama yapılmamış problemin zorluğu NP-hard olduğu için, açgözlü algoritma kullanılarak çözüm yoluna ulaşılmıştır. Kodlama yapılmış durum için ise konveks programlama kullanılmıştır . Lineer programlamaya uygun hale dönüştürüldükten sonra istenilen sonuca ulaşılabilir.

[22]'de iki seviyeli mimariye sahip heterojen sistem için gecikme analizi yapılmış ve farklı değişkenlerin gecikme süresine etkisi incelenmiştir . Sistem elemanları PPP ile

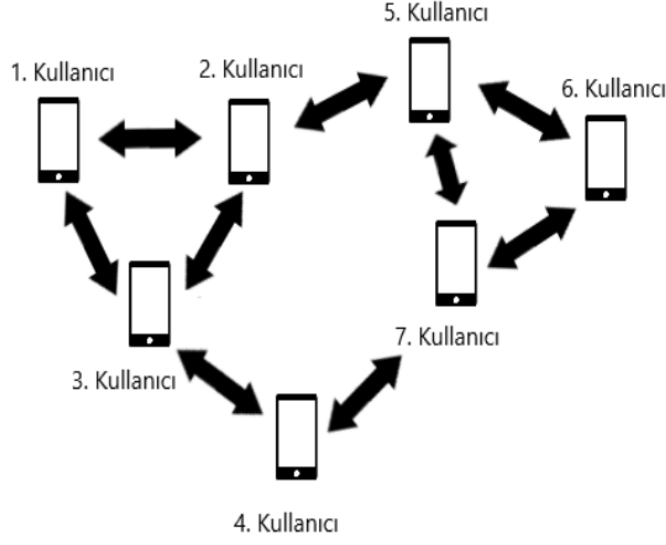
dağıtılmıştır. Üç farklı dosya talep modeli kullanılmıştır. Bunlar fixed content popularity, distance-dependent popularity ve load-dependent modelleridir. Fixed modelinde dosya popülerliği bütün kullanıcı için aynıdır. Distance-dependent için, dosya popülerliği kullanıcılar ile küçük baz istasyonları arasındaki mesafeye göre değişmektedir. Load-dependent modelinde ise, kullanıcıların dosya talepleri küçük baz istasyonlarının sahip oldukları dosyalara bağlıdır. Küçük baz istasyonlarında yapılan önbellekleme, kullanıcıların istedikleri dosyalara ulaşmasında harcadığı ortalama süreyi olumlu yönde etkilemektedir.

[23]'te individual yürüme modeli üzerine bir çalışma bulunmaktadır. İnsan davranışlarının ve gruplarının oluşturulan yürüme modelinde yeri oldukça önemlidir. Individual yürüme modeli bu özellikleri kullanırken diğer yürüme modellerine göre farklılık yaratmaktadır. Baz istasyonlarının konumlandırılması için PPP kullanılmıştır. Kullanıcıların davranışlarını kullanan, ilk 5G kablosuz sistemi hakkında yazılan makaledir. Küçük baz istasyonları sabit kullanıcılar, büyük baz istasyonları hareketli kullanıcılar ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Böyle bir ayırımın yapılmasıyla birlikte, küçük baz istasyonlarının daha iyi konuşlandırılması için gözlem yapılabilme imkanı ortaya çıkmıştır.

### **2.5.2 Cihazdan cihaza önbellekleme ve cihazlar arası etkileşim**

Kullanıcıların sahip olduğu iletişim araçlarının, sadece kendi arasında veri alışverişi yapabildiği sisteme, cihazdan cihaza dosya alışverişi denilmektedir. Bu sistemde, baz istasyonlarının dosya depolama özellikleri bulunmamaktadır. Baz istasyonlarının sahip oldukları özellikler klasik baz istasyonları ile tıpatıp aynı olmaktadır. Eğer kullanıcılar istedikleri dosyaların tamamına diğer kullanıcılar üzerinden belli bir süre içerisinde ulaşamazlarsa, baz istasyonlarını kullanarak geri bağlanım yoluyla eksik dosyaları tamamlamaktadır. Kullanıcıların hafızaları, geri bağlanım üzerindeki veri yükünü azaltmak amacıyla kullanılması istenmektedir. Kullanıcıların birbirleri ile etkileşimde bulunmaları için birbirlerine yeterince yakın olmaları gerekmektedir. Bu yöntemin asıl avantajı ise, kullanıcılar gezgin oldukları için, pek çok kullanıcı ile iletişim halinde olabilmektedir. Bu sistemin topolojisi Şekil 2.7'te gösterilmiştir. Bütün mobil haberleşme aletleri etkileşim halindedir, baz istasyonları dosya

alışverişine müdahil olmamaktadır.



Şekil 2.7: Cihazdan cihaza (D2D).

Kullanıcıların kendi arasında yaptığı etkileşimler bu başlık altında incelenecektir. Kullanıcılar gezgin olmalarından dolayı sistemdeki topoloji sürekli değişmektedir ve birbirleri arasındaki etkileşim süreleri de baz istasyonlarına göre farklılık göstermektedir. Etkileşim sürelerini matematiksel olarak hesaplamak ve buna en uygun önbellekleme yöntemini belirlemek çok önemlidir. İnsanların birbirleri ile etkileşim sürelerini hesaplamak için yapılan işlemler, fiziksel modeller ile uyumlu olmalıdır. Bu veriler ışığında, daha çok etkileşime sahip olması muhtemel kullanıcıya, yüksek olasılıkla talep edilmesi beklenen dosyalar yerleştirilmelidir. Etkileşim sürelerini hesaplamak için iki farklı bakış açısı kullanılabilir [17]. Bunlar, fiziksel bir sistemde kullanıcıların yürüdüğü ve her birinin koordinat sistemindeki konumlarının kaydedildiği uzamsal yaklaşım ile insan davranışlarının araştırılması ile ortaya konulmuş istatistiksel modellerin kullanıldığı istatistiksel yaklaşımdır. Her ikisinin de kendine ait avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Amaç fonksiyonu hesaplamalarının yapılabilmesi için öncelikli olarak etkileşim süreleri hesaplanmalıdır.

- Uzamsal yaklaşım
- İstatistiksel yaklaşım

### 2.5.2.1 Uzamsal yaklaşım

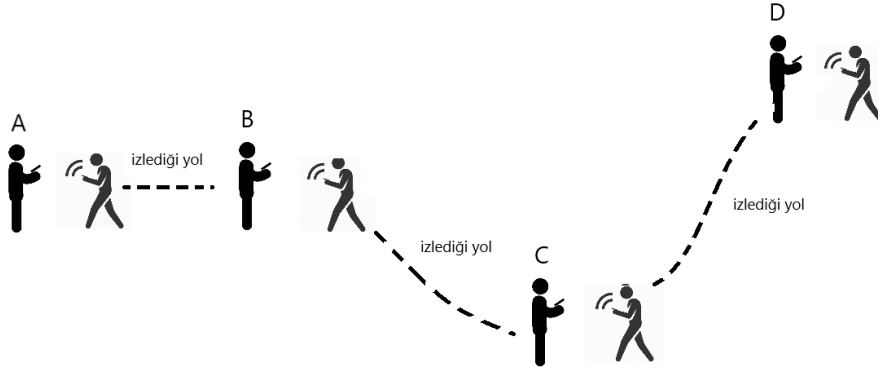
Mobil haberleşme sistemlerinde, kullanıcılar genellikle gezgindir. Gezginlik, fiziksel hareketi açıklayacak şekilde rastgele yön modeli, Brown hareketi, Lévy uçuş modeli vb. modellerle hesaplanabilir ancak kullanıcıların birbirleri arasındaki etkileşim sürelerini bulmak için yetersiz kalabilmektedir. Bu sebepten dolayı, daha kapsamlı hesaplamalar yapılmalıdır. Kullanıcıların takip ettikleri yürüyüş rotaları sosyal alışkanlıkları ile benzerlik göstermektedir [24]. İşe giden bir yetişkin ya da okula giden bir öğrenci hafta içi her gün aynı rotayı takip etmektedirler. İnsanların kullandıkları yürüyüş rotaları, önceden doğru bir şekilde tahmin edilebilirse, önbellekleme yapmak amacıyla etkileşim süreleri rahatlıkla hesaplanabilmektedir. Ayrıca, benzer alışkanlıkları olan insanlar çevresi ile benzer etkileşimlerde bulunurlar. Çok fazla kullanıcının bulunduğu sistemlerde bütün herkesin yürümesi ve elde edilen verilerin işlenmesi oldukça zaman almaktadır. Kullanıcıları gruplar halinde düşünerek, farklı gruplar arasındaki etkileşim miktarları da hesaplanabilmektedir. [25]. Etkileşim miktarlarını bulurken jeolojik altyapı da önemlidir. Dağlık bir bölgede yaşayan insan ile deniz kenarında yaşayan birisinin etkileşim süreleri farklı olacaktır. Hesaplama yaparken bu durum da dikkate alınmalıdır.

[26]'da, kullanıcıların sosyal davranışları incelenerek çıkartılan etkileşim modelinin, çevresel faktörleri yeterince önemsemediği ortaya konulmuştur. Bu eksiği kapatmak amacıyla böyle bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Makalede bulunan algoritmanın amacı, olabildiğince fazla dosyayı, alıcıya yoğunluk yaratmadan gönderebilmektir. Bu sebepten dolayı daha gerçekçi bir kullanıcı rotası bulunması amaçlanmaktadır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde farklı yürüme modellerinin kullanıldığı veya etkileşim sürelerinin hesabı için matematik modeller kullanıldığı gözlemlenmiştir. [27]'de random waypoint ve random direction yürüyüş modelleri incelenmiştir. Kullanıcıların kendi arasında veya baz istasyonları ile yaptığı etkileşim süreleri istatistiksel olarak doğrulanmaya çalışılmıştır. Bu makalenin uzamsal ve istatistiksel yaklaşım arasında bir köprü kurduğu söylenebilir.

Uzamsal yaklaşım kullanılarak sistem modeli oluşturulmak istenilirse, ortaya çıkacak yaklaşım Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Bireysel mobil kullanıcı, yürüme rotası üzerinde

karşılaştığı farklı kullanıcılardan istediği dosyayı talep etmektedir. Bu sistemde bulunan bütün kullanıcılar fiziksel olarak koordinat sistemlerine sahiptir.



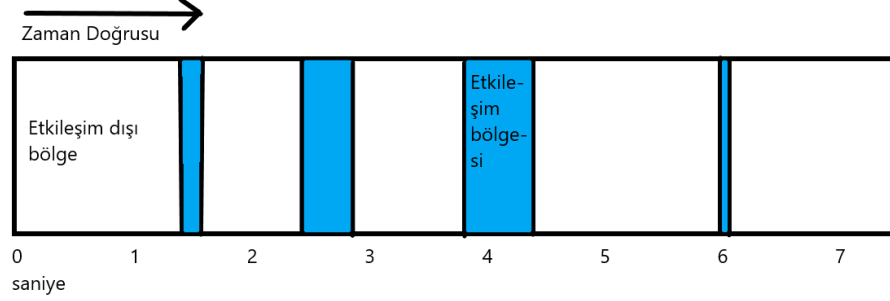
Şekil 2.8: Yürüme modeline sahip kullanıcının etkileşimleri.

### 2.5.2.2 İstatistiksel yaklaşım

İki kablosuz cihazın birbirleriyle kurduğu etkileşim, zamanın istatistiksel olarak modellenmesiyle de incelenebilmektedir. Kullanıcıların birbirleri arasındaki etkileşim süreleri matematiksel modeller ile uyumludur. Uzamsal yaklaşım yönteminde kullanılan fiziksel hesaplama yöntemleri kullanılmadan, istenilen değerlere ulaşılabilir. İki kullanıcının birbirleri arasındaki etkileşim süreleri veya etkileşimde olmadıkları zaman dilimleri, sayısal olarak hesaplanabilmektedir. Bir kullanıcının zaman doğrusu üzerinde ne zaman etkileşime girdiği ya da girmediği bulunabilmektedir. Bir kullanıcı için oluşturulan zaman çizelgesi Şekil 2.9'de gösterilmiştir. Mavi kısımlar başka bir kullanıcı ile etkileşimde bulunduğu zaman dilimini belirtmektedir. Bu zaman çizelgesini çıkarmak için Poisson gibi matematiksel dağılımlar kullanılabilir[28]. Poisson dağılımı için düşünülürse, belli bir lambda sabiti için kullanıcı sayısı dikkate alınarak sayısal değerler bulunmaktadır. Bulunan bu değerler önceden belirlenmiş tolere edilebilir zaman sınırı ile çarpılarak etkileşim süreleri hesaplanabilmektedir. İstatistiksel yaklaşım yöntemi çok fazla kullanıcının olduğu sistemlerde işlem kolaylığı da sağlamaktadır. Tek bir matris üzerinden bütün kullanıcıların etkileşim süreleri bulunabilmektedir. Belli bir



süre geçtikten sonra ise, mevcut lambda değeri güncellenmelidir. Bu değişim sayesinde, sistemde oluşabilecek değişimlere karşı uyum sağlanabilecektir.



Şekil 2.9: Kullanıcının etkileşim sürelerini gösteren çizelge.

### 2.5.2.3 Önbellekleme

Kullanıcıların birbirleri arasındaki etkileşim süreleri bulunduktan sonra yapılması gereken, geri bağlanım üzerinde bulunan dosyaları mobil cihazların hafızasına yerleştirmektir. Her bir kullanıcının sınırlı sayıda dosya kapasitesi bulunması sebebinden dolayı, en fazla etkileşimde bulunması beklenen kullanıcılara yerleştirilecek dosyaları seçmek, en büyük karar verici faktör olacaktır. Verimli ve düzgün çalışan bir sistem oluşturabilmek için, önbellekleme aşaması büyük önem oluşturmaktadır. Dosyaların kullanıcı hafızalarındaki konumları, performans analizi yapılırken büyük fark yaratabilmektedir.

Önbellekleme aşamasına geçilmeden önce kullanıcılar tarafından istenecek dosyaların talep olasılıkları matematiksel olarak modellenmelidir. Her bir dosyanın kendine özel olasılık değeri olmalıdır. Yapılan araştırmalar sonucunda Zipf dağılımı ortaya çıkmıştır.

Önemli bir maç oynandıktan ya da çok izlenen bir televizyon programı yayınlandıktan sonra insanlar önemli anları tekrar izlemek ister. Bu sebepten dolayı, bazı zaman dilimlerinde bazı dosyalar için önemli bir talep artışı oluşmaktadır. Bu

talebi karşılamak için iletişim cihazlarının hafızalarına ilgili dosyalar önceden yerleştirilebilir. Bu sayede kullanıcılar istedikleri dosyaların tamamına veya belli bir kısmına, iletişim ağlarını (geri bağlantım) kullanmadan hızlı bir şekilde ulaşabilir. Zipf dağılımından elde edilen olasılık değerleri sayesinde yerleştirilecek popüler dosya sayısı belirlenebilir.

En çok talep edilmesi beklenen dosyaları belirledikten sonra, bu dosyaları direkt olarak yerleştirmeye most popular content (MPC) yöntemi olarak isim verilmiştir. Sistemde bulunan en yüksek olasılığa sahip dosya, kullanıcı hafızasına yerleştirilir. Eğer yer varsa ikinci en çok istenen dosya yerleştirilir. Bu yerleştirme yöntemi hafızada yer kalmayınca kadar devam eder. Bu yerleştirme yöntemi diğer kullanıcılar için ayrıca tekrarlanmaktadır.

Kullanılabilecek bir diğer önbellekleme yöntemi ise uniform dağılım olarak adlandırılmaktadır. Bu önbellekleme yönteminde bütün dosyalar rastgele olarak yerleştirilir. Talep edilme olasılıkları yerleştirme yapılırken dikkate alınmamaktadır. Yerleştirilecek olan dosya seçilirken, bütün dosyalar eşit olasılık ile seçilmektedir. Dosya talepleri yine Zipf dağılımına sahip iken kullanıcı hafızasına yerleştirilecek dosyayı seçerken kullanılacak olan olasılık dağılımı uniform olacaktır. Bu iki farklı olasılık dağılımı karıştırılmamalıdır. Uniform dağılım kullanılarak yapılan önbellekleme yönteminde dosya çeşitliliği artarken, yerleştirilen yüksek olasılığa sahip dosyaların sayısı azalmaktadır.

Bu iki yöntemi daha verimli hale getirmek amacıyla, kullanıcıların yürüme rotaları kullanılabilir [29]. Kullanıcıların birbirleri arasındaki etkileşim süreleri istatistiksel olarak tahmin edilebilmektedir. Çevresindeki kullanıcılar ile en çok etkileşimde bulunan mobil haberleşme aletinin hafızasına en çok istenilen dosyalar yerleştirilebilir. Az miktarda kullanıcının olduğu bir sistemde kullanıcı hafızalarına tek tek yerleştirme yapılabilirken, kullanıcı ve dosya miktarının artmasıyla beraber eniyileme algoritmalarının kullanılması gerekmektedir. Gerçek hayattaki kısıtlar direkt olarak kullanılamaz çünkü lineer özellik taşımamaktadır. Eniyileme algoritmasının kullanılması için lineer bir sistem modeli oluşturulmalıdır. Gerekli düzenlemeler yapıp, sistemin amaç fonksiyonu ve kısıtları belirlendikten sonra önbellekleme yapılacak dosyalar rahatlıkla bulunabilmektedir.

#### 2.5.2.4 Cihazdan cihaza önbellekleme konusuyla ilgili çalışmalar

[28]'de kullanıcıların istedikleri dosyaların ne kadarına ulaşabildikleri tespit edilmektedir. Bu oranı arttırmak amacıyla gezginlik özelliği dikkate alınmıştır. Dosyalar fountain kodlama ile tekrardan düzenlenmiştir. Problemin kendisi NP-hard olduğu için dinamik programlama ve böl ve feth et algoritması kullanılmıştır. Bu hesaplamalar tamamlandıktan sonra ise, greedy algoritması ile daha etkili bir çözüm bulunması amaçlanmıştır. Kullanıcıların etkileşimleri için poisson süreci kullanılmıştır ve eklemek gerekirse, poisson katsayısını belirlerken gerçek hayattan elde edilmiş veriler dikkate alınmıştır. Hız olarak yavaş kullanıcıların, en popüler dosyaları hafızasına almaya daha meyilli oldukları çünkü, diğer kullanıcılar ile daha az etkileşime girdikleri için istedikleri dosyalara ulaşamayacakları tespit edilmiştir. Hızlı kullanıcılar için de aynı talepler geçerlidir ancak bu sefer daha fazla kullanıcıya kendi dosyalarını dağıtma amaçları vardır. Orta hızlı kullanıcılar ise, düşük talep edilmesi beklenen dosyaları istemektedir.

[30], [31], [32]'de inter-contact time üzerine çalışmalar yapılmıştır. ilk olarak [30]'daki makale incelenirse, iki farklı inter-contact time dağılımının karşılaştırıldığı görülebilir. Oluşturulan model fırsatçı ağlar üzerine kurulmuştur. Heterojen ağ olabilmesi amacıyla her bir çiftin sahip olduğu dağılım modeli aynı kalırken, parametreleri değişmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, hangi dağılımın hangi matematiksel dağılımlar ile uyumlu olduğu bulunmuştur. [31]'de ise, inter-contact time için yeni bir yaklaşım bulunduğu söylenmiştir. Oluşturulan yöntem yine fırsatçı ağlar üzerine kurulmuştur. Burada üç farklı inter-contact time dağılımı birbirleri ile karşılaştırılmıştır. En sonunda gerçek hayattan toplanmış veriler ile karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, sadece etkileşim oranı ve düğüm sayısının kullanıldığı basit bir yaklaşım ortaya çıkmıştır. [32]'de ise, aggregate inter-contact time modeli incelenmiştir. Bu paragraf içerisinde özetlenen diğer makaleler gibi fırsatçı ağlar üzerinde çalışılmıştır. Üç farklı inter-contact time dağılımının, analitik modellere ne kadar bağlı olduğu incelenmiştir. Bu bağımlılığın incelenmesinin oldukça önemli bir başlık olduğu belirtilmiştir. Heterojenlik kavramı oluşturulan sistemde büyük önem arz etmektedir.

[33]'de kullanıcıların sosyal alışkanlıkları incelenmiştir. Mobil cihazlar arasında oluşan bağlantı, aynı zamanda kullanıcılar arasında da oluşmaktadır. Burada yapılan çalışma antropolojik çalışmalardan elde edilmiş insan davranış modellerini temel almaktadır. Kullanıcılar arasında olan etkileşim sürelerine yoğunlaşmıştır. Kullanılan yaklaşımın farklı matematiksel dağılımlara göre oluşturduğu sonuçlar bulunmuştur ve uygun olan yakınsama durumları tespit edilmiştir. Bulunan nümerik sonuçlarda, toplam etkileşim içinde bulunulan zaman toplamına karşı tamamlayıcı birikimli dağılım fonksiyonu hesaplanmaktadır.

[34]'de maliyet analizi yapılmaktadır. Haberleşme sektörüne yatırım yapacak firmalar için maliyetler, en önemli kısıtlardandır. Bir kullanıcının istediği dosyayı baz istasyonundan ya da başka bir gezgin kullanıcıdan istemesi farklı maliyetlerde olacaktır. Dosyaların popülerliğini dikkate alarak yapılan önbellekleme, genellikle en iyi yöntem olamayabilir. Bu sebepten dolayı gezginliği kullanarak yeni bir yaklaşım ortaya konulmuştur. İki aşamalı bir çözüm yöntemi vardır. Eniyi altı çözüm ve emiyi çözüm bulunmaktadır. En iyi çözümü bulmak için iki farklı algoritma kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar en son kısımda birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kullanıcıların birbirleri ile yaptığı etkileşimler poisson dağılımı ile hesaplanmaktadır. Dosya talep olasılıkları Zipf dağılımı ile tanımlanmıştır.

[35]'te ise, gecikme analizi yapılmaktadır. Kullanıcıların etkileşimleri poisson dağılımı ile tespit edilmektedir. Dosyaların talep olasılıkları her zamanki gibi Zipf dağılımına uygundur. İki aşamalı bir çözüm yöntemi bulunmaktadır. İlk aşamada eniyi altı çözüm noktası lineer optimizasyon kullanılarak bulunmaktadır. Eniyi altı olarak adlandırılmasının nedeni, amaç fonksiyonunun doğrusallaştırılması sonucunda oluşan farktır. Buradan bulunan değerler, doğrusal olmayan fonksiyonun içerisine yazılırsa olurlu bölgede bir sonuca ulaşılacaktır. Ayrıca, bu makalede kodlama konusuna da değinilmiştir. En sonunda ise, bulunan eniyi altı çözüm ve emiyi çözüm, diğer önbellekleme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

[36]'da fixed point fırsatçı dağıtım modeli için performans analizi yapan bir makale bulunmaktadır. Sistemde bulunan düğümler gezgindir. Kapsama alanına girdiklerinde diğer düğümler ile iletişim kurabilirler. Mesajların iletilmesi için gereken süreyi minimize etmek amacıyla oluşturulan algoritma oluşturulmuştur. Etkileşim modelini

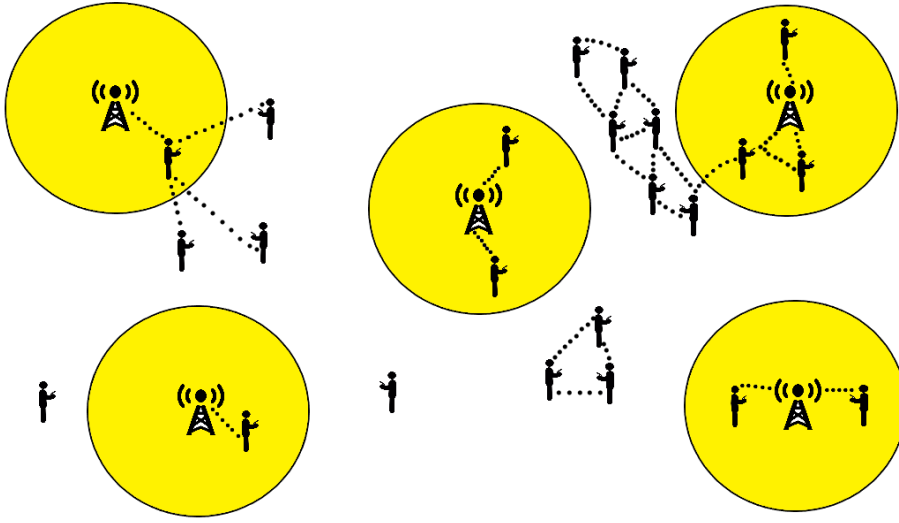
oluşturmak için bağımsız poisson süreci kullanılmıştır.

[37]'de iki kullanıcı arasında dosya alışverişi için geçen ortalama süre hesaplanmak istenmiştir. Kullanıcılar PPP ile sistem üzerine dağıtılmıştır. Farklı iletim modelleri için karşılaştırma yapılmıştır. Hızlı hareket eden bireyler için geikme süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Burada kullanılan gecikme süresinin tanımı, benim ileride yapacağım çalışmadaki tanımdan farklıdır.

### **2.5.3 İki seviyeli mimariye sahip heterojen sistemde önbellekleme ve etkileşim**

Kullanıcıların hem kendi aralarında hem de baz istasyonları ile etkileşimde bulunduğu sistem modelidir. Bu sistemi hafızasında dosya tutabilme özelliğine sahip baz istasyonları ile kullanıcılar oluşturmaktadır. Kullanıcılar istedikleri verilere, hem yakınındaki kullanıcılardan hem de kapsama alanına girdiği baz istasyonlarından ulaşabilir. İki seviyeli mimariye sahip sistemlerde kullanıcıların istedikleri dosyalara ulaşması için daha çok fırsat bulunmaktadır. Eğer kullanıcılar istedikleri dosyalara belli bir süre zarfında ulaşamazlarsa, geri bağlanım yoluyla ulaşmaya çalışacaklardır. Önbellekleme yapılırken kullanıcıların ve baz istasyonlarının etkileşimleri çok önemlidir. Önbellekleme için hangi dosyaların yerleştirileceği aşamasında karar vermeden önce, etkileşim süreleri göz önünde bulundurulmalıdır. Daha önceki kısımlarda kullanılan uzamsal ve istatistiksel yaklaşımlar iki seviyeli mimari için de geçerlidir. Bu sistemin topolojisi Şekil 2.10'te gösterilmiştir.

Kullanıcıların baz istasyonları ve kendi aralarında yaptığı etkileşimler ayrı ayrı hesaplanabilmektedir. Uzamsal veya istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak sistemdeki toplam etkileşim süreleri bulunabilmektedir. Bu makaledeki çalışmalarda kullanıcılar aynı anda, hem baz istasyonları hem de çevresindeki insanlar ile etkileşimde bulunabileceklerdir. Kullanıcıların ve baz istasyonlarının etkileşim süreleri birbirlerinden farklı olması için, farklı katsayılar üzerinden etkileşim süreleri hesaplanmalıdır [16].



Şekil 2.10: İki seviyeli mimari sistemde iletişim kanalları.

### 2.5.3.1 Önbellekleme

Etkileşim süreleri her bir kullanıcı ve baz istasyonu için hesaplandıktan sonra, önbellekleme kısmına geçilebilir. Baz istasyonları kullanıcılara göre daha fazla kapsama alanına sahiptir. Bu sebepten dolayı daha çok kullanıcı ile etkileşime girmektedir. Dosyaları yerleştirirken MPC ve uniform dağılıma sahip rastgele önbellekleme yöntemleri kullanılabilir. Bu iki yerleştirme yöntemi etkileşim sürelerini dikkate almadığı için, yeterince verimli olamayacaklardır. Verimli bir sistem oluşturabilmek için, eniyileme kullanılarak, etkileşim sürelerine göre önbellekleme yapılmalıdır. Dosyaların istenme olasılıkları Zipf dağılımına göre elde edilebilir. En çok istenen dosyalar, en çok etkileşim alan sistem elemanlarının hafızasına yerleştirilmelidir.

### 2.5.3.2 İki seviyeli mimariye sahip heterojen sistemde önbellekleme konusuyla ilgili çalışmalar

[38]'de ise iki seviyeli mimariye sahip bir sistem için kullanıcılara dosyalara ulaşabilme olasılığı hesaplanmıştır. Buna ek olarak; önbellekleme, gezginlik ve kodlama kazançları incelenmiştir. Kullanıcıların birbirleri ile yaptığı etkileşimler ve farklı kişiler ile karşılaşma sıklıkları modellenmiştir. Buradan bulunan veriler

kullanılarak, kullanıcıların istedikleri dosyalara ulaşabilme yüzdesi ve kodlanmış önbellekleme şeması hesaplanmıştır. Yapılan işlemler sonucunda hem hesaplama hem de gezginlik kazancı sağlanmıştır. Kullanıcılar ve baz istasyonları farklı katsayılara sahip PPP modelleri ile konumlandırılmıştır. Dosya talep olasılıkları Zipf dağılımı ile uyumludur. Kodlama olarak, fountain kodlama kullanılmıştır. Ayrıca, kullanıcıların sahip olduğu gezginlik özelliği sadece gezginlik kazancı değil hesaplama kazancı da sağlamaktadır. Dosyaları hafızalara yerleştirmeden önce yapılan kodlama işlemi de, hesaplama kazancına önemli derecede katkı sağlamaktadır.

[39]'da enerji verimliliği üzerine bir çalışma bulunmaktadır. Bu sistem içerisinde büyük baz istasyonları, küçük baz istasyonları ve hafızalı kullanıcılar bulunmaktadır. Amaç fonksiyonu olarak kullanıcıların dosyalara ulaşabilme oranı hesaplanmaktadır. Optimal önbellekleme yöntemi bulunduğundan sonra ise enerji tasarrufu kısmına odaklanılmıştır. Kullanıcıların baz istasyonları ile etkileşimleri ve kendi aralarında yaptığı etkileşimler için poisson süreci kullanılmıştır. İki durum için değişen tek şey, farklı katsayıların kullanılmasıdır. Bu makalede ortaya konulan algoritma, daha önce kullanılan algoritmalara göre daha verimlidir.





### 3. UZAMSAL YAKLAŞIM İLE SİSTEM ANALİZİ

#### 3.1 Amaç

Kullanıcıların verimli bir önbellekleme yapabilmeleri için baz istasyonları ya da diğer kullanıcılar ile yaptıkları etkileşimler doğru bir şekilde modellenmelidir. Gerçek hayattaki kullanıcı alışkanlıkları ile uyumlu olacak şekilde etkileşim süreleri tespit edilmelidir. Bu tespit etme işlemi yapmak için uzamsal veya istatistiksel yaklaşımlar kullanılabilir. Bu bölümde sadece baz istasyonlarının bulunduğu bir sistem için, uzamsal yaklaşım kullanılarak analizler yapılmıştır. Kullanıcıların dosyalara ulaşabilmesi için baz istasyonlarının kapsama alanlarına giriş yapması gerekmektedir.

Farklı yürüme modelleri için dosyalara ulaşma olasılıkları hesaplanmıştır. Yürüme modeli olarak rastgele yürüme modeli ve rastgele yön modeli incelenmiştir. Bu iki farklı yürüme modeline sahip kullanıcıların istedikleri dosyalara ulaşması için gereken yürüme miktarı bulunmak istenmektedir.

#### 3.2 Sistem Modeli

Oluşturulan sistemde, önbellekleme yapabilme özelliğine sahip baz istasyonları bulunmaktadır. Kullanıcılar kendi aralarında dosya alışverişi yapmamaktadırlar. Gezgin kullanıcılar, istedikleri dosyaları baz istasyonlarından sağlamayı hedeflemektedir. Ayrıca, bu çalışmada istatistiksel yerine uzamsal yaklaşım modeli kullanılmıştır. Kullanıcıların fiziksel koordinatları bulunmaktadır.

Kullanıcılar sistemin tam ortasından yürümeye başlamaktadırlar. Sistemin boyutu, kullanıcıların makul bir süre zarfında dışarısına çıkamayacağı kadar geniş olacak şekilde oluşturulmuştur. Eğer, talep ettikleri dosyaya  $A$  adımda ulaşamazlarsa, dosya, içerik servis sağlayıcısından getirilmektedir. Kullanıcılar her bir adımda  $F$  miktarda yol almaktadır. Eğer tek bir yönde gitmeye karar veren bir kullanıcı olursa, en fazla

yer değiştirme miktarı  $A$  ve  $F$  değerlerinin çarpımı kadar olacaktır. Sistemin boyutları belirlenirken bu değerden buyk olmasına dikkat edilmiştir.

Baz istasyonlarının sistem için uygun olan toplam miktarını ve konumlandırılacak yerlerini bulmak için Poisson nokta sureci kullanılmıştır [40]. Sistem boyutlarına uygun olarak en uygun konumlar bulunmuştur. Her bir baz istasyonunun kapsama alanı birbirine eşittir. Baz istasyonları arasındaki girişimden dolayı oluşabilecek etkileşim sorunlarını engellemek amacıyla SINR değerleri hesaplanmaktadır. Belli bir değerin altında kalan SINR değerine sahip bir kullanıcı, dosya alışverişi yapamamaktadır.

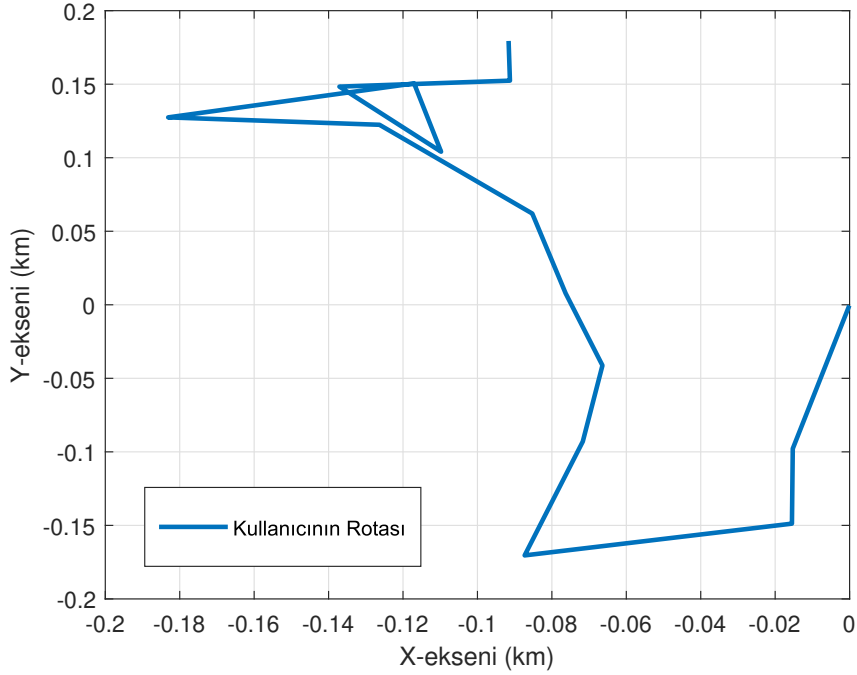
Kullanıcıların buldukları konumlar her attıkları adım sonrası tespit edilmektedir. Bulunduğu konum eğer bir baz istasyonunun kapsama alanı içerisinde ise, SINR değerine bakılmaktadır. SINR değeri belli bir seviyenin üzerinde ise baz istasyonu ile iletişime başlamaya hazır olacaktır. Buradan sonra incelenmesi gereken kısım ise, kullanıcı tarafından istenilen dosyanın baz istasyonunun hafızasında bulunup bulunmadığının tespit edilmesidir. Baz istasyonlarının hafızasına dosyalar, MPC yöntemine uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Baz istasyonlarının sahip oldukları kapasite sınırı dışında başka bir kısıt bulunmamaktadır. Kullanıcılar için ise Zipf dağılımına göre rastgele bir dosya istenmektedir. Her kullanıcı kendine özel bir dosya aramaktadır. Bu dosyayı buluncaya kadar yürümektedir. Bulduğu noktada ise durmaktadır.

### **3.3 Yürüme Modellerinin Karşılaştırılması**

Kullanıcılar iki farklı yürüme modeline sahiptir. İlk simülasyon ortamında rastgele yürüme modeli ile yürümektedirler. Kullanıcılar eşit adım mesafelerine sahiptirler. Sistemin boyutları kilometre cinsinden olduğu için,  $F = 0.0005$  olarak kabul edilmiştir. PPP modeli ile baz istasyonlarının konumları belirlenirken sistemin boyutları önem arz etmektedir. Kilometre cinsinden ya da santimetre cinsinden tanımlamalar yapılabilmektedir.

Attıkları her adım için, eşit olasılıkla bir yön belirlenmektedir. Bu yön seğme işlemi, her adım için tekrar edilmektedir. Kullanıcının en fazla atabileceği adım sayısı



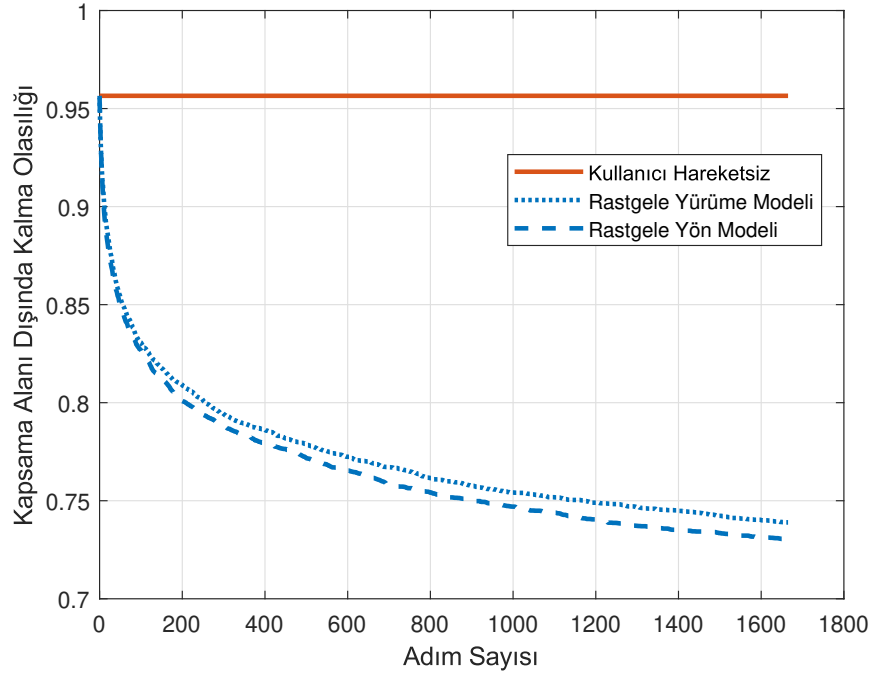


Şekil 3.2: Rastgele yön modelinin yürüme rotası.

$r = 900m$ . SINR hesabı bulunacağı için yol kaybı katsayısı,  $\alpha = 2$  olarak belirlenmiştir. Gürültü değeri olarak ise sabit bir değer alınmıştır,  $N_0 = 1$ . Sağlıklı bir dosya alışverişi olması için gereken en küçük SINR değeri ise 0.8 olarak tanımlanmıştır. Toplam dosya sayısı 150, baz istasyonlarının hazıfasında tutabileceği dosya miktarı ise 3 olarak seçilmiştir. Kullanıcıların dosyaları isteme olasılıkları ise Zipf dağılımı ile belirlenmektedir. Her bir kullanıcı tek bir dosya aramaktadır. Zipf parametresi 1.2 olarak kabul edilmiştir.

Bu değerler kapsamında yapılan simülasyonun amacı ise, kullanıcıların farklı yürüme modelleri için, kapsama alanlarına girdikten sonra istediği dosyaya ne kadar adım sonra ulaşabileceklerini tespit etmektir. Kullanıcı bir baz istasyonunun kapsama alanına girdikten sonra istediği dosyaya ulaşabilirse yürümeyi kesmektedir. Atılan adım sayısına göre, kapsama alanı dışında kalma olasılığını bulmak amacıyla yapılan benzetim sonuçlarına Şekil 3.3'ten ulaşılabilmektedir.

Şekil 3.3'teki grafik incelendiğinde, rastgele yön modelinin diğer yürüme modeline göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Sistemde kullanılan MPC önbellekleme yöntemi kullanılmıştır. Yürüme modellerinin sistem üzerindeki etkisi incelenmek istenmiştir. Rastgele yön modeli ile yürüyen bir kullanıcı daha fazla kapsama alanına



Şekil 3.3: Yürüme modellerinin karşılaştırması.

girmektedir. Yürüme süresi arttıkça, iki yürüme modeli arasındaki fark ortaya çıkmaktadır. Bu grafik üzerinden gezginliğin sistem verimliliği için önemi de ortaya çıkmaktadır. Hareketsiz duran kullanıcıların sadece %5'i istediklere dosyalara ulaşabilecekken, kullanıcılar hareket ettikten sonra ise bu oran %25'e kadar artmaktadır.



## **4. İKİ SEVİYELİ MİMARİYE SAHİP SİSTEMDE GECİKME ANALİZİ**

### **4.1 Amaç**

Haberleşme teknolojisi her geçen gelişmektedir. Bu gelişmeler sayesinde, insanlar istedikleri verilere kolay ve hızlı bir şekilde ulaşabilmektedir. Mobil ağlar günümüzde hafızasız baz istasyonları üzerinden geri bağlanım yoluyla haberleşme sağlamaktadır. Bu durum sürdürülebilir bir durum değildir. Bu yüzden ortaya önbellekleme teknolojisi sürülmüştür. Baz istasyonlarının hafızalarına ya da kullanıcıların sahip olduğu telefonlara istenilen dosyalar yerleştirilebilir. Bu iki sistem kendi başlarına oluşturulabileceği gibi birlikte de oluşturulabilir. Önbellekleme alanında yapılan pek çok çalışma bulunmasına rağmen, iki seviyeli mimariye sahip bir sistem için yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle bu iki sistemden sadece bir tanesinin bulunduğu sistem yapısı için yapılmaktadır. Ayrıca, yapılan az sayıdaki çalışmaların çoğu gecikme analizi içermemektedir. Daha önce iki seviyeli mimari için yapılmış çalışmaların çoğu, ulaşılabilecek en fazla dosya yüzdesini hesaplamayı amaçlamaktadır. Gecikme analizi yapan tek çalışma olan [22] ise kullanıcılar arasında dosya alışverişine izin vermemiştir. İki seviyeli mimari sistem tanımı farklı tanımlanmıştır. Farklı kapsama alanı boyutlarına sahip baz istasyonları ile oluşturulan sistem için gecikme analizi yapılmıştır. Bu tezde bulunan çalışmada ise, kullanıcılar kendi arasında dosya alışverişi yapabilirken, aynı zamanda önbellekleme özelliğine sahip baz istasyonları ile etkileşim halindedir. Ayrıca, bu çalışmada uzamsal yerine istatistiksel yaklaşım modeli kullanılmıştır.

### **4.2 Sistem Modeli**

Oluşturulan sistemde hem kullanıcılarda, hem de baz istasyonlarında önbellekleme yapılabildiği varsayılmıştır. Bu durum iki seviyeli mimari kapsamına girmektedir. Gezgin özelliğe sahip kullanıcılar, istedikleri dosyaları mümkün olduğunca birbirlerinden veya baz istasyonlarından sağlamayı hedeflemektedir. Eğer, talep

ettikleri dosyaya  $T$  süre zarfında ulaşamazlarsa, dosya, içerik servis sağlayıcısından geri bağlanım üzerinden getirilmektedir. Kullanıcılar mutlaka istedikleri dosyalara ulaşmaktadır.

Sistemde  $K$  tane kullanıcı bulunmaktadır. Bunlara ek olarak,  $B$  tane baz istasyonu olduğu kabul edilmektedir. Kullanıcıların her biri,  $K_i$ ,  $i \in \mathbb{K} = \{1, 2, \dots, K\}$  ile ifade edilmektedir. Benzer şekilde, baz istasyonlarının her biri  $B_b$ ,  $b \in \mathbb{B} = \{1, 2, \dots, B\}$  olarak ifade edilmektedir. Sırasıyla,  $i$ . kullanıcının önbellek büyüklüğü  $H_i$  ve  $b$ . baz istasyonunun önbellek büyüklüğü  $H'_b$  kadardır.

Kullanıcıların gezginliği istatistiksel yaklaşım kullanılarak modellenmiştir [17][35]. Kullanıcılar gezgin olduklarından zaman zaman birbirleriyle veya baz istasyonlarıyla bağlantı kurabilir, zaman zaman bağlantı kuramazlar. Bu durum buldukları konum ile ilgilidir.  $i$ . ve  $j$ . kullanıcıların bağlantı sayısı rastgele değişkenleri  $M_{ij}$  ve  $i$ . kullanıcı ile  $b$ . baz istasyonunun bağlantı sayısı rastgele değişkenleri  $M_{ib}$  ile gösterilmektedir.  $M_{ij}$  ve  $M_{ib}$ , parametreleri sırasıyla  $\lambda_{ij}T$  ve  $\lambda_{ib}T$  olan Poisson rastgele değişkenleridir.

Sistemde toplam  $D$  adet dosya bulunmaktadır. Her bir  $d$  dosyası,  $d \in \mathbb{D} = \{1, 2, \dots, D\}$ ,  $\bar{S}^d$  adet bölüme kodlanarak ayrılmıştır [41]. Bu bölütlerden, birbirinden farklı  $\underline{S}^d$  adet elde edildiğinde, ilgili  $d$  dosyasının kod çözümü yapılabilir.  $i$ . kullanıcının ve  $b$ . baz istasyonunun hafızalarında,  $d$  dosyasına ait sırasıyla  $x_{di}$  ve  $x_{db}$  adet bölüt vardır. İki kullanıcı veya bir kullanıcı ile bir baz istasyonu, başarılı bir bağlantı kurduklarında,  $C$  sayıda bölütün iletimi gerçekleşmektedir.

$i$ . kullanıcının,  $d$ . dosyayı talep etme olasılığı  $P_{id}$  ile ifade edilmektedir. Zipf dağılımı ile ifade edilmiştir. Dosyaların indirme süreleri, kullanıcıların bağlantı kurmak için bekledikleri zamana göre ihmal edilebilir mertebededir. Bu yüzden ihmal edilmiştir.  $i$ . kullanıcının kendi hafızasında bulunan veri miktarı ile birlikte diğer kullanıcılardan ve baz istasyonlarından topladığı toplam veri miktarı  $S_{di}$

$$S_{di} = \sum_{j \in \mathbb{K}, j \neq i} \min(CM_{ij}, x_{dj}) + \sum_{b \in \mathbb{B}} \min(CM_{ib}, x_{db}) + x_{di} \quad (4.1)$$

ile ifade edilmiştir.

Eğer  $S_{di} < \underline{S}^d$  durumunda ise,  $i$ . kullanıcı  $T$  süresi içinde  $d$  dosyasının kod çözümünü



yapamaz ve geriye kalan  $\underline{S}^d - S_{di}$  kadar bölüt, içerik servis sağlayıcısından getirilir. Bu durum isteyen bir ağ trafiği oluşturmaktadır. Sonuç olarak, verilen bir  $T$  süresi için ortalama ağ yükleme oranı  $R(\mathbf{X}, T)$

$$R(\mathbf{X}, T) = E \left\{ \frac{1}{K} \sum_{i \in K} \sum_{d \in D} P_{id} \frac{\max(\underline{S}^d - S_{di}, 0)}{\underline{S}^d} \right\} \quad (4.2)$$

olur. Burada,  $\mathbf{X}$ , kullanıcılarda ve baz istasyonlarında, her bir dosyanın bölütlerinden kaçar tane saklandığını gösteren, yani  $x_{di}$  ve  $x_{db}$  değerlerini tutan,  $(K + B) \times (\sum_{d \in D} \bar{S}^d)$  boyutunda bir matristir.  $E\{.\}$  ise beklenen değer operatörünü ifade etmektedir.

Bu aşamada hem kullanıcılarda, hem de baz istasyonlarında önbellekleme yapılan, iki katmanlı, heterojen bir gezgin ağ için, gecikmeyi en aza indiren önbellek yerleştirme problemi

$$\min_{\mathbf{X}, T} \quad T \quad (4.3a)$$

$$\text{s.t.} \quad R(\mathbf{X}, T) \leq R' \quad (4.3b)$$

$$\sum_{i \in K} x_{di} + \sum_{b \in B} x_{db} \leq \bar{S}^d, \quad d \in D \quad (4.3c)$$

$$\sum_{d \in D} x_{di} \leq H_i, \quad i \in K \quad (4.3d)$$

$$\sum_{d \in D} x_{db} \leq H'_b, \quad b \in B \quad (4.3e)$$

$$x_{di} \in \{0, 1, \dots, \underline{S}^d\}, \quad i \in K, \quad d \in D \quad (4.3f)$$

$$x_{db} \in \{0, 1, \dots, \underline{S}^d\}, \quad b \in B, \quad d \in D \quad (4.3g)$$

olarak tanımlanabilir (Problem 1).

Yukarıda (4.3b)'deki  $R'$ , sistemin kaldırabildiği en yüksek ağ yükleme oranıdır. Bu değer üzerindeki oranlar istenmemektedir. Bir  $d$  dosyası için, kullanıcılarda ve baz istasyonlarında tutulan toplam bölüt sayısı, o dosyanın bölüt sayısı  $\bar{S}^d$ 'yi geçemez (4.3c). Eğer, kullanıcıların ve baz istasyonlarının sayısı yeterince büyük olursa, bu kısıt, bir bölütün birden çok yerde saklanmaması ile eş anlamlıdır. Bu nedenle, bir kullanıcının, talep ettiği dosyanın bölütlerini toplarlarken, aynı bölüte birden çok defa

denk gelmesi mümkün değildir. Her bir kullanıcı ve her bir baz istasyonu da ancak kendi hafıza büyüklüğü kadar sayıda bölüt saklayabilir ((4.3d) ve (4.3e)). Ayrıca, kullanıcıların hoşgörebileceği en büyük gecikme değerinin  $T_{max}$  olduğu ve bu değer  $R'$  ağ yükleme oranını destekleyebilecek kadar büyük olduğu varsayılmaktadır.

**Kuram 1**  $R(\mathbf{X}, T)$  sürekli ve monoton azalan bir fonksiyondur.

*İspat.*  $T_1 < T_2$  olarak varsayılmıştır.

Bütün  $\mathbf{X}$  değerleri için

$$R(\mathbf{X}, T_1) - R(\mathbf{X}, T_2) = \frac{1}{K} \sum_{i \in K} \sum_{d \in D} \frac{P_{id}}{\underline{S}^d} (g(T_2) - g(T_1))$$

$$g(T) = E[\max(\underline{S}^d - S_{di}, 0)]$$

olarak bulunur. Burada  $E\{\cdot\}$  beklenen değer operatörünü ifade etmektedir.

$$g(T_2) - g(T_1) = \sum_{f=0}^{\underline{S}^d - 1} (\underline{S}^d - f) [Pr(S_{di}^2 = f) - Pr(S_{di}^1 = f)]$$

$\underline{S}^d = 1$  olursa,

$$\begin{aligned} g(T_2) - g(T_1) &= Pr(S_{di}^2 = 0) - Pr(S_{di}^1 = 0) \\ &= \prod_{j \in K, j \neq i} \exp(-\lambda_{ij} T_2) + \prod_{b \in B} \exp(-\lambda_{ib} T_2) - \prod_{j \in K, j \neq i} \exp(-\lambda_{ij} T_1) - \prod_{b \in B} \exp(-\lambda_{ib} T_1) < 0 \end{aligned}$$

eşitsizliği bulunacaktır. Bu durumu genellemek amacıyla,

$\underline{S}^d = k$  değeri için,

$$g(T_2) - g(T_1) \leq 0$$

olduğu varsayılmıştır.

$$g(T_2) - g(T_1) = \sum_{f=0}^{k-1} (k-f)[Pr(S_{di}^2 = f) - Pr(S_{di}^1 = f)] \leq 0$$

olacaktır.

$\underline{S}^d = k+1$  değeri için,

$$\begin{aligned} g(T_2) - g(T_1) &= \sum_{f=0}^k (k+1-f)[Pr(S_{di}^2 = f) - Pr(S_{di}^1 = f)] \\ &= \sum_{f=0}^k [Pr(S_{di}^2 = f) - Pr(S_{di}^1 = f)] + \sum_{f=0}^{k-1} (k-f)[Pr(S_{di}^2 = f) - Pr(S_{di}^1 = f)] \end{aligned}$$

Aynı sistem içerisinde,  $T_2$  süresinde toplanan bölüt sayısı  $T_1$  süresinde toplanan bölüt sayısından az olamaz. Yani,

$$\sum_{f=k+1}^{\bar{S}^d} Pr(S_{di}^2 = f) \geq \sum_{f=k+1}^{\bar{S}^d} Pr(S_{di}^1 = f)$$

Düzenlenirse,

$$1 - \sum_{f=0}^k Pr(S_{di}^2 = f) \geq 1 - \sum_{f=0}^k Pr(S_{di}^1 = f)$$

Buradan,

$$g(T_2) - g(T_1) \leq 0$$

olduğu gözlemlenebilir.

$$R(\mathbf{X}, T_2) \leq R(\mathbf{X}, T_1)$$

olduğu için sürekli ve monoton azalan bir fonksiyondur.

### 4.3 Çözüm Yöntemi

$R(\mathbf{X}, T)$  fonksiyonu, monoton azalan ve sürekli bir fonksiyondur. Belirlenmiş bir  $\mathbf{X}$  için,  $T$  değeri azaltılırsa bir süre sonra  $R'$  sınırı ihlal edilir. Bu yüzden, en uygun değer  $R(\mathbf{X}, T) = R'$  eşitliğinde sağlandığı varsayılmıştır. Bulunan  $\mathbf{X}$  ve  $T$  değerleri, ancak ve ancak kısıtları ihlal etmeden, istenilen  $R'$  değerinden küçük ya da eşit olduğu durumlarda geçerli olacaktır. Daha büyük değerler geçersizdir.

Yukarıda tanımlanan Problem 1 doğrusal olmadığı için, çözüm algoritması yaratmak oldukça zordur. Bu nedenle, öncelikle tanımlanan problemin ağ yükleme oranını en aza indiren eniyileme problemi (Problem 2) ile denk olduğunu tartışacağız. İkinci olarak, bu yeni probleme alt sınır oluşturan üçüncü bir problem (Problem 3) tanımlayacağız ve bu problemi çözen bir algoritma önerip üçüncü problemi çözeceğiz. Son olarak, bulduğumuz sonuç civarında arama yaparak, birinci probleme en iyi altı bir çözüm bulacağız.

Problem 2, verilen sabit bir  $T$  için ağ yükleme oranını en küçük yapan önbellek yerleştirme problemi

$$R^*(T) \triangleq \min_{\mathbf{X}} R(\mathbf{X}, T) \quad \text{s.t. (4.3c)-(4.3g)} \quad (4.4)$$

olarak tanımlanmıştır.

**Kuram 2**  $(\mathbf{X}^*, T^*)$  noktası, ancak ve ancak

$$\begin{aligned} T^* &= \arg \min_T \{R^*(T) = R'\} \\ \mathbf{X}^* &= \arg \min_{\mathbf{X}} R(\mathbf{X}, T^*) \quad \text{s.t. (4.3c)-(4.3g)} \end{aligned}$$

olarak hesaplanırsa, (4.3)'de tanımlı Problem 1'in eniyi çözüm noktasıdır.

*İspat.*  $R^*(T)$  fonksiyonu  $R(\mathbf{X}, T^*)$  gibi monoton azalandır. Hesaplanan  $R(\mathbf{X}, T^*)$  değeri ancak ve ancak  $R'$  değerine eşit olursa en iyi değer olacaktır. Daha büyük değerler (4.3b) kısıtına uygun olmaz. Daha küçük değerler ise, monoton azalan bir fonksiyon olduğu için bulunabilecek maksimum noktası olmayacaktır. En uygun  $T^*$  bulunduktan sonra ona en uygun  $\mathbf{X}^*$  değeri kısıtlara dikkat edilmesi şartıyla bulunabilir.

Ağ yükleme oranı fonksiyonunun içindeki beklenen değer ve maksimum alma işlemi, Problem 2'nin de çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu nedenle Problem 3

$$R_{alt}^*(T) \triangleq \min_{\mathbf{X}} R_{alt}(\mathbf{X}, T) \quad \text{s.t. (4.3c)-(4.3g)} \quad (4.5)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada  $R_{alt}(\mathbf{X}, T)$

$$R_{alt}(\mathbf{X}, T) = \frac{1}{K} \sum_{i \in K} \sum_{d \in D} P_{id} \frac{\max(\underline{S}^d - E\{S_{di}\}, 0)}{\underline{S}^d} \quad (4.6)$$

değerine eşittir.  $\max(\underline{S}^d - E\{S_{di}\}, 0) \leq E\{\max(\underline{S}^d - S_{di}, 0)\}$  önermesi her zaman doğru olduğundan,  $R_{alt}(\mathbf{X}, T) \leq R(\mathbf{X}, T)$  olacaktır. Bunlara ek olarak,

$$T_{alt}^* \triangleq \arg \min_T \{R_{alt}^*(T) = R'\} \quad (4.7)$$

$$\mathbf{X}_{alt}^* \triangleq \arg \min_{\mathbf{X}} R_{alt}(\mathbf{X}, T_{alt}^*) \quad \text{s.t. (4.3c)-(4.3g)} \quad (4.8)$$

şeklinde tanımlanmış olsun.

$R_{alt}(x, T)$  ile bulunan değerler,  $R(x, T)$  ile bulunan değerler karşılaştırılmalıdır. Büyük ya da küçük olduğu duruma göre çözüm algoritması geliştirilmelidir. Bu durumu kullanarak iki adımlı bir algoritma oluşturulabilir ancak öncelikle fonksiyonların birbirleri ile olan farkları çözümlenmelidir. Şu anki durumda en uygun değeri bulmak için kullanılacak, basit algoritmayı bulmak imkansızdır.

**Kuram 3**  $T_{alt}^* \leq T^*$ , yani  $T_{alt}^*$ ,  $T^*$  değeri için bir alt sınırdır. Fakat  $(\mathbf{X}_{alt}^*, T_{alt}^*)$  noktası, Problem 1'in olurlu bölgesinde değildir.

*İspat.* Kuram 2'ye göre  $(\mathbf{X}^*, T^*)$  noktası eniyi çözüm noktası olacaktır.  $R_{alt}(\mathbf{X}, T) \leq R(\mathbf{X}, T)$  olduğu için, bulunan değer daha küçük olacaktır.  $R(\mathbf{X}_{alt}^*, T_{alt}^*) \geq R^*(T^*) = R'$ , (4.3b) ihlal edilir.

Eğer  $\underline{S}^d$  ifadesi  $E(S_{di})$  ifadesinden küçük olursa,  $\max(\underline{S}^d - E(S_{di}), 0) = 0$  olacağı daha önce bulunmuştur.  $R_{alt}(x, T)$  ile bulunan değerler,  $R(x, T)$  ile bulunan değerlerden küçük ya da eşit olacaktır. Bu durumu kullanarak iki adımlı bir algoritma oluşturulabilir ancak öncelikle  $x$  değişkeni basitleştirilmelidir. Şu anki durumda en uygun değeri bulmak oldukça zordur.

Problem 3'ü çözmek için ikili değişken olan  $y_{di}^k$  ve  $y_{db}^k$  tanımlanmıştır. Bu değişkenin 1 değerini alması,  $i$  kullanıcısının ve  $b$  baz istasyonunun  $d$  dosyasına ait  $k$  tane bölüte sahip olduğunu ifade etmektedir. Örneğin,  $i$  kullanıcısının,  $d$  dosyasına ait 3 bölütü varsa  $y_{di}^3 = 1$  olur ve diğer tüm  $y_{di}^k$  değerleri  $k \neq 3$  için 0 değerini alır. Bu nedenle  $y_{di}^k$ 'ların  $k$  değişkeni üzerinden toplamı 1'e eşit olmaktadır. Ayrıca  $x_{di} = \sum_{k=0}^{S^d} ky_{di}^k$  olarak da yazılabilir. Bu eşitlik sayesinde, iki ifade arasında geçiş yapılabilir.

Bunlara ek olarak  $e_{dij}^k \triangleq E\{\min(CM_{ij}, k)\}$  ve  $e_{dib}^k \triangleq E\{\min(CM_{ib}, k)\}$  tanımlamaları yapılmıştır. Bu tanımlar sayesinde ve  $y_{di}^k$  ve  $y_{db}^k$  değerleri sadece birer  $k$  değeri için 0'dan farklı olduğundan, bütün  $x_{dj}$  ve  $x_{db}$  değerleri için  $E\{\min(CM_{ij}, x_{dj})\} = \sum_{k=0}^{S^d} e_{dij}^k y_{dj}^k$  ve  $E\{\min(CM_{ib}, x_{db})\} = \sum_{k=0}^{S^d} e_{dib}^k y_{db}^k$  olarak yazılabilir. Bu yeni tanımlar kullanılarak (4.6)'teki  $E\{S_{di}\}$  ifadesi güncellenebilir ve  $G_{di} \triangleq \underline{S}^d - E\{S_{di}\}$

$$G_{di} = \underline{S}^d - \sum_{j \in K, j \neq i} \sum_{k=0}^{S^d} e_{dij}^k y_{dj}^k - \sum_{b \in B} \sum_{k=0}^{S^d} e_{dib}^k y_{db}^k - \sum_{k=0}^{S^d} ky_{di}^k$$

olarak yazılabilir. Bu sonucu kullanarak ve  $\mathbf{Y}$ 'yi,  $y_{di}^k$  ve  $y_{db}^k$  değerlerinden oluşan bir vektör olarak kabul ederek, (4.5)'te verilen Problem 3 aşağıdaki formda yazılabilir:

$$\min_{\mathbf{Y}} \quad \frac{1}{K} \sum_{i \in K} \sum_{d \in D} P_{id} \frac{G'_{di}}{\underline{S}^d} \quad (4.9a)$$

$$\text{s.t.} \quad G'_{di} \geq G_{di}, \quad i \in K, \quad d \in D \quad (4.9b)$$

$$G'_{di} \geq 0, \quad i \in K, \quad d \in D \quad (4.9c)$$

$$\sum_{k=0}^{\underline{S}^d} y_{di}^k = 1, \quad i \in K \quad d \in D \quad (4.9d)$$

$$\sum_{k=0}^{\underline{S}^d} y_{db}^k = 1, \quad b \in B \quad d \in D \quad (4.9e)$$

$$\sum_{i \in K} \sum_{k=0}^{\underline{S}^d} ky_{di}^k + \sum_{b \in B} \sum_{k=0}^{\underline{S}^d} y_{db}^k \leq \bar{S}^d, \quad d \in D \quad (4.9f)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{k=0}^{\underline{S}^d} ky_{di}^k \leq H_i, \quad i \in K \quad (4.9g)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{k=0}^{\underline{S}^d} ky_{db}^k \leq H'_b, \quad b \in B \quad (4.9h)$$

$$y_{di}^k = \{0, 1\}, \quad i \in K, \quad d \in D, \quad k \in [0, S_{rec}^f] \quad (4.9i)$$

$$y_{db}^k = \{0, 1\}, \quad b \in B, \quad d \in D, \quad k \in [0, S_{rec}^f] \quad (4.9j)$$

Bu eniyileme probleminde, amaç fonksiyonu ve kısıtlar  $\mathbf{Y}$ 'nin doğrusal fonksiyonlarıdır. Bu nedenle herhangi bir tamsayı programlama algoritması ile evrensel en iyi nokta bulunabilir.

Problem 3'ü çözmek demek, verilen bir  $T$  değeri için, ağ yükleme oranına altı sınır oluşturan  $R_{alt}(\mathbf{X}, T)$  fonksiyonunu, (4.3c)-(4.3g) kısıtları altında en küçük yapan önbellek yerleştirme yöntemini bulmak demektir. Bu nedenle, bir de en iyi  $T$  değerini bulmak gerekmektedir.  $R_{alt}^*(T)$ ,  $T$  değişkenine göre monoton azalan olduğu için, en iyi  $T$ 'yi, Algoritma 1'de verilen ikiye bölme yöntemi ile hesaplıyoruz ve bulduğumuz her  $T$  değerine uygun önbellek yerleştirme yöntemini buluyoruz. Sonuç olarak  $(\mathbf{X}_{alt}^*, T_{alt}^*)$  değerini elde ediyoruz.

Teorem 2'de belirttiğimiz gibi,  $(\mathbf{X}_{alt}^*, T_{alt}^*)$  noktası, Problem 1'in olurlu bölgesinde değildir, fakat  $T_{alt}^* \leq T^*$ . Bu nedenle,  $T_{alt}^*$  ve  $T_{max}$  değerlerini kullanarak, Problem 1'i Algoritma 2'de verilen buluşsal yöntem ile çözüyoruz. Bu yöntemde, en iyi  $T$

---

**Önerilen Algoritma 1:** Problem 3'ün en iyi çözümü.

---

**Girdi:**  $T_{min}, T_{max}, R', \varepsilon > 0$   
**Çıktı:**  $T_{alt}^*, \mathbf{X}_{alt}^*$   
 $f_{val_{min}} \leftarrow R_{alt}^*(T_{min});$   
**while**  $T_{max} - T_{min} > \varepsilon$  **do**  
     $T_{alt}^* \leftarrow (T_{max} + T_{min})/2;$   
     $f_{val} \leftarrow R_{alt}^*(T_{alt}^*);$   
     $\mathbf{X}_{alt}^* \leftarrow \arg \min_{\mathbf{X}} R_{alt}(\mathbf{X}, T_{alt}^*)$  s.t. (4.3c) – (4.3g);  
    **if**  $(f_{val} - R')(R' - f_{val_{min}}) < 0$  **then**  
         $T_{min} \leftarrow T_{alt}^*;$   
         $f_{val_{min}} \leftarrow R_{alt}^*(T_{min});$   
    **else**  
         $T_{max} \leftarrow T_{alt}^*;$   
    **end**  
**end**

---

değerini  $[T_{alt}^*, T_{max}]$  aralığında aramış oluyoruz ve önbellek yerleştirme yöntemi  $\mathbf{X}'i$ , yine alt sınırı kullanarak ve ağ yükleme oranı kısıtı  $R'$ 'ı da sağlayacak şekilde hesaplıyoruz.

---

**Önerilen Algoritma 2:** Problem 1'in en iyi altı çözümü.

---

**Girdi:**  $T_{alt}^*, \mathbf{X}_{alt}^*, R', \eta, \varepsilon, \eta > \varepsilon$   
**Çıktı:**  $\tilde{T}_k, \tilde{\mathbf{X}}_k$   
 $\tilde{T}_k \leftarrow T_{alt}^*, \tilde{\mathbf{X}}_k \leftarrow \mathbf{X}_{alt}^*;$   
**while**  $R(\tilde{\mathbf{X}}_k, \tilde{T}_k) > R' \ \& \ \eta > \varepsilon$  **do**  
     $\tilde{T}_k \leftarrow (\tilde{T}_k + \eta);$   
    **if**  $\tilde{T}_k > T_{max}$  **then**  
         $\tilde{T}_k \leftarrow \tilde{T}_k - \eta;$   
         $\eta \leftarrow \eta/2;$   
    **end**  
     $\tilde{\mathbf{X}}_k \leftarrow \arg \min_{\mathbf{X}} R_{alt}(\mathbf{X}, \tilde{T}_k)$  s.t. (4.3c) – (4.3g);  
**end**

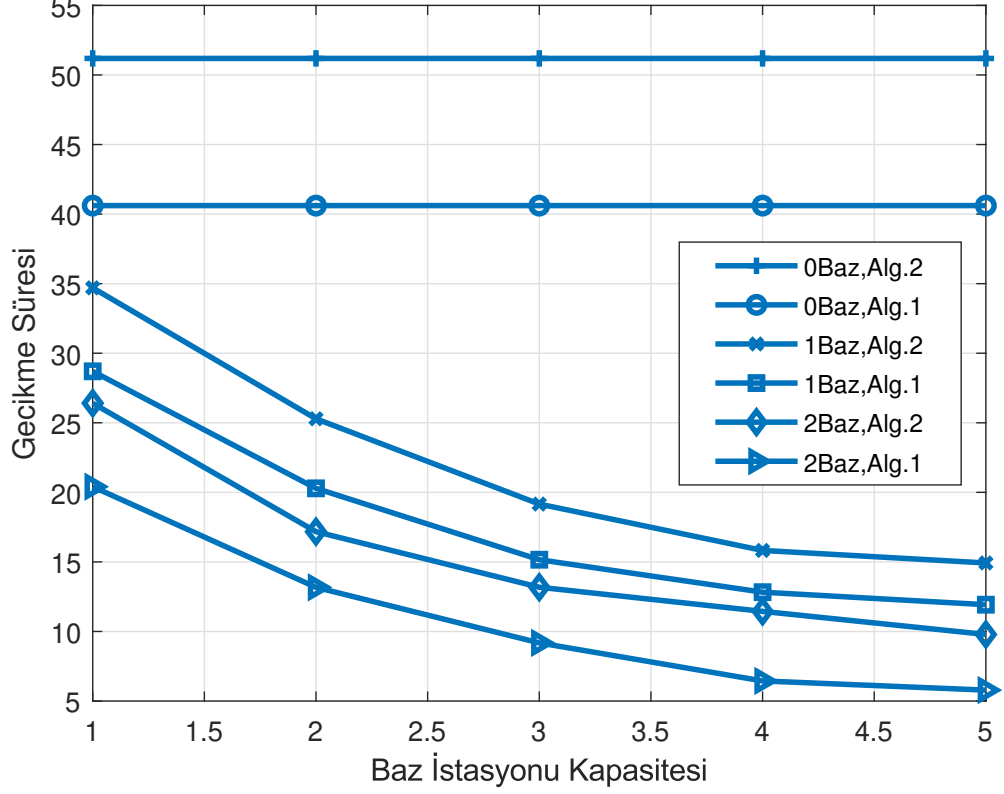
---

#### 4.4 Benzetim Sonuçları

Bu bölümde Algoritma 2'de verilen Problem 1'in en iyi altı çözümü, Algoritma 1'den elde edilen alt sınır ile karşılaştırılacaktır. Benzetimlerde 150 dosya olduğu, her bir dosyanın kullanıcılar tarafından istenme olasılığının parametresi 0.8 olan Zipf dağılımına uyduğu kabul edilmiştir.  $\underline{S}^d$  değeri, her bir dosya için 1 ile 3 arasında rastgele bir sayıdır.  $\bar{S}^d = 3\underline{S}^d$  varsayılmıştır. Kullanıcıların birim zamandaki bağlantı



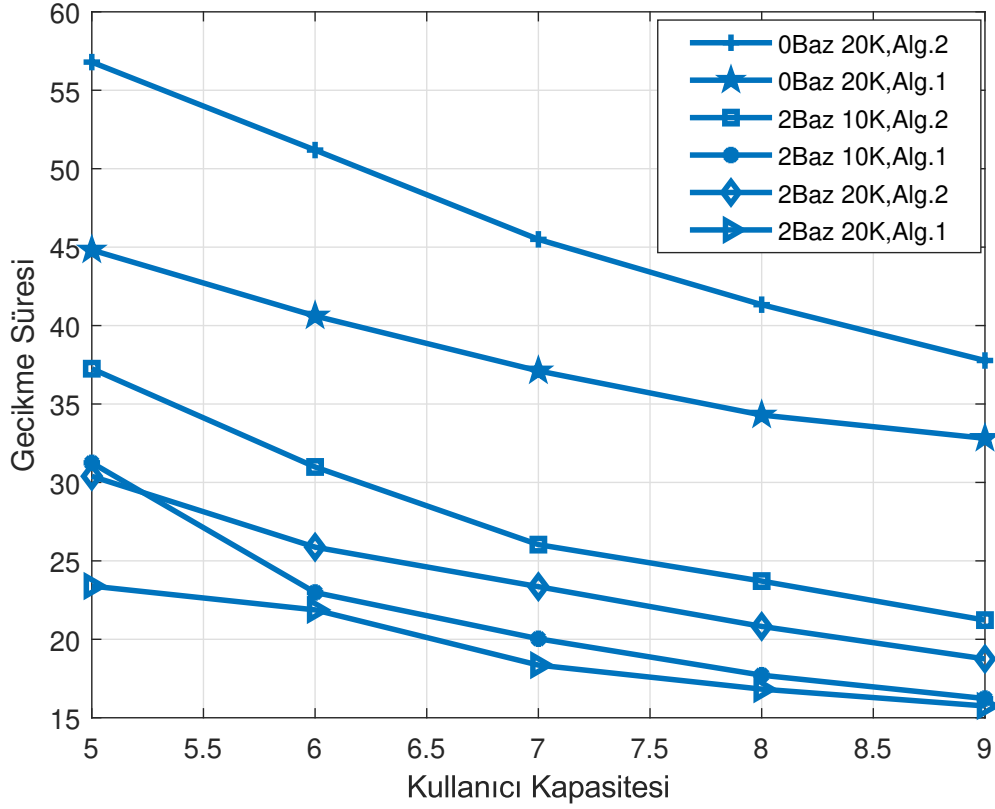
sayısı,  $\lambda_{ij} \Gamma(4.43, 1/1088)$  dağılımı [35] ile, kullanıcı ile baz istasyonu bağlantı sayısı  $\lambda_{ib}$  de  $\Gamma(10, 1/100)$  dağılımı [39] ile modellenmiştir. Ayrıca  $T_{min} = 0$ ,  $T_{max} = 400$ ,  $R' = 0.7$ ,  $C = 2$ ,  $\eta = 1$  ve  $\varepsilon = 10^{-4}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1: Gecikmeye,  $T$ , karşılık baz istasyonu kapasitesi,  $H'_b$ .

Şekil 4.1'de baz istasyonlarının sayısı ve önbellek kapasitelerinin sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sistemde 20 kullanıcı vardır. Baz istasyonunda önbellekleme olmayan durum (0 Baz), 1 ve 2 baz istasyonu olan durumlarla karşılaştırılmış, hem Algoritma 1 sonuçları (alt sınır) hem de Algoritma 2 sonuçları (Problem 3'ün en iyi altı çözümü) gösterilmiştir. Baz istasyonu sayısı ve kapasitesi artarsa daha kısa sürede istenilen dosyalara ulaşılmaktadır. Algoritma 2 ve  $H'_b = 3$  için 1 baz istasyonu, elde edilen gecikme değerini yaklaşık %60 kadar, 2 baz istasyonu ise %75 kadar azaltmaktadır.

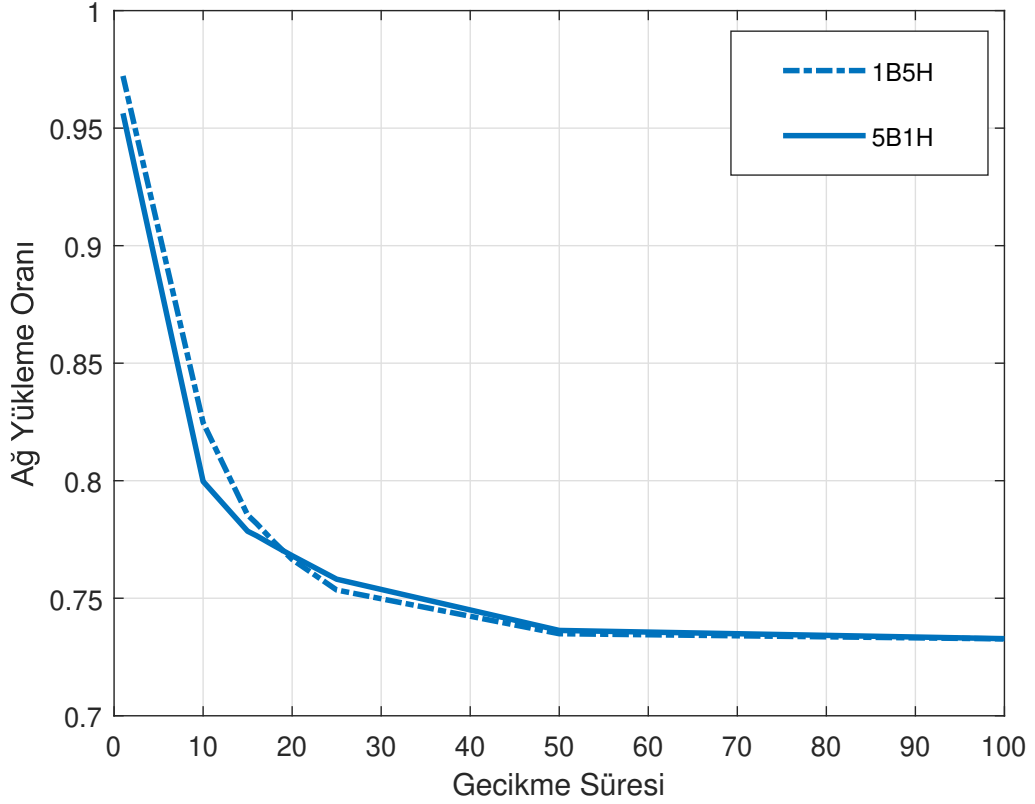
Kullanıcı kapasitesinin ( $H_i$ ) gecikme üzerindeki etkisi Şekil 4.2'de incelenmiştir. Baz istasyonunda önbellekleme olmayan 20 kullanıcıli durum (0Baz 20K), 2 baz istasyonlu, 10 kullanıcıli durum (2Baz 10K) ve 2 baz istasyonlu 20 kullanıcıli durum



Şekil 4.2: Gecikmeye,  $T$ , karşılık kullanıcı kapasitesi  $H_i$ .

(2Baz 20K) ile karşılaştırılmıştır. Baz istasyonlarında önbellekleme varken  $H'_b = 1$  seçilmiştir. Hem Algoritma 1, hem Algoritma 2 sonuçları gösterilmektedir.  $H_i$  değerleri arttıkça gecikme azalmaktadır.  $H_i = 7$  için, Algoritma 2 sonuçları, baz istasyonunda önbellekleme olmayan duruma göre 2Baz 10K için %30, 2Baz 20K için %35 azalmıştır.

Şekil 4.3'te, Algoritma 2 için, ağ yükleme oranına,  $R'$ , karşılık gecikme süresi,  $T$ , grafiği gösterilmektedir. Bu şekil için 20 kullanıcı vardır, kullanıcılarda önbellekleme bulunmamaktadır. 5 birim hafızalı 1 baz istasyonu (1B5H) kullanmakla, 1 birim hafızalı 5 baz istasyonu (5B1H) kullanmak karşılaştırılmıştır. Düşük gecikme değerleri için 5B1H daha iyidir. 5 baz istasyonunun toplam kapsama alanı daha geniştir ve düşük gecikme değerlerini elde edebilmek için bu önemlidir. Yüksek gecikme değerlerindeyse, tersi durum söz konusudur. 1B5H durumunda önbellekte saklanan bölütler daha çeşitlidir, talep edilen dosyanın herhangi bir önbellekte bulunması ihtimali daha yüksektir. Bir kullanıcı aradığı dosyanın bulunduğu baz istasyonunun kapsama alanında değilse bile hareket edip onun kapsama alanına

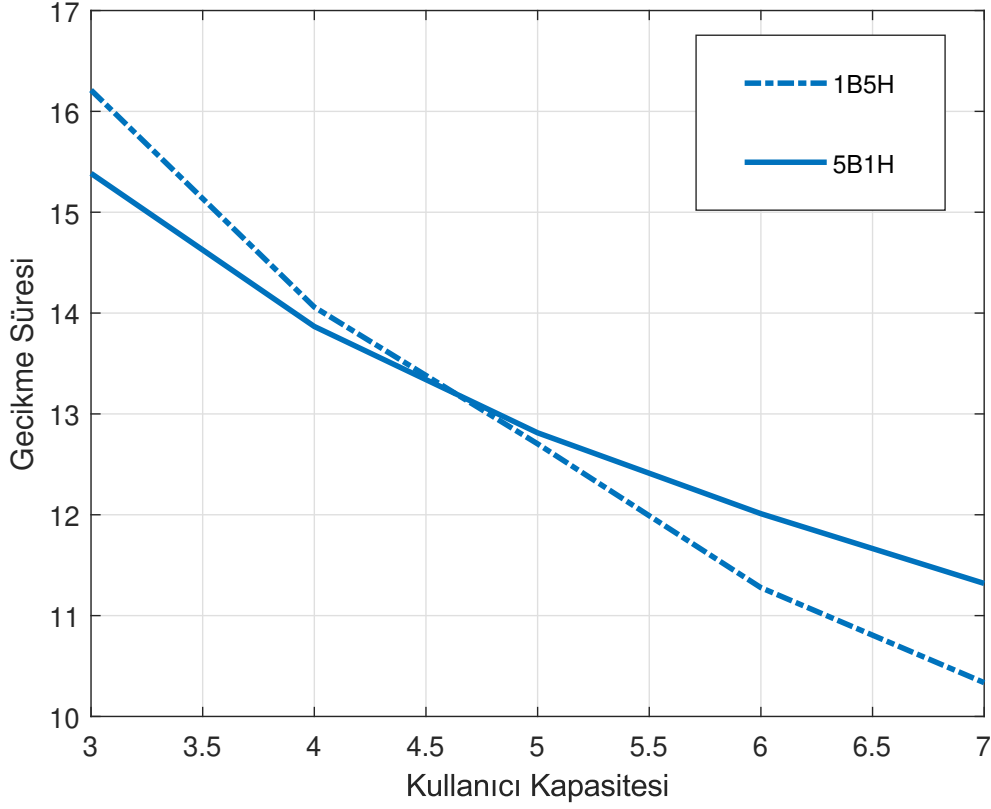


Şekil 4.3: Ağ yükleme oranına ( $R'$ ) karşı gecikme süresi ( $T$ ).

girebilir, bunu bekleyecek vakit vardır.

Şekil 4.4'te, 20 kullanıcılu bir sistemde, artan kullanıcı kapasiteleri için 5 birim hafızalı 1 baz istasyonu (1B5H) kullanmakla, 1 birim hafızalı 5 baz istasyonu (5B1H) kullanmak, Algoritma 2 için karşılaştırılmıştır. Düşük  $H_i$  değerleri için, Şekil 4.3'te olduğu gibi 5B1H iyidir. Çok sayıda baz istasyonunun toplam kapsama alanı daha genişir ve talep edilen dosyanın çabuk elde edilebilmesi için bu gereklidir. Ancak büyük  $H_i$  değerlerinde, kullanıcı önbelleklerinde tutulan dosya miktarı çeşitliliği artmıştır. Şekil 4.3'ten öğrendiğimiz üzere 1B5H durumundaki dosya çeşitliliği de daha fazladır. Bu nedenle yüksek  $H_i$  için 1B5H daha iyi sonuç vermektedir.

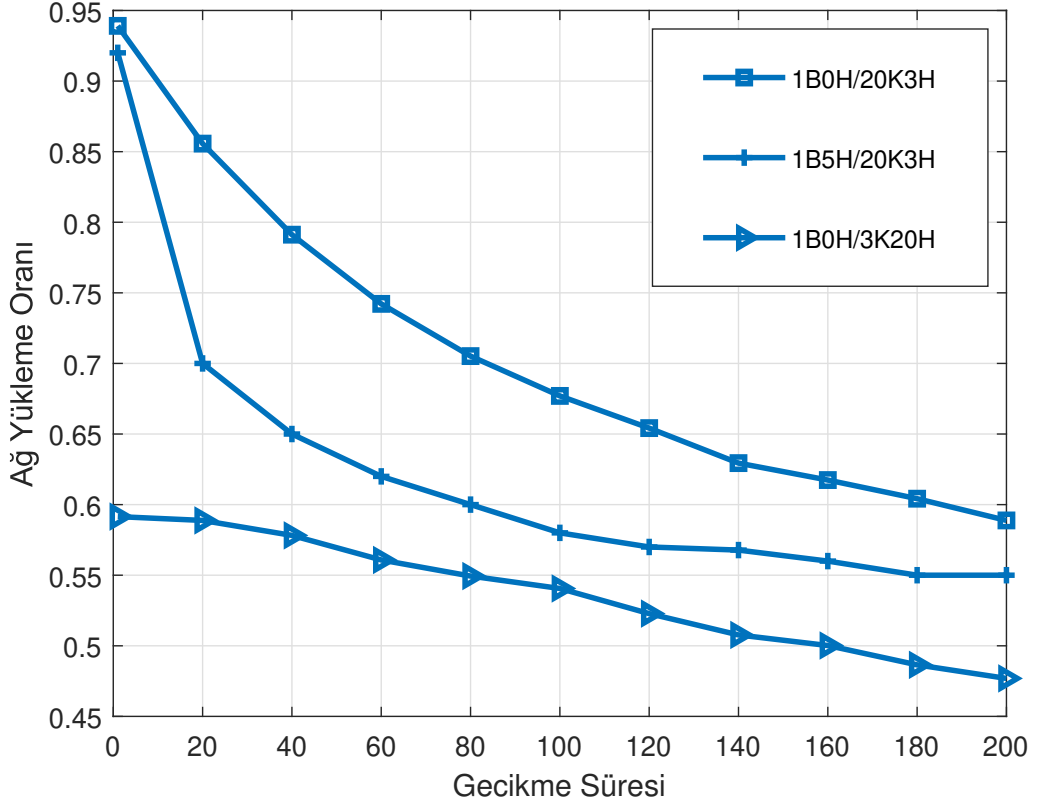
Şekil 4.5'de 3 birim hafızasına sahip 20 tane kullanıcı bulunmaktadır. Bu kullanıcıların yanına 5 birim hafızalı 1 tane baz istasyonu eklenmiştir, Algoritma 2 için karşılaştırılmıştır. Bu yeni eklenen baz istasyonu sayesinde, ağ yükleme oranı azalmıştır. Baz istasyonlarının kullanılması kullanıcıların kullanılmasına göre daha etkili olmaktadır. En son olarak baz istasyonları sistemden kaldırılmış, 20 birim



Şekil 4.4: Gecikmeye,  $T$ , karşılık kullanıcı kapasitesi  $H_i$ .

hafızalı 3 kullanıcı eklenmiştir. Çıkan grafik ilk durumdaki grafik ile karşılaştırılırsa çok yüksek miktarlarda verimlilik artışı bulunmaktadır. Bunun sebebi, kullanıcıların artık dosya aramasına gerek kalmamasıdır. Dosya tutma kapasiteleri normale göre çok fazla arttığı için, dosyalara ulaşması kolaylaşmıştır. Telefon hafızalarının her geçen gün artmaktadır ve gelecekte verimliliğin artmasında önemli bir rol oynayabilir.

Şekil 4.6'da, ortaya konulan algoritmanın, etkin önbellekleme yöntemi olan en popüler dosyaların yerleştirildiği yöntemden ne kadar verimli olduğu gösterilmektedir. Bu yöntemin kullanıldığı çalışmada iki aşamalı bir çalışma yapılmak zorunda kalmıştır. Baz istasyonları ve kullanıcıların birbirlerinden farklı sistemsel özellikleri bulunmaktadır. Baz istasyonları yüksek kapsama alanına sahip olmalarından dolayı ilk olarak onlardan başlanmıştır. Her bir baz istasyonunun hafızalarında 1 tane dosya bölütu saklayabildiği varsayılmıştır. Diğer grafikler ile uyumlu olması istendiği için farklı bir değer seçimi yapılmamıştır. Baz istasyonlarının hafızasına en popüler dosya yerleştirildikten sonra ise, kullanıcılara önbellekleme yapılmaya başlanmıştır. Kullanıcıların dosyaların isteme olasılıkları dikkate alınarak

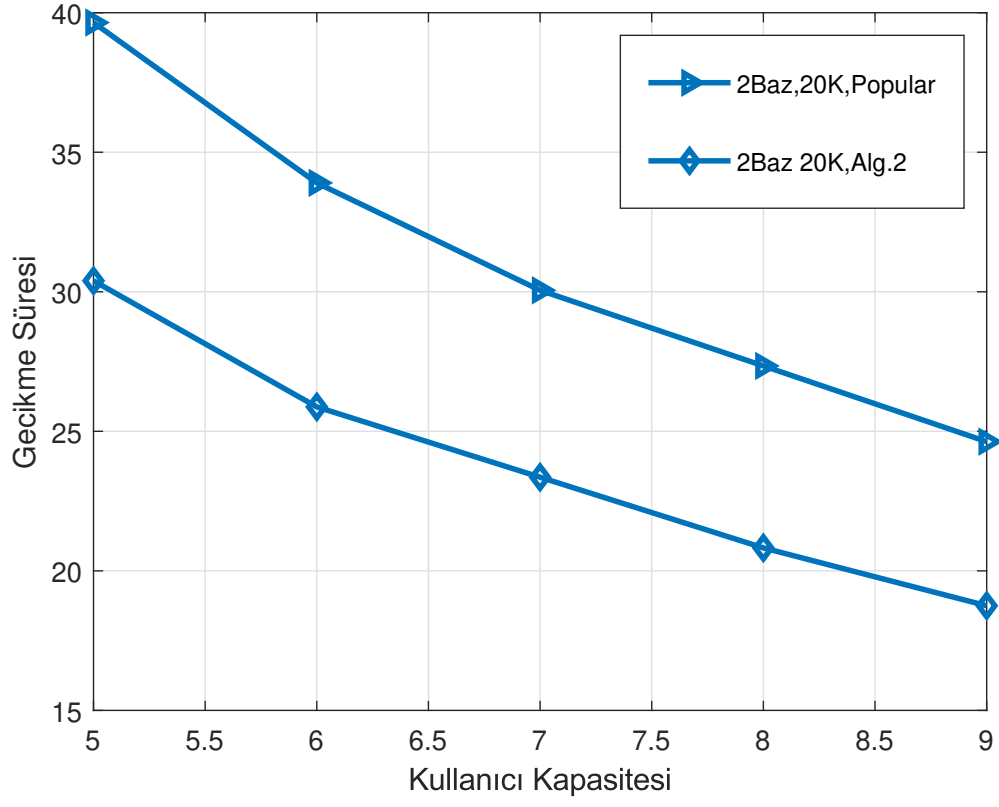


Şekil 4.5: Gecikmeye,  $T$ , karşılık kullanıcı kapasitesi  $H_i$ .

dosya bölütleri sırasıyla yerleştirilmiştir. Örnek bir önbelleklemenin nasıl bir şekilde yapıldığı Çizelge 4.1'den incelenebilmektedir.

Her bir kullanıcının kapasitesi  $H_i = 20$  ve her bir baz istasyonunun kapasitesi  $H'_b = 1$  olduğu için yatay eksenlerin toplamı bu sayılara eşit olmalıdır. Her bir dosyanın toplam bölüt sayısı da kısıtlandığı için  $\bar{S}^d$  dizisindeki değerlere eşit olmalıdır. Baz istasyonlarına en popüler olan dosya yerleştirilmiştir. Dosya sayısı 150 olmasına rağmen sadece 19 tane dosya kullanıcı hafızalarına yerleştirilebilmiştir. Kullanıcı kapasitesinin artması ile yerleştirilen dosya miktarı da artacaktır.

En popüler dosyaları yerleştirmek istenilen seviyede verimli olmamıştır ve algoritma 2'nin gerisinde kalmaktadır. Kullanıcıların isteklerine zamanla cevap veremeyeceği için kullanılması verimli değildir.  $\bar{S}^d$  dizisi rastgele oluşturulduğu için içinde bulunan değerler farklılık gösterecektir. Burada karmaşıklığı azaltmak ve karşılaştırma kolaylığı için sabit bir  $\bar{S}^d$  dizisi oluşturulmuştur. Şekil 4.6'teki değerler aynı  $\bar{S}^d$  dizisi üzerinden hesaplanmıştır.



Şekil 4.6: Gecikmeye,  $T$ , karşılık önbellekleme yöntemi  $X_{alt}^*$ .

Çizelge 4.1: Önbellekleme haritası.

		Dosya																
Kullanıcı		1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Baz		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0





## 5. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında ilk olarak literatür çalışmaları incelenmiştir. Cihazdan cihaza dosya alışverişi, hücresel dosya alışverişi ve iki seviyeli mimariye sahip sistemde dosya alışverişi olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir. Her bir başlık, önbellekleme ve cihazlar arası etkileşim olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu başlıklar altında ayrıntılı incelemeler yapılmıştır. Bunların yanında SINR, Zipf dağılımı, kodlama hakkında bilgilendirme yapılmıştır. En son kısımda ise literatürde yer alan çalışmalar, kullandıkları yöntemler ve ulaşmak istedikleri amaçlarına göre kısaca gruplandırılmıştır.

Daha sonraki kısımda ise, hücresel dosya alışverişinin olduğu bir sistem uzamsal yaklaşım ile incelenmiştir. Sadece baz istasyonlarının bulunduğu bu sistemde kullanıcıların gezginlikleri incelenmiştir. İki farklı yürüme modeli birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, gezginliğin sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir.

En son kısımda ise, hem baz istasyonlarının hem de kullanıcıların önbellekleme yaptığı, gezgin bir sistem incelenmiştir. Bu sistem iki seviyeli mimariye sahiptir. Eniyi altı bir önbellek yerleştirme algoritması önerilmiş ve bu algoritmaya bir alt sınır bulunmuştur. İki aşamalı bir çözüm mantığı bulunmaktadır. Farklı durumlar için incelemeler yapılmıştır. İlk olarak, sadece cihazdan cihaza etkileşim olan sisteme baz istasyonları eklenmiştir. Kullanıcıların dosyalara ulaşması için harcaması gereken süreye etkisi incelenmiştir. Daha sonrasında ise, iki seviyeli mimariye sahip sistem için kullanıcı kapasitesinin etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca, küçük hafızalı çok sayıda baz istasyonu kullanmakla büyük hafızalı az sayıda baz istasyonu kullanmak karşılaştırılmıştır. En sonunda ise, MPC yöntemiyle önbellekleme yapılan sistem ile algoritma sonucunda çıkan eniyi yerleştirme yöntemi karşılaştırılmıştır.

Gelecekte önbellekleme üzerine yapılabilecek çok fazla çalışma bulunmaktadır. Cihazdan cihaza dosya alışverişi, hücresel dosya alışverişi ve iki seviyeli mimariye sahip sistemde dosya alışverişi olmak üzere üç farklı çalışma habitatı bulunmaktadır.

Hepsinin kendi içinde farklı özellikleri bulunmaktadır. Gecikme analizi yapılmak istendiğinde her bir habitat için farklı yaklaşımlar kullanılmalıdır. Sistemin özelliklerine uyumlu, daha verimli algoritmalar ile gelecekte daha başarılı çalışmalar yapılabilecektir. Farklı amaçları aynı anda sağlayacak şekilde çalışabilecek sistemler de oluşturulabilir. Hem gecikme süreleri çok düşük, hem de maliyet olarak hesaplı bir sistem oluşturulabilir. Kullanıcıların toplumsal davranışları üzerine yapılan çalışmalar arttıkça, daha başarılı bir şekilde etkileşim süreleri tahmin edilebilecektir ve böylelikle önbellekleme için karar verecek algoritmalar daha verimli çalışacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] **F. Li, X. Jiang, J. W. Chung, and M. Claypool**, “Who is the king of the hill? traffic analysis over a 4g network,” in *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May 2018, pp. 1–6.
- [2] **D. N. Serpanos, G. Karakostas, and W. H. Wolf**, “Effective caching of web objects using zipf’s law,” in *2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. ICME2000. Proceedings. Latest Advances in the Fast Changing World of Multimedia (Cat. No.00TH8532)*, vol. 2, July 2000, pp. 727–730 vol.2.
- [3] **D. J. C. MacKay**, “Capacity approaching codes design and implementation special section fountain codes,” 2000.
- [4] **M. Luby**, “Lt codes,” in *The 43rd Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 2002. Proceedings.*, Nov 2002, pp. 271–280.
- [5] **A. Shokrollahi**, “Raptor codes,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, no. 6, pp. 2551–2567, June 2006.
- [6] **G. GÜL, S. Adhikari, and E. Mustafin**, “Fountain codes, lt codes, and raptor codes.”
- [7] **F. Baccelli and B. Blaszczyszyn**, *Stochastic Geometry and Wireless Networks, Volume II - Applications*, ser. Foundations and Trends in Networking: Vol. 4: No 1-2, pp 1-312, Baccelli, F., Blaszczyszyn, and B., Eds. NoW Publishers, 2009, vol. 2, stochastic Geometry and Wireless Networks, Volume I - Theory; see <http://hal.inria.fr/inria-00403039>. [Online]. Available: <https://hal.inria.fr/inria-00403040>
- [8] **L. Li, G. Zhao, and R. S. Blum**, “A survey of caching techniques in cellular networks: Research issues and challenges in content placement and delivery strategies,” *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 1710–1732, thirdquarter 2018.
- [9] **B. N. Bharath, K. G. Nagananda, and H. V. Poor**, “A learning-based approach to caching in heterogenous small cell networks,” *CoRR*, vol. abs/1508.03517, 2015. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1508.03517>
- [10] **E. Baştuğ, M. Bennis, and M. Debbah**, “Cache-enabled small cell networks: Modeling and tradeoffs,” in *2014 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS)*, Aug 2014, pp. 649–653.

- [11] **B. Blaszczyszyn and A. Giovanidis**, “Optimal geographic caching in cellular networks,” *CoRR*, vol. abs/1409.7626, 2014. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1409.7626>
- [12] **J. Liu, B. Bai, J. Zhang, and K. B. Letaief**, “Content caching at the wireless network edge: A distributed algorithm via belief propagation,” in *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May 2016, pp. 1–6.
- [13] **Y. Cui and D. Jiang**, “Analysis and optimization of caching and multicasting in large-scale cache-enabled heterogeneous wireless networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 1, pp. 250–264, Jan 2017.
- [14] **K. Poularakis, G. Iosifidis, V. Sourlas, and L. Tassiulas**, “Exploiting caching and multicast for 5g wireless networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, no. 4, pp. 2995–3007, April 2016.
- [15] **Z. Chen and M. Kountouris**, “D2d caching vs. small cell caching: Where to cache content in a wireless network?” in *2016 IEEE 17th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, July 2016, pp. 1–6.
- [16] **J. Rao, H. Feng, C. Yang, Z. Chen, and B. Xia**, “Optimal caching placement for D2D assisted wireless caching networks,” *CoRR*, vol. abs/1510.07865, 2015. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1510.07865>
- [17] **R. Wang, X. Peng, J. Zhang, and K. B. Letaief**, “Mobility-aware caching for content-centric wireless networks: modeling and methodology,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 8, pp. 77–83, August 2016.
- [18] **J. G. Andrews, R. K. Ganti, M. Haenggi, N. Jindal, and S. Weber**, “A primer on spatial modeling and analysis in wireless networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, no. 11, pp. 156–163, November 2010.
- [19] **S. Shin, U. Lee, F. Dressler, and H. Yoon**, “Analysis of cell sojourn time in heterogeneous networks with small cells,” *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 4, pp. 788–791, April 2016.
- [20] **K. Poularakis and L. Tassiulas**, “Exploiting user mobility for wireless content delivery,” in *2013 IEEE International Symposium on Information Theory*, July 2013, pp. 1017–1021.
- [21] **K. Shanmugam, N. Golrezaei, A. G. Dimakis, A. F. Molisch, and G. Caire**, “Femtocaching: Wireless content delivery through distributed caching helpers,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 59, no. 12, pp. 8402–8413, Dec 2013.
- [22] **E. Baştuğ, M. Kountouris, M. Bennis, and M. Debbah**, “On the delay of geographical caching methods in two-tiered heterogeneous networks,” in *2016 IEEE 17th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, July 2016, pp. 1–5.

- [23] **X. Ge, J. Ye, Y. Yang, and Q. Li**, “User mobility evaluation for 5g small cell networks based on individual mobility model,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 34, no. 3, pp. 528–541, March 2016.
- [24] **D. Wang, D. Pedreschi, C. Song, F. Giannotti, and A.-L. Barabasi**, “Human mobility, social ties, and link prediction,” in *Proceedings of the 17th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, ser. KDD '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, pp. 1100–1108. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2020408.2020581>
- [25] **M. Musolesi, S. Hailes, and C. Mascolo**, “An ad hoc mobility model founded on social network theory,” in *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, ser. MSWiM '04. New York, NY, USA: ACM, 2004, pp. 20–24. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1023663.1023669>
- [26] **I. O. Nunes, C. Celes, I. Nunes, P. O. S. Vaz de Melo, and A. A. F. Loureiro**, “Combining spatial and social awareness in d2d opportunistic routing,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 1, pp. 128–135, Jan 2018.
- [27] **M. Abdulla and R. Simon**, “The impact of intercontact time within opportunistic networks : Protocol implications and mobility models,” 2009.
- [28] **R. Wang, J. Zhang, S. H. Song, and K. B. Letaief**, “Mobility-aware caching in d2d networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 8, pp. 5001–5015, Aug 2017.
- [29] **T. Wei, L. Chang, B. Yu, and J. Pan**, “Mpcs: A mobility/popularity-based caching strategy for information-centric networks,” in *2014 IEEE Global Communications Conference*, Dec 2014, pp. 4629–4634.
- [30] **A. Passarella and M. Conti**, “Analysis of individual pair and aggregate intercontact times in heterogeneous opportunistic networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 12, no. 12, pp. 2483–2495, Dec 2013.
- [31] **E. Hernández-Orallo, J.-C. Cano, C. M. T. Calafate, and P. Manzoni**, “New approaches for characterizing inter-contact times in opportunistic networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 52, pp. 160–172, 2016.
- [32] **A. Passarella and M. Conti**, “Characterising aggregate inter-contact times in heterogeneous opportunistic networks,” in *Proceedings of the 10th International IFIP TC 6 Conference on Networking - Volume Part II*, ser. NETWORKING'11. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, pp. 301–313. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2008826.2008855>
- [33] **A. Passarella, M. Conti, C. Boldrini, and R. I. Dunbar**, “Modelling inter-contact times in social pervasive networks,” in *Proceedings of*

- the 14th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, ser. MSWiM '11. New York, NY, USA: ACM, 2011, pp. 333–340. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2068897.2068955>
- [34] **T. Deng, G. Ahani, P. Fan, and D. Yuan**, “Cost-optimal caching for d2d networks with user mobility: Modeling, analysis, and computational approaches,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, no. 5, pp. 3082–3094, May 2018.
- [35] **T. Deng, L. You, P. Fan, and D. Yuan**, “Device caching for network offloading: Delay minimization with presence of user mobility,” *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 558–561, Aug 2018.
- [36] **V. Conan, J. Leguay, and T. Friedman**, “Fixed point opportunistic routing in delay tolerant networks,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 26, no. 5, pp. 773–782, June 2008.
- [37] **Z. Gong and M. Haenggi**, “The local delay in mobile poisson networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 9, pp. 4766–4777, Sep. 2013.
- [38] **J. Rao, H. Feng, and Z. Chen**, “Exploiting user mobility for d2d assisted wireless caching networks,” in *2016 8th International Conference on Wireless Communications Signal Processing (WCSP)*, Oct 2016, pp. 1–5.
- [39] **M. Chen, Y. Hao, L. Hu, K. Huang, and V. K. N. Lau**, “Green and mobility-aware caching in 5g networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 12, pp. 8347–8361, Dec 2017.
- [40] **C.-H. Lee, C.-Y. Shih, and Y.-S. Chen**, “Stochastic geometry based models for modeling cellular networks in urban areas,” *Wirel. Netw.*, vol. 19, no. 6, pp. 1063–1072, Aug. 2013. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s11276-012-0518-0>
- [41] **K. Poularakis and L. Tassiulas**, “Code, cache and deliver on the move: A novel caching paradigm in hyper-dense small-cell networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 16, no. 3, pp. 675–687, March 2017.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı-Soyadı** : Kunter Atak  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 28.10.1994 - ANKARA  
**E-posta** : katak@etu.edu.tr, atakkunter@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2016-2017	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Burslu Lisans Öğrencisi
2017-2019	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Burslu Y. Lisans Öğrencisi

**YABANCI DİL:** İngilizce, Fransızca

### DiĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kunter Atak**, Melda Yuksel. Delay analysis for wireless communication systems with caching. SIU, Sivas, Turkey, April 2019.