

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

**MİLİMETRİK DALGA AĞLARDA ÇOKLU KULLANICILARA İLETİMLERDE ADİL  
HÜZME TAHSİSİ VE ÖLÇEKLENEBİLİR VIDEO KODLAMALI VIDEO ÇOĞA  
GÖNDERİMLERDE DENEYİM KALİTESİ TEMELLİ HÜZME PLANLAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fırat KARABABA**

**Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tolga GİRİCİ**

**Ağustos 2017**



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 141211012 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Fırat KARABABA**'nın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**MİLİMETRİK DALGA AGLARDA ÇOKLU KULLANICILARA İLETİMLERDE ADİL HÜZME TAHSİSİ VE ÖLÇEKLENEBİLİR VIDEO KODLAMALI VIDEO ÇOĞA GÖNDERİMLERDE DENEYİM KALİTESİ TEMELLİ HÜZME PLANLAMASI**" başlıklı tezi **03.08.2017** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı:** **Doç. Dr. Tolga GİRİCİ** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri:** **Yrd. Doç. Dr. Harun Taha HAYVACI (Başkan)** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Uğur YILDIZ** .....  
TED 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.

Fırat KARABABA



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MİLİMETRİK DALGA AĞLARDA ÇOKLU KULLANICILARA İLETİMLERDE ADİL HÜZME TAHSİSİ VE ÖLÇEKLENEBİLİR VİDEO KODLAMALI VİDEO ÇOĞA GÖNDERİMLERDE DENEYİM KALİTESİ TEMELLİ HÜZME PLANLAMASI

Fırat KARABABA

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

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tolga GİRİCİ

Tarih: Ağustos 2017

Bu çalışmanın bir bölümü, milimetrik dalga (mmDalga) anahtarlamalı hüzme tabanlı ağlarda orantılı adil hüzme tahsisi problemini ele almaktadır. mmDalga bandında çalışmak Baz İstasyonunda (Bİ) çok sayıda anten elemanı kullanmayı kolaylaştırır. Büyük anten dizilerinde hüzmelenin kullanılması, alıcılarda yüksek yönlendirilebilirlik ve artmış Sinyalin Gürültü-Girişim Toplamına Oranı (SINR) sağlar. Bu doğrultuda kullanıcılara adil hız tahsisi için çoklu zaman aralıklarında akıllı hüzme tahsisi gereklidir. Birden fazla hüzmelenin aynı anda etkinleştirilmesi, hüzmeler arası girişimi hesaba katan bir algoritmayı gerektirir. Biz orantılı adil hüzme tahsisini, alınan ortalama hızların logaritmik toplamını arttırmayı hedefleyen karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama olarak formüle ediyoruz. Her zaman aralığında alınan hızları hesaplamak için ise hüzmeler arası girişim dikkate alınarak Shannon kapasitesini kullanıyoruz. Ayrıca girişime karşı duyarlı olan adil hüzme tahsisi algoritmamız olarak MINLP tabanlı modelimize yakın bir çözüm önermekteyiz. Benzetim sonuçları, önerilen oransal adil hüzme tahsisi algoritmasının MINLP tabanlı çözüme çok yakın bir performans gösterdiğini ve göz önüne alınan kıyaslama algoritmalarından çok daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Çok gruplu hüzmeli ağlarda çoğa Ölçeklenebilir Video Kodlamalı (ÖVK) video yayını yapmak için hüzmeleri ve kaynakları planlamak zor bir konudur. Geçmişte benzer

konular üzerinde olup çoklu grupları dikkate almamış ve farklı hedefleri ele alan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmanın diğer bölümünde, çok gruplu çoğa yayın yapılan mmDalga ağları için bir Deneyim Kalitesi (QoE) tabanlı hüzme planlama problemi incelenmiştir. Her bir kullanıcının minimum bir QoE ile garanti edildiği tüm grupların ortalama kullanıcı QoE'lerinden minimum olanını arttırmayı amaçlayan doğrusal bir programlama formülasyonu geliştirilmiştir. Ayrıca daha az karmaşıklıkla sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Benzetim sonuçları doğrusal programlama modelimizin karşılaştırma modellerine kıyasla minimum ortalama QoE'yi arttırdığını ortaya koymaktadır. Benzetimler ayrıca geliştirmiş olduğumuz sezgisel algoritmanın doğrusal programlama modeline yakın çalıştığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Adil hüzme tahsisi, Anahtarlamalı hüzmeler, Milimetrik dalga, Video çoğa gönderim, Ölçeklenebilir video kodlama.



## ABSTRACT

Master of Science

### FAIR BEAM ALLOCATION IN MILLIMETER-WAVE MULTIUSER TRANSMISSION AND QUALITY OF EXPERIENCE BASED BEAM SCHEDULING FOR SVC VIDEO MULTICAST TO MULTIPLE GROUPS IN MILLIMETER-WAVE NETWORKS

Fırat KARABABA

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tolga GİRİCİ

Date: August 2017

A part of this work addresses the problem of proportional fair beam allocation in millimeter wave (mmWave) switched-beam based systems. Working at the mmWave band facilitates using a massive number of antenna elements at the base station (BS). Usage of beamforming in large antenna arrays provides high directivity and increased SINR at the receivers. In this setting intelligent beam allocation over multiple time slots is required for fair rate allocation to users. Activating multiple beams simultaneously requires an algorithm that takes interbeam interference into account. We formulate the proportional fair beam allocation as a mixed integer nonlinear programming with an objective of maximizing logarithmic sum of average received rates. As for received rates at each time slot, Shannon capacity is used, taking the inter-beam interference into account. We also propose a near-MINLP-based solution as our interference-aware fair beam allocation algorithm. Numerical evaluation results reveal that proposed proportional fair beam allocation algorithm performs very close to the MINLP-based solution and performs much better than the considered benchmark algorithms. Scheduling the beams and resources for a Scalable Video Coding (SVC) video multicast to multi-groups network with beamforming is a challenging issue. In the past, there have been studies on similar issue ignoring multi-group consideration and handling different objectives.

In the remaining part of this paper, we study a quality of experience (QoE) based beam scheduling problem for multi-group multicast mmWave networks. A linear programming formulation aiming to maximize the minimum of average user QoE of all groups where each user is guaranteed with a minimum QoE is developed. We also propose a heuristic algorithm with less complexity. Simulation results reveal that our linear programming model increases minimum average QoE compared to benchmark models. Simulations also show that the developed algorithm works close to the linear programming model.

**Keywords:** Fair beam allocation, Switched beams, Millimeter wave, Video multicast, Scalable Video Coding.



## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç.Dr. Tolga GİRİCİ'ye, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, eğitimim kapsamında burs sağladığı için TOBB ETÜ'ye ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme, arkadaşlarıma ve kıymetli eşime çok teşekkür ederim.





## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problem Tanımları ve Motivasyon .....	1
1.2 Çoklu Kullanıcılara İletimlerde Adil Hüzme Tahsisi .....	1
1.2.1 Literatür araştırması .....	1
1.2.2 Tezin içeriği ve katkıları .....	2
1.2.3 Sistem modeli .....	2
1.3 ÖVK Video Yayınlarında Deneyim Kalitesi Temelli Hüzme Planlaması ..	4
1.3.1 Literatür araştırması .....	4
1.3.2 Tezin içeriği ve katkıları .....	5
1.3.3 Sistem modeli .....	6
1.4 Tez Organizasyonu .....	7
<b>2. ÇOKLU KULLANICILARA İLETİMLERDE ADİL HÜZME TAHSİSİ</b> .....	<b>9</b>
2.1 Optimal Çözüm .....	9
2.2 Önerilen Çözüm .....	9
2.3 Benzetimsel Karşılaştırma .....	10
2.3.1 Benzetim parametreleri .....	10
2.3.2 Benzetim sonuçları .....	11
<b>3. ÖVK VIDEO ÇOĞA GÖNDERİMLERDE DENEYİM KALİTESİ TEMELLİ HÜZME PLANLAMASI</b> .....	<b>15</b>
3.1 Optimal Çözüm .....	15
3.2 Önerilen Çözüm .....	17
3.3 Benzetimsel Karşılaştırma .....	18
3.3.1 Benzetim parametreleri .....	18
3.3.2 Benzetim sonuçları .....	19
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>31</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>33</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>37</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: (a) 1 Bİ ve K kullanıcıdan oluşan örnek bir sistem, K=14 (b) Hüzme örnekleri, N=16 .....	4
Şekil 1.2: 30° hüzme açılı, 4 grup ve 10 kullanıcıdan oluşan örnek bir sistem.....	7
Şekil 2.1: Performans (log-toplam hızı) ile minimum hizmet oranı kısıtlaması ( $K_{min}$ ) ( $K = 4, N = 8, D_{max} = 200$ metre). .....	12
Şekil 2.2: Performans ile kullanıcı sayısı ( $N = 8, D_{max} = 200$ metre, $K_{min} = 1$ ). ..	12
Şekil 2.3: Hüzme sayısı $N = 32$ , maksimum mesafe $R_{max} = 200$ metre ve $\gamma = 0.95$ iken performans ile kullanıcı sayısı .....	13
Şekil 2.4: Kullanıcı sayısı $K = 4$ , maksimum mesafe $R_{max} = 200$ metre ve $\gamma = 0.95$ iken performans ile hüzme sayısı .....	13
Şekil 3.1: 30 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	20
Şekil 3.2: 60 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	21
Şekil 3.3: 90 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	21
Şekil 3.4: 120 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	22
Şekil 3.5: 180 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	22
Şekil 3.6: 30 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	23
Şekil 3.7: 60 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	23
Şekil 3.8: 90 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	24
Şekil 3.9: 120 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	24
Şekil 3.10: 180 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	25
Şekil 3.11: 30 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	25
Şekil 3.12: 60 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	26
Şekil 3.13: 90 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	26

Şekil 3.14: 120 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	27
Şekil 3.15: 180 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması .....	27
Şekil 3.16: 30 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	28
Şekil 3.17: 60 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	28
Şekil 3.18: 90 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	29
Şekil 3.19: 120 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	29
Şekil 3.20: 180 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması .....	30





## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Benzetim parametreleri .....	19
Çizelge 3.2: Katman parametreleri .....	20





## KISALTMALAR

<b>AWGN</b>	: Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü
<b>Bİ</b>	: Baz İstasyonu(Base Station, BS)
<b>GK<sub>x</sub></b>	: x Geliştirme Katmanı
<b>IoT</b>	: Nesneler Üzerinden İnternet
<b>IPFBA</b>	: Girişime Duyarlı Orantısal Adil Hüzme Tahsisi (Interference Aware Proportional Fair Beam Allocation)
<b>MBSFN</b>	: Çoklu Yayın Yapılan Tek Frekanslı Şebeke
<b>MCS</b>	: Kipleme ve Kodlama Seviyesi (Modulation and Coding Scheme, MCS)
<b>MIMO</b>	: Çoklu Girdi Çoklu Çıktı
<b>MINLP</b>	: Karışık Tamsayılı Doğrusal Olmayan Program
<b>MIP</b>	: Karışık Tamsayılı Programlama
<b>mmDalga</b>	: Milimetrik Dalga (Millimeter Wave, mmWave)
<b>MMGA</b>	: Grup Ortalamalarının Minimumunu Maksimize Eden
<b>MMGS</b>	: Minimum Grup QoE Toplamlarını Maksimize Eden
<b>MMU</b>	: Tüm Kullanıcıların Minimum QoE'sini Maksimize Eden
<b>MT</b>	: Toplam Sistem QoE'sini Maksimize Eden
<b>ÖVK</b>	: Ölçeklenebilir Video Kodlamalı (Scalable Video Coding, SVC)
<b>PFBA</b>	: Orantısal Adil Hüzme Tahsisi (Proportional Fair Beam Allocation)
<b>PFSBA</b>	: Orantısal Adil Tekil Hüzme Tahsisi (Proportional Fair Single Beam Allocation, PFSBA)
<b>PSNR</b>	: Tepe Sinyalinin Gürültüye Oranı
<b>QBABA</b>	: QoE Tabanlı Uyarlanabilir Hüzme Tahsisi
<b>QoE</b>	: Deneyim Kalitesi
<b>QoS</b>	: Hizmet Kalitesi
<b>RSSI</b>	: Sinyal Gücü Göstergesi
<b>SINR</b>	: Sinyalin Gürültü-Girişim Toplamına Oranı
<b>SNR</b>	: Sinyal-Gürültü Oranı
<b>TDMA</b>	: Zaman Dilimli Çoklu Erişim
<b>TK</b>	: Temel Katman
<b>VoIP</b>	: IP Üzerinden Ses İletimi



## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler (Bölüm 2) Açıklama

$\alpha$	Yol kaybı üssü sabiti
$\beta_n$	Anten eleman sayısına ve hüzmeye indisine bağlı açısal değişken
$\gamma$	1'e yakın bir sabit
$\phi$	Logaritmik gölgelendirme
$\sigma$	AWGN gücü
$\theta$	Alıcının açısal konumu
$\zeta_n$	Anten eleman sayısına ve hüzmeye indisine bağlı bir değişken
$AF_n(\theta)$	$n$ hüzmelerinin $\theta$ açısına göre olan dizi faktörü
$c_{k,n}$	Hüzmenin tahsis durumunu belirtir ikili değişken
$D_{max}$	Ağ çapı
$D_n(\theta_k)$	Bir hüzmelerin güç yoğunluğuna göre aynı radyasyon gücüne sahip izotropik antene kıyasla nasıl yoğunlaştığının bir göstergesi olan hüzmeye yönlülüğü değişkeni
$d_k$	$k$ kullanıcısının Bİ'ye olan uzaklığı
$g_{k,n}$	Bİ tarafından iletilen birim güce göre $n$ hüzmelerinin $k$ kullanıcısına ilettiği güç
$k$	Kullanıcı indisi
$K$	Toplam kullanıcı sayısı
$K_{min}$	Minimum hizmet oranı
$K_{total}$	İletim yapan toplam düğüm(veya hüzmeye) sayısı
$n$	Hüzmeye indisi
$N$	Anten elemanı dizisi
$p^{max}$	Bİ'nin tüm hüzmeler için sahip olduğu toplam iletim gücü
$P_{user}$	Kullanıcı başına iletim gücü
$R_{k,n}^t(\mathbf{c}, K_{total})$	$n$ hüzmelerindeki $k$ kullanıcısının $t$ zaman aralığındaki erişilebilir hızı
$\bar{R}_k^t$	$k$ kullanıcısının $t$ zamanına kadar olan ortalama hızı
$R_{max}$	Ağ çapı
$t$	Zaman dilimi indisi
$T$	Zaman dilimi sayısı

### Simgeler (Bölüm 3) Açıklama

$\alpha$	Üs sabiti
$\beta$	Üs sabiti
$\gamma_{j,g}^l$	$l$ ÖVK katmanının $g$ grubunda yer alan $j$ kullanıcısı tarafından alınabilip alınamayacağını gösteren ikili değişken
$\tau_k^l$	$l$ ÖVK katmanının $k$ MCS hız seviyesi ile alınabilmesi için gerekli zaman dilimi sayısı
$\psi_l$	$l$ ÖVK katmanının saniyede bit cinsinden hız gereksinimi
$\mu_{i,k,g}^l$	$l$ ÖVK katmanının $k$ MCS seviyesi ve $i$ hüzmesi ile $g$ grubuna ilettiğini gösteren ikili değişken
$\Omega_{max}$	Bir saniyedeki toplam zaman dilimi sayısı
$\Omega_{res}^g$	Grup başına düşen zaman dilimi kaynağı
$\lambda$	Sinyalin dalga boyu
$b_{j,g,i}$	$g$ grubunda yer alan $j$ kullanıcısının $i$ hüzmesinin kapsama alanında olup olmadığını gösteren ikili değişken
$\mathcal{C}$	Sabit bir değer
$d$	Kullanıcının Baz İstasyonuna olan mesafesi
$f_g$	$g$ grubunun algoritmanın devam edebilmesi için yeterli kaynağa sahip olup olmadığını gösteren ikili değişken
$f_{ps_l}$	$l$ ÖVK katmanına karşılık gelen saniyedeki çerçeve sayısı
$g$	Grup indisi
$\mathcal{G}$	Grup kümesi, $ \mathcal{G}  = G$
$G_R$	Kullanıcının anten kazancı
$G_T$	Baz İstasyonunun anten kazancı
$i$	Hüzme indisi
$\mathcal{I}$	Hüzme kümesi, $ \mathcal{I}  = I$
$I_g$	Grup $g$ kullanıcılarının içinde buldukları toplam hüzme sayısı
$j$	Kullanıcı indisi
$\mathcal{J}$	Kullanıcı kümesi, $ \mathcal{J}  = J$
$k$	MCS hızları seviyeleri indisi
$\mathcal{K}$	MCS hızları seviyeleri kümesi, $ \mathcal{K}  = K$
$l$	ÖVK katmanları indisi
$\mathcal{L}$	ÖVK katmanları kümesi, $ \mathcal{L}  = L$
$m_k$	$k$ MCS seviyesi ile gönderilirken kullanılacak hız
$M_{min}$	Her bir kullanıcı için sağlanması gereken minimum QoE değeri
$n_{i,g}$	Bİ tarafından $g$ grubundaki ve $i$ hüzmesinin kapsama alanındaki kullanıcılara $i$ hüzmesi kullanılarak gönderilen katman sayısı
$N_{i,k,j,g}$	$g$ grubundaki $j$ kullanıcısının $i$ hüzmesinde $k$ MCS hız seviyesini destekleyip desteklemediğini gösteren ikili değişken
$PL$	Yol kaybı
$P_R$	Kullanıcının aldığı sinyalin gücü
$P_T$	Baz İstasyonunun anten iletim gücü
$q_l$	$l$ ÖVK katmanına karşılık gelen deneyim kalitesi değeri
$QP_l$	$l$ ÖVK katmanına karşılık gelen quantizasyon parametresi
$u_{j,g}$	$j$ kullanıcısının ait olduğu grubu gösteren ikili parametre

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Problem Tanımları ve Motivasyon

Son yıllarda veri trafiği, canlı video aktarımı, VoIP, IoT ve giderek artan mobil cihaz sayısı ile ilişkili olan sosyal medya kullanımı gibi bant genişliği talep eden eğilimler nedeniyle sürekli arttıkça, daha fazla kablosuz bant genişliği gereksinimi çok daha önemli hale geliyor. 5G mobil iletişimin ortaya çıkmasıyla ortaya çıkacak bant genişliği gereksinim zorluklarını da dikkate alırsak eğer, mevcut kablosuz iletişimde kullanılanlara alternatif yenilikler veya teknikler geliştirilmelidir. Bu yüksek bant genişliği gereksinimini karşılamak için geniş bir bant genişliği sunan milimetre dalga (mmDalga) frekanslarının kullanılması, özellikle yüksek bant genişliği ve yüksek veri hızları sağlama gayesiyle yola çıkmış bulunmakta olan 5G [1] gibi yeni nesil kablosuz ağlar için iyi bir alternatiftir [2], [3]. Bununla birlikte, mmDalga, yüksek frekans sinyallerin yayılma karakteristiklerinden dolayı yüksek yol kaybı dezavantajına sahiptir ve bu sorun düzgün bir şekilde ele alınmayı gerektirmektedir [7]. Anten enerjisini, aktif dizi antenleri kullanarak belli bir alanı kapsayacak şekilde odaklamaya yarayan hüzmemeleme tekniği, bu sorunun üstesinden gelmek için iyi bir adaydır [7]. Hüzmemeleme ayrıca, çok noktaya yayın ağlarında kötü kanal koşullarına sahip kullanıcılara daha iyi video kalitesiyle hizmet verme avantajını da beraberinde getirmektedir. 5G mmDalga ağlarındaki video iletim uygulamaları için, bir videodaki veriyi aynı zaman aralığında isteyen bir kullanıcı grubuna iletebilmeye yarayan video çoğa gönderim, spektrumu verimli bir şekilde kullanmak için önemli bir teknolojidir [18]. Ölçeklenebilir Video Kodlama (ÖVK) standardının H.264/AVC uzantısı, katmanlı bir video kodlama konsepti sunar ve kısmi video aktarımı olanağı sağlayarak video sıkıştırma ve iletim açısından büyük avantajlar getirir [19].

Bu çalışmada, çok hüzmeli çok kullanıcı ana sistemden uç birimlere iletim sistemlerinde kullanıcılara orantılı adil hüzmeme tahsisi problemi çözülmüştür. Ayrıca hüzmemeleme tekniği kullanılan mmDalga şebekelerinde çok gruplu QoE tabanlı ÖVK video çoğa gönderimi ile ilgili bir çalışma sunulmuştur.

## 1.2 Çoklu Kullanıcılara İletimlerde Adil Hüzmeme Tahsisi

### 1.2.1 Literatür araştırması

mmDalga bandındaki küçük dalga boyları sayesinde büyük anten dizilerini daha küçük boyutlarda paketlemek mümkündür. Bu konsept, masif MIMO [4] olarak tanımlanır ve daha yüksek yönlülük ve Sinyal Gürültü Oranı (SNR) sağlar. Yönlülük terimi, bu çalışmada [5] çalışmasında olduğu gibi izotropik antenle karşılaştırıldığında aynı radyasyon

gücüne sahip olan bir anten hüzmelerinin güç yoğunluğu açısından ne kadar konsantre olduğunun bir ölçüsü olarak kullanılır. Geniş bir frekans spektrumu vaat etse de mm-Dalga bandı kendi içinde aşılması gereken dezavantajları barındırmaktadır. mmDalga frekanslarında asıl problem yüksek yol kaybıdır [2]. Bu sorunun üstesinden gelmek ve bu bandı etkili bir şekilde kullanabilmek için, anten dizilerini kullanarak yüksek bir yönlendirme sağlayan hüzmeler kritik bir teknolojidir [6]. Bu yönlülük yol kaybını telafi eder ve mmDalga teknolojisini bant genişliği açısından gelecekteki kablosuz iletişim için güçlü bir aday yapar. Analog ve dijital hüzmeler gibi iki tür hüzmeler tekniğinin yanı sıra, ikisinin karışımı olan hibrid hüzmeler tekniği de vardır [7], [8], [9]. Dijital hüzmeler, sinyal özellikleri temelbantta dijital olarak ayarlanarak elde edilen bir tekniktir [10]. Buna karşın analog hüzmeler, antenler üzerindeki faz kaydırıcıları kullanarak gerçekleştirilir [11]. Hüzmeler dayalı kablosuz iletişim sistemleri için, kullanıcılara hüzmeler dağıtımını önemli bir sorundur. Bununla birlikte, verimli bir hüzmeler tahsisi çözümü, hüzmeler arası girişimi (yan-lob girişimini) hesaba katmalıdır. Bu çalışmada, Butler Method [13] tarafından elde edilen yönlü, sabit açığa sahip hüzmeli bir analog hüzmeler şeması kullanılmıştır [12].

### 1.2.2 Tez in içeriği ve katkıları

Hüzmeler tahsisi konusu daha önce ilgili sistemdeki toplam hızın maksimize edilmesini amaçlayan [5] çalışmasında incelenmiştir. [5] makalesinde yazarlar yaptıkları çalışmalarda hizmet oranının (aktarılan kullanıcıların sayısı veya tek bir tahsiste aktif hale getirilen hüzmelerin sayısı) adillik için önemli bir parametre olduğunu ve hizmet oranı kısıtının optimizasyon problemine dahil edilebileceğini iddia etmiştir. Bununla birlikte, yan-lob girişimini ve bunun adil bir hüzmeler tahsisi üzerindeki etkisini hesaba katmışlardır. Bu çalışmada, her bir kullanıcının Bİ tarafından sağlanan oranların adil bir kısmını alabilmesi için, bir hizmet oranı kısıtlaması yerine orantılı bir adil hüzmeler tahsisi yapılabileceğini göstermekteyiz. Bu sonuca erişebilmek için bu çalışma MINLP tabanlı bir çözüm ve daha az karmaşıklığı olan yakın bir optimal algoritma geliştirmektedir. Bu çalışmada, MINLP tabanlı çözüm ve geliştirilen algoritmaya ek olarak, iki kısıt algoritması tanıtılmış ve bu dört yöntemin performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

### 1.2.3 Sistem modeli

Bu çalışmada, Şekil 1.1 (a)'da gösterildiği gibi  $N$  anten elemanı dizisi ile donatılmış ve hücrenin ortasına yerleştirilmiş bir Bİ ve kapsama alanına rasgele yerleştirilen bir grup  $K$  kullanıcılarından oluşmuş bir sistem varsaymaktayız. Baz istasyonu, Şekil 1.1 (b)'de gösterildiği gibi her biri belirli bir açısız bölgeyi kapsayan ve eşit hüzmeler genişliği olan hüzmeler oluşturur ve böylelikle anahtarlamalı hüzmeler mimarisini mümkün kılar.

$d_k$  değişkeni  $k$  kullanıcısının Bİ'ye olan uzaklığını,  $\alpha$  değişkeni yol kaybı üssü sabitini ve  $\theta$  değişkeni alıcının açısız konumunu temsil etsin.  $g_{k,n}$  değişkeni bu hüzmeler için Bİ tarafından iletilen birim güce göre  $n$  hüzmelerinin  $k$  kullanıcısına ilettiği gücü



göstermektedir.  $g_{k,n}$  değişkeni (1.1) Denklemi'ndeki gibi formüle edilebilir.

$$g_{k,n} = D_n(\theta_k) d_k^{-\alpha} \quad \forall k, n, \quad (1.1)$$

Burada  $D_n(\theta_k)$  bir hüzmelerin güç yoğunluğuna göre aynı radyasyon gücüne sahip izotropik antene kıyasla nasıl yoğunlaştığının bir göstergesi olan hüzmeye yönlülüğü değişkenidir ve (1.2) Denklemi'ndeki gibi formülleştirilmiştir [5].

$$D_n(\theta) = \frac{2(AF_n(\theta))^2}{\pi \int_0^{\pi} (AF_n(\psi))^2 \sin(\psi) d\psi} \quad (1.2)$$

(1.2) Denklemi'ndeki  $AF_n(\theta)$  değişkeni  $n$  hüzmelerinin  $\theta$  açısına göre olan dizi faktörüdür ve (1.5) Denklemi'ndeki gibi formüle edilmiştir [5].

$$\beta_n = \zeta_n \pi, \quad (1.3)$$

ve

$$\zeta_n = -\frac{N+1}{2} + n. \quad (1.4)$$

olarak tanımlı iken;

$$AF_n(\theta) = \frac{\sin(0.5N\pi \cos \theta - \beta_n)}{0.5N\pi \cos \theta - \beta_n} \quad (1.5)$$

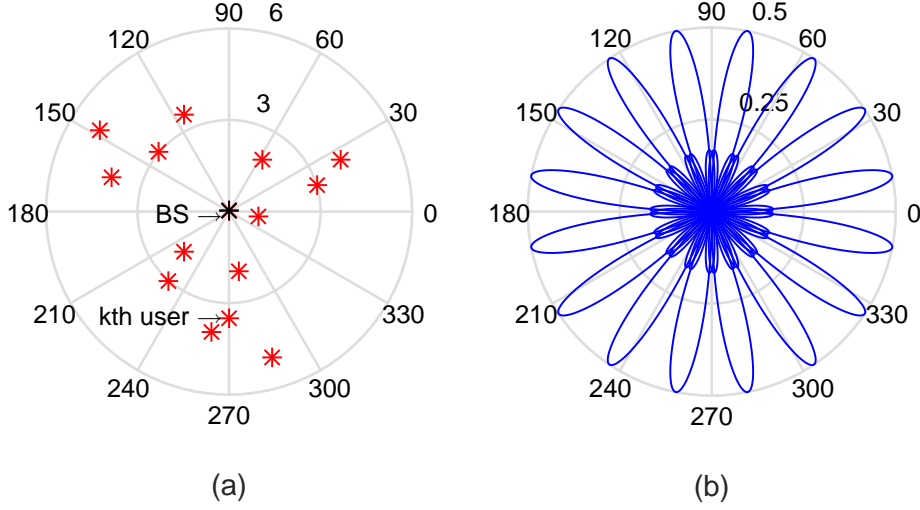
Bİ'nin tüm hüzmeler için sahip olduğu toplam iletim gücü  $P^{max}$  olsun. Bu toplam güç hüzmeler arasında eşit olarak paylaşılır.  $K_{total}$  ( $K_{total} \in 1, \dots, K$ ) iletim yapılan toplam düğüm (veya hüzmeye) sayısını göstermektedir.  $P_{user} = \frac{P^{max}}{K_{total}}$  kullanıcı başına iletim gücü olsun. İkili değişken  $c_{k,n} \in \{0, 1\}$  hüzmelerin tahsis durumunu belirtir. Eğer  $n$  hüzmeye,  $k$  kullanıcıya ayrılmışsa  $c_{k,n} = 1$  ayrılmamışsa  $c_{k,n} = 0$ 'dır. Bu veri ve değişkenlere dayanarak,  $R_{k,n}^t(\mathbf{c}, K_{total})$ ,  $n$  hüzmelerindeki  $k$  kullanıcısının  $t$  zaman aralığındaki erişilebilir hızını belirtir ve (1.6) Denklemi'yle ifade edilir.

$$R_{k,n}^t(\mathbf{c}, K_{total}) = \log_2 \left( 1 + \frac{\frac{P^{max}}{K_{total}} \times g_{k,n}}{\sigma^2 + \sum_{j=1, j \neq k}^K \sum_{m=1}^N c_{j,m} \times \frac{P^{max}}{K_{total}} \times g_{k,m}} \right), \quad \forall n, k \quad (1.6)$$

Hedefimiz, kullanıcıların uzun vadeli hız alımlarının orantısız adilliğini en üst düzeye çıkarmaktır.  $\bar{R}_k^t$  değerini, kullanıcı  $k$ 'nin  $t$  zaman aralığına kadarki ortalama hızı olarak tanımlayalım. Orantısız adillik ölçütü, kullanıcı başına alınan hızların ortalamalarının logaritmiklerinin toplamıdır  $\sum_k \log\{\bar{R}_k^t\}$  [14]. Ortalama oran her zaman diliminde (1.7) Denklemi'ndeki gibi güncellenir.

$\gamma$  1'e yakın bir sabit iken;

$$\bar{R}_k^{t+1} = \gamma \bar{R}_k^t + (1 - \gamma) \sum_{n=1}^N c_{k,n} R_{k,n}^t(\mathbf{c}, K_{total}) \quad (1.7)$$



Şekil 1.1: (a) 1 Bİ ve K kullanıcıdan oluşan örnek bir sistem, K=14 (b) Hüzme örnekleri, N=16

Orantısız adillik verimliliği artırmak ve bunu adil bir şekilde yapmak için uygun bir ölçüttür. Literatürde yer alan başka bir adalet ölçütü Jain'in Adalet Metriği'dir [17]. Bu metrik  $\mathcal{J}(R_1, \dots, R_K) = \frac{(\sum_{k=1}^K R_k)^2}{K \sum_{k=1}^K R_k^2}$  olarak formüle edilebilir. Bu metriğin maksimum değeri 1'e eşittir ve tüm hızlar eşitse bu değere ulaşılır. Dolayısıyla, bu metrik toplam verimin iyileştirilmesini teşvik etmez ve en kötü kanal koşuluna sahip kullanıcı tarafından kısıtlanır. Jain'in Adalet Metriği yerine log-toplam oranını seçmemizin başlıca nedeni budur.

### 1.3 ÖVK Video Yayınlarında Deneyim Kalitesi Temelli Hüzme Planlaması

#### 1.3.1 Literatür araştırması

Yönlendirme, planlama ve hız tahsisi, TDMA tabanlı kablosuz örgüsel ağlarda ÖVK video çok noktaya yayın için önemli problemlerdir [20]. WiMAX ağlarında ÖVK çok noktaya yayın sorunu, çakışan gruplardaki mobil cihazlar için enerji verimliliği sorununu da beraberinde getiriyor [21]. Kullanıcılara katman çok noktaya yayını uyarlanabilir bir şekilde planlamak ve uyarlanabilir MCS hızları vermek sayesinde iyi bir enerji verimliliği elde edilebilir. [22] çalışmasındaki yazarlar ÖVK çok noktaya yayın yapılan iletişim ağlarındaki kablosuz kanalların güvenilirliğini ve verimliliğini incele-

mekteler. Kötü kanal koşullarına sahip kullanıcıların iyi kanal koşullarına sahip kullanıcıları röle olarak kullanarak daha iyi görüntü kalitesi elde etmek için süperpozisyon kodlamaya dayalı iki aşamalı katmanlı video çok noktaya yayın planı kullanmak, sisteme yüksek veri hızları sağlamak için iyi bir uygulamadır. Kapasite ve kesinti sayısını dikkate alarak çok noktaya katmanlı video yayını yapılan MIMO ağlarında kullanıcıların aldığı video kalitesini iyileştirmeyi amaçlayan bir çalışma [23] makalesinde tartışılmıştır. Bir kesinti olasılığı ve kanal kapasitesi göz önüne alındığında, bir baz istasyonu ve kullanıcılardan oluşan bir sistemde özel bir röle düğümü kullanılması, kullanıcılara sunulan video kalitesini önemli ölçüde artırmaya yardımcı olabilir. [24] makalesinin yazarları, alt taşıyıcı atamasını, hüzme açısını ve hüzme yönünü uyarlanabilir şekilde ayarlayarak, aktif dizi antenleri bulunan ve varlığın farkında olan LTE çok noktaya yayın ağlarında bant genişliği verimliliğini ve sistem verimliliğini inceliyor. [25] çalışmasının yazarları, WiMAX ağlarında ÖVK video çoğa gönderim için bir kaynak ayırma problemini inceliyor ve sistemin hizmet kalitesini(QoS) artırmayı hedefliyor. Bu çalışma, kaynak dağılımı için fırsatçı bir kavramla, yani bir kullanıcı grubuna o gruptaki bütün kullanıcıların desteklediği en iyi MCS oranını vererek iyi bir QoS performansı elde edilebildiğini gösteriyor. Kullanıcılar tarafından alınan ÖVK video kalitesini arttırmak için MBSFN (Çoklu Yayın Yapılan Tek Frekanslı Şebeke) şebekelerinde uyarlanabilir bir modülasyon ve kodlama şemasının yanı sıra planlama şemasını kullanmak iyi bir çözümdür [26]. Ayrıca spektrum verimliliği de sağlayan bu uyarlamayı etkinleştirmek için, kullanıcılardan ölçülen SINR değerleri baz istasyonu tarafından kullanılmaktadır. WiMAX ağlarında ÖVK video çoğa gönderimi düşünüldüğünde, gerçek zamanlı kaynak tahsisi çözülmesi gereken bir başka sorundur [27]. Gerçek zamanlı ÖVK video çoğa gönderimi probleminde, kullanıcılar tarafından alınan video kalitesini arttırmak için her kullanıcı için minimum bir veri hızı garanti edilirken kullanıcı veri hızlarına dayanan bir yardımcı fonksiyon arttırılabilir. ÖVK çok noktaya yayın yapılan hüzmeli ağlarda ölçeklenebilir bir eğitim protokolü ve ölçeklenebilir hüzme gruplama algoritması için Ölçeklenebilir Yönlü Çoğa Gönderim fikrini ortaya koyan bir çalışma da vardır [28]. Bu çalışmadaki yenilikçi yaklaşım, çoklu gönderim oturumunu hüzme gruplarına ayrı ayrı iletim oturumlarına bölmek ve çoklu yayın sorununu tüm hüzme gruplarına iletim için bir zaman küçültme sorununa dönüştürmektir. Hüzmeli video çoğa gönderim ağlarında çok çözünürlüklü bir yaklaşımın yanı sıra çok katmanlı, örn. ÖVK, bir yaklaşımı ele almak kullanıcılar tarafından alınan video kalitesini arttırmak için iyi bir perspektif verir [29]. Kablosuz ağlarda ÖVK video çoğa gönderimi için uyarlanmış hüzme, MCS hızı ve zaman aralığı gibi kaynakların tahsisi [30] çalışmasında incelenmektedir. Çalışma, iletim sürelerini ve kaynaklarını uygun bir şekilde planlayarak, tek gruplu bir sistemin toplam QoE'sinin en üst düzeye çıkarılabileceğini göstermektedir.

### 1.3.2 Tezin içeriği ve katkıları

Literatürde, çok noktaya ÖVK video yayını ile ilgili farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, çok gruplu ve hüzmeli mmDalga ağlarda ÖVK çok noktaya yayın yapma üzerine bir çalışma, [30] ile benzer bir yaklaşımla sunulmuştur. Kullanıcı gruplarından gelen farklı video taleplerini dikkate alarak, çoklu gruplara ÖVK çok noktaya

yayını ile ilgili bir çalışma sunulmaktadır. Ayrıca ÖVK video çoğa gönderme konsepti mmDalga ağlarına uyarlanmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen matematiksel modellere ek olarak daha az karmaşıklığa sahip ve daha hızlı bir algoritma sunulmuştur.

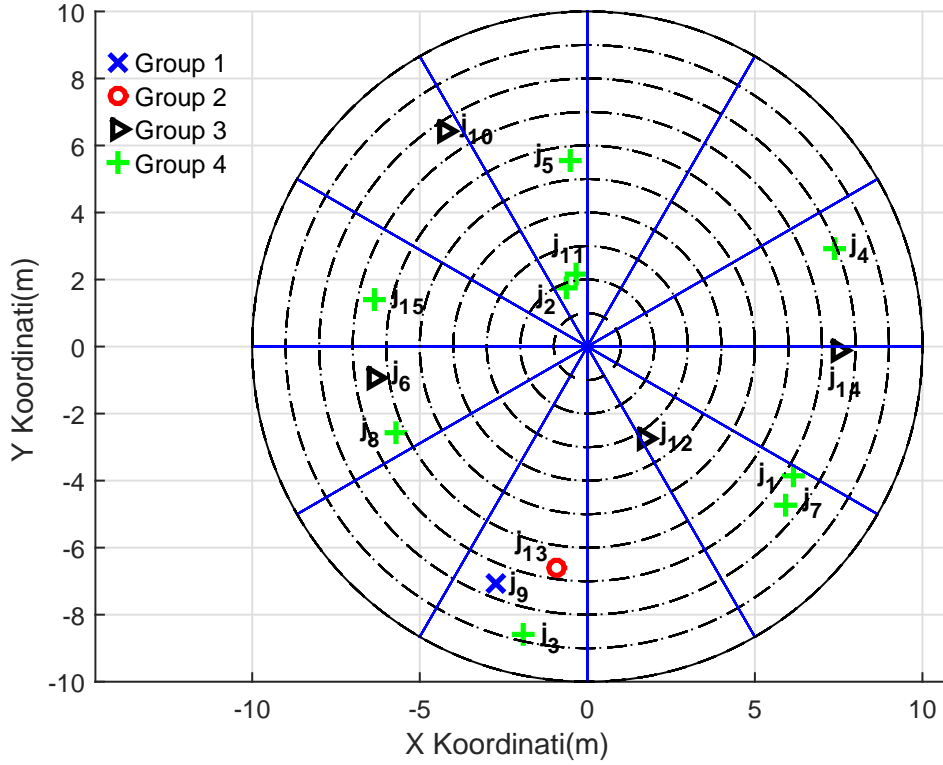
### 1.3.3 Sistem modeli

Bu çalışmada esas alınan ağ 1 Bİ ve bir alanda rastgele ve homojen olarak dağılmış olan bir dizi kullanıcıdan oluşmaktadır. Sistemde her bir grubun kullanıcılarının aynı videoyu talep ettiği birden fazla çoklu yayın grubu yer almaktadır. Bir kullanıcının yalnızca bir gruba ait olabileceğini varsaymaktayız. Baz istasyonunda bir anten dizisi bulunur ve bu anten yapısının analog hüzmeme kabiliyeti vardır. Bir hüzmeme kümesinden bir hüzmeme açısı seçilir ve çoklu yayın oturumları boyunca bu hüzmeme açısı değişmeden kullanılır. Baz istasyonu, belirli bir zaman diliminde tek bir yönde iletim yapabilir. Farklı yönler, farklı zamanlar için hüzmeme anahtarlaması yoluyla kapsanır. Hüzmeme arasındaki geçiş süresi ihmal edilmektedir. Baz alınan ağın bir örneği Şekil 1.2'deki gibidir. Örneğin, 30°'lik bir hüzmeme genişliği için sistem, her hüzmemenin kapsama alanının sabit ve birbirinden farklı olduğu 12 adet hüzmeme tarafından kapsanır. Bu bağlamda çoğa yayın alan bir grubun üyeleri farklı hüzmemelerin kapsama bölgeleri içinde olabilir. Bu çalışmada düşünülen hüzmeme ideal hüzmeme olup radyasyon yoğunluğu hüzmeme genişliği içinde sabittir ve hüzmeme alanı dışında sıfırdır. Optimizasyon çerçevesinde baz istasyonu, isteğe bağlı olarak, herhangi bir zamanda hüzmeme yerine yönsüz iletim kullanılabilir. Öte yandan, kullanıcı cihazlarının sadece yönsüz antenleri vardır. Toplanır beyaz gauss gürültüsü (AWGN) kanalı, mesafeye dayalı yol kaybı ve log normal gölgeleme varsayılmaktadır. Baz istasyonunun iletim gücü sabit kabul edilmektedir.

Zaman(1 saniye) birçok dilime bölünmüştür. Video iletimleri birden fazla zaman diliminde tamamlanabilir. Çok noktaya yayınlanacak video, ÖVK standardına göre kodlanır ve [19] çalışmasında olduğu gibi kullanıcılara ayrı ayrı iletilebilen bir dizi katmandan oluşur. Bir kullanıcı, bir katmanı ve bunun altındaki tüm katmanları başarıyla almışsa, bu video katmanını çözebilir. Bir grubun kullanıcıları, ilişkili hüzmeme için o grubun tüm kullanıcıları tarafından desteklenen bir Modülasyon ve Kodlama Şeması (MCS) oranı mevcutsa, bir video katmanını alabilir. MCS kavramı ve oranları, IEEE 802.11ad standardında olduğu gibi tanımlanmıştır [32]. Her MCS seviyesi, bir alınan Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI) eşliğine karşılık gelir. Bir MCS bir kullanıcı tarafından ancak eşdeğer RSSI eşliği aşırsa desteklenebilir.

Her bir grup için toplamda belli bir zaman dilimi sayısı olacak bir video çoğa gönderim seansı varsaymaktayız. Tüm videoların iletimi için toplam zaman dilimi sayısı kısıtı mevcuttur. Toplam kaynak miktarı ( $\Omega_{max}$ ) olup bu kaynak bir saniyedeki zaman dilimi sayısıdır. Bu toplam zaman dilimi kaynağı sınırlıdır ve gruplar arasında dinamik olarak paylaşılır. Hüzmeme kapsama alanında gruplara iletilen her video katmanı bu toplam kaynağın bir kısmını kullanır. Bu çalışmada hangi zaman diliminin hangi katmana, gruba veya hüzmemeye ayrıldığı önemli değildir. Bunun yerine, kaynakların optimum olarak dağıtılması önem arz etmektedir.

Kaynak tahsisinde kullanıcıların ve grupların QoE değerlerinin dikkate alındığını var-



Şekil 1.2: 30° hüzme açılı, 4 grup ve 10 kullanıcıdan oluşan örnek bir sistem

saymaktayız. QoE, bir video alıcısı tarafından sağlanan memnuniyet ölçüsüdür. Kalite ölçütü olarak, paket kayıp oranı, gecikme (servis kalitesi) veya Tepe Sinyalinin Gürültüye Oranı (PSNR) gibi nesnel ölçütler vardır. Bunların aksine QoE öznel bir kalite ölçütüdür ve genellikle bir izleyici panelinden görüş puanı elde edilerek ölçülür. Her bir ÖVK katmanı bir QoE kazanımı demektir ve  $q_l$   $l$  katmanına karşılık kazanılacak QoE değeridir. Bir kullanıcının QoE değeri, aldığı ÖVK katmanlarının QoE değerlerinin toplamıdır.

#### 1.4 Tez Organizasyonu

Tezin geriye kalan kısmının organizasyonu şu şekildedir: 2. Bölümde *Çoklu Kullanıcılara İletimlerde Adil Hüzme Tahsisi* konusu işlenmektedir. Bölüm 2.1 bu problem için önerilen optimal matematiksel modeli, Bölüm 2.2 bu problem için önerilen algoritmayı, Bölüm 2.3 önerilen model ve algoritma için benzetimsel karşılatırmayı yani benzetim parametreleri ile benzetim sonuçlarını içermektedir. 3. Bölümde *ÖVK Video Yayınlarında Deneyim Kalitesi Temelli Hüzme Planlaması* konusu işlenmektedir. Bölüm 3.1 bu problem için önerilen optimal matematiksel modeli, Bölüm 3.2 bu problem için önerilen algoritmayı, Bölüm 3.3 önerilen model ve algoritma için benzetimsel karşılatırmayı yani benzetim parametreleri ile benzetim sonuçlarını içermektedir. 4. Bölümde çalışma sonuçlandırılıp gelecek çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.



## 2. ÇOKLU KULLANICILARA İLETİMLERDE ADİL HÜZME TAHSİSİ

### 2.1 Optimal Çözüm

Bu çalışmada, kullanıcılara hüzme tahsisi planlanabilmesi için bir optimizasyon problemi oluşturduk. [14] makalesinde olduğu gibi, (1.7) Denklemi'nde tanımlanan hız log-toplam hedefi, ağırlıkların ortalama alınan hızların tersi olduğu bir ağırlıklı toplam hız olarak yakınsanabilir. Her bir zaman aralığında ayrı olarak çözülecek olan optimizasyon problemini (2.1) Denklemi'nde gösterildiği gibi modelledik.

$$\max_{\mathbf{c}, K_{total}} \left\{ U(\mathbf{c}, K_{total}) = \sum_{k=1}^K \frac{\sum_{n=1}^N c_{k,n} \times R_{k,n}^t(\mathbf{c}, K_{total})}{\bar{R}_k^t} \right\} \quad (2.1)$$

kısıtlar:

$$\sum_{n=1}^N c_{k,n} \leq 1, \quad \forall k \quad (2.2)$$

$$\sum_{k=1}^K c_{k,n} \leq 1, \quad \forall n \quad (2.3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} = K_{total} \quad (2.4)$$

$$P_{user} \times K_{total} = P^{max}, \quad \forall k, n \quad (2.5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \geq K_{min} \quad (2.6)$$

(2.1) Denklemi tüm kullanıcıların hızlarının hedef fonksiyonu olarak ağırlıklandırılmış toplamını tanımlar. (2.2) Eşitsizliği bir kullanıcının yalnızca bir hüzme kullanabileceğini ve (2.3) Eşitsizliği bir hüzmenin yalnızca bir kullanıcıya tahsis edilebileceğini belirtir. (2.4) Eşitliği bir optimizasyon değişkeni olan  $K_{total}$  kullanıcıya iletim yapılmasını sağlar. (2.5) Eşitliği her kullanıcı için iletim gücünü tanımlar. (2.6) Eşitsizliği her zaman aralığında minimum hizmet oranını (yayın yapılacak minimum kullanıcı sayısı) belirleyen kısıttır.

### 2.2 Önerilen Çözüm

(2.1) Bölümü'ndeki optimizasyon modeli sürekli ve tamsayı değişkenlerden oluştuğu için doğrusal değildir. Bu nedenle, Karışık Tamsayı Doğrusal Olmayan Program

(Mixed Integer Nonlinear Program, MINLP) olarak düşünülebilir. Hüzme tahsisinin MINLP tabanlı çözümünü elde etmek için bu problem GAMS yazılım paketindeki BARON çözücü kullanılarak çözüldü.

Optimal olmayan çözümler için bir karşılaştırma algoritması ve aynı zamanda hüzme tahsisi algoritması için yakın bir MINLP tabanlı çözüm önermekteyiz. Referans algoritmamız Orantısal Adil Hüzme Tahsisi (Proportional Fair Beam Allocation, PFBA) [5] optimal olmayan algoritmadan esinlenmiştir. Bu algoritma girişimi göz ardı ederek hüzme tahsisini gerçekleştirmektedir. Bu algoritmayı orantısal adillik hedefiyle revize ettik. Algoritma kullanıcıları tarayarak her kullanıcı için en iyi hüzme (en yüksek yönelime sahip olanı) bulur. Hüzme zaten başka bir kullanıcıya ayrılmışsa, kullanıcılar  $\frac{1}{R_k} \log_2 \left( 1 + \frac{P^{max} \times g_{k,n}}{\sigma^2} \right)$ ,  $\forall n, k$  metrik değerine göre karşılaştırılır. Geçerli kullanıcının metriği, orijinal olarak tahsis edilen kullanıcıdan daha büyükse, bir yeniden tahsis gerçekleşir; aksi takdirde durum değişmez. Bu  $O(NK)$  karmaşıklığa sahip oldukça basit bir algoritmadır. Öte yandan bu algoritma girişimi dikkate almaz ve benzetim sonuçlarında görüleceği üzere bu da performansı önemli derecede düşürür.

Önerilen algoritmamıza, Girişime Duyarlı Orantısal Adil Hüzme Tahsisi (Interference Aware Proportional Fair Beam Allocation, IPFBA) adı verilmiştir. 1 Algoritması IPFBA'nın Yalancı Kod'unu gösterir. Satır 1 başlatma adımınıdır. Her adımda (2-15 Satırları), algoritma bir serbest kullanıcıya, fayda fonksiyonunu (2.1) en iyi şekilde geliştiren bir şekilde, bir serbest hüzme tahsis etmeye çalışır. Serbest hüzmeler/kullanıcılar, henüz kullanılmayan/servis almamış olanlardır. Bir kullanıcıya bir hüzme verildiğinde ikisi de sırasıyla serbest hüzmeler ve serbest kullanıcılar listesinden çıkarılır. Yeni kurulan her hüzme ve kullanıcı çifti toplam faydaya katkıda bulunurken diğer kullanıcılara ekstra girişim oluşturur ve hüzme başına düşen gücü ( $P_{user}$ ) azaltır. Bir noktada bir tane daha hüzme-kullanıcı çifti eklenmesi toplam faydayı artırmaz ve bu noktada algoritma sonlandırılır. Mevcut formunda, önerilen IPFBA Algoritması, her hüzmeden her kullanıcıya kanal kazancının bilinmesini gerektirir. Daha pratik bir versiyon, kullanıcının açılma pozisyonuna en yakın sadece iki veya dört girişim kanal kazanımlarını kullanmaktadır.

Algoritmanın her iterasyonunda her serbest kullanıcı-hüzme çifti kontrol edilir. Ayrıca, Satır 6'daki toplam faydayı hesaplamak için hüzmeler arası girişimler hesaplanmalıdır. Aşırı durumda, algoritma tüm kullanıcıları planlayabilir, bu da  $K$  yinleme anlamına gelir. Bu nedenle bu algoritmanın en kötü durum karmaşıklığı  $O(K^3N^2)$ 'dir. Her kullanıcı için yalnızca en iyi iki veya dört girişim kontrol edilirse, karmaşıklık  $O(K^3N)$ 'ye düşer.

## 2.3 Benzetimsel Karşılaştırma

### 2.3.1 Benzetim parametreleri

Simülasyon modeli için  $K$  kullanıcı ve  $N$  hüzme göz önüne alınmaktadır. Simülasyon  $T = 100$  zaman aralığı boyunca sürmektedir. Kullanıcılar için alınan ortalama hızlar



---

**Algorithm 1** Girişime Duyarlı Orantısal Adil Hüzme Tahsisi (Interference Aware Proportional Fair Beam Allocation, IPFBA)

---

```
1: Başlat  $\mathcal{N}' = \mathcal{N} = \{1, 2, \dots, N\}$ ,  $\mathcal{K}' = \mathcal{K} = \{1, 2, \dots, K\}$ ,  $c_{k,n} = 0, \forall k \in \mathcal{K}, \forall n \in \mathcal{N}$ ,  $U^{max} = -\infty, K_{total} = 0$ 
2: while toplam faydada iyileşme var do
3:    $k^* = 0, n^* = 0$ 
4:   for  $k \in \mathcal{K}', n \in \mathcal{N}'$  do
5:      $\mathbf{c}' = \mathbf{c}, c_{k,n} = 1$ 
6:      $U(\mathbf{c}', K_{total} + 1)$  Hesapla
7:     if  $U(\mathbf{c}', K_{total} + 1) > U^{max}$  then
8:        $k^* = k, n^* = n$ 
9:        $U^{max} = U(\mathbf{c}', K_{total} + 1)$ 
10:    end if
11:  end for
12:  if  $k^*, n^* > 0$  then
13:     $c_{k^*,n^*} = 1$ 
14:  end if
15: end while
```

---

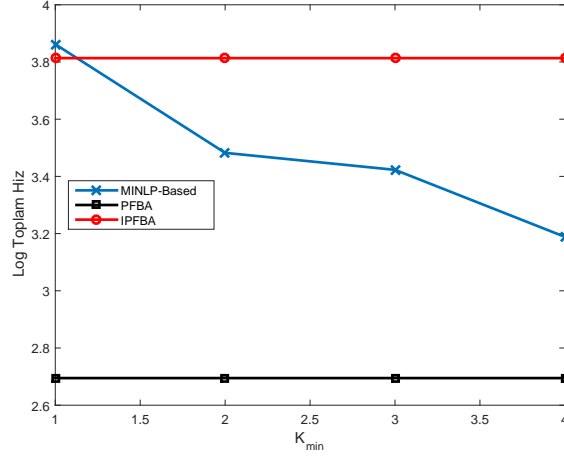
(1.7) uyarınca güncellenirken, önceki bölümlerde bahsedilen çözüm yöntemleri her zaman aralığında yürütülür.  $\gamma$  parametresi 0.9 olarak alınmıştır. Simülasyonun sonunda, her bir kullanıcının ortalama hızlarından elde edilen logaritmalar alınır ve toplanır.  $d$  kullanıcı mesafesi,  $\alpha$  yol kaybı üssü ve 2.7 olarak alınmak üzere yol kaybı (dB olarak)  $20 \log_{10} \left( \frac{4\pi}{\lambda} \right) + 10\alpha \log_{10}(d) + \Phi$  denklemi ile ifade edilir.  $\phi$  parametresi, logaritmik gölgelendirme olup, standart sapması 9.6 dB olan rastgele bir Gauss değişkenidir [15]. Gürültü güç spektrum yoğunluğu  $-174$  dBm ve sistem bant genişliği 800 MHz'dir.

İlk olarak hizmet oranı kısıtlamasının etkisini değerlendiriyoruz.  $K = 4$  kullanıcının  $D_{max} = 200$  metre çapında bir dairesel alanda homojen olarak dağıldığı ve  $N = 8$  hüzmelen oluşan bir sistemi ele almaktayız. Her kullanıcıya ait yol kaybı, simülasyon boyunca sabitlenmiştir.

### 2.3.2 Benzetim sonuçları

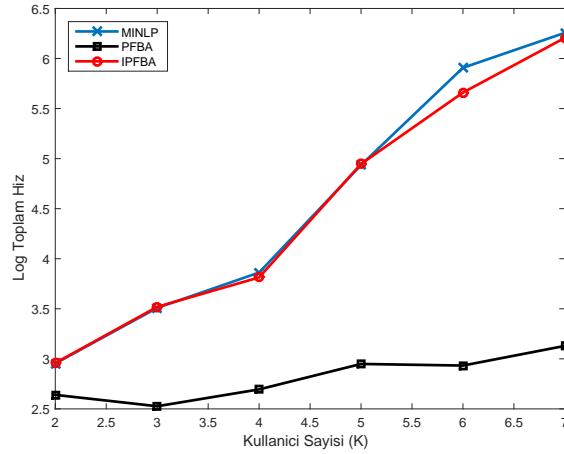
Şekil 2.1, üç yöntemin log-toplam hızını minimum hizmet oranı kısıtı olan  $K_{min}$ 'in bir fonksiyonu olarak göstermektedir.  $K_{min}$  yalnızca MINLP tabanlı yöntem için etkilidir. Şekilde görüldüğü gibi,  $K_{min} = 1$  için MINLP tabanlı çözüm en iyi performansı verir. Bununla birlikte,  $K_{min}$  arttıkça, daha fazla hüzmelerin etkinleştirilmesini zorunlu kılmak hüzmeler arası girişimi artırır ve orantısal adillik metriğini azaltır. Bu, belirli bir hizmet oranı zorunlu kılmak yerine, adilliği korumak için çoklu zaman aralıklarında adil hüzme tahsisi yapılabileceğini kanıtlamaktadır.

Şekil 2.2,  $N = 8$  hüzmeli bir sistemde, kullanıcı sayısına karşı logaritmik hız toplamı değişimi performansını göstermektedir. Sonuçlar, önerilen IPFBA algoritmasının MINLP tabanlı çözüme kıyasla neredeyse optimal performans sergilediğini ortaya



Şekil 2.1: Performans (log-toplam hızı) ile minimum hizmet oranı kısıtlaması ( $K_{min}$ ) ( $K = 4, N = 8, D_{max} = 200$  metre).

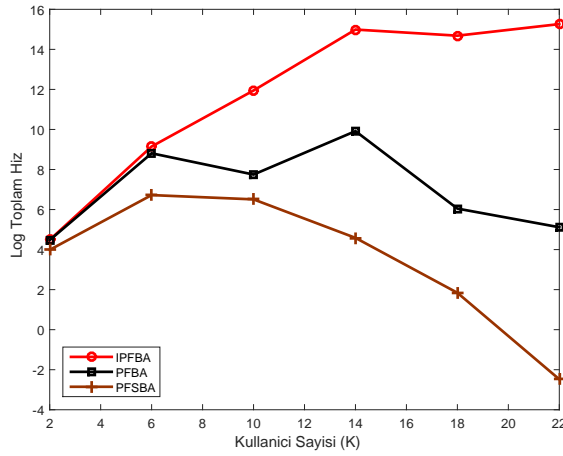
koymaktadır. Öte yandan, PFBA karşılaştırma algoritması, hüzme tahsisinde yan lob girişimini göz ardı eder; bu da, verimliliği ve orantısal adillik performansını ciddi şekilde düşürür.



Şekil 2.2: Performans ile kullanıcı sayısı ( $N = 8, D_{max} = 200$  metre,  $K_{min} = 1$ ).

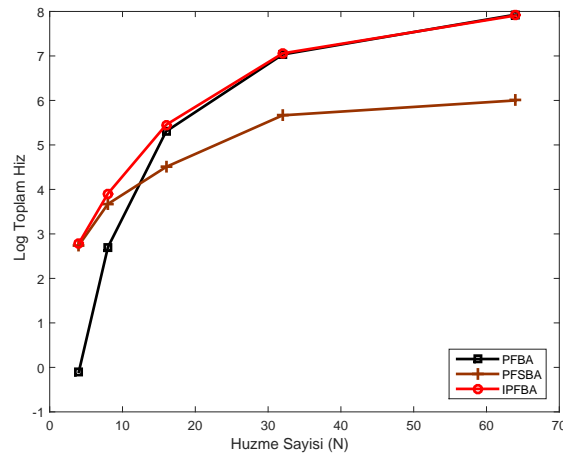
Şekil 2.3, çok sayıda kullanıcı ve hüzme için optimal olmayan algoritmaların performansını gösterir. Hüzme sayısı  $N = 32$  ve kullanıcı sayısı  $K = 2$  ile 22 arasında değişmektedir. Benzetim  $T = 500$  zaman aralığı için sürmekte ve  $\gamma = 0.95$  olarak alınmaktadır. Minimum hizmet oranı sınırlaması yoktur. Bu simülasyon için *Orantısal Adil Tekil Hüzme Tahsisi (Proportional Fair Single Beam Allocation, PFSBA)* algoritması olarak adlandırdığımız bir optimal olmayan algoritma daha ele alacağız. Bu algoritma, her zaman aralığında yalnızca tek bir hüzme (ve dolayısıyla tek bir kullanıcı) tahsis eder. Simülasyon sonuçları, hüzmeler arası girişimi hesaba katmanın kullanıcıların ortalama hızlarının logaritmik toplamını önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymaktadır. *PFBA* ve *PFSBA* algoritmaları için ilginç bir sonuç şudur; log-toplam hızı  $K$  ile ilk

olarak artar ancak daha sonra azalmaya başlar. Bunun nedeni, kullanıcı sayısının belli bir seviyeye yükseltilmesinin bireysel hızı düşürmesidir ve bu da log-toplamı azaltır.



Şekil 2.3: Hüzme sayısı  $N = 32$ , maksimum mesafe  $R_{max} = 200$  metre ve  $\gamma = 0.95$  iken performans ile kullanıcı sayısı

Şekil 2.4, belirli sayıda kullanıcı için hüzme sayısının artmasının etkisini göstermektedir. Sonuçlar ilginçtir; daha düşük sayıda hüzme için *IPFBA* performansı tek hüzme tahsisine yaklaşır. Bunun nedeni düşük  $N$  için, hüzme açısı daha geniştir ve yan lob (dolayısıyla hüzmeler arası girişim) daha önemlidir. Bu nedenle, bir zaman aralığı başına bir hüzmelerin (ve kullanıcının) planlanması iyi bir seçimdir. Öte yandan, hüzmelerin sayısı  $N$ , kullanıcı sayısından çok daha yüksek olduğunda, hüzmeler daha keskindir ve önemli bir girişime neden olmadan daha fazla kullanıcı planlamak mümkündür. Dolayısıyla *PFBA*'nın performansı *IPFBA*'ya yaklaşmaktadır.



Şekil 2.4: Kullanıcı sayısı  $K = 4$ , maksimum mesafe  $R_{max} = 200$  metre ve  $\gamma = 0.95$  iken performans ile hüzme sayısı



### 3. ÖVK VIDEO ÇOĞA GÖNDERİMLERDE DENEYİM KALİTESİ TEMELLİ HÜZME PLANLAMASI

#### 3.1 Optimal Çözüm

Uyarlanabilir MCS'ler kullanarak farklı hüzmeler tarafından kapsanan çok kullanıcılu gruplar için ÖVK katmanlarının iletimini planlayan bir optimizasyon problemi oluşturduk. Bir çoklu yayın grubunun toplam QoE'si gruptaki kullanıcıların QoE'lerinin toplamıdır. Bir grubun ortalama QoE'si, grubun toplam QoE'sinin gruptaki kullanıcıların sayısına bölünmesi ile elde edilen değerdir. Optimizasyon probleminin amacı, tüm kullanıcılara minimum bir QoE sağlarken, bütün çoklu yayın gruplarının ortalama QoE'lerinden minimum olanı maksimum düzeye çıkarmaktır. Bu problemi, kullanılabılır zaman dilimi kaynağını, en uygun MCS düzeylerini kullanarak gruplara ve hüzmelere tahsis ederek çözdük. Bu çalışmada önerilen Karışık Tamsayı Programlama (MIP) modeli, Grup Ortalamalarının Minimumunu Maksimize Eden (MMGA) model olarak adlandırılmış olup şu şekilde formüle edilmiştir.

$$U_{MMGA} : \max_{\bar{\mu}, \bar{\gamma}} \left\{ \min_{g \in G} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L q_l \gamma_{j,g}^l}{\sum_{j=1}^J u_{j,g}} \right\} \right\} \quad (3.1)$$

Kısıtlar:

$$\Omega_{max} \geq \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \tau_k^l \mu_{i,k,g}^l \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \mu_{i,k,g}^l N_{i,k,j,g} \geq \gamma_{j,g}^l, \forall j \in \mathcal{J}, g \in \mathcal{G}, l \in \mathcal{L} \quad (3.3)$$

$$\gamma_{j,g}^l \geq \gamma_{j,g}^{l+1}, \forall j \in \mathcal{J}, g \in \mathcal{G}, l \in \mathcal{L}/1 \quad (3.4)$$

$$\sum_{l=1}^L q_l \gamma_{j,g}^l \geq M_{min}, \forall j \in \mathcal{J}, g \in \mathcal{G} \quad (3.5)$$

Eşitlik (3.1) önerilen modelimizin hedef fonksiyonudur ve tüm grupların QoE ortalamalarının en düşük olanını maksimize etmeyi amaçlar. İkili karar değişkeni  $\gamma_{j,g}^l$ ,  $g$  grubundaki  $j$  kullanıcılarının  $l$  ÖVK video katmanını alması durumunda 1, aksi takdirde 0 olur. Kısıt (3.2), sistemdeki tüm katman iletimleri için saniye başına zaman aralıklarındaki toplam kaynak kısıtlamasını tanımlar. Burada,

$$\tau_k^l = \left( \frac{\psi_l}{m_k} \right), \forall k \in \mathcal{K}, l \in \mathcal{L} \quad (3.6)$$

$$r_l = 25 \left( \frac{2^{(QP_l-4)/6}}{5} \right)^{-\alpha} \cdot \left( \frac{fps_l}{30} \right)^\beta \text{ Mbit/s}, \forall l \in \mathcal{L} \quad (3.7)$$

ve

$$\psi_l = r_l - r_{l-1} \quad (3.8)$$

olarak tanımlanır.  $\psi_l$ ,  $l$  katmanının bit/sn oranı gereksinimi,  $r_l$   $l$  katmanının hızı,  $\alpha$  ve  $\beta$  üs sabiti,  $m_k$  ise  $k$  MCS seviyesine denk gelen bit/sn veri hızıdır [30]. Video katmanı parametreleri  $QP_l$  ve  $fps_l$  Benzetimsel Karşılaştırma bölümünde tanımlanmaktadır. 3.7 denkleminde tanımlanan  $2^{(QP_l-4)/6}$  ifadesi niceleme değişkenini temsil etmektedir.

Diğer karar değişkeni  $\mu_{i,k,g}^l$ ,  $i$  hüzmesi yönünde  $g$  grubu kullanıcılarına  $l$  katmanı  $k$  MCS seviyesi ile gönderildiğinde 1 değerini aksi durumda 0 değerini alan ikili bir değişkendir.  $g$  grubundaki  $j$  kullanıcı  $k$  MCS seviyesi kullanılarak  $i$  hüzmesine yönlendirilen iletileri almaya yetecek RSSI'ya sahipse,  $N_{i,k,j,g}$  ikili parametresi 1 değerini aksi durumda 0 değerini alır. Ardından, Kısıt (3.3),  $g$  grubundaki  $j$  kullanıcısının  $l$  katmanını alabilmesi için o yönde yapılan yayının bu kullanıcı tarafından desteklenen bir MCS seviyesi ile yapılmasını şart koyar. Kısıt (3.4) bir kullanıcının  $l+1$  katmanını alabilmesi için  $l$  katmanını da alması gerektiğini belirtir. Son olarak, Kısıt (3.5), sistemdeki her kullanıcı için minimum bir QoE değeri garantisini verir.

Geliştirilen MIP modeli ile karşılaştırma amacıyla bu çalışmada üç tane daha amaç fonksiyonu oluşturduk. Bu karşılaştırma modelleri için kısıtlar (3.2) - (3.5) ile aynıdır ancak üç benchmark MIP modelinin üç farklı hedef fonksiyonu vardır. İlk karşılaştırma modeli, Minimum Grup QoE Toplamlarını Maksimize Eden (MMGS) modeldir ve amaç fonksiyonu (3.9) Denklemi ile tanımlanmıştır. Bu model çok noktaya yayın alan grupların minimum toplam-QoE'sini maksimize etmeyi amaçlıyor.

$$U_{MMGS} : \max_{\bar{\mu}, \bar{\gamma}} \left\{ \min_{g \in G} \left\{ \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L q_l \gamma_{j,g}^l \right\} \right\} \quad (3.9)$$

İkinci karşılaştırma modeli Tüm Kullanıcıların Minimum QoE'sini Maksimize Eden (MMU) modeldir ve amaç fonksiyonu (3.10) Denklemi ile tanımlanmıştır. Model sistemdeki tüm kullanıcılar arasında minimum kullanıcı QoE'sini maksimize etmeyi amaçlamaktadır.

$$U_{MMU} : \max_{\bar{\mu}, \bar{\gamma}} \left\{ \min_{g \in G, j \in J} \left\{ \sum_{l=1}^L q_l \gamma_{j,g}^l \right\} \right\} \quad (3.10)$$

Üçüncü karşılaştırma modeli Toplam Sistem QoE'sini Maksimize Eden (MT) modeldir ve amaç fonksiyonu (3.11) Denklemi ile tanımlanmıştır. Bu model tüm grupların toplam QoE'sini maksimize etmeyi amaçlamaktadır.

$$U_{MT} : \max_{\mu, \gamma} \left\{ \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L q_l \gamma_{j,g}^l \right\} \quad (3.11)$$

### 3.2 Önerilen Çözüm

Bu çalışmada bir MIP formülasyonu geliştirilmiş olsa da bu modelin çözümü NP-zor bir çözümdür, dolayısıyla karmaşıklığı ve maliyeti azaltmak için polinom-karmaşıklıkta bir hüzme planlama algoritması gereklidir. Bu çalışmada önerilen çözüm Algoritma 2 olarak sunulmuştur.

Varsayalım ki  $I_g$ ,  $g$  grubunun kullanıcılarının içinde buldukları toplam hüzme sayısını ve  $n_{i,g}$ , Bİ tarafından  $g$  grubundaki ve  $i$  hüzmesinin kapsama alanındaki kullanıcılara  $i$  hüzmesi kullanılarak gönderilen katman sayısını gösterebilir.  $f_g$  de  $g$  grubunun algoritmanın devam edebilmesi için yeterli kaynağa sahip olup olmadığını gösteren bir ikili değişken vektörü olsun; yani  $g$  grubu daha fazla çoklu yayın oturumu için kaynak içeriyorsa  $f_g = 0$ , içermiyorsa  $f_g = 1$  değerini alır.

Algoritma gruplara kaynak ayırma ile başlar. Her grup, kullanıcılarının kapsama alanında bulunduğu toplam hüzme sayısı ile orantılı olarak zaman dilimi kaynağı alır (Satır 1). Kaynakların gruplardaki kullanıcı sayısına göre bölünmediğini not edelim. Bunun nedeni, bu çalışmanın bir, çok noktaya yayın senaryosu olmasıdır; burada, bir grup için gerekli olan kaynak miktarı gruptaki kullanıcıların sayısı ile orantılı olmaz. Bunun yerine, öncelikle bir gruptaki tüm kullanıcıları kapsamak için gereken hüzme sayısı belirlenir. Algoritmanın bir sonraki basamağı, her grup ve hüzme çifti için hüzme ve hız tahsisi probleminin çözüldüğü bir döngüdür. Bu döngü, hiçbir kaynak kalmıncaya kadar veya tüm katmanların tüm hüzmelerden tüm gruplar tarafından alınıncaya kadar devam eder (Satır 3-20). Önerilen algoritma için, MIP modelinden farklı olarak yönsüz hüzme kullanılmaz, sadece yönlü hüzmeler kullanılır. Her döngüde, her  $i$  hüzmesi ve  $g$  grubu kontrol edilir.  $i$  hüzmesinin kapsamı dahilinde  $g$  grubuna ait bazı kullanıcılar varsa, bu gruplara bağlı kullanıcılara gönderilen katman sayısı 1 (Satır 8-9) artırılır. Bu katmanın alınabilmesi için bu gruptaki ve bu hüzmedeki tüm kullanıcılar tarafından desteklenen en yüksek MCS oranı seçilir (Satır 10). Sistem değişkenleri buna göre güncellenir ve kaynakların tükenip tükenmemesi koşulu kontrol edilir. Kaynak kısıtı ihlal edildiyse, değişkenler döngü başladığında sahip oldukları değerlere göre güncellenir ve bu grubun kullanıcıları için kaynakların tükendiğini gösteren bir bayrak yükseltilir (Satır 16). İhlal yoksa, algoritmadaki değişkenler mevcut değerlerini korur ve algoritma bir sonraki döngüyle devam eder.

---

**Algorithm 2** QoE Tabanlı Uyarlanabilir Hüzme Tahsisi (QBABA)

---

```
1: Girdiler:  $\tau_k^l, N_{i,k,j,g}, \text{forall } j \in \mathcal{J}, \forall g \in \mathcal{G}, \forall l \in \mathcal{L}$ 
2: Başlat:  $\gamma_{j,g}^l = 0, \mu_{i,k,g}^l = 0, \forall j \in \mathcal{J}, \forall g \in \mathcal{G}, \forall l \in \mathcal{L}, n_{i,g} = 0, \forall i \in \mathcal{I}, \forall g \in \mathcal{G},$ 
 $f_g = 0, \forall g \in \mathcal{G}, \Omega_{res}^g = \frac{\Omega_{max}}{I_g}, \forall g \in \mathcal{G},$ 
3: while  $\exists g$  öyle ki  $f_g = 0$  do
4:   for  $i \in \mathcal{I}, g \in \mathcal{G}$  do
5:     if  $\exists j$  öyle ki  $b_{j,g,i} = 1 \wedge n_{i,g} < L$  then
6:        $\gamma_{j,g}^l \leftarrow \gamma_{j,g}^l, \forall j, g, l$ 
7:        $\mu_{i,k,g}^l \leftarrow \mu_{i,k,g}^l, \forall i, k, g, l$ 
8:        $n_{i,g} \leftarrow n_{i,g} + 1, l^* = n_{i,g}$ 
9:        $\gamma_{j,g}^{l^*} \leftarrow 1$ 
10:       $\mu_{i,k^*,g}^{l^*} \leftarrow 1, \text{for } k^* \leftarrow \max\{k \mid N_{i,k,j,g} = 1\}$ 
11:      if  $(\Omega_{res}^g - \tau_{k^*}^{l^*} \geq 0)$  then
12:         $\Omega_{res}^g \leftarrow \Omega_{res}^g - \tau_{k^*}^{l^*}$ 
13:         $\gamma_{j,g}^l \leftarrow \gamma_{j,g}^l, \forall j, g, l$ 
14:         $\mu_{i,k,g}^l \leftarrow \mu_{i,k,g}^l, \forall i, k, g, l$ 
15:      else
16:         $f_g = 1$ 
17:      end if
18:    end if
19:  end for
20: end while
```

---

### 3.3 Benzetimsel Karşılaştırma

#### 3.3.1 Benzetim parametreleri

MMGA modelini MMGS, MMU, MT modelleri ve QBABA algoritması ile birlikte değerlendirmek için kapsamlı simülasyonlar yaptık. Modeli GAMS optimizasyon aracı ile çözdük ve GAMS sonuçları ile sezgisel algoritmayı Matlab R2014b'yi kullanarak simüle ettik. 100 kullanıcıdan ve bir Bİ'den oluşan bir ağ düşündük. Kullanıcılar 4 grup arasında bölünmüş durumda olup ve bir kullanıcı yalnızca bir gruba ait olabilir. Kullanıcılar gruplara belli oranlara göre dağıtılır; yani, grup 1'in bir kullanıcıya sahip olma ihtimali 1 oranında ise, grup 2-3-4'ün aynı kullanıcıya sahip olma ihtimalleri sırasıyla 2, 4 ve 8 oranındadır. Kullanıcılar ağa rastgele dağıtılır. 9 MCS oranı ve her birinin QoE değeri kendine özgü 8 ÖVK katmanı vardır.  $QP_l, fps_l$  ve ilişkili  $q_l$  değerleri, [31] çalışmasından alınmıştır.  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri sırasıyla 1.15 ve 0.577 alınmıştır. IEEE 802.11ad'de 13 ila 21 olarak indekslenmiş MCS oranları kullanılmaktadır. Bİ anteninin iletim gücü 200 mW'dır ve sabittir. Yol kaybı modeli ve alınan güç için formülasyon, [18] çalışmasındaki gibidir ve 3.12 Denklemi'yle ifade edilir; burada  $G_T$  ve  $G_R$  verici ve alıcı anten kazançları,  $P_T$  ise iletim gücü,  $\mathcal{L}$  sabit bir değer,  $PL_0$  1 metre için referans yol kaybı,  $a$  bu çalışma boyunca 2 alınacak olan yol kaybı üssü,  $d$  ise verici ve alıcı antenler arasındaki mesafedir.  $PL_0$  3.13 Denklemi kullanılarak



hesaplanabilir; burada  $\lambda$ , mmDalga ağlarında yaygın olarak kullanılan 60GHz sinyalinin dalga boyudur [18]. Benzetim sonuçları iki farklı 1 saniyedeki zaman dilimi sayısı parametresi için tekrar edilmiş olup bu değerler 10 ve 40 olarak alınmıştır. Her kullanıcıya 2.7 QoE değeri verilmesi garanti edilmektedir. Sistemi şu 5 farklı hüzmeye açısı için simüle ettik;  $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 180^\circ$ . Simülasyon parametreleri Çizelge 3.1 'de özetlenmiştir. Simülasyon her bir hüzmeye açısı ve her bir model için 100 kere çalıştırılmış olup probleme minimum 90 kere için çözüm bulunması hedeflenmiştir. Eğer çözüm bulunma oranı %90'ın altındaysa bu model ve hüzmeye ikilisi için QoE değeri 0 kabul edilmiştir. Eğer çözüm bulunma oranı %90 ve üstündeyse bu model ve hüzmeye ikilisi için QoE değeri çözümlerin ortalaması olarak alınmıştır.

$$P_R = G_T + G_R + P_T - \mathcal{C} - PL_0 - 10a \log_{10}(d) \quad (3.12)$$

$$PL(dB) = 10 \log_{10}\{(4\pi/\lambda)^2 d^a\} \quad (3.13)$$

Çizelge 3.1: Benzetim parametreleri

Parametreler	Değerler
Toplam hüzmeye sayısı, $I$	12,4,3
Toplam kullanıcı sayısı, $J$	100
Toplam MCS seviye sayısı, $K$	9
Toplam ÖVK katman sayısı, $L$	8
Toplam grup sayısı, $G$	4
$l$ ÖVK katmanını alan bir kullanıcının kazanaacağı QoE değeri, $q_l$	{1.2, 0.8, 0.7, 0.6, 0.6, 0.4, 0.4, 0.4}
Bir saniyedeki zaman dilimi sayısı, $\Omega_{max}$	10 ve 40
Her bir kullanıcı için minimum QoE değeri, $M_{min}$	2.7
Her bir seviyeye denk gelen MCS hızları, $m_k$	{693, 866.25, 1386, 1732.5, 2079, 2772, 3465, 4158, 4504} Mbps

ÖVK videosu için katman parametreleri Çizelge 3.2 içerisinde verilmiştir. Değerler Temel Katman (TK) ve Geliştirme Katmanları (GKx) için verilmiştir.

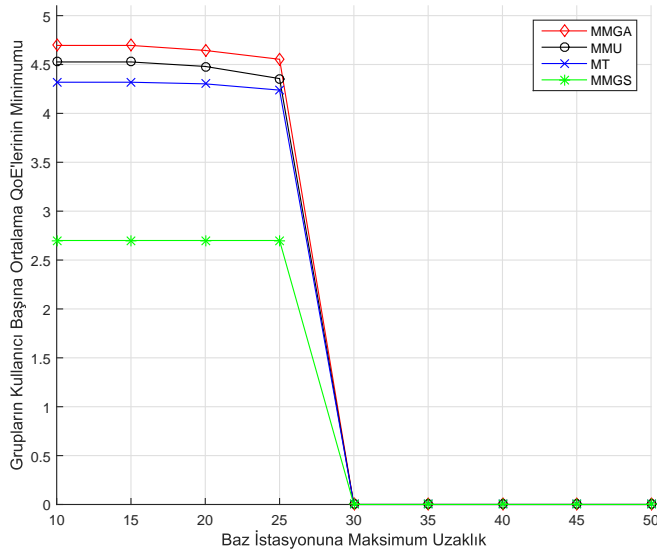
### 3.3.2 Benzetim sonuçları

Önerilen MIP modeli ile diğer karşılaştırma MIP modelleri ve önerilen MIP modeli ile önerilen algoritma 3.1 - 3.20 Şekillerinde gösterildiği gibi simüle edilmiştir. 3.1 - 3.10 Şekilleri 1 saniyedeki zaman slotu sayısı 10 iken elde edilmiş sonuçları, 3.11 - 3.20 Şekilleri 1 saniyedeki zaman slotu sayısı 40 iken elde edilmiş sonuçları göstermektedir.

Şekil 3.11 - 3.15 daha dar açılı hüzmelerin daha iyi bir sistem kapsama alanı sağladığını göstermektedir. Bu, hüzmeli antenlerin fiziksel avantajlarından kaynaklanmak-

Çizelge 3.2: Katman parametreleri

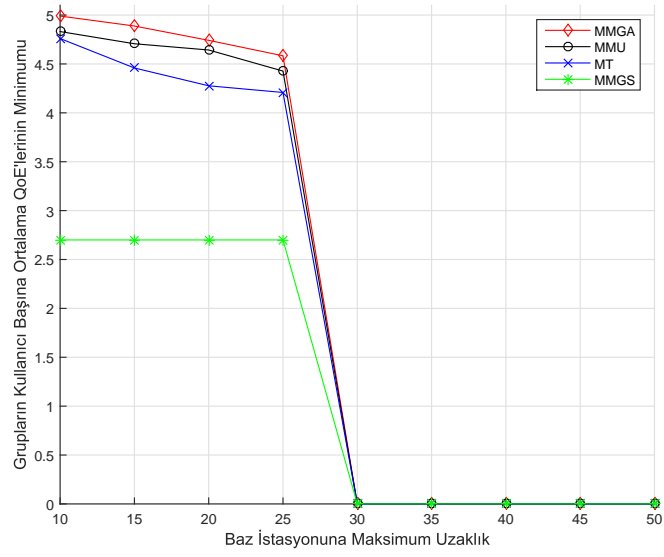
ÖVK Video Katmanı	$QP_l$	$f_{ps_l}$
TK	46	7.5
GL1	42	7.5
GL2	38	7.5
GL3	34	15
GL4	30	15
GL5	26	15
GL6	22	30
GL7	18	30



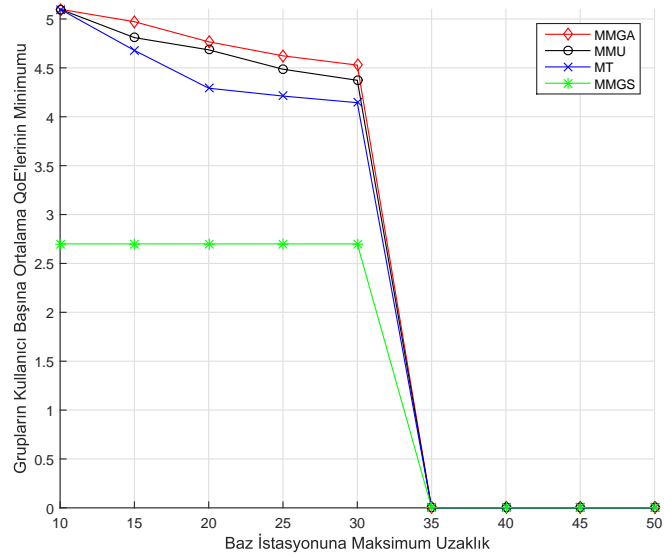
Şekil 3.1: 30 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması

tadır. Daha da açmak gerekirse hüzmeye açısı küçüldükçe anten aynı yayın enerjisini daha dar açılı bir alan için kullanacağından yayın yapabileceği uzaklık da artmaktadır. Benzetim sonuçlarında dikkati ilk çeken sonuç budur. Diğer bir dikkat çekici sonuç kullanıcıların yayılabileceği maksimum uzaklık arttıkça minimum ortalama QoE değeri hüzmeye açısından ve modelden bağımsız olarak azalma eğilimi göstermektedir. Bu da anlaşılabilir bir sonuçtur çünkü tüm kullanıcıların yakın mesafelerde yer aldığı kullanıcı gruplarına katman iletebilmek tüm kullanıcıların yakın mesafelerde yer almadığı kullanıcı gruplarına katman iletebilmekten daha kolaydır. Kullanıcılar uzak mesafelere yayıldıkça kullanıcıların aynı kalitede yayın alabilmeleri için daha çok kaynak harcanmakta ve iletilen katman sayısı kaynakların tükenmesinden dolayı azalmaktadır.

Şekil 3.1 - 3.5 ise daha farklı sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlar incelenince hüzmeye genişliği arttıkça kapsama alanının düşmediği hatta 60 derecelik hüzmeye açısından 90 derecelik hüzmeye açısına geçildiğinde kapsama alanının 5 metre arttığı görülmektedir.

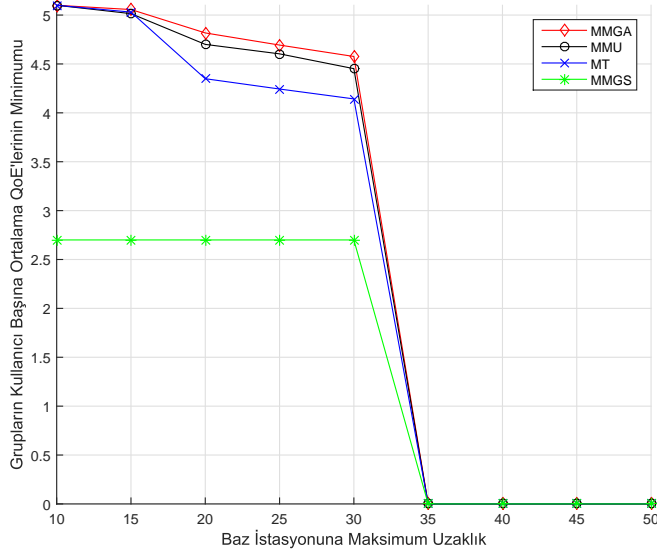


Şekil 3.2: 60 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoS karşılaştırması

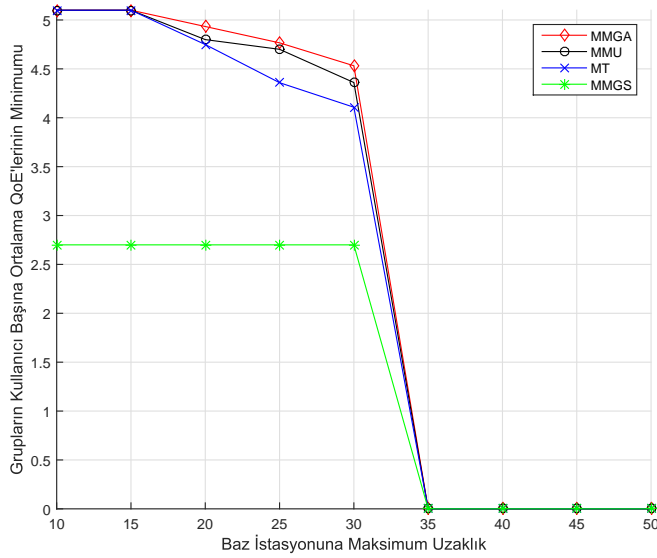


Şekil 3.3: 90 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoS karşılaştırması

Bu sonuç tek başına bakıldığında hüzmeye açı arttıkça kapsama alanının küçülmesi gerektiği yargısı ile çelişmektedir ancak bu sonucun ortaya çıkmasının başka bir nedeni vardır. Şekil 3.1 - 3.5 saniyede 10 zaman slotuna sahip olunan durumda sistemin performansını göstermektedir. Bu benzetimlerde kapsama alanını belirleyen etken fiziksel anten kısıtı yani hüzmeye açı değil düşük hüzmeye açılı durumlarda zaman slotunun belli bir uzaklıktan sonra yetersiz kalması olmuştur. Hüzmeye açı büyüdükçe tek gönderimde daha çok kullanıcıya hizmet verilebileceğinden bu gönderimde kullanılacak



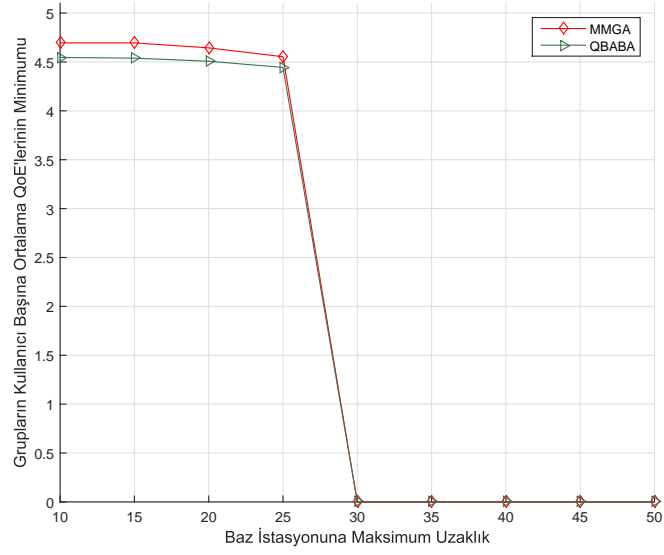
Şekil 3.4: 120 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması



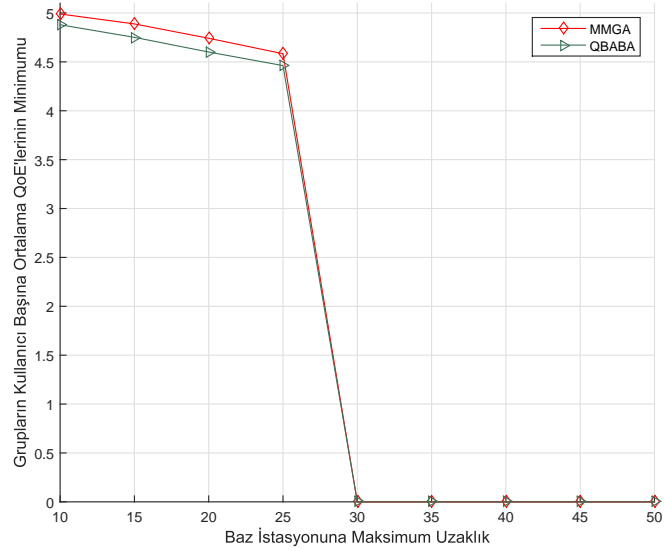
Şekil 3.5: 180 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması

kaynak yani zaman slotu sayısı azalacaktır ve bu da kapsama alanını büyütecektir.

Şekil 3.1 - 3.5 ve Şekil 3.11 - 3.15'te verilen benzetim sonuçlarından çıkarılabilecek bir diğer önemli sonuç anten hüzmeye açısı büyüdükçe grupların kullanıcı başına düşen ortalama QoE'lerinden minimumunun artmasıdır. Bunun nedeni şudur: geniş hüzmeye açısı ile tek seferde daha çok kullanıcıya hizmet verilebileceğinden tek gönderimde kullanılan kaynak miktarı azalmakta ve kullanıcılara böylece daha çok katman yayını



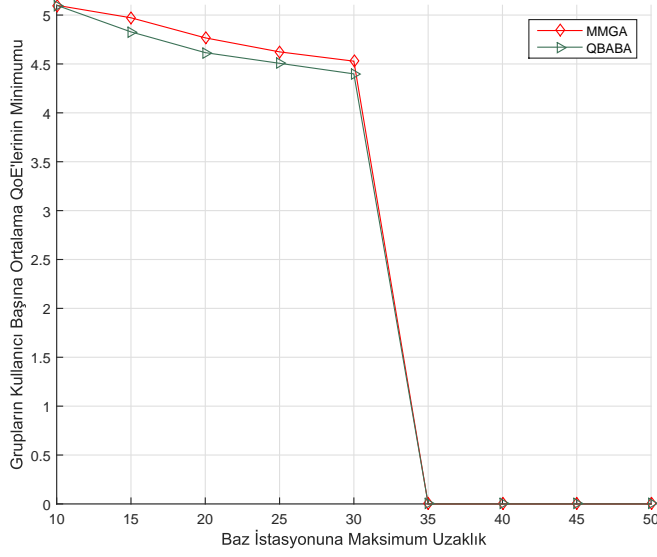
Şekil 3.6: 30 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması



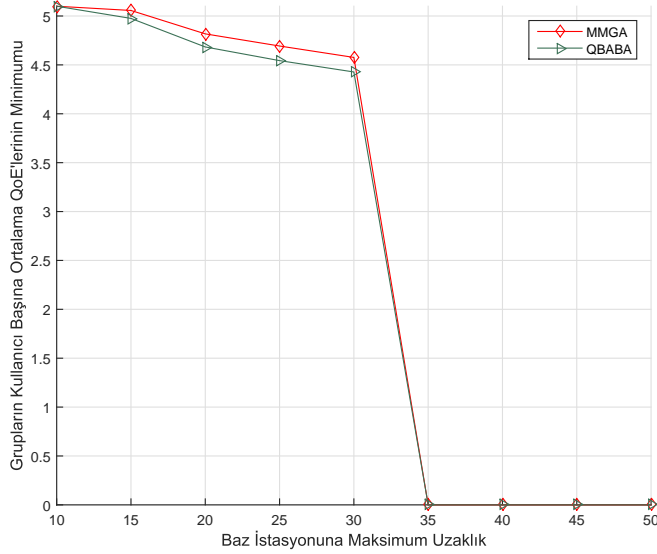
Şekil 3.7: 60 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması

yapılabilmektedir. Bu da ortalama minimum QoE değerini arttırmaktadır.

Bu sonuçlara göre iki durum ortaya çıkmaktadır. Dar hüzmeye kullanmak daha uzaktaki kullanıcılara hizmet verme olanağı sağlamakta ancak kullanıcı başına daha küçük minimum ortalama QoE vermektedir. Geniş açılı hüzmeye kullanmak uzaklık bakımından kapsama alanını küçültmekte ancak kullanıcı başına daha büyük minimum ortalama QoE değeri vermektedir. Çoğu video yayını yapılacak çok gruplu sistemlerde

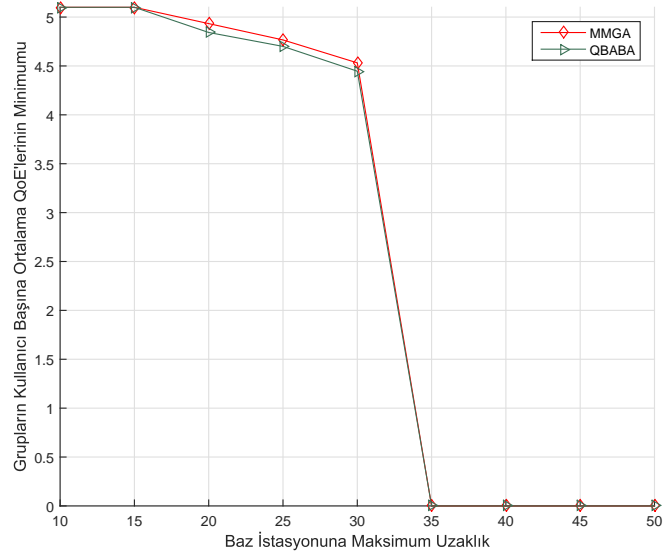


Şekil 3.8: 90 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması

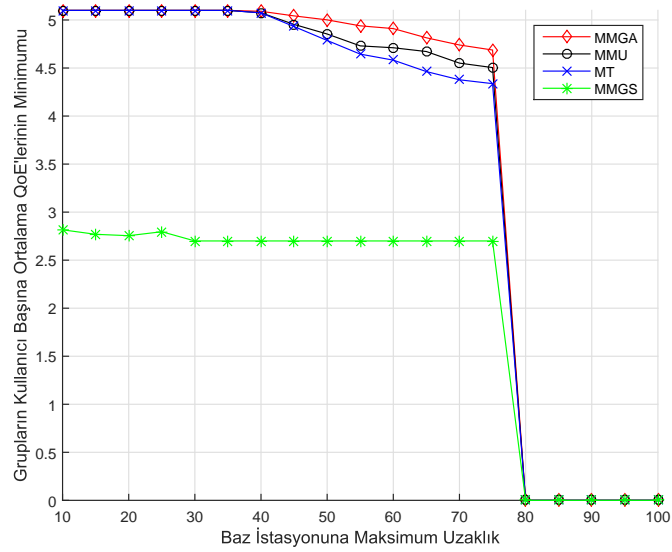


Şekil 3.9: 120 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması

hangi hüzmeye açılacağı bu iki sonuç göz önünde bulundurularak sistemin ihtiyaçları doğrultusunda seçilmelidir. Mevcut model bütün kullanıcılara minimum bir QoE değerini garantilemektedir. Sistem tasarımında, garanti edilen bu minimum QoE değeri yeterli ise ve kapsama alanı daha uzak mesafeler için geçerli kılınmak isteniyorsa daha küçük hüzmeye açılmasına, kapsama alanı sağlanabilen mevcut maksimum uzaklık değerleri için yeterli ise ancak minimum QoE değeri arttırılmak isteniyorsa daha büyük hüzmeye açılmasına yönelinebilir. Bu iki durumun dışında da optimum kap-



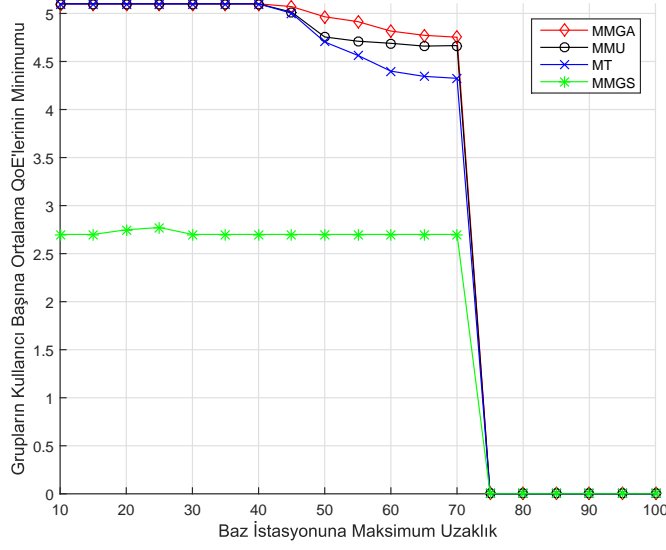
Şekil 3.10: 180 derece hüzmeler için slot sayısı 10 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması



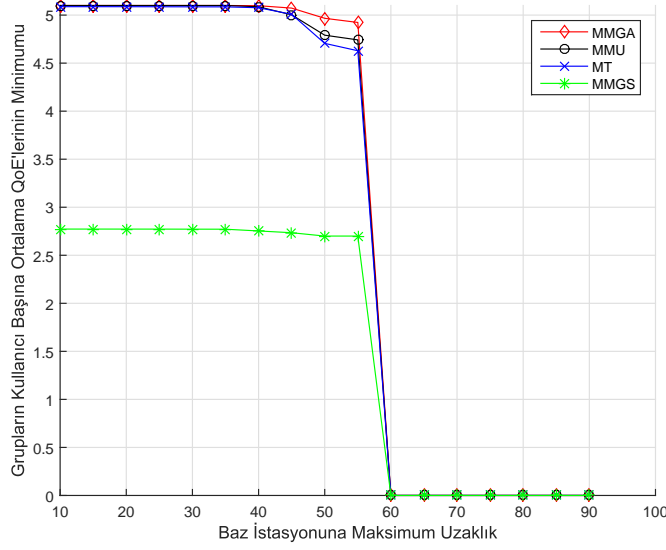
Şekil 3.11: 30 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması

sama alanı ve QoE değerleri için ara hüzmeye açığı değerleri de seçilebilir. Bu çıkarımların geçerli olabilmesi için 1 saniyedeki zaman dilimi sayısının yeterli olması gerekmektedir. Zaman dilimi sayısının yeterli olmadığı sistemlerde performansı belirleyen zaman dilimi kaynağı olacaktır.

3.1 - 3.5 Şekillerinde ve 3.11 - 3.13 Şekillerinde önerilen model yani MMGA modelinin diğer modellere göre daha iyi performans gösterdiği görülebilmektedir. Bu sonuç



Şekil 3.12: 60 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması

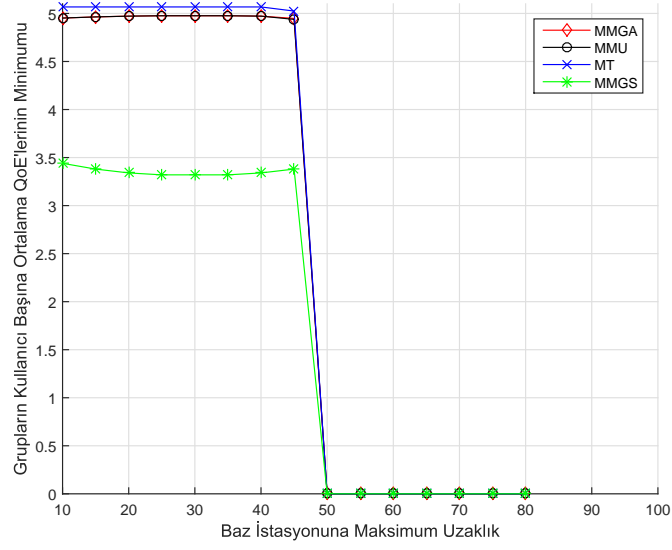


Şekil 3.13: 90 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması

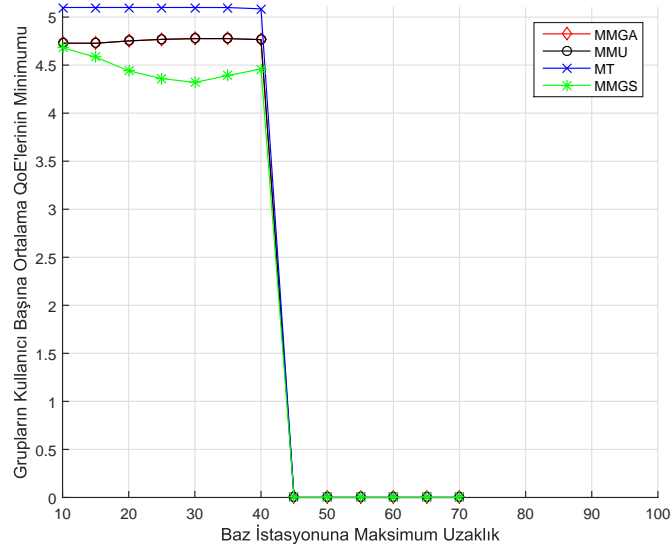
önerdiğimiz modelin video çoğa gönderim sistemlerinde kullanıcıların daha kaliteli video alabilmesine olanak sağladığını göstermektedir.

MMGS modeli, kullanıcı ortalama QoE'lerinden ziyade grup toplam QoE'leriyle daha çok ilgili olduğu için en kötü performans gösteren model olarak gözükmektedir. Birçok kullanıcıya sahip gruplar doğal olarak yüksek toplam QoE değerlerine sahipken, daha az kullanıcıya sahip gruplar daha düşük toplam QoE'ye sahip olacaktır. MMGS modeli, daha az kullanıcıya sahip grubun toplam QoE'sini artırmaya çalışacaktır ve bunu birçok kul-





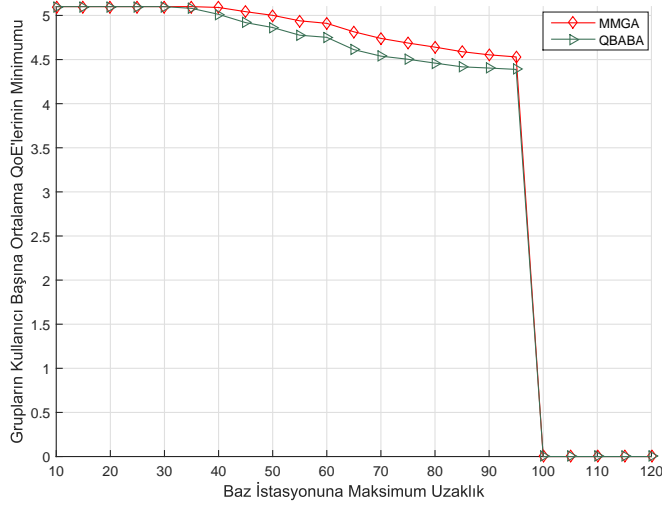
Şekil 3.14: 120 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması



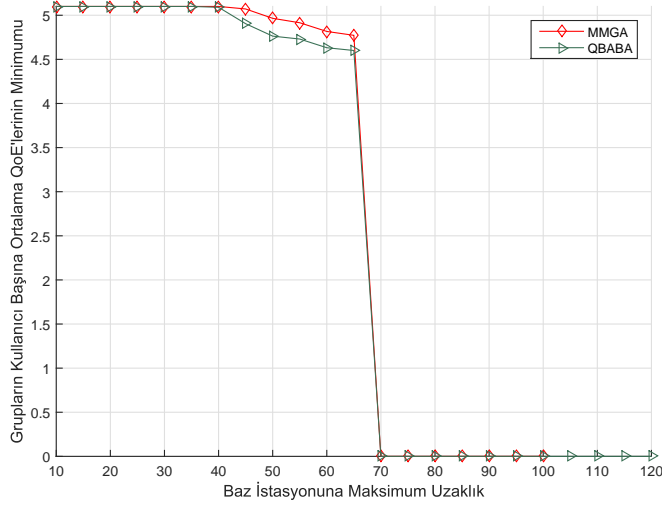
Şekil 3.15: 180 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken 4 farklı modelin ortalama QoE karşılaştırması

lanıcıya sahip grubun kullanıcı QoE'leri için minimum değer olan  $M_{min}$  değerine zorlayarak yapacaktır. Bu nedenle, grupların ortalama kullanıcı QoE'lerinin minimumu, simülasyonlarımız için  $M_{min}$  yani 2.7 olacaktır. Bu sonuç 3.1 - 3.5 Şekillerinde ve 3.11 - 3.13 Şekillerinde açıkça görülebilir.

Simülasyon sonuçlarına göre MT modelinin MMGA modelinden daha kötü çalıştığı görülmektedir. Bunun nedeni şudur; MT modeli sistemin toplam QoE'sini artırmaya çalıştığı için kullanıcıların ortalama QoE'leriyle ilgilenmemektedir. Ancak, MT mo-



Şekil 3.16: 30 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması

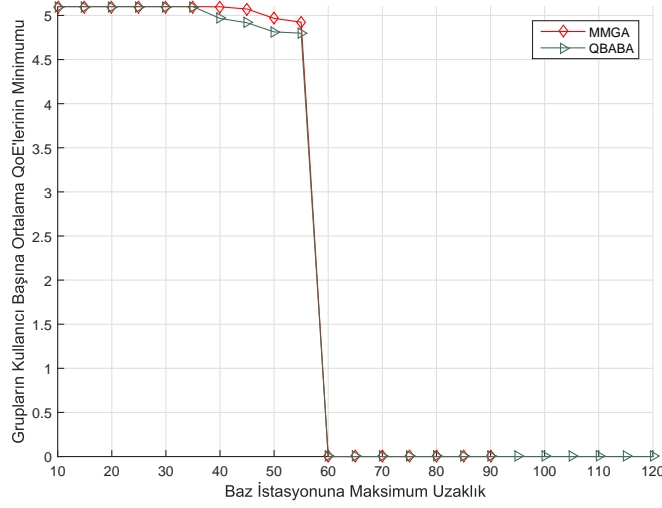


Şekil 3.17: 60 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması

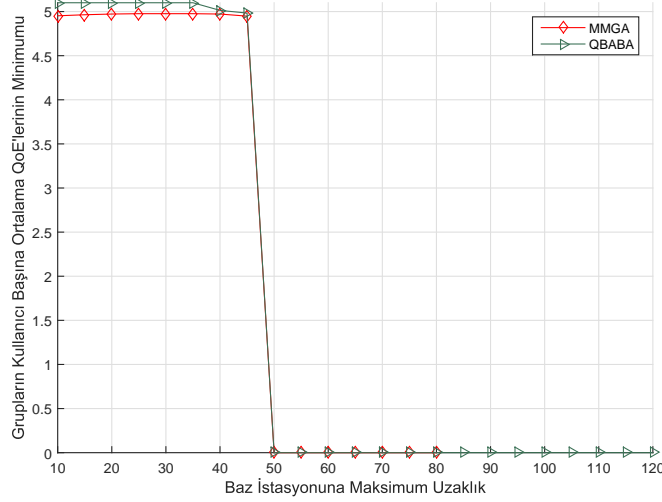
deli, bir dizi kullanıcı QoE değerini minimuma zorlamadığından, hala MMGS modelinden daha iyi çalışmaktadır.

MMU modelinin performansı MMGA'ya yakın gözükmemektedir. MT modeli her zaman en kötü kullanıcı QoE'sini arttırmaya çalışmaktadır. Her iterasyonda en kötü kullanıcı QoE değerini arttıran bir model sistemin minimum ortalama QoE'ye sahip grubun ortalama QoE'sini de arttırmaya çalışmaktadır.

3.6 - 3.10 Şekilleri ve 3.16 - 3.20 Şekilleri önerilen MIP modeli MMGA ile önerilen algoritma QBABA'nın simülasyon sonuçlarını göstermektedir. 3.11 - 3.13 Şekilleri için daha önce tartışılmış olan hüzmeye açısı ile ilgili çıkarımlar burada da geçerlidir. Hüzmeye

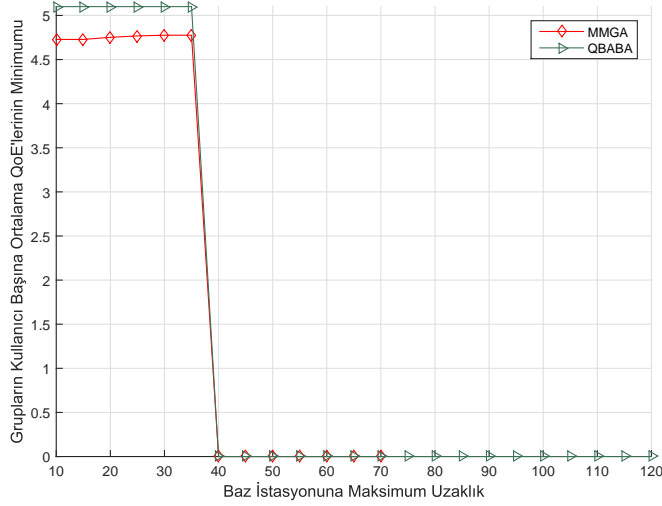


Şekil 3.18: 90 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması



Şekil 3.19: 120 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması

açısı arttıkça algoritma benzetim sonuçlarına göre kapsama alanı maksimum uzaklık yönüyle küçülmemekte ancak kullanıcı başına ortalama QoE değeri büyümektedir. Sonuçlardan, MMGA modelinin performansının çoğu zaman en iyi olduğu, QBABA'nın performansının, MMGA performansından daha kötü ama MMGA performansına yakın olduğu görülmektedir. Hüzmeye genişliği arttıkça ve yönsüz hüzmeye genişliği olan 360° değerine yaklaştıkça, MMGA ve QBABA performansları daha da yakınlaşmaktadır. Hüzmeye genişliği arttıkça hüzmeye yönsüz hüzmeye yakınsayacağından iki çözümün performanslarının birbirlerine yaklaşması anlaşılabilir bir sonuçtur. Açmak gerekirse hüzmeye genişliği arttıkça hüzmeye sayısı azalacak ve kullanıcılara daha az sayıda oturumla hizmet verilebilecektir. Örneğin 180° hüzmeli bir sistemde 2 adet hüzmeye olacak



Şekil 3.20: 180 derece hüzmeler için slot sayısı 40 iken MIP modeli ve sezgisel algoritmanın ortalama QoE karşılaştırması

ve her grup için maksimum 2 yayın yapılacaktır. Bu da çözülecek problemin karmaşıklığını azaltacak ve bu durumda algoritmada çözülecek problem basitleşerek model ya da optimum olarak aldığımız sonuca yakın bir algoritma sonucu elde edilecektir. Sonuçlara dikkatli bakılırsa QBABA'nın performansının MMU modeli ile hemen hemen aynı olduğu görülecektir. Bunun da sebebi QBABA'nın her iterasyonda kaynak yeterli ise bir katman daha göndererek en kötü kullanıcı QoE'sini arttırmaya dönük çalışmasıdır.

Şekil 3.14 - 3.15 ve Şekil 3.14 - 3.15 sonuçları incelendiğinde diğer sonuçlardan farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlara göre toplam zaman dilimi sayısı 40 iken 120 ve 180 derece hüzmeye açılı benzetimlerde MMGA ve MMU modellerinin performansı düşmekte ve MT modeli ile QBABA algoritmasından daha kötü hale gelmektedir.

Simülasyon sonuçlarında gösterildiği üzere geliştirilmiş MIP modeli, diğer tüm kıyaslama modellerinden daha iyi performans gösterir. Ayrıca simülasyon sonuçları, önerilen sezgisel algoritmamız önerilen MIP modelinin yüzde 5'lik performans aralığı içerisinde olduğunu göstermektedir ve bu da önerilen algoritmanın problemi daha az karmaşıklık ile daha kısa zaman diliminde çözebileceği anlamına gelmektedir. Aynı zamanda MMGS modelinin performansında ise bir iyileşme olmaktadır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Simülasyon sonuçları, önerilen orantısız adil hız tahsisi algoritmasının MINLP tabanlı çözüme kıyasla hemen hemen optimum düzeyde performans gösterdiğini göstermektedir. Dahası hizmet oranını (her zaman aralığında hizmet alan kullanıcı sayısını) arttırmaya çalışmak yerine, kullanıcı başına alınan ortalama hızlara ve yan-lob girişimine dayalı adil kaynak tahsisi çok daha iyi performans göstermektedir. Son olarak, her zaman aralığında tek bir hızın ve kullanıcının tahsis edilmesi, yalnızca düşük sayıda hız ve/veya kullanıcı için optimaldir, ancak çok sayıda hız ve kullanıcı için büyük oranda optimal değildir.

Gelecek çalışma olarak, bu araştırma gerçekçi modülasyon kodlama şemaları kullanılarak ilerletilebilir ve karışık tamsayı doğrusal olmayan program formülasyonu yerine karışık tamsayı doğrusal bir program formülasyonu geliştirilebilir. Bu amaçla IEEE 802.11ad için tanımlanan MCS şemaları ve alınması gerekli sinyal kuvvetleri kullanılabilir.

Başka bir gelecek çalışma da yan-lobları azaltmanın şema planlaması ve performansı üzerindeki etkisini ölçmek olabilir. Butler matrisleri tarafından beslenen hız anahtarlamalı anten dizilerinde yan seviye azaltma yöntemlerini önermiş olan yeni çalışmalar bulunmaktadır [16]. Çok kullanıcı MIMO önkodlayıcıların bu amaçla kullanılması da başka bir alternatiftir.

Orantısız adillik (log-toplam hız) metriği, yüksek bant genişliği kullanan ve esnek trafiğe sahip ağlar için daha uygundur. Yüksek bant genişliği olan sistemlerde (örneğin mmDalga) veya esnek olmayan trafiğe sahip (VoIP gibi) şebekelerde bant genişliği kullanımı düşük olabilir. Bu tür sistemlerde enerji verimliliği log-toplam oranından daha iyi bir performans metriği olabilir.

Ayrıca çok gruplu çoğa yayın mmDalga ağları için bir QoE tabanlı uyarlanabilir hız planlama problemi çalışılmıştır. Her bir kullanıcının minimum bir QoE ile garanti edildiği tüm grupların ortalama kullanıcı QoE'sinin maksimum düzeye çıkarılmasını amaçlayan doğrusal bir programlama formülasyonu geliştirilmiştir. Ayrıca daha az karmaşıklıkla sezgisel bir algoritma önerilmektedir. Simülasyon sonuçları, doğrusal programlama modelimizin, karşılaştırma modellerine kıyasla, minimum ortalama QoE'yi arttırdığını ortaya koymaktadır. Simülasyonlar ayrıca önerilen algoritmanın doğrusal programlama modeline yakın çalıştığını göstermektedir. Önerilen MIP modeli NP-zor olduğu için sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, önerilen algoritmanın MIP modeli ile %5'lik bir performans aralığında olduğunu göstermektedir.

Gelecek çalışma olarak, her hız için sabit hız genişliği yerine her hız için hız genişliğini değiştirebilme opsiyonu ile çalışılabilir. Ayrıca, anten için sabit gön-

derim gücü kullanmak yerine, değişken güç yapısı ve bir güç optimizasyon perspektifi de çalışmaya eklenebilir. Bununla daha büyük hüzme açılı sistemlerdeki kapsama alanı problemi çözümlenerek daha büyük hüzmelerin sağladığı daha büyük QoE avantajından faydalanılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Le, L. B., et al.**, (2015). Enabling 5G mobile wireless technologies, *EURASIP Journal on Wireless Comm. and Networking*, 218.
- [2] **Rappaport, T. S., et al.**, (2013). Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!, *IEEE Access*, 1, 335-349.
- [3] **Pi, Z., Khan, F.**, (2011). An Introduction to millimeter-wave mobile broadband systems, *IEEE Communications Magazine* 49, 6, 101–107.
- [4] **Rusek, F., Persson, D., Lau, B. K., Larsson, E., Marzetta, T., Edfors, O., Tufvesson, F.**, (2013). Scaling up MIMO: Opportunities and challenges with very large arrays, *IEEE Signal Process. Magazine* 30, 6, 40–60.
- [5] **Wang, J., Zhu, H., Dai, L., Gomes, N. J., Wang, J.**, (2016). Low-Complexity Beam Allocation for Switched-Beam Based Multiuser Massive MIMO Systems, *IEEE Trans. Wireless Comm.* 99, 1–13.
- [6] **Sun, S., Rappaport, T. S., Heath, R. W., Nix, A., Rangan, A.**, (2014). MIMO for millimeter-wave wireless communications: Beamforming, spatial multiplexing, or both?, *IEEE Comm. Magazine* 52, 12, 110–121.
- [7] **Roh, W., Seol, J., Park, J., Lee, B., Lee, J., Kim, Y., et al.**, (2014). Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: Theoretical feasibility and prototype results, *IEEE Communications Magazine* 52, 2, 106–113.
- [8] **Niu, Y., Li, Y., Jin, D. et al.**, (2015). A survey of millimeter wave communications (mmWave) for 5G: opportunities and challenges, *Wireless Networks* 21, 8, 2657–2676.
- [9] **Vook, F. W., Ghosh, A., Thomas T. A.**, (2014). MIMO and beamforming solutions for 5G technology, *IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*.
- [10] **Litva, J., Lo, T. K.**, (1996). Digital beamforming in wireless communications, *Artech House*.
- [11] **Ohira, T.**, (2002). Analog smart antennas: an overview, *Proc. IEEE PIMRC*, 1502–1506.
- [12] **Gross, F.**, (2005). Smart Antennas for Wireless Communications, *McGraw-Hill*.

- [13] **Butler, J., Lowe, R.**, (1962). Beam-forming matrix simplifies design of electrically scanned antennas, *Electronic Design*.
- [14] **Girici, T., Zhu, C., Agre, JR., Ephremides, A.**, (2010). Proportional fair scheduling algorithm in OFDMA-based wireless systems with QoS constraints, *Journal of Comm. and Networks* 12, 1, 30–42.
- [15] **Deng, S., Samimi, M. K., Rappaport, T. S.**, (2015). 28 GHz and 73 GHz millimeter-wave indoor propagation measurements and path loss models, *IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)*, 1244–1250.
- [16] **Slomian, I., Wincza, K., Gruszczynski, S.**, (2016). Circularly Polarized Switched-Beam Antenna Arrays With Reduced Sidelobe Level, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 15, 1213–1216.
- [17] **Jain, R., Duresi, A., Babic, G.**, (1999). Throughput fairness index: An explanation, *Department of CIS, The Ohio State University*.
- [18] **Park, H., Park, S., Song, T., Pack, S.**, (2013). An incremental multicast grouping scheme for mmWave networks with directional antennas, *IEEE Commun. Letters* 17, 3, 616–619.
- [19] **Schwarz, H., Marpe, D., Wiegand, T.**, (2007). Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard, *Trans. on Circuits and Systems for Video Tech.* 17, 9, 1103–1120.
- [20] **Hwang, J. B, Lee, C.Y.**, (2013). Effective video multicast using SVC with heterogeneous user demands over TDMA-based wireless mesh networks, *IEEE Transactions On Mobile Computing* 12, 5, 984–994.
- [21] **Chou, Z. T., Lin, Y. H.**, (2016). Energy-efficient scalable video multicasting for overlapping groups in a mobile WiMAX network, *IEEE Transactions On Vehicular Technology* 65, 8, 6403–6416.
- [22] **Elgendi, M., Nasr, O. A., Khairy, M. M.**, (2014). Cooperative multicasting based on superposition and layered coding, *IET Communications* 8, 3, 267–277.
- [23] **Hwang, D., Chau, P., Shin, J, Lee, T. J.**, (2015). Two cooperative multicast schemes of scalable video in relay-based cellular networks, *IET Communications* 9, 7, 982–989.
- [24] **Chu, M., Yang, Q., He, Q., Kwak, K. S.**, (2015). Resource allocation for preference-aware multicasting in active array aided LTE networks, *2015 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*.
- [25] **Huang, C. W., Wu, P. H., Lin, S. J., Hwang, J. N.**, (2009). Layered video resource allocation in mobile WiMAX using opportunistic multicasting, *WCNC*.



- [26] **Radhakrishnan, R., Tiroungadam, B., Nayak, A.,** (2012). Channel quality-based AMC and smart scheduling scheme for SVC video transmission in LTE MBSFN networks, *2nd IEEE Int. Workshop on Smart Comm. Protocols and Algorithms*.
- [27] **Deb, S., Jaiswal, S., Nagaraj, K.,** (2008). Real-time video multicast in WiMAX networks, *IEEE Infocom*.
- [28] **Naribole, S., Knightly, E.,** (2016). Scalable multicast in highly-directional 60 GHZ WLANs, *2016 13th Annual IEEE Int. Conf. on Sensing, Comm., and Netw. (SECON)*.
- [29] **Zhang, H., Jiang, Y., Rangarajan, S., Zhao, B.,** (2011). Multicast video delivery with switched beamforming antennas in indoor wireless networks, *IEEE Infocom 4*, 1107–1115.
- [30] **Park, H., Singh, K. D., Piamrat, K., Bonnin, J. M., Viho, C.,** (2014). Adaptive beam scheduling for scalable video multicast in wireless networks, *Electronics Letters 50*, 1165–1167.
- [31] **Singh, K. D., Piamrat, K., Park, H., Viho, C., Bonnin, J. M.,** (2013). Optimising QoE for scalable video multicast over WLAN, *Proc. Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2131–2136.
- [32] **IEEE Std 802.11ad-2012, IEEE 802 part11,** (2012). Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications - Amendment 3: Enhancements for very high throughput in the 60GHz band, *IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee*.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Fırat KARABABA  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 27.01.1988 TATVAN  
**E-posta** : frtkarababa@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Bilkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2017, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2011-2013	Bilkent Üniversitesi	Öğretim Asistanlığı
2013-2014	Arçelik	Arge Mühendisi
2014-Halen	Aselsan	Tasarım Mühendisi

**YABANCI DİL:** İngilizce, Fransızca, Farsça

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Karababa, F., Girici, T., Quality of Experience Based Beam Scheduling for SVC Video Multicast to Multiple Groups in mmWave Networks, BalkanCom 2017: First International Balkan Conference on Communications and Networking, 30 Mayıs-2 Haziran, 2017, Tiran, Arnavutluk
- Karababa, F., Kucuk, F., Girici, T., Fair Beam Allocation in Millimeter-Wave Multiuser Transmission, WSA 2017: 21st International ITG Workshop on Smart Antennas, 15-17 Mart, 2017, Berlin, Almanya