

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Teknolojinin gelişmesi ve insanların teknoloji ile daha çok buluşması ile birlikte haberleşme sistemlerindeki yoğunluk artmaktadır. Kalabalıklaşan radyo frekans spektrumu bu yoğunluğu karşılayamayacak düzeye gelmiştir. Bu nedenle görünür ışık haberleşmesi (Visible Light Communication, VLC) sistemleri hem aydınlatmayı hem de haberleşmeyi aynı anda sağlaması ve lisansız spektrumundan dolayı radyo frekansı sistemlerle birlikte veya alternatif olarak öne sürülmüştür. Öne sürülen görünür ışık haberleşme sistemlerinde dikgen olmayan çoklu erişim (Non-orthogonal Multiple Access, NOMA) yönteminin kullanılmasının uygun olacağı hakkında çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında dikgen olmayan çoklu erişim yöntemi görünür ışık haberleşmesi sistemlerine uygulanmıştır. Bu uygulama işlemleri için öncelikle NOMA VLC genel modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan genel model üzerinden birden fazla kullanıcı donanımının bulunduğu durum için kullanıcıların kanalları oranına göre aydınlatma ile ilgili kısıtlar da ele alınarak haberleşme başarımı incelenmiştir. Kullanıcıların kanalları oranına göre ampirik güç tahsisi denklemi oluşturulmuştur. Ayrıca polar kanal kodlama için alıcı verici yapıları oluşturulmuş ve polar kanal kodlamanın performansı incelenmiştir.

İncelemeler optimizasyon problemleri olarak modellenmiş ve meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından olan Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanılarak toplam kanal kapasitesi, adillik ve veri hacmi optimize edilmiştir.

Bu çalışmanın amacına ulaşması için bana yol gösteren, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca gerek bilimsel çalışmalarında gerekse diğer konularda beni destekleyerek yardımcı olan tez danışmanım Doç. Dr. Kadir TÜRK'e ilgi, destek ve tecrübelerini esirgemediğinden dolayı teşekkürlerimi saygı ve minnetle sunarım.

Serkan VELA

Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Görünür Işık Haberleşme Sistemlerinde Dikgen Olmayan Çoklu Erişim” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Kadir TÜRK’ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/08/2020

Serkan VELA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	I
ÖZET	I
SUMMARY	I
ŞEKİLLER DİZİNİ	I
TABLolar DİZİNİ.....	I
SEMBOLLER DİZİNİ	I
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Araştırması	3
1.3. Kanal Kapasitesi	4
1.4. Ardışık Girişim Yok Etme (SIC).....	5
1.5. Dikgen Olmayan Çoklu Erişimi (NOMA)	5
1.5.1. PD-NOMA	6
1.6. Kanal Kodlama	7
1.7. Görünür Işık Haberleşmesi Kanalı	8
1.8. Optimizasyon Algoritmaları	11
1.8.1. ABC Algoritması.....	12
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	15
2.1. Giriş	15
2.2. Aşağı Yönlü İletim PD-NOMA VLC Sistem Modeli	16
2.3. İki Kullanıcılı NOMA VLC İçin İncelemeler	20
2.3.1. Kullanıcıların Kanalları Oranına Göre İncelemeler	20
2.3.2. Kanal Kodlama İncelemeleri	25
2.4. İkiden Fazla Kullanıcılı NOMA VLC İçin İncelemeler	29
3. BULGULAR	33
3.1. İki Kullanıcılı NOMA VLC İçin Bulgular	33
3.1.1. Kullanıcıların Kanalları Oranına Göre İnceleme Bulguları	33

3.1.1.1.	Maksimum Parlaklık Seviye Kısıtı Yokken Maksimum Toplam Kanal Kapasitesini Sağlayan Güç Tahsis Katsayılarının Bulunması	33
3.1.1.2.	Maksimum Parlaklık Seviye Kısıtı Yokken Maksimum Adilliği Sağlayan Güç Tahsis Katsayılarının Bulunması.....	35
3.1.1.3.	Maksimum Parlaklık Seviyesi Kısıtlanmışken Maksimum Adilliği Sağlayan Güç Tahsis Katsayılarının Bulunması.....	40
3.1.1.4.	Maksimum Parlaklık Seviyesi Kısıtı Yokken Farklı Adillik Değerlerinde Maksimum Toplam Kapasiteyi Sağlayan Güç Tahsis Katsayılarının Bulunması.....	45
3.1.1.5.	Maksimum Adilliğin Sağlandığı Durumda Maksimum Parlaklık Kısıtının Değiştirilmesi Durumunda Kapasitenin Değişiminin İncelenmesi	47
3.1.1.6.	Gürültü Etkisinin İncelenmesi	49
3.1.2.	Kanal Kodlama İnceleme Bulguları	53
3.2.	İkiden Fazla Kullanıcı Noma VLC İçin İnceleme Bulguları	56
4.	SONUÇLAR.....	61
5.	KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE DİKGEN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM

Serkan VELA

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Kadir TÜRK
2020, 81 Sayfa

Görünür ışık haberleşmesi giderek kalabalıklaşan radyo frekansı haberleşmesine bir alternatif veya tamamlayıcı teknoloji olarak ilgi çekmektedir. Veri hacmini ve kalitesini daha da artırmak için VLC sistemlere dikgen olmayan çoklu erişim uygulanmış, aydınlatma, haberleşme ilişkisini, kanal kodlamanın ve kullanıcı donanımı sayısının değiştirilmesinin etkilerini incelemek amacıyla ilgili optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada NOMA VLC sistemleri modellenmiş, adalet, maksimum kanal kapasitesi ve veri hacmi optimizasyon problemi olarak alınmış ve bu problemler meta-sezgisel arama algoritmalarından biri olan ABC algoritması kullanılarak incelenmiştir. Aydınlatma kısıtının etkisi incelenerek ortaya koyulmuştur. Kullanıcıların kanalları oranına göre ampirik bir güç tahsisi ifadesinin nasıl oluşturulabileceği gösterilmiştir. Polar kanal kodlama için alıcı verici yapıları oluşturularak sağladığı kazanım gösterilmiş ve veri hacmi optimizasyonu yapmanın sağladığı kazanım ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: NOMA, VLC, ABC, Aydınlatma, Optimizasyon, Ampirik, Veri hacmi, Dikgen olmayan çoklu erişim, Görünür ışık haberleşmesi, Yapay arı kolonisi

Master Thesis

SUMMARY

NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS IN VISIBLE LIGHT COMMUNICATION SYSTEMS

Serkan VELA

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical-Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kadir TÜRK
2020, 81 Pages

Visible light communication attracts attention as an alternative or complementary technology to radio frequency communication which is getting more and more crowded. To further increase the data volume and quality, NOMA was applied to VLC systems, and related optimization studies were carried out to examine the lighting-communication relationship, the effects of channel coding, and changing the number of the user equipment. In this study, NOMA VLC systems were modeled, fairness, maximum channel capacity and data volume taken as optimization problems, and these problems were examined by using the ABC algorithm, one of the meta-heuristic search algorithms. The effect of lighting constraint has been revealed by examining. It has been shown how to construct an empirical power allocation statement based on the ratio of channels of users. By creating transceiver structures for polar channel coded NOMA VLC systems, the gain it has achieved is shown and the gain achieved by optimizing the throughput has been revealed.

Keywords: NOMA, VLC, ABC, Illumination, Optimization, Empirical, Throughput, Non-orthogonal multiple access, Visible light communication, Artificial bee colony

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Görünür ışık spektrumunun elektromanyetik spektrumdaki yeri.	2
Şekil 2.	PD-NOMA demo	7
Şekil 3.	LoS-solda, NLoS-sağda	10
Şekil 4.	LoS VLC Kanalı	11
Şekil 5.	ABC algoritması akış diyagra	14
Şekil 6.	Oluşturulan aşağı yönlü iletim PD-NOMA VLC verici modeli	17
Şekil 7.	Oluşturulan aşağı yönlü iletim PD-NOMA VLC alıcı modeli	18
Şekil 8.	Aydınlatma ve haberleşmenin yapıldığı oda.....	22
Şekil 9.	Oluşturulan verici yapısı	26
Şekil 10.	Oluşturulan alıcı yapısı	26
Şekil 11.	Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum toplam kanal kapasitesini sağlayan güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi	34
Şekil 12.	Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum toplam kanal kapasitesini sağlandığında adilliğin kanallar oranına göre değişimi	35
Şekil 13.	Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum adilliği sağlayan iyi kanaldaki kullanıcının güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi.....	37
Şekil 14.	Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum adillik sağlandığında toplam kanal kapasitesinin kanallar oranına göre değişimi	37
Şekil 15.	Elde edilen ampirik güç tahsisi denklemi kullanıldığında toplam kanal kapasitesinin kanallar oranına göre değişimi.....	38
Şekil 16.	Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum adillik sağlandığında LED'in maksimum parlaklığını belirleyen C değerinin kanallar oranına göre değişimi.....	38
Şekil 17.	Elde edilen ampirik güç tahsisi denklemi kullanıldığında LED'in maksimum parlaklığını belirleyen C değerinin kanallar oranına göre değişimi.....	39
Şekil 18.	Elde edilen ampirik güç tahsisi denklemi kullanıldığında kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi.....	39
Şekil 19.	Elde edilen ampirik güç tahsisi denklemi kullanıldığında adilliğin kanallar oranına göre değişimi.....	40
Şekil 20.	Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adilliği sağlayan iyi kanaldaki kullanıcının güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi.....	42

Şekil 21. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik sağlandığında toplam kanal kapasitesinin kanallar oranına göre değişimi	42
Şekil 22. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik için elde edilen ampirik güç tahsisi kullanıldığında toplam kanal kapasitesinin kanallar oranına göre değişimi.....	43
Şekil 23. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik sağlandığında C'nin kanallar oranına göre değişimi.....	43
Şekil 24. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik için elde edilen ampirik güç tahsisi kullanıldığında C'nin kanallar oranına göre değişimi.....	44
Şekil 25. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik için elde edilen ampirik güç tahsisi kullanıldığında kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi	44
Şekil 26. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik için elde edilen ampirik güç tahsisi kullanıldığında adillğin kanallar oranına göre değişimi.....	45
Şekil 27. Normalize maksimum parlaklık ile adillik arasındaki ilişki	47
Şekil 28. Normalize maksimum parlaklık ile ortalama kanal kapasitesi arasındaki ilişki.....	49
Şekil 29. 3.10 – 10 W'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu sağlandığında iyi kanaldaki kullanıcının güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi.....	50
Şekil 30. 3.10 – 10 W'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu sağlandığında kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi 50	
Şekil 31. 3.10 – 10 W'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu için ampirik güç tahsisi yapıldığında adillğin kanallar oranına göre değişimi	51
Şekil 32. 3.10 – 8 W'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu sağlandığında iyi kanaldaki kullanıcının güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi.....	51
Şekil 33. 3.10 – 8 W'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu sağlandığında kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi 52	
Şekil 34. 3.10 – 8 W'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu için ampirik güç tahsisi yapıldığında adillğin kanallar oranına göre değişimi	52
Şekil 35. Polar kanal kodlamalı ve kodlamasız durum için SNR ile veri hacmi değişimi.....	54
Şekil 36. 512/1024 polar kodlamalı durum için belirli SNR değerinde optimizasyon yapıldığında ortaya çıkan veri hacmi grafiği	56

Şekil 37. VLC kanala daha kötü kanallara sahip kullanıcılar eklendiğinde maksimum toplam kanal kapasitesi optimizasyonu sonucu ortaya çıkan kullanıcıların kanal kapasiteleri.....	57
Şekil 38. VLC kanala daha kötü kanallara sahip kullanıcılar eklendiğinde maksimum toplam kanal kapasitesi optimizasyonu sonucu ortaya çıkan normalize maksimum parlaklık değişimi.....	57
Şekil 39. VLC kanala daha kötü kanallara sahip kullanıcılar eklendiğinde maksimum adillik optimizasyonu sonucu ortaya çıkan kullanıcı kanalları kapasitesi ve toplam kanal kapasitesi değişimi	58
Şekil 40. VLC kanala daha yeni kullanıcılar eklendiğinde maksimum adillik optimizasyonu sonucu ortaya çıkan normalize maksimum parlaklık değişimi.....	59
Şekil 41. Kullanıcı sayısı arttırılıp maksimum parlaklık sabit tutulup maksimum toplam kanal kapasitesi ve adillik optimizasyonları yapıldığında toplam kanal kapasitesinin kullanıcı sayısına göre değişimi	60

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. ABC algoritması parametreleri	13
Tablo 2. Oda tipine göre önerilen lüks değerleri	21
Tablo 3. Benzetim parametreleri	24
Tablo 4. ABC algoritması parametreleri	24
Tablo 5. Veri hacmi optimizasyonu için benzetim parametreleri	28
Tablo 6. ABC algoritması parametreleri	29
Tablo 7. Kullanıcı konumları.....	31
Tablo 8. Maksimum toplam kanal kapasitesi ve adillik için optimum güç tahsisi benzetim parametreleri.....	32
Tablo 9. ABC algoritması parametreleri	32
Tablo 10. Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum toplam kapasite için elde edilen değerler.....	34
Tablo 11. Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum adillik için elde edilen değerler.....	36
Tablo 12. Maksimum parlaklık kısıtı varken maksimum toplam kapasite ve adillik için elde edilen değerler	41
Tablo 13. Maksimum parlaklık kısıtı yokken 0,6 , 0,7 , 0,8 ve 0,9 adillik seviyelerinde maksimum toplam kapasite optimizasyonu için elde edilen değerler.....	46
Tablo 14. Maksimum adilliğin sağlandığı durumda farklı C değerlerine ilişkin bulunan toplam kapasite değerleri ve güç tahsis katsayıları toplamı.....	48
Tablo 15. Kullanıcı sayısı ile C değişimi.....	58
Tablo 16. Kullanıcı sayısı ile C değişimi.....	59

SEMBOLLER DİZİNİ

<i>RF</i>	:	Radio Frequency (Radyo Frekansı)
<i>VLC</i>	:	Visible Light Communication (Görünür Işık Haberleşmesi)
<i>LED</i>	:	Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
<i>RGB</i>	:	Red Green Blue (Kırmızı Yeşil Mavi)
<i>NOMA</i>	:	Non-Orthogonal Multiple Access (Dikgen Olmayan Çoklu Erişim)
<i>SIC</i>	:	Successive Interference Cancellation (Ardışık Girişim Yoketme)
<i>PD-NOMA</i>	:	Power Domain NOMA (Güç Domeni NOMA)
<i>ABC</i>	:	Artificial Bee Colony (Yapay Arı kolonisi)
<i>OPA</i>	:	Optimum Power Allocation (Optimum Güç Tahsisi)
<i>PSO</i>	:	Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu)
<i>GRPA</i>	:	Gain Ratio Power Allocation (Kazanç Oranı Güç Tahsisi)
<i>BER</i>	:	Bit Error Rate (Bit Hata Oranı)
<i>CVX</i>	:	Convex (Konveks)
<i>VOOK</i>	:	Variable On Off Keying (Değişken Açma-Kapamalı Anahtarlama)
<i>SC</i>	:	Successive Cancellation (Ardışık Yoketme)
<i>B-DMC</i>	:	Binary Discrete Memoryless Channel (İkili-Ayrık Hafızasız Kanal)
<i>BLER</i>	:	Block Error Rate (Blok Hata Oranı)
<i>R</i>	:	Shannon Kanal Kapasitesi
<i>B</i>	:	Bandwidth (Bant genişliği)
<i>S</i>	:	Signal power (Sinyal gücü)
<i>N</i>	:	Noise power (Gürültü gücü)
<i>n</i>	:	Noise (Gürültü)
<i>FDMA</i>	:	Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)

$TDMA$:	Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
$CDMA$:	Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
OMA	:	Orthogonal Multiple Access (Dikgen Çoklu Erişim)
$OFDMA$:	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
$TD-NOMA$:	Time Division NOMA (Zaman Bölmeli NOMA)
$CD-NOMA$:	Code Division NOMA (Kod Bölmeli NOMA)
$FD-NOMA$:	Frequency Domain NOMA (Frekans Bölmeli NOMA)
KD	:	Kullanıcı Donanımı
k	:	KD numarası
K	:	KD sayısı
b_k	:	İkili mesaj verisi
\hat{b}_k	:	Tahmin edilen ikili mesaj verisi
v_k	:	Kanal kodlanmış mesaj verisi
\hat{v}_k	:	Tahmin edilen kanal kodlanmış mesaj verisi
s_k	:	Modüle edilmiş sinyal
\hat{s}_k	:	Tahmin edilen modüle edilmiş sinyal
p_k	:	Güç tahsisi katsayısı
x	:	VLC kanala giren işaret
y_k	:	VLC kanaldan çıkan işaret
h_k	:	VLC kanal
R_k	:	VLC kanal kapasitesi
R_C	:	Toplam VLC kanal kapasitesi
F	:	Fairness (Adillik)
W	:	VLC kanal bant genişliği
N_o	:	Gürültü yoğunluğu
FEC	:	Forward Error Coding (İleri yönlü Hata Kodlama)
SNR	:	Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
PD	:	Photodetector (Fotodedektör)
LoS	:	Line-of-Sight (Direkt Görüş)
$NLoS$:	Nonline-of-Sight (Direkt Olmayan Görüş)
H_{LoS}	:	LoS VLC kanalı

A_r	:	PD yüzey alanı
$R(\phi_{T_{xi}})$:	LED radyan yoğunluğu
k_l	:	Lambertian emisyon modu numarası
d	:	Mesafe
$\phi_{T_{xi}}$:	LED'in KD'ye ışınım açısı
$\Omega_{1/2}$:	LED yarı açısı
ψ	:	PD insidans açısı
$T_s(\psi)$:	Optik filtre kazancı
$g(\psi)$:	Optik lens kazancı
FoV	:	Field of View (Görüş Alanı)
ϕ	:	PD'nin FoV açısı
$NumberFoods$:	Arı veya yiyecek sayısı
$FITNESSFCN$:	Optimize edilecek fonksiyon
$subjects$:	Optimizasyon kısıtları
$MaxFE$:	Maksimum uygunluk değerlendirme sayısı
D	:	Değişken sayısı
$limit$:	Toplam değişken sayısına gidecek arı sayısı
lb	:	Değişken alt limiti
ub	:	Değişken üst limiti
C, C_{max}	:	Aydınlatma kısıtı
PAM	:	Pulse Amplitude Modulation (Darbe Genlik Modülasyonu)
r_c	:	Coding Rate (Kodlama Oranı)
c_k	:	Polar kodlanmış sinyal
R_T	:	Toplam veri hacmi
m	:	Bit blok uzunluğu
F_{min}	:	Minimum adillik
P, P_{max}	:	Toplam güç tahsis katsayısı
R_{cmax}	:	Maksimum toplam kanal kapasitesi
R_{c0}	:	Ortalama toplam kanal kapasitesi
P_0	:	Ortalama toplam güç tahsisi

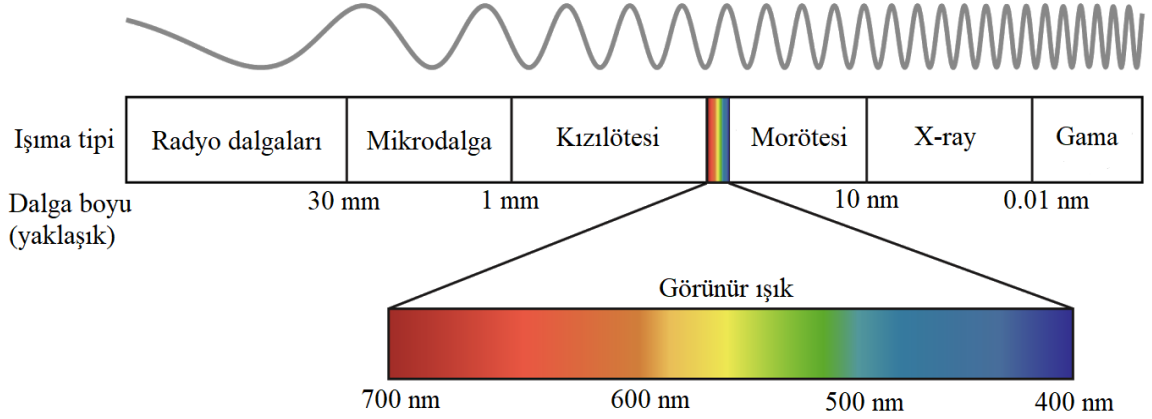
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yüksek hızlı kablosuz veri iletimine olan talep her geçen gün daha da hızlanarak artmaktadır. Hâlihazırda kullanılan RF (Radyo Frekansı, RF) spektrumunun yoğunluğu, kullanıcılar arası girişimin artmasına ve yüksek hız talebinin maliyet etkin şekilde karşılanamamasına neden olmaktadır. Görünür ışık haberleşmesi (Visible Light Communication, VLC) yüksek bant genişliği, lisanssız spektrumu, elektromanyetik girişime karşı dayanıklılığı, düşük güç tüketimi nedeniyle RF sistemler için önemli bir alternatif veya tamamlayıcı olarak ümit vermektedir [1]. İç mekân senaryolarında VLC sistemleri, aydınlatma ve yüksek hızlı veri iletimi gibi hizmetleri eş zamanlı olarak sağlamak için mevcut aydınlatma altyapısını kullanır [2, 3]. VLC sistemleri üzerine araştırmalar ışık saçan diyotların (Light Emitting Diode, LED) aydınlatmada kullanımının artmasıyla hızlanmıştır.

VLC sistemlerde amaç ışık şiddetini veya rengini insan gözünün algılayamayacağı hızlarda değiştirerek aydınlatma ve haberleşme hizmetlerini aynı anda sağlamaktır [4]. VLC sistemlerde bu hizmetleri aynı anda sağlamak için çoğunlukla LED'ler kullanılır [5, 6]. Veri optik yoğunluk olarak modüle edilir. Bu nedenle iletilen sinyaller her zaman pozitif olmalıdır [7, 8, 9, 10]. Şekil 1 de görünür ışığın spektrumunun elektromanyetik spektrumdaki yeri gösterilmiştir. 400 nm ile 700 nm dalga boyu aralığında bulunan görünür ışık spektrumu 430 THz ile 750 THz aralığında oldukça geniş bir frekans spektrumuna sahiptir. VLC sistemler için her ne kadar geniş bir lisanssız bant mevcut ise de haberleşmenin hızını optik yoğunluk modülasyonundan dolayı LED'lerin anahtarlama hızları belirler. Günümüzde aydınlatmada yoğunlukla kullanılan fosfor tabanlı ticari LED'lerin anahtarlama frekansları birkaç MHz kadardır. RGB LED'ler ise birkaç on MHz hızında anahtarlatabilmektedir.

Elektromanyetik radyasyona neden olmaması, RF sistemlerle girişim oluşturmaması, geniş lisanssız spektrumu olması VLC için en önemli avantajlardır. Bu avantajlarından dolayı uçak kabinleri, kimyasal tesisler ve hastane gibi alanlarda iletişim amacıyla kullanılması ideal bir çözüm olarak görülebilir [11]. VLC sistemlerde kapsama alanı RF sistemlere göre çok daha düşüktür. Bu durum haberleşme mesafesi anlamında dezavantaj oluştururken haberleşme güvenliği anlamında avantaj sağlamaktadır.



Şekil 1. Görünür ışık spektrumunun elektromanyetik spektrumdaki yeri [12].

VLC sistemlerde veri hızının daha fazla artırılması için NOMA yöntemi önerilmiştir [13]. NOMA, özellikle 5G kablosuz ağlar için çoklu kullanıcıların toplam veri iletim hızını arttırmada umut verici bir aday olarak öne sürülmüştür [14]. NOMA’da kullanıcılar frekans ve zaman domeninde ayrılmazlar, yani tüm frekans tüm zaman boyunca kullanılır. NOMA’da iletilecek olan birden fazla kullanıcıya ait işaret zaman veya frekans domeninde ayrılmadan toplamsal bir şekilde iletilir [15]. Alıcılarda işaretler ardışık girişim yok etme (Successive Interference Cancellation, SIC) yöntemiyle elde edilir [13, 16]. NOMA’da her kullanıcı tüm bantı tüm zaman boyunca kullanabilir. Bu yönüyle spektrum etkinliğini ve toplam veri çıkış hızını arttırmasının yanında düşük iletim gecikmesi gibi avantajlara sahiptir [17]. Bu avantajlardan daha verimli yararlanmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar literatür araştırması başlığı altında incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında dikgen olmayan çoklu erişim yöntemi görünür ışık haberleşmesi sistemlerine uygulanmıştır. Bu uygulama işlemleri için öncelikle NOMA VLC genel modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan genel model üzerinden iki kullanıcı donanımının bulunduğu durum için kullanıcıların kanalları oranına göre aydınlatma ile ilgili kısıtlar da ele alınarak haberleşme ile ilişkisi incelenmiştir. Kullanıcıların kanallarının oranına göre ampirik güç tahsisi denklemi oluşturulmuştur. Yine iki kullanıcı durumunda polar kanal kodlama için alıcı verici yapıları oluşturulmuş ve polar kanal kodlamanın performansı incelenmiştir. Diğer bir inceleme ile kullanıcı donanımı (KD) sayısı arttırılarak bunun aydınlatma ve haberleşmeye etkisi gösterilmiştir.

İncelemeler optimizasyon problemleri olarak modellenmiş ve meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından olan Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanılarak toplam kanal kapasitesi, adillik ve veri hacmi optimize edilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Güç Domeni NOMA (Power Domain, PD-NOMA)'nın VLC sistemlerde veri hızını diğer çoklu erişim yöntemlerine göre daha fazla arttırması nedeniyle VLC sistemlere uygulanması oldukça ilgi görmektedir. Literatürde PD-NOMA'nın VLC sistemlere uygulanması ile ilgili birçok araştırma mevcuttur ve halen daha iyi sonuçlara ulaşabilmek için çalışmalar yapılarak yeni öneriler ortaya atılmaktadır. Genel olarak farklı alıcı-verici senaryoları, farklı güç tahsisi optimizasyon yöntemleri, aydınlatma senaryoları üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

PD-NOMA sistemlerde toplam ulaşılabilir kapasiteyi arttırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış, kullanıcıların birbirlerine göre veri hızı oranlarının bir göstergesi olan adillik indeksini hesaba katan optimum güç tahsisi (Optimum Power Allocation, OPA) algoritması önerilmiştir [18]. Belirtilen çalışmada beş kullanıcının bulunduğu ve kanalların Okumura-Hata modeliyle hesaplandığı bir sistem oluşturularak farklı adillik değerleri için bir optimizasyon algoritması önerilmiştir. Bu çalışma PD-NOMA'nın adilliğinin incelendiği ilk optimizasyon çalışmalarındadır.

Optimal enerji etkinliği ve spektral etkinliği için geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) tabanlı güç tahsis algoritması [19]'da önerilmiştir. Bu çalışmada aşağı yönlü iletim PD-NOMA sistemleri için enerji etkinliği ve spektral etkinlik arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışma PD-NOMA'nın enerji etkinliğinin meta-sezgisel bir algoritma ile arttırılabileceğinin gösterildiği ilk optimizasyon çalışmasıdır.

[18] ve [19] numaralı PD-NOMA ile ilgili optimizasyon çalışmaları PD-NOMA'nın genel durumu için geçerlidir. Ancak PD-NOMA'nın VLC ye uygulanması özel bir durum olarak ayrı incelenmelidir.

PD-NOMA'nın bir VLC kanalına uygulandığı durumlarda veri hızını arttırmak için çeşitli kazanç oranı güç tahsisi (Gain Ratio Power Allocation, GRPA) [13] ve normalize GRPA [20] gibi güç tahsis algoritmaları önerilmiştir. [10] numaralı çalışmada PD-NOMA'nın VLC uygulanmasını öneren ilk çalışmadır. Bu çalışmada PD-NOMA'nın

VLC'ye nasıl uygulanabileceği açıklanmış ve normalde RF sistemler için uygulanan bir güç tahsisi yöntemi önerilmiştir. [13] ve [20] numaralı çalışmalar önemlidir ancak tüm VLC kanallarında ve aydınlatma durumlarında etkili değildir. Ayrıca VLC sistemlere uygulandığında ortaya çıkabilecek kısıtlar dikkate alınmamıştır. Kısıtları ayrı ayrı dikkate almaya çalışan bazı çalışmalar mevcuttur. Belirli bir ışık yoğunluğu kısıtı altında toplam veri hızı ve bit hata oranı (BER), konveks (CVX) çözücü ile optimize edilmeye çalışılmış ve statik güç tahsisi ile karşılaştırılmıştır [21]. Ancak yapılan optimizasyon sonucu ortaya çıkan kullanıcı hızlarından ve adillik durumundan bahsedilmemiştir. Başka bir çalışmada; VLC ağlarında değişken açma-kapama anahtarlama karartma kontrolü (Variable On-off Keying, VOOK) ile birlikte GRPA yöntemiyle güç tahsis katsayıları bulunmuştur [22]. VOOK yönteminde toplam kapasite parlaklık ile doğru orantılı olarak azaldığı için oldukça verimsiz bir yöntemdir.

Kanal kodlama kablosuz haberleşme sistemlerinden güvenilirliği arttırmak için gerekli olan önemli bir teknolojidir. Polar kodların kod uzunluğu sonsuza yaklaştığında ve ardışık yok etme (SC) dekodlama yöntemi kullanıldığında ikili giriş ayrık hafızasız kanalların (Binary Discrete Memoryless Channels, B-DMCs) kapasitesine ulaşabilmektedir [23]. Ayrıca polar kodlar veri hızı açısından hali hazırda kullanılan turbo kodlardan daha iyidir [24]. Polar kodların uygulanması VLC sistemlerin iletim güvenilirliğini arttırmaktadır. Ayrıca, polar kodlar, SC kod çözücünün seri işleme özellikleri nedeniyle daha düşük bir uygulama karmaşıklığına sahip olan yeni bir ileri hata düzeltme kodu sınıfıdır [25]. Ek olarak polar kodlar turbo kodlardan daha düşük karmaşıklığa sahiptir [26]. Polar kod tabanlı hata düzeltme mekanizmasının performansı iyileştirebileceği ve VLC sistemlerinde karmaşıklığı azaltacağı gösterilmiştir [27]. Polar kodlamanın PD-NOMA VLC sistemlerinde kullanıldığı nadir çalışmalardan biri olan çalışmada [28] polar kodlamanın blok hata oranı (Block Error Rate, BLER) performansı analiz edilmiş ve turbo kodlara karşı üstünlüğü gösterilmiştir. Bu çalışmada herhangi bir optimizasyon işlemi yapılmamış ve veri hacminden bahsedilmemiştir.

1.3. Kanal Kapasitesi

Kanal kapasitesi, bilgi teorisinde bilginin bir kanal üzerinden güvenilir bir şekilde aktarılabilme hızı üst sınırıdır. Bilgi teorisinin kurucusu Claude E. Shannon tarafından 1948 yılında matematiksel bir şekilde ilk defa ifade edilmiştir. Günümüzde bu model

kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar ile bu matematiksel olarak olan hesaplanan kapasite sınırına ulaşmak araştırmacıların odağı haline gelmiştir ve bu amaçla yeni kanal kodlama yöntemleri geliştirilmiştir.

Shannon kanal kapasitesi teoremine göre AWGN gürültülü bir kanaldan iletilebilecek maksimum bilgi;

$$R = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

olacaktır. Bu formülden R kanal kapasitesi B Hz cinsinden bant genişliği ve S/N sinyal gürültü oranını ifade etmektedir. S ve N 'nin birimleri Watt'dır.

1.4. Ardışık Girişim Yok Etme (SIC)

Çok kullanıcılı bir algılama sisteminde, eğer kullanıcıların sinyalleri birbirlerine girişim oluşturuyorsa, tespit edilen diğer kullanıcılara ait mesaj sembollerinin alınan sinyalden çıkarılması ile girişimin yok edilmesi yöntemi olarak adlandırılır [29]. Örnek olarak iki kullanıcılı bir sistemde s_1 ve s_2 kullanıcı sembolleri ve n toplamsal gürültü olmak üzere alınan sinyal $s_1 + s_2 + n$ olsun. Kullanıcılar ilk önce s_1 sembolünü dekodlayabiliyorsa sinyal içerisindeki diğer bileşenleri gürültü olarak ele alır. Dekodlanmış \hat{s}_1 sinyali alınan sinyalden çıkarılırsa \hat{s}_2 elde edilmiş olur.

1.5. Dikgen Olmayan Çoklu Erişimi (NOMA)

Dikgen Olmayan Çoklu Erişim (NOMA) yöntemi ulaşılabilir veri hızını arttırmak ve spektrumdan daha etkin yararlanmak amacıyla geleneksel RF çoklu erişim yöntemlerine alternatif olarak öne sürülmüştür. Bu çoklu erişim yönteminde kullanıcılara ayrılan kaynak birbirlerine dik değildir. Yani bu çoklu erişim yöntemindeki kullanıcılar frekans veya zaman domeninde birbirlerinden ayrıştırılmadan tüm zamanı veya frekansı kullanabilir. Daha önceki nesillerde kullanılan çoklu haberleşme tekniklerinde kullanıcılar hep zaman veya frekans domeninde birbirlerinden ayrıştırılmıştır. 1G'de bu frekans bölmeli çoklu erişim (Frequency Division Multiple Access, FDMA), 2G'de zaman bölmeli çoklu erişim (Time Division Multiple Access, TDMA) 3G'de kod bölmeli çoklu erişim (Code Division Multiple

Access, CDMA) ve 4G’de dikgen frekans bölmeli çoklu erişim (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) yöntemleriyle yapılmıştır. 1G’den 4G’ye kadar olan yukarıda belirtilen çoklu erişim stratejileri dikgen çoklu erişim (Orthogonal Multiple Access, OMA) yöntemlerindedir.

Günümüze kadar çeşitli NOMA yöntemleri önerilmiştir. PD-NOMA [30, 31, 32, 33], Zaman Domeni (Time Domain, TD) NOMA [34], Kod Domeni (Code Domain, CD) NOMA [35, 36, 37, 38] ve Frekans Domeni (Frequency Domain, FD) NOMA [34], yöntemleri genel başlıklar olarak incelenmektedir. Bu tez çalışmasında görünür ışık haberleşmesi kanalına uygulanabilirliği nedeniyle PD-NOMA’dan bahsedilecektir. Diğer NOMA erişim yöntemleriyle ilgili ayrıntılı bilgiye belirtilen kaynaklardan ulaşılabilir.

1.5.1. PD-NOMA

PD-NOMA’da vericiden toplamsal olarak çıkacak olan kullanıcılara ilişkin mesaj sinyalleri farklı güç seviyelerine getirilir. Mesaj sinyalleri zaman, frekans, kod domeninde ayrılmadan tüm bandı kullanır. PD-NOMA’da kullanıcılara güç tahsisi kritik bir öneme sahiptir [39]. Güç tahsisi kullanıcılar ile verici arasındaki kanal durumuna göre yapılır. Bu nedenle kanal bilgi teorisine göre kanal kapasitesinin maksimizasyonu açısından daha iyi kanala sahip kullanıcıya daha düşük güç tahsisi yapılmalıdır [40].

Şekil 2’de iki mobil kullanıcının bulunduğu ve PD-NOMA’nın kullanıldığı bir demo sistem gösterilmiştir. s_1 , s_2 sırasıyla kullanıcılara ilişkin modüle edilmiş sinyaller ve p_1 , p_2 güç tahsis katsayıları olmak üzere, baz istasyonundan çıkan sinyal $x = \sqrt{p_1}s_1 + \sqrt{p_2}s_2$ olur. k alıcının numarasını belirtmek üzere k . alıcıda alınan işaret ise,

$$y_k = h_k x + n_k \quad (2)$$

olur. h_k ve n_k sırasıyla k . kullanıcının kanal sabiti ve gürültüdür.

Kullanıcı 2’nin kanalının kullanıcı 1’inkinden daha kötü olduğunu varsayırsa, [40] numaralı kaynaktaki bilgi teorisi prensibine göre daha kötü kanaldaki kullanıcının mesajı daha yüksek güç seviyesine getirilir. Bu durumda Kullanıcı 2’nin güç seviyesi kullanıcı 1’in üstünde Şekil 2’deki gibi olacaktır. Bu iki mesaj sinyali vericiden zamanda toplamsal bir şekilde çıkmaktadır. Daha sonra kanallardan geçerek kullanıcılara ulaşır. Kullanıcı 2’ye

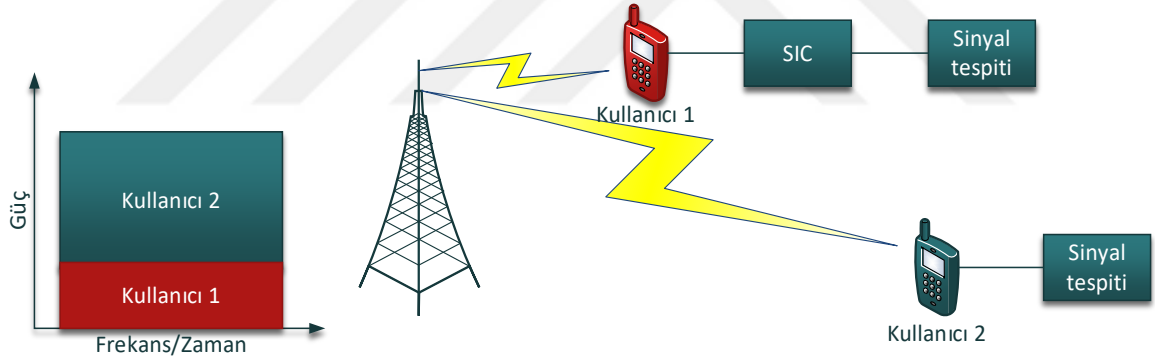
gelen sinyalde güçlü olan sinyal kullanıcı 2'ye ilişkin mesaj sinyalidir. Kullanıcı 2, kendisine gelen toplamsal sinyalin içinde bulunan kullanıcı 1'in verisini gürültü olarak ele alır. Bu durumda kullanıcıların kanal kapasiteleri (1) numaralı bağıntıya göre;

$$R_1 = W \log_2 \left(1 + \frac{|h_1|^2 p_1}{WN_o} \right) \quad (3)$$

$$R_2 = W \log_2 \left(1 + \frac{|h_2|^2 p_2}{WN_o + |h_2|^2 p_1} \right) \quad (4)$$

bps olacaktır. W alıcı-verici bant genişliği, N_o gürültü yoğunluğudur.

Kullanıcı 2 kendisine gelen sinyali direkt olarak çözer. Kullanıcı 1 ise kendisine gelen toplamsal sinyal içerisinde, daha yüksek güce sahip kullanıcı 2'nin mesajını içermektedir. Öncelikle bu sinyali SIC yöntemi ile alır. Daha sonra ise kendi sinyalini çözer. PD-NOMA'da en kötü kanaldaki hariç her kullanıcı SIC yapmak zorundadır.



Şekil 2. PD-NOMA demo

1.6. Kanal Kodlama

İleri yönlü hata düzeltme (Forward Error Coding, FEC) olarak ta adlandırılan kanal kodlama, kaynak verisinin nasıl temsil edilirse, bu verinin kanaldan geçtikten sonra hataların tespit edilmesi ve düzeltilmesi problemini çözmeyi amaçlamaktadır. Hemen hemen bütün kablosuz haberleşme türlerinde kanal kodlama yapılır. Kanal kodlama yapılırken veriye artık bitler eklenerek kanal hatalarına karşı koruma sağlanır. Artık bit eklenmemiş kodun artık bit eklenmiş koda oranı da kodlama oranı olarak tanımlanmaktadır. Artıklık, alıcının mesajının

herhangi bir yerinde oluşabilecek sınırlı sayıda hatanın tespit edilmesine ve çoğu zaman bu hataların yeniden iletme gerek kalmadan düzeltilmesine olanak tanır. Bu nedenle FEC, tek yönlü iletişim bağlantıları gibi yeniden iletimlerin maliyetli veya imkânsız olduğu durumlarda ve çok noktaya yayında birden fazla alıcıya iletirken uygulanır. FEC, genellikle alıcıların yeniden iletim talebinde bulunma yeteneklerinin olmadığı ya da bunu yapmanın gecikmeye sebep olacağı, bozuk verilerin kurtarılmasını sağlamak için veri depolama cihazlarında ve modemlerde yaygın olarak kullanılır [41]. Bir alıcıdaki FEC işleme, bir dijital bit dizisine veya dijital olarak modüle edilmiş bir taşıyıcının demodülasyonuna uygulanabilir.

Genel olarak, daha güçlü bir kod, mevcut bant genişliği kullanılarak iletilmesi gerekenden daha fazla artıklığa neden olur, bu da alınan SNR'ı geliştirirken bit hızını azaltır. Shannon'un gürültülü kanal kodlama teoremi, kod çözme hata olasılığını sıfıra çeviren en verimli kodu kullanırken, veri iletişimi için ne kadar bant genişliği kaldığı sorusunu cevaplar. Bu, belirli bir gürültü seviyesine sahip bir kanalın teorik maksimum bilgi aktarım hızı sınırını belirtir. Shannon bunu bir sınır olarak tanımlamıştır ancak buna nasıl ulaşılabileceğini belirtmemiştir. Yıllar süren araştırmalar sonucunda polar kodlar [42] geliştirilerek sonsuz uzunluklu bit dizisinde bu sınıra ulaştığı matematiksel olarak ispatlanmıştır. Geliştirilen polar kodlar günümüzde birçok araştırmada kullanılmaktadır. [43] numaralı çalışmada diğer kodlama türlerine göre polar kodların PD-NOMA VLC bir sistemdeki performansının üstünlüğü gösterilmiştir. Bu çalışma baz alınarak kanal kodlama için polar kodlama kullanılmıştır.

1.7. Görünür Işık Haberleşmesi Kanalı

Görünür ışık haberleşmesi kanalından bahsetmeden önce görünür ışık haberleşmesinde kullanılan ışığın doğasından bahsetmek gerekir. Işık “foton” adı verilen paketçiklerden oluşmaktadır. Fotonlar hem dalga hem de parçacık özelliği gösterir.

Işık doğası gereği çeşitli özelliklere sahiptir. Bunlardan ilki yansımadır. Işığın bir yüzeye ulaştıktan sonra geldiği kaynak ortamına geri dönmesi ışığın yansıması olarak adlandırılır. Yansıma durumunda ışığın yönü dışında bir fiziksel özelliği değişmez. Işık iki şekilde yansır. Eğer yansımaya başlatan cismin yüzeyi düz ise ışık düzgün yansır, eğer bu cismin yüzeyi düzgün değil ise ışık dağınık olarak yüzeyden yansır. Yansıma durumunda

ışığın yüzey normali ile yaptığı mutlak geliş açısı ile yansıma açısı aynıdır. Yüzeğe dik gelen ışın ise kendi üzerinden geri döner.

Işığın ikinci özelliği kırılmadır. Bir dalganın, hızının farklı olduğu bir ortama girdiğinde bükülmesi kırılma olarak adlandırılır. Işık dalga özelliği gösterdiğinden kırılması da bu şekildedir. Işığın hızlı olduğu bir ortamdan daha yavaş olduğu bir ortama geçmesi durumunda ışık ışınları iki ortam arasındaki sınırın yüzey normaline doğru bükülür. Bükülme miktarı, iki ortamın kırılma indislerine bağlıdır ve Snell Yasası tarafından (5)'te tanımlanmıştır.

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$

n_1 ışığın geldiği ortamın kırıcılık indisi, n_2 ışığın gittiği ortamın kırıcılık indisi, θ_1 gelen ışığın yüzey normali ile yaptığı açı, θ_2 giden ışığın yüzey normali ile yaptığı açıdır.

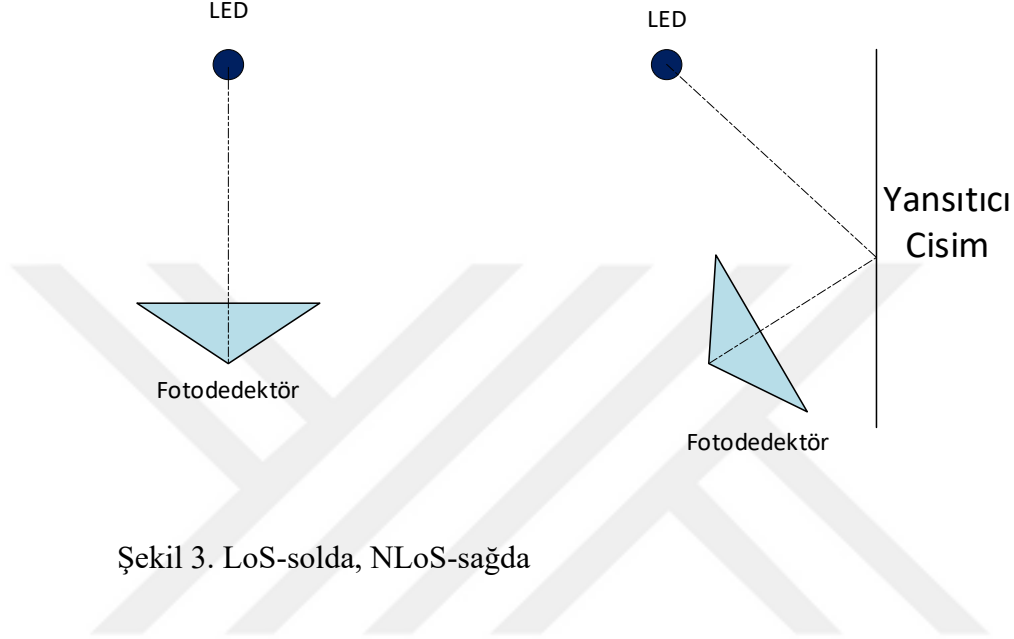
Işığın diğer bir özelliği ise kutuplaşabilmesidir. Elektrik ve manyetik alandan oluşan ışığın elektrik alanının tek bir düzlem üzerinde sınırlandırılması kutuplanması anlamına gelmektedir. Lazerler kutuplaşmış ışığa örnek olarak verilebilir

Görünür ışık haberleşmesi ışığın görünür bölgedeki lisanssız spektrumunun kullanıldığı bir haberleşme biçimidir. Görünür ışık spektrumu genel olarak 400-700 nm dalga boyu aralığında tanımlanmaktadır. Bu dalga boyu aralığı da 430-750 THz frekans aralığına karşılık gelmektedir.

Hızla artan kablosuz yüksek hızda veri transferi hizmetini sağlamak amacıyla bazı uygulamalarda RF sistemlerle birlikte bazı uygulamalarda ise tek başına kullanılacak bir haberleşme biçimidir.

Aydınlatmada kullanılmak üzere üretilen LED ampullerin üretiminin ve kullanımının artmasıyla RF sistemlere göre daha az maliyetli, daha yüksek enerji verimli ve daha yüksek veri güvenliği sağlamak amacıyla VLC alanında yapılan çalışmaların sayısı artmıştır. VLC'de verici olarak LED'ler kullanılırken alıcı olarak fotodedektörler (Photodetector, PD), kameralar ve güneş panelleri kullanılabilir. Ancak bunlar arasında diğerlerine göre daha hızlı tepki süresine sahip olmaları, küçük ve kompakt yapıları nedeniyle en çok fotodedektörlerin kullanıldığı çalışmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda LED verici ve fotodedektör alıcısı içeren VLC kanal modeli [43, 44] numaralı kaynaklarda tanımlanmıştır.

Görünür ışık haberleşme kanalı direk görüş (Line of Sight, LoS) ve direkt olmayan görüş (Non-Line of Sight, NLoS) olmak üzere iki şekilde modellenmektedir. Bu tez çalışmasında LoS modeli esas alınmıştır. Şekil 3'te LoS ve NLoS VLC kanalları gösterilmiştir.

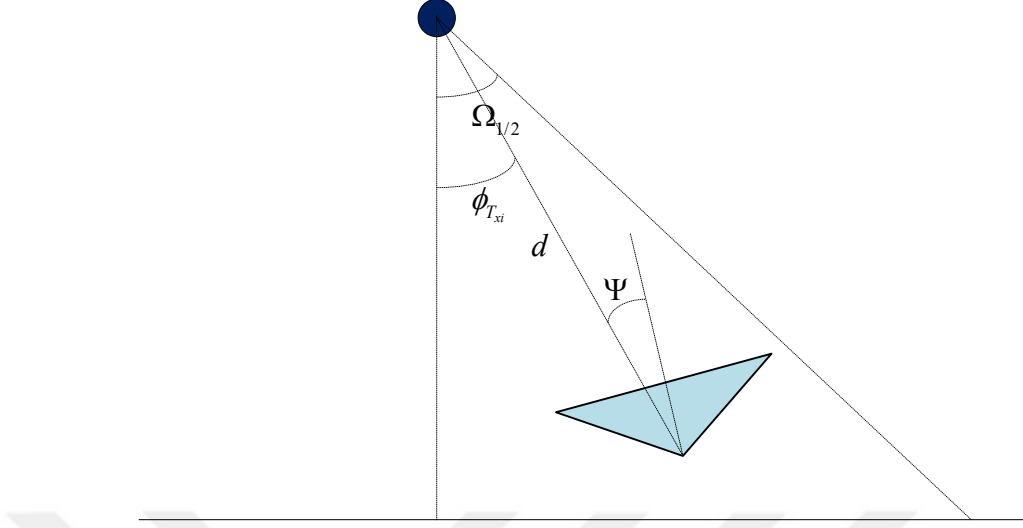


Şekil 3. LoS-solda, NLoS-sağda

[43] numaralı kaynaktaki modele göre ışığın zayıflaması alıcı-verici arasında direk görüş olduğu durum için oluşturulmuş ve matematiksel ifadesi (6)' da verilmiştir.

$$H_{LoS} = \frac{A_r R(\phi_{T_{xi}})}{d^2} T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) \quad (6)$$

$R(\phi_{T_{xi}}) = \frac{k_l+1}{2\pi} \cos^{k_l}(\phi_{T_{xi}})$ LED'in radyan yoğunluğu, $k_l = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos(\Omega_{1/2}))}$ Lambertian emisyon modu numarası, d alıcı verici arası mesafe, $\phi_{T_{xi}}$ LED'in kullanıcıya ışınım açısı, $\Omega_{1/2}$ LED yarı açısı, A_r PD yüzey alanı, ψ PD'nin insidans açısı, $T_s(\psi)$ optik filtre kazancı, $g(\psi) = \frac{n^2}{\sin^2 \phi}$ optik lens kazancı, n PD'nin kırılma indisi ve ϕ PD'nin görüş açısıdır. LoS VLC kanalı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. LoS VLC Kanalı

1.8. Optimizasyon Algoritmaları

Optimizasyon algoritmaları bir sistemde, modelde, problemde en optimum çözümü elde etmek için geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmalar, ulaştığı optimum çözüme göre kesin metotlar ve yaklaşık metotlar olmak üzere iki çeşittir. Kesin metot algoritmaları global optimum değerine kesin olarak ulaşırken, yaklaşık metot algoritmaları global optimum değerine çok yakın bir değere ulaşır. Yaklaşık metotlar, çözümü çok karmaşık ve işlem yükü yüksek olan problemlere hızlı çözümler üretmek üzere geliştirilmişlerdir. Yaklaşık metot türü algoritmalarda kendi içlerinde sezgisel ve meta-sezgisel olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sezgisel algoritmalar tek bir problemi çözmek için o probleme özel olarak geliştirilirken meta-sezgisel algoritmalar genel problemleri çözmek için geliştirilmişlerdir. Meta-sezgisel algoritmalar oluşturulurken doğadan esinlenilmektedir. Meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları, biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı ve kimya tabanlı olmak üzere altı farklı alt başlıkta geliştirilmektedir. Bu algoritmalara örnek olarak [45];

- Genetik Algoritma (Genetic Algorithm, GA)
- Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC)

- Orman Optimizasyonu Algoritması (Forest Optimization Algorithm, FOA)
- Optikten Esinlenen Optimizasyon (Optic Inspired Optimization, OIO)
- Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization, ACO)
- Yerçekimi Arama Algoritması (Gravity Search Algorithm, GSA)
- Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO)
- Isı Transferi Arama (Heat Transfer Search, HTS)
- Ağırlıklı Süperpozisyon Çekimi (Weighted Superposition Attraction, WSA)
- Ağaç-Tohum Algoritması (Tree-Seed Algorithm, TSA)
- Simbiyotik Organizma Araması (Symbiotic Organism Search, SOS)
- Diferansiyel Gelişim Algoritması (Differential Evolution Algorithm, DEA)
- Gaz Brownian Hareketi Optimizasyonu (Gases Brownian Motion Optimization, GBMO)
- Elektromanyetik Alan Optimizasyonu (Electromagnetic Field Optimization, EFO)
- Kasırga Temelli Optimizasyon Algoritması (Hurricane Based Optimization Algorithm, HBOA)

Son yıllarda yüksek başarımlı ve hıza sahip meta-sezgisel algoritma geliştirme çalışmaları hız kazanmış ve araştırmacılar bu algoritmalarından yararlanarak daha önce çözülmesi çok zor görünen optimizasyon problemlerini çözmeye başlamışlardır. Bu tez çalışmasının çözülmesi gereken optimizasyon problemleri hız gerektirdiğinden meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından doğruluk, sağlamlık ve yakınsama hızından dolayı ABC [46] algoritması seçilmiştir.

1.8.1. ABC Algoritması

ABC algoritması bal arılarının doğal ortamda yiyecek kaynaklarına ulaşmada, kolonideki diğer arılarla kurdukları iletişimi ve en az enerjiyi sarf ederek en verimli nektarların toplanmasında izledikleri yol ve süreci temel almaktadır. Yapay arı kolonisinde izci, işçi ve izleyici arılar olmak üzere üç grup arı bulunur. Yiyecek kaynağı seçmeye karar vermek için bekleyen arıya izleyici arı denir ve bu arının daha önce ziyaret ettiği kaynağa giden arılara ise işçi arılar denir. Rastgele yiyecek kaynağı arayan arılara ise izci arılar denir. ABC algoritmasında kolonideki yapay arıların yarısı işçi arılardan ve kalan diğer yarısı da izci ve izleyicilerden oluşur. Her bir besin kaynağı için yalnızca bir işçi arı ayrılmıştır. Besin

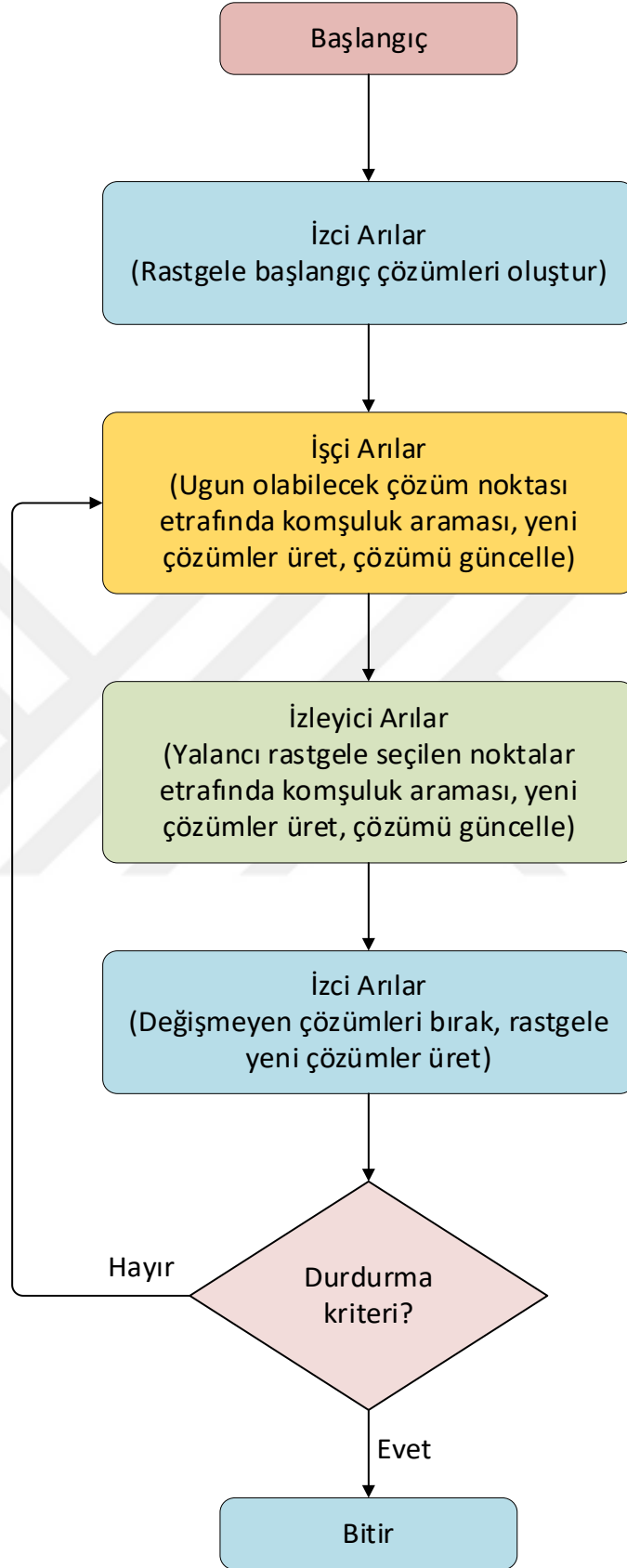
kaynağını tüketen işçi ve izleyici arılar izci arılara dönüşür. Algoritmanın ana adımları aşağıdaki gibidir:

- Başlat.
- Tekrarla.
 - (a) İşçi arıları hafızadaki besin kaynaklarına gönder.
 - (b) İzleyici arıları hafızadaki besin kaynaklarına gönder.
 - (c) Yeni besin kaynakları aramak amacıyla izci arıları arama alanına gönder.
- Sonlandırma kriteri sağlana kadar devam et.

Algoritmanın akış diyagramı Şekil 5'te verilmiştir. Algoritma ile ilgili daha detaylı bilgiye [46] numaralı kaynaktan ulaşılabilir. [47] numaralı kaynak bu algoritmaya ait MATLAB kodunu içermektedir. Bu kod için değişken olarak tanımlanan parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. ABC algoritması parametreleri

Parametre	Anlamı
NumberFoods	Arı veya yiyecek sayısı
FITNESSFCN	Optimize edilecek fonksiyon
subjects	Optimizasyon kısıt fonksiyonları
MaxFE	Maksimum uygunluk değerlendirmesi
D	Değişken sayısı
limit	Toplam değişken sayısına gidecek arı sayısı
lb	Değişkenlerin alt limiti
ub	Değişkenlerin üst limiti



Şekil 5. ABC algoritması akış diyagramı

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu tez çalışmasında görünür ışık haberleşmesinde dikgen olmayan çoklu erişim yöntemi uygulanarak incelemeler yapılmıştır. Bu incelemeler için öncelikle NOMA VLC genel modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan genel model üzerinden iki kullanıcı donanımının bulunduğu durum için kullanıcıların kanalları oranına göre aydınlatma ile ilgili kısıtlar da ele alınarak haberleşme ile ilişkisi incelenmiştir. Kullanıcıların kanalları oranına göre ampirik güç tahsisi denklemi oluşturulmuştur. Yine iki kullanıcı durumunda polar kanal kodlama için alıcı verici yapıları oluşturulmuş ve polar kanal kodlamanın performansı incelenmiştir. Diğer bir inceleme ile kullanıcı sayısı artırılarak bunun aydınlatma ve haberleşmeye etkisi gösterilmiştir.

İki kullanıcı donanımının bulunduğu NOMA VLC sistemi için ilk incelememiz, bu kullanıcılar ile verici LED arasındaki kanallar oranı ele alınarak yapılmıştır. Adillik ve toplam kanal kapasitesi optimizasyon problemleri olarak modellenmiş ve aydınlatma kısıtının var olduğu ve var olmadığı senaryolar karşılaştırılmıştır. Adillik optimizasyonu yapıldığında güç tahsis katsayıları ile kanallar oranı arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiş ve bu ilişki ampirik olarak elde edilmiştir. Elde edilen ampirik ifade üzerinden güç tahsisi yapmanın doğruluğu incelenmiştir. Ortamdaki gürültü gücünün ampirik güç tahsisine etkisi gösterilmiştir.

İki kullanıcı donanımının bulunduğu NOMA VLC sistemi için ikinci incelememiz, polar kanal kodlama ele alınarak yapılmıştır. Polar kanal kodlama için alıcı-verici yapısı oluşturulmuştur. Polar kanal kodlamanın sağladığı kazanç gösterilmiştir. Belirli bir SNR değerinde toplam veri hacmi optimizasyon problemi olarak modellenerek bu optimizasyonun toplam veri hacmi kazanımı gösterilmiştir.

İkiden fazla kullanıcı donanımının bulunduğu NOMA VLC sistemi için incelememiz, sabit konumlarda bulunan kullanıcılar için yapılmıştır. Seçilen konumlarda bulunan iki kullanıcı donanımının bulunduğu bir ortama ikişer ikişer yeni kullanıcı donanımları eklenerek 4,6 ve 8 kullanıcı donanımı için adillik ve toplam kanal kapasitesi optimizasyon problemleri olarak belirlenmiştir. Aydınlatma kısıtı da ele alınarak kullanıcı sayısının değişmesinin aydınlatma ve haberleşmeye etkisi gösterilmiştir.

2.2. Aşağı Yönlü İletim PD-NOMA VLC Sistem Modeli

Aşağı yönlü iletim PD-NOMA VLC sistem modeli oluşturulurken verici olarak yüksek anahtarlama hızlarına sahip LED'ler kullanılmaktadır. Günümüzde bu amaçla fosfor tabakalı LED'ler ve RGB LED'ler üretilmektedir. Fosfor tabakalı LED'ler birkaç MHz seviyelerinde anahtarlanabilirken RGB LED'ler birkaç on MHz seviyelerinde anahtarlanabilmektedir. Üretim ve malzeme teknolojilerinin gelişmesiyle bu anahtarlama hızları arttırılmaya çalışılmaktadır.

PD-NOMA VLC sistemlerde alıcı olarak ise fotodedektörler kullanılmaktadır. Fotodedektörler üzerlerine gelen ışık şiddetine göre çıkışlarında farklı gerilim değerleri üretmektedir. Günümüz teknolojisinde üretilen fotodedektörler haberleşme hızının arttırılması açısından bir darboğaz oluşturmamaktadır. Bu darboğazı daha çok LED'lerin anahtarlama hızları belirlemektedir.

VLC kanalının (6) numaralı bağıntıdaki matematiksel modeli oluşturulurken LED verici ve fotodedektör alıcının kullanıldığı durum için oluşturulmuştur. Bu çalışmada VLC kanalın kullanıldığı PD-NOMA VLC sistem için verici modeli Şekil 6'da ve alıcı modeli Şekil 7'deki gibi oluşturulmuştur. Bu modellere göre kullanıcılara iletilmek üzere oluşturulan ikili veri dizileri öncelikle kanal kodlama işlemine tabi tutulmalıdır. Kanal kodlama işleminden sonra veri modüle edilmelidir. Modüle edilmiş sinyaller PD-NOMA'da bilgi teorisi prensibine göre [40] güç tahsisi işlemlerine tabi tutularak farklı güç seviyelerine getirilir. Daha sonra bu sinyaller toplanarak LED'e iletilir. VLC kanala girecek işaret x ,

$$x = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} s_k \quad (7)$$

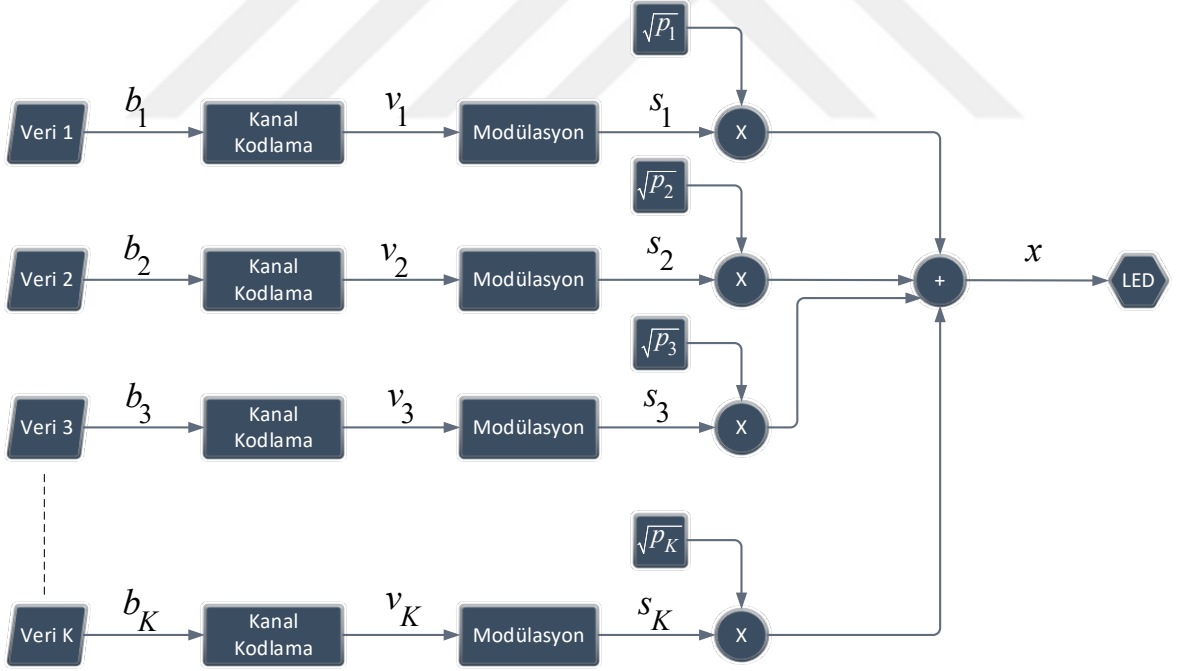
olmaktadır. K toplam kullanıcı sayısını k kullanıcı numarasını, p_k güç tahsis katsayısını, s_k modüle edilmiş işareti belirtmektedir. LED, girişine gelen çok seviyeli bu işaretin frekansına ve seviyesine göre parlaklığını o frekans değerinde farklı seviyelere değiştirerek bir aydınlatma sağlar. Bu aydınlatma seviyesindeki değişim hızı çok yüksek olduğundan insan gözünün bu değişimi algılaması mümkün değildir. İnsan gözünün algılayacağı ışık şiddeti LED'den yayılan ortalama ışık şiddeti olacaktır. Daha sonra LED'den yayılan ışık VLC kanallardan geçerek alıcılara ulaşır. Alıcılara gelen işaret y_k ,

$$y_k = h_k x + n_k \quad (8)$$

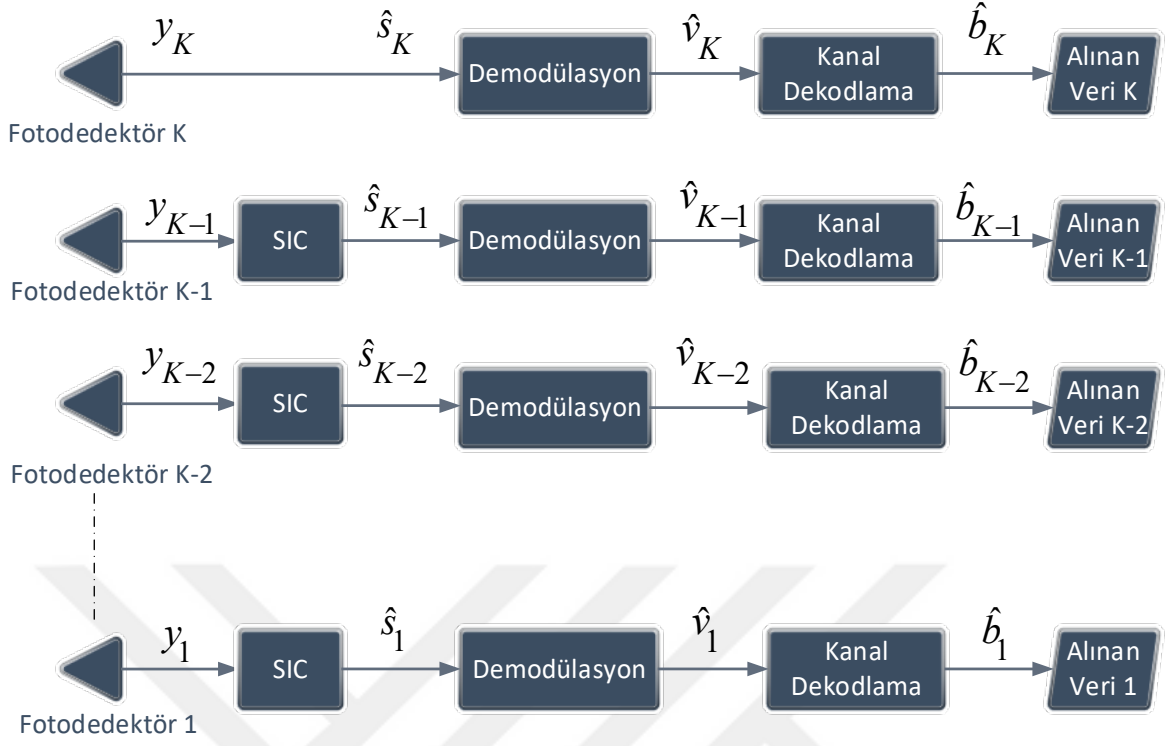
olmaktadır. h_k k . kullanıcı ile verici arasındaki VLC kanalı, n_k da bu kanaldaki gürültüyü belirtmektedir. Tespit edilen modüle edilmiş mesaj sinyalleri 1.4 numaralı başlık altında bahsedilen SIC işleminden sonra;

$$\hat{s}_{k-1} = y_{k-1} - \hat{s}_k^{(k-1)} \quad (9)$$

olmaktadır. \hat{s}_{k-1} tahmin edilen s_{k-1} sinyalini, y_{k-1} $k - 1$. fotodetektörün çıkışı ve $\hat{s}_k^{(k-1)}$ bir önceki yüksek güce sahip kullanıcının sinyalinin $k - 1$. fotodetektörde tahmin edilmiş halidir. Bu mesaj sinyalleri daha sonra verici tarafta yapılan modülasyonun tersi demodülasyon yöntemi uygulanarak demodüle edilir ve kanal dekodlama işlemi uygulanarak \hat{b}_k mesajları tahmin edilir.



Şekil 6. Oluşturulan aşağı yönlü iletim PD-NOMA VLC verici modeli



Şekil 7. Oluşturulan aşağı yönlü iletim PD-NOMA VLC alıcı modeli

Aşağı yönlü iletim PD-NOMA VLC sisteminde sistem kapasitesinin hesaplanması için sinyal gücü, gürültü gücü ve bant genişliği bilinmelidir. k . alıcıda alınan sinyal gücü S_k ;

$$S_k = p_k h_k^2 \quad (10)$$

olmaktadır. Kanal ortamında bulunan standart gürültü gücü ise;

$$N = W N_0 \quad (11)$$

olmaktadır. Burada W LED'in anahtarlama hızı ve N_0 ortamdaki gürültü yoğunluğudur. Bu gürültünün dışında PD-NOMA prensibine göre kullanıcılar kendi mesaj sinyallerinden daha düşük güç seviyesine sahip mesaj sinyallerini de gürültü olarak ele alır. Ele alınan bu gürültü daha iyi kanallara sahip kullanıcılara ait farklı güç seviyelerine atanmış mesaj sinyallerinin toplamının k . kullanıcı ile verici arasındaki kanaldan geçmiş halidir. Bu durumda (1)

numaralı bağıntıda verilen Shannon kanal kapasitesi teoremi PD-NOMA için uygulanırsa k . kullanıcının kanal kapasitesi R_k ;

$$R_k = W \log_2 \left(1 + \frac{p_k h_k^2}{N + \sum_{l=k+1}^N p_l h_k^2} \right) \quad (12)$$

olacaktır. Toplam sistem kapasitesi R_C ise;

$$R_C = \sum_{k=1}^K R_k \quad (13)$$

olur.

Adillik haberleşme sistemlerinde önemli bir amaç olarak göze çarpmaktadır. Haberleşme sistemlerinde kullanılan ve bir sistem kaynağının kullanıcılara veya uygulamalara ne kadar adil paylaştırıldığına bir ölçüsüdür, (14) numaralı formülde nasıl hesaplanacağı verilmiştir.

$$F = \frac{(\sum R_k)^2}{N \sum R_k^2} \quad (14)$$

Bu bağıntıların dışında aşağı yönlü iletim PD-NOMA VLC sistemleri için bilgi teorisi prensibine göre [40] optimum kapasiteyi sağlamak amacıyla aşağıdaki bağıntı kesin olarak sağlanmalıdır.

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (15)$$

Toplam güç tahsisi de (16) numaralı formüldeki bağıntıyla bir P_{max} güç değerine sınırlandırılmalıdır.

$$\sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (16)$$

Aydınlatma açısından bakacak olursak LED'in girişine gelen x işaretinin gücü LED'in maksimum ve ortalama parlaklık değerini belirler. (7) numaralı formüle bakıldığında x işareti $\sqrt{p_k}$ ve s_k 'ya bağlıdır. s_k işaretinin gücü PD-NOMA VLC için seçilen bir modülasyon türüne bağlı olduğundan sistem tasarımı yapılırken başlangıçta belirlenir ve sabittir. LED'in maksimum parlaklığı $C = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k}$ belirli bir değer seçilerek değiştirilebilir. Bu durumda LED'in maksimum parlaklığı ile C arasında (17) numaralı bağıntı vardır.

$$\text{Max Parlaklık} \propto C^2 \quad (17)$$

Sonuç olarak p_k değeri kanal kapasitelerini ve adilliklerini, C LED'in maksimum ve ortalama parlaklık değerini belirleyecektir. C değeri yine p_k 'ya bağlı olduğundan, p_k güç tahsis katsayılarının seçimi PD-NOMA VLC sistemlerde aydınlatma ve haberleşme açısından çok kritik bir öneme sahiptir. Bu seçim yapılırken en optimum şekilde yapılmalıdır.

2.3. İki Kullanıcılı NOMA VLC İçin İncelemeler

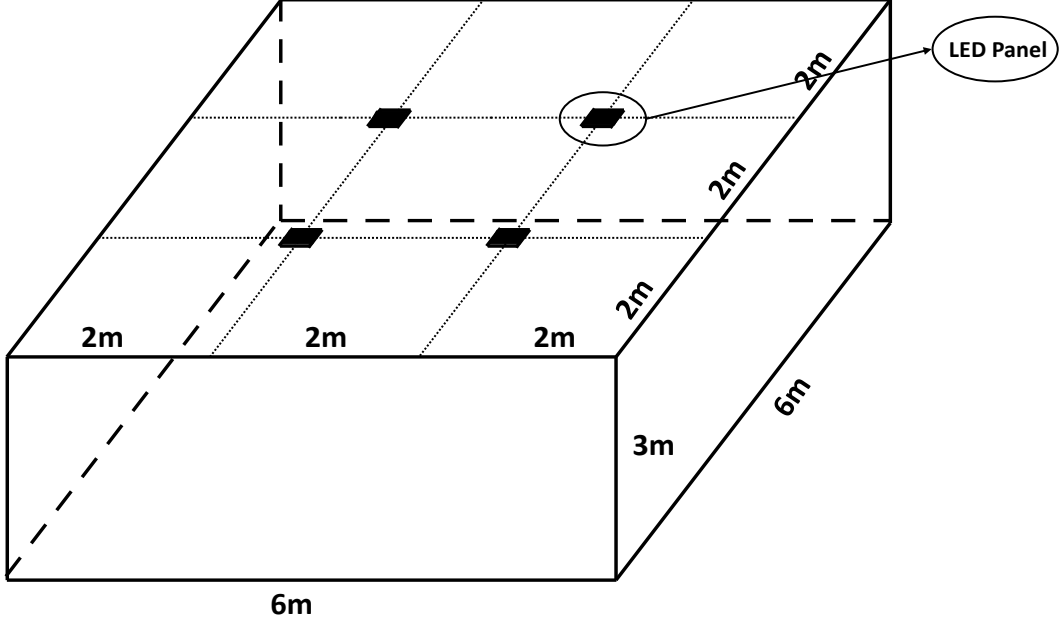
2.3.1. Kullanıcıların Kanalları Oranına Göre İncelemeler

PD-NOMA VLC sistemlerde aydınlatmanın yapılacağı yere göre aydınlatma gereksinimleri farklılık göstermektedir. Tablo 2'de farklı oda tipleri için önerilen lüks miktarları görülmektedir. Lüks bir aydınlatma biriminin aydınlatma şiddetini belirtir. Bu incelemede [5, 48] numaralı kaynaklardaki gibi belirli bir boyuttaki oda için yeterli seviyede aydınlatma sağlandığı durum için çalışmalar yapılmıştır. Lüks ve oda boyutu belirlendikten sonra kaç lümenlik bir aydınlatmaya ihtiyaç duyulacağı oda tabanı yüzey alanı ile lüks çarpılarak bulunur. Gerekli olan lümen değeri bu şekilde bulunduktan sonra kaç adet aydınlatma birimi kullanılacağına karar verilir. Bu karar verildiğinde bir aydınlatma biriminin ne kadarlık lümen sağlaması gerektiği ortaya çıkar. Daha sonra LED'in bu lümeninde bir aydınlatma sağlaması için harcayacağı güç belirlenir. Belirlenen bu güç değeri PD-NOMA haberleşmesinde kullanacağımız toplam güç tahsisi kısıtı olacaktır.

Tablo 2. Oda tipine göre önerilen lüks değerleri [49].

Oda Tipi	Lüks	Oda Tipi	Lüks
Yatak odası	200-300	Mutfak	300-750
Kafe	200-300	Laboratuvar	500-750
Sınıf	300-500	Kütüphane	300-500
Konferans salonu	300-500	Ofis	200-500
Koridor	50-100	Otopark	50-100
Sergi alanı	300-500	Merdiven	50-100
Spor salonu	200-300	Atölye	300-750

Bu inceleme için $6 \times 6 \times 3 \text{ m}^3$ boyutundaki bir ofis ele alınmıştır. LED'ler odaya Şekil 8'deki gibi yerleştirilmiştir. Bu büyüklükte bir ofisin 250 lüks ile aydınlatılmak istendiği varsayılırsa $250 \times 6 \times 6 = 9000$ lümen ihtiyacı duyulmaktadır. 9000 lümenlik bu aydınlatma için dört adet LED panel kullanılacağı varsayılırsa bir LED panel 2250 lümenlik aydınlatma sağlamalıdır. Her bir panel üzerinden PD-NOMA kullanılarak iki kullanıcıya haberleşme hizmeti verilecektir ve haberleşme açısından paneller arası girişimin olmadığı varsayılmıştır. Sistem olarak Şekil 6 ve Şekil 7'nin iki kullanıcı, karmaşıklığı azaltmak açısından kanal kodlamanın yapılmadığı durumu esas alınmış ve modülasyon türü 2-PAM kullanılmış -1 ve 1 seviyeler olarak belirlenmiştir. Bu yapıya göre LED'in girişine gelecek x işareti $-\sqrt{p_1} - \sqrt{p_2}$ ile $\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2}$ aralığında 4 seviyeli bir işaret olacaktır. Negatif bir değer LED'e bu şekilde direkt olarak iletilemeyeceğinden $\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2}$ DC değeri bu işarete eklenmelidir. Bu değer eklendiğinde işaret 0 ile $2(\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2})$ aralığında olacaktır. Bu çok seviyeli işarete tüm seviyelerin gelme olasılığı eşit ise 4500 lümenlik bir panel kullanmak gerekir. 4500 lümenlik aydınlatma için piyasada bulunan LED'lere göre yaklaşık 45W'lık bir güç gerekir. Bu durumda güç tahsisi ve lüks arasındaki ilişki doğrusal kabul edilirse $2(\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2})$ değeri 45W'a karşılık gelecek ve $\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2} = 22.5 \text{ W}$ değeri toplam güç tahsisi kısıtı olarak ele alınacaktır. Bu şekilde 4 LED panel ile 90 W güç harcanarak 9000 lümenlik aydınlatma yapılacak ve 8 kullanıcıya haberleşme hizmeti sağlanacaktır.



Şekil 8. Aydınlatma ve haberleşmenin yapıldığı oda

Bu haberleşme ve aydınlatma hizmeti aynı anda sağlandığında güç tahsisinin nasıl yapılacağını belirleyen ampirik bir denklem sentezi bu incelemenin yapılmasının ana amacıdır. Bu amaca göre tek bir LED panelin h_1 ve h_2 LoS VLC kanallarına sahip iki kullanıcıya adil bir haberleşme hizmeti sağladığı durum için $\frac{h_1}{h_2}$ oranına göre optimum güç tahsisin ampirik ifadesi oluşturulmuştur.

LoS VLC kanal ifadeleri (6) numaralı denklem yardımıyla h_1 ve h_2 için oluşturulursa;

$$h_1 = \frac{A_1 R(\phi_{Tx1})}{d_1^2} T_{s1}(\psi_1) g_1(\psi_1) \cos(\psi_1) \quad (18)$$

$$h_2 = \frac{A_2 R(\phi_{Tx2})}{d_2^2} T_{s2}(\psi_2) g_2(\psi_2) \cos(\psi_2) \quad (19)$$

olur. LED yarı açısı 60° alınırsa;

$$h_1 = \frac{A_1 \cos(\phi_{Tx1})}{\pi d_1^2} T_{s1}(\psi_1) g_1(\psi_1) \cos(\psi_1) \quad (20)$$

$$h_2 = \frac{A_2 \cos(\phi_{Tx2})}{\pi d_2^2} T_{s2}(\psi_2) g_2(\psi_2) \cos(\psi_2) \quad (21)$$

olmaktadır. Her iki alıcı için optik filtre kazancı, optik lens kazancı, PD yüzey alanı aynı kabul edilip Tablo 3'teki değerler alınırsa $h_1/h_2 = \frac{d_2^2 \cos(\phi_{Tx1}) \cos(\psi_1)}{d_1^2 \cos(\phi_{Tx2}) \cos(\psi_2)}$ olacaktır. Ele aldığımız Tablo 3'teki parametrelere göre $0m \leq d_1, d_2 \leq 6m$ ve $0^\circ \leq \phi_{Tx1}, \phi_{Tx2}, \psi_1, \psi_2 \leq 60^\circ$ olacaktır. Bu durumda ortaya çıkabilecek kanallar ve kanallar arasındaki oranlar, belirli adım büyüklükleri seçilerek MATLAB yardımıyla hesaplanmıştır. $\frac{h_1}{h_2}$ oranından homojen eşsiz 1000 adet seçilmiştir.

Bu şekilde kanallar oranı bulunarak yapı oluşturulduktan sonra ABC algoritması ile optimizasyon işlemlerine başlamak amacıyla amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıdaki gibi matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$\underset{p_k}{\text{maksimize}} \quad F(p_k) \quad (22)$$

$$\underset{p_k}{\text{maksimize}} \quad R_C(p_k) \quad (23)$$

$$\text{k. s.} \quad \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (24)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (25)$$

$$p_k \in (0, P_{max}] \quad (26)$$

$$C \quad (27)$$

Tablo 3. Benzetim parametreleri

Parametre	Değeri
Oda boyutu	$6m \times 6m \times 3m$
PD yüzey alanı	$1cm^2$
PD kırılma indisi	1.5
Optik filtre kazancı	1
Optik lens kazancı	3
Maksimum güç tahsis katsayıları toplamı	$22.5 W$
LED yarı açısı	60°
Alıcı-verici bant genişliği	$30 MHz$
Gürültü yoğunluğu	$10^{-19} A^2/Hz$
PD görüş açısı	60°
Modülasyon tipi	2 – PAM

ABC algoritması için Tablo 4'deki parametreler kullanılmıştır.

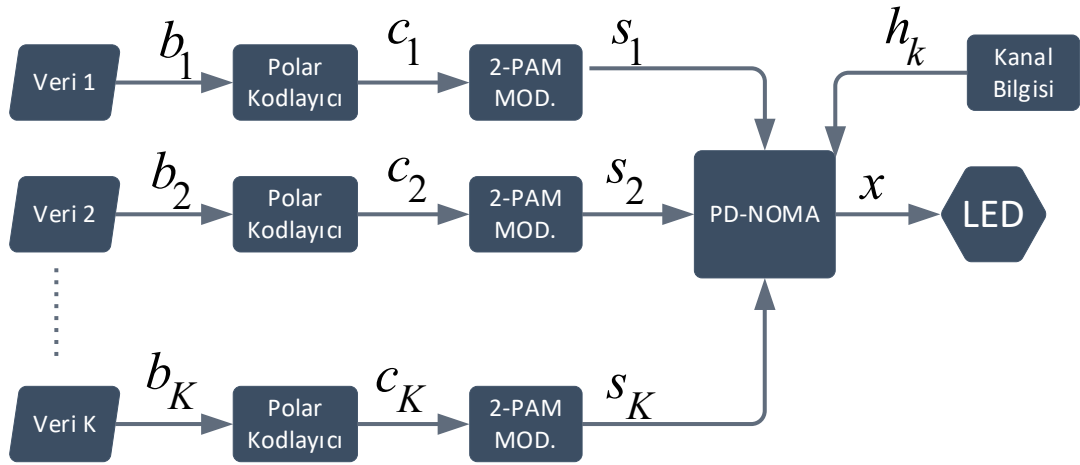
Tablo 4. ABC algoritması parametreleri

Parametre	Değeri
NumberFoods	10
FITNESSFCN	(22), (23) numaralı bağıntılar
subjects	(24), (25), (26) numaralı bağıntılar
MaxFe	40000
D	2
limit	NumberFoods*D
lb	[0 0]
ub	[22,5 22.5]

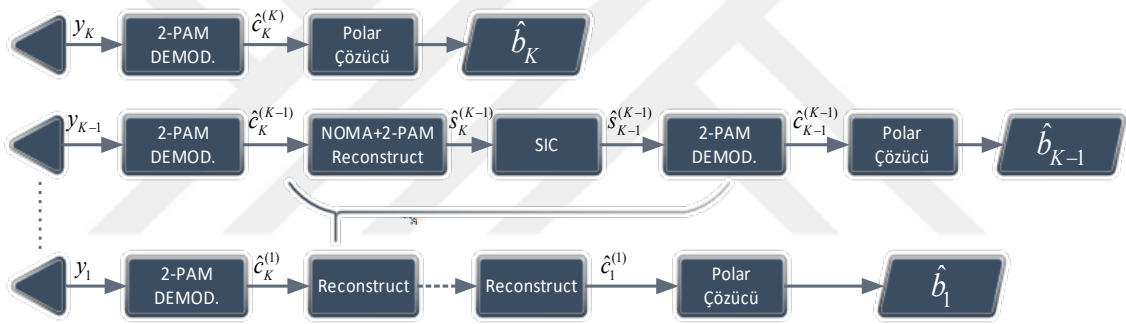
2.3.2. Kanal Kodlama İncelemeleri

Kanal kodlama kablosuz haberleşme sistemlerinde çoğunlukla kullanılmaktadır. PD-NOMA VLC sistemlerinde de kanal kodlama ile alıcıda SNR kazancı sağlanacaktır. Bu incelemede sistem, Şekil 6 ve Şekil 7'deki yapı kullanılarak konumu ve kanalı belirli iki kullanıcının bulunduğu ve 2-PAM kullanıldığı durum için oluşturulmuştur. Sistem verici olarak görev yapan tek bir LED ve alıcı olarak görev yapan $K = 2$ adet fotodetektörden oluşmaktadır. K toplam kullanıcı sayısını k ise kullanıcının numarasını göstermektedir. Verici ile k . kullanıcı arasındaki kanal kazancı h_k ile gösterilmiştir. h_1 ve h_2 iki kullanıcılı PD-NOMA'da sırasıyla kullanıcıların kanal kazançları olmak üzere, kullanıcı kanalları arasındaki ilişki $|h_1|^2 \leq |h_2|^2$ olduğu varsayılmıştır. PD-NOMA prensibine göre kullanıcılara iletilecek olan sinyal, o kullanıcı ile verici arasındaki kanal durumuna göre farklı güç seviyelerine getirilerek toplamsal bir şekilde vericiden çıkar. En kötü kanaldaki kullanıcıya iletilecek sinyal en yüksek güçte iletilir. Bu durumda p_k güç tahsis katsayıları olmak üzere kanal durumlarına göre kullanıcılar için $p_2 > p_1$ olmalıdır.

[43] numaralı çalışmada PD-NOMA VLC sistemleri için polar kanal kodlamanın üstünlüğü gösterilmiştir. Bu nedenle polar kanal kodlama kullanılarak oluşturduğumuz verici yapısı Şekil 9'da gösterilmiştir. İlk olarak kullanıcılara ilişkin b_k ikili mesaj verileri m bit uzunluklu bloklara ayrılmalıdır. Daha sonra kodlama oranı r_c belirlenerek kodlama işlemi yapılmalıdır. Kodlanmış veriler c_k ile gösterilmiştir. Daha sonra bu veriler 2-PAM'a tabi tutularak s_k sinyallerine dönüştürülür. s_k sinyalleri daha önce anlattığımız bilgi teorisine göre kanal kapasitesinin maksimizasyonu açısından daha iyi kanala sahip kullanıcıya daha düşük güç tahsisi atanacak şekilde PD-NOMA işlemine tabi tutulur ve x sinyaline dönüştürülür. x sinyalinin nonnegatifliğini sağlamak açısından daha önce belirttiğimiz gibi bir DC A değeri bu sinyale eklenmelidir. Bu DC A değeri daha sonra alıcıda kaldırılacaktır. Bu durumda x sinyali (7) numaralı bağıntıdakiyle aynıdır. Daha sonra bu x sinyali LED'e iletilir ve ışığa dönüştürülür. LED kaynağında çıkan ışık VLC kanallardan geçtikten sonra alıcılara ulaşır. Oluşturulan alıcı yapısı Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Oluşturulan verici yapısı



Şekil 10. Oluşturulan alıcı yapısı

A DC değeri alıcıda kaldırıldıktan sonra k . alıcıda alınan işaret (8) numaralı bağıntıdakiyle aynıdır. En kötü kanaldaki kullanıcı aldığı toplamsal sinyalin içinde en yüksek güçlü sinyale sahip olduğundan direkt olarak kendi verisini sırasıyla 2-PAM demodülasyon ve polar dekodlamada kullanılan ardışık yok etme (SC) [50] yöntemini uygulayarak çözer ve \hat{b}_k 'i elde eder. Diğer kullanıcılar, kendi mesaj sinyalleri için atanan güç seviyesinden daha yüksekte olan sinyalleri SIC yöntemiyle elimine etmek zorundadır. En kötü kanaldaki kullanıcı hariç her kullanıcı SIC gerçekleştirir ve daha zayıf kanaldaki l kullanıcısının girişimini ardışık bir şekilde çıkartarak kendi sinyalini çözer ($l < k$). Genel yapısı Şekil 10'da verilen oluşturduğumuz alıcı için iki kullanıcının bulunduğu duruma göre, daha iyi kanaldaki bir numaralı kullanıcıya gelen işaret (28) numaralı bağıntıda verilmiştir.

$$y_1 = (\sqrt{p_1}s_1 + \sqrt{p_2}s_2)h_1 + n_1 \quad (28)$$

Daha iyi anlaşılması açısından y_1 'in dekodlanmasını açıklayacak olursak, y_1 'e öncelikle 2-PAM demodülasyonu uygulanarak $\hat{c}_2^{(1)}$ elde edilir. $\hat{c}_2^{(1)}$ ikinci kullanıcının b_2 mesajının polar kodlanmış hali olan c_2 mesajının, birinci kullanıcıda tahmin edilmiş halini göstermektedir. Bu tahmin işleminden sonra verici tarafta yapılan 2-PAM ve PD-NOMA güç tahsisi işleminin aynısı bu tahmin edilen sinyale uygulanarak y_1 sinyali içerisindeki $\hat{s}_2^{(1)}\sqrt{p_2}h_1$ bileşeni elde edilir. $\hat{s}_2^{(1)}$ ikinci kullanıcıya ait s_2 sinyalinin birinci kullanıcıda tespit edilen halidir. Bu şekilde y_1 'den $\hat{s}_2^{(1)}\sqrt{p_2}$ çıkarılarak SIC yapılırsa;

$$h_1\sqrt{p_1}\hat{s}_1 + n_1 \quad (29)$$

elde edilir. Elde edilen bu işarete sırasıyla 2-PAM demodülasyonu ve polar SC dekodlama işlemleri uygulandığında \hat{b}_1 elde edilmiş olur.

y_2 'nin dekodlanması bir SIC işlemi gerektirmeyeceğinden daha kolaydır. Alınan y_2 işaretetine önce 2-PAM demodülasyonu yapılarak $\hat{c}_2^{(2)}$ elde edilir. Daha sonra polar dekodlama yapılarak \hat{b}_2 elde edilir.

Bu şekilde \hat{b}_1 ve \hat{b}_2 elde edildikten sonra daha önceden belirlenmiş kod blok uzunlukları için hatalı alınan blokların tespit edilmesiyle BLER E_k hesaplanır. E_k , k . kullanıcının BLER'ini ifade etmektedir. BLER (30) numaralı formüle göre hesaplandıktan sonra alıcı tarafta doğru alınan veri miktarını belirten veri hacmi hesabı (31) numaralı formüldeki gibi hesaplanır. Bu aşamada veri hacmini değiştirecek dört nitelik vardır. Bunlar, güç tahsisi, blok uzunluğu ve kodlama oranıdır. Ancak bu çalışmada değişken olarak güç tahsisi alınmış diğer nicelikler sabit kabul edilmiştir.

$$E_k = \frac{\text{Hatalı alınan blok sayısı}}{\text{Toplam blok sayısı}} \quad (30)$$

$$R_T = \sum_{k=1}^K R_k (1 - E_k) \quad (31)$$

Bu şekilde yapı oluşturulduktan sonra ABC algoritması ile optimizasyon işlemlerine başlamak amacıyla amaç fonksiyonları ve kısıtlar aşağıdaki gibi matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$\underset{p_k}{\text{maksimize}} \quad R_C(p_k) \quad (32)$$

$$\underset{p_k}{\text{maksimize}} \quad R_T(p_k) \quad (33)$$

$$\text{k. s.} \quad \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (34)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (35)$$

Optimizasyon problemi oluşturulduktan sonra benzetimler için Tablo 5'deki parametreler kullanılmıştır.

Tablo 5. Veri hacmi optimizasyonu için benzetim parametreleri

	Parametre	Değeri
Toplam güç tahsisi	P_{max}	1 W
Alıcı-verici bant genişliği	W	30 MHz
Gürültü yoğunluğu	N_0	$10^{-19} A^2/Hz$
Yakın kullanıcı kanal zayıflaması	h_1	-50 dB
Uzak kullanıcı kanal zayıflaması	h_2	-55 dB
Kodlama oranı	r_c	1/2
Kodlanacak blok uzunluğu	m	512

ABC algoritması için Tablo 6'daki parametreler kullanılmıştır.

Tablo 6. ABC algoritması parametreleri

ABC Algoritması	Değeri
NumberFoods	10
FITNESSFCN	(32), (33) numaralı bağıntılar
subjects	(34), (35), (36) numaralı bağıntılar
MaxFe	40000
D	2
limit	NumberFoods*D
lb	[0 0]
ub	[1 1]

2.4. İki'den Fazla Kullanıcılı NOMA VLC İçin İncelemeler

Bu inceleme NOMA VLC sistemlerde kullanıcı sayısını arttırmanın etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. İncelemeler yapılırken karmaşıklığı arttırmamak açısından kanal kodlama ve dekodlama işlemleri yapılmamıştır. Kullanıcıların belirlenen sabit konumlarda bulunduğu varsayılmıştır. Tablo 7’de belirtilen konumlarda bulunan iki kullanıcı için (6) numaralı formül ve Tablo 8’deki parametreler kullanılarak kanal kazanımları hesaplanmıştır. Daha sonra bu iki kullanıcının bulunduğu ortama ikişer ikişer yeni kullanıcılar eklenerek 2, 4, 6, ve 8 kullanıcı için incelemeler yapılmıştır.

Şekil 6 ve Şekil 7’deki alıcı-verici yapısı kullanılarak ikiden fazla kullanıcının bulunduğu ve 4-PAM’ın kullanıldığı durum incelenmiştir. Yine karmaşıklığı arttırmamak açısından kanal kodlama yapılmamıştır. Sistem verici olarak görev yapan tek bir LED ve alıcı olarak görev yapan K adet fotodedektörden oluşmaktadır. K toplam kullanıcı sayısını k ise kullanıcının numarasını göstermektedir. Verici ile k . kullanıcı arasındaki kanal kazancı h_k ile gösterilmiştir. $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8$, PD-NOMA’da sırasıyla kullanıcıların VLC kanal kazanımları olmak üzere, kullanıcı kanalları arasındaki ilişkinin $|h_1|^2 \leq |h_2|^2 \leq |h_3|^2 \leq |h_4|^2 \leq |h_5|^2 \leq |h_6|^2 \leq |h_7|^2 \leq |h_8|^2$ olduğu varsayılmıştır. PD-NOMA prensibine göre kullanıcılara iletilecek olan sinyal, o kullanıcı ile verici arasındaki kanala

göre farklı güç seviyelerine getirilerek toplamsal bir şekilde vericiden çıkar. En kötü kanaldaki kullanıcıya iletilecek sinyal en yüksek güçte iletilir. Bu durumda p_k güç tahsis katsayıları olmak üzere veri ile aralarındaki kanallara göre kullanıcılar için güç tahsisleri arasındaki ilişki $p_8 > p_7 > p_6 > p_5 > p_4 > p_3 > p_2 > p_1$ olmalıdır. s_k , kullanıcılara ilişkin modüle edilmiş mesaj sinyalleri olmak üzere, vericiden çıkan toplam sinyal x , (17)'de verilmiştir.

$$x = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} s_k + A \quad (37)$$

Mesaj sinyalinin M-PAM olduğunu düşünürsek, s_k ortalaması sıfır olan $[-\delta \delta]$ aralığında değişen M seviyeli bir sinyaldir. İletimi yapılacak x sinyalinin non-negatifliğini sağlamak için (37) numaralı formüldeki gibi bir A DC değeri sinyale eklenmelidir. Bu DC değer x sinyalinin pozitif yapacak kadar büyük olmalıdır. x sinyalinin bu durumda negatif olmadığını ve $s_k \leq \delta$ olduğunu biliyorsak (38) numaralı bağıntı sağlanmalıdır.

$$\sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} \leq \frac{A}{\delta} \quad (38)$$

Ek olarak, LED'in çalışma aralığı nedeniyle ışık şiddeti üst bir V limiti ile sınırlandırılmalıdır. Bu sınırlandırma yapıldığında (39) numaralı bağıntı sağlanmalıdır.

$$C = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} \leq \frac{V - A}{\delta} \quad (39)$$

VLC kanalından sonra toplamsal sinyal, alıcı tarafından alınır, buradaki sinyale (AWGN) gürültü n_k eklenmiştir. Daha sonra alıcı başlangıçta eklenen sabit A DC değerini kaldırır. k . alıcıda alınan sinyal (40) numaralı bağıntıda verilmiştir. Dördüncü kullanıcı aldığı toplamsal sinyal içinde en güçlü sinyalin kendisinin olduğu için kendisine gelen veriyi direkt olarak çözer. Diğer kullanıcılar kendi sinyalinden güçlü gelen sinyalleri SIC yöntemiyle elimine etmek zorundadır. En kötü kanaldaki kullanıcı hariç her kullanıcı SIC

gerçekleştirir ve daha zayıf kanaldaki l kullanıcısının girişimini ardışık bir şekilde çıkartarak kendi sinyalin çözer ($l < k$).

$$y_k = \sum_{l=1}^K \sqrt{p_l} s_l h_k + n_k \quad (40)$$

Bu şekilde sistem oluşturulduktan sonra ABC algoritması ile optimizasyon işlemlerine başlamak amacıyla amaç fonksiyonları ve kısıtlar aşağıdaki gibi matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$\text{maksimize}_{p_k} R_C(p_k) \quad (41)$$

$$\text{maksimize}_{p_k} F(p_k) \quad (42)$$

$$k. s. \quad \sum_{n=1}^N p_k \leq P_{max} \quad (43)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (44)$$

$$\sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} \leq \frac{V - A}{\delta} \quad (45)$$

$$p_k \in (0, P_{max}] \quad (46)$$

Optimizasyon problemi oluşturulduktan sonra aşağı yönlü iletim PD-NOMA VLC sistemi benzetimleri için LoS VLC kanal esas alınmış ve Tablo 7 ve Tablo 8'deki parametreler kullanılmıştır.

Tablo 7. Kullanıcı konumları

Kullanıcı	d (m)	$\phi_{T_{xi}}$	ψ
2	1.7	30	25
1	1.3	40	35

Tablo 8. Maksimum toplam kanal kapasitesi ve adillik için optimum güç tahsisi benzetim parametreleri

Parametre	Değeri
PD yüzey alanı	1cm^2
PD kırılma indisi	1.5
Optik filtre kazancı	1
Optik lens kazancı	3
Gürültü yoğunluğu	$10^{-19} \text{A}^2/\text{Hz}$
Maksimum güç tahsis katsayıları toplamı	12
LED yarı açısı	60°
Alıcı-verici bant genişliği	30 MHz
PD görüş açısı	60°
Modülasyon tipi	4 – PAM
δ	$3\sqrt{5}/5$

ABC optimizasyon algoritmasında Tablo 9'daki parametreler kullanılmıştır.

Tablo 9. ABC algoritması parametreleri

ABC Algoritması	Değeri
NumberFoods	10
FITNESSFCN	Opt. Edilecek Fonksiyon
subjects	Kısıt fonksiyonları
MaxFe	40000
D	4
limit	NumberFoods*D
lb	[0 0 0 0]
ub	[12 12 12 12]

3. BULGULAR

3.1. İki Kullanıcılı NOMA VLC İçin Bulgular

3.1.1. Kullanıcıların Kanalları Oranına Göre İnceleme Bulguları

3.1.1.1. Maksimum Parlaklık Seviye Kısıtı Yokken Maksimum Toplam Kanal Kapasitesini Sağlayan Güç Tahsis Katsayılarının Bulunması

Başlıkta belirtilen amaç doğrultusunda optimizasyon problemi $K=2$ kullanıcı için aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\text{maksimize}_{p_k} R_C(p_k) \quad (47)$$

$$\text{k. s.} \quad \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (48)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (49)$$

$$p_k \in (0, P_{max}] \quad (50)$$

Bu problem doğrultusunda ABC algoritmasında FITNESSFCN olarak (47) numaralı bağıntı alınmış subjects olarak (48), (49) ve (50) numaralı bağıntılar alınmıştır. Algoritma bu fonksiyonlar altında 1000 farklı kanallar oranını sağlayan h_1 , h_2 için 1000 defa oluşturulmuştur.

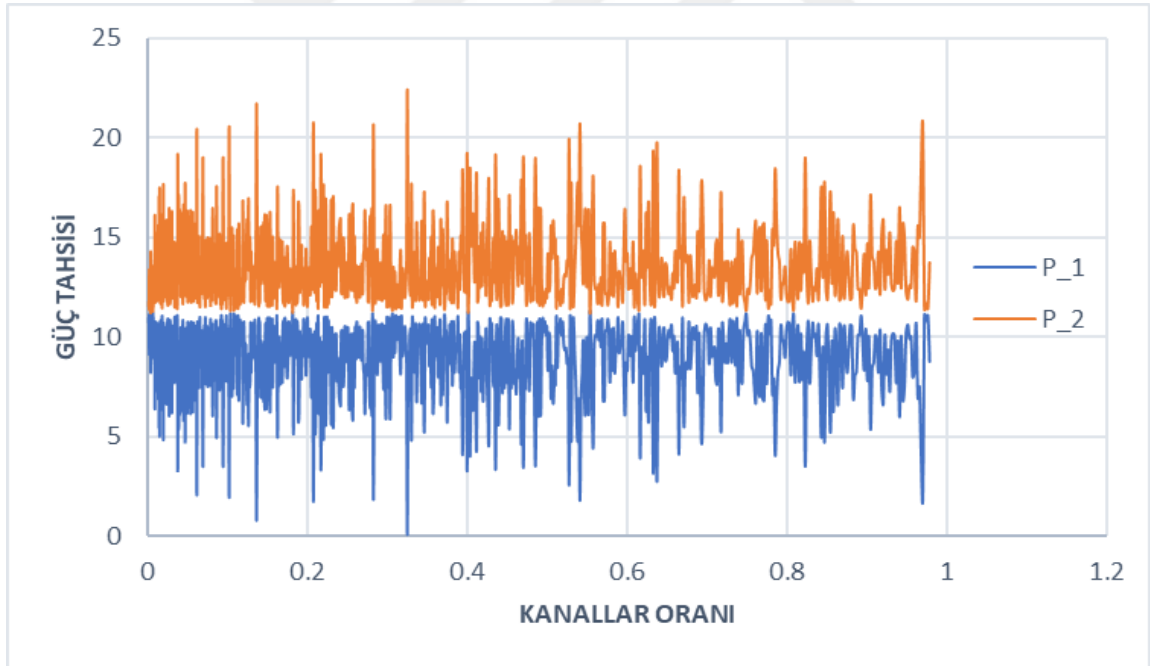
Koşurma işlemleri sonucunda ortaya çıkan güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi Şekil 11’de verilmiştir. Bu güç tahsis katsayıları kullanıldığında ortaya çıkan adillik F Şekil 11’de gösterilmiştir. Minimum adillik F_{min} , toplam güç tahsisi katsayısı P , maksimum aydınlatma şiddetiyle ilişkili büyüklük C_{max} , toplam kanal kapasitesi R_C Tablo 10’da verilmiştir. Güç tahsis katsayıları Şekil 11’deki gibi seçildiğinde işaretin değişimi seçilen 1000 adet kanal arasında en fazla $[-6,7082 \ 6,7082]$ aralığında olacaktır. Bu değerlere göre eklenecek DC değer en az, bu işareti pozitif yapacak kadar olmalıdır. Daha sonraki benzetimlerden de anlayabileceğimiz gibi maksimum parlaklık seviyesi bu durumda oluşur. En yüksek toplam kanal kapasitesine de bu durumda ulaşılmaktadır. Şekil 11’e bakıldığında

toplam kapasite optimizasyonu için kanallar oranı ile güç tahsisi arasında ilişki olmadığı görülmektedir. p_1 ve p_2 arasında ise (51) numaralı ilişki vardır.

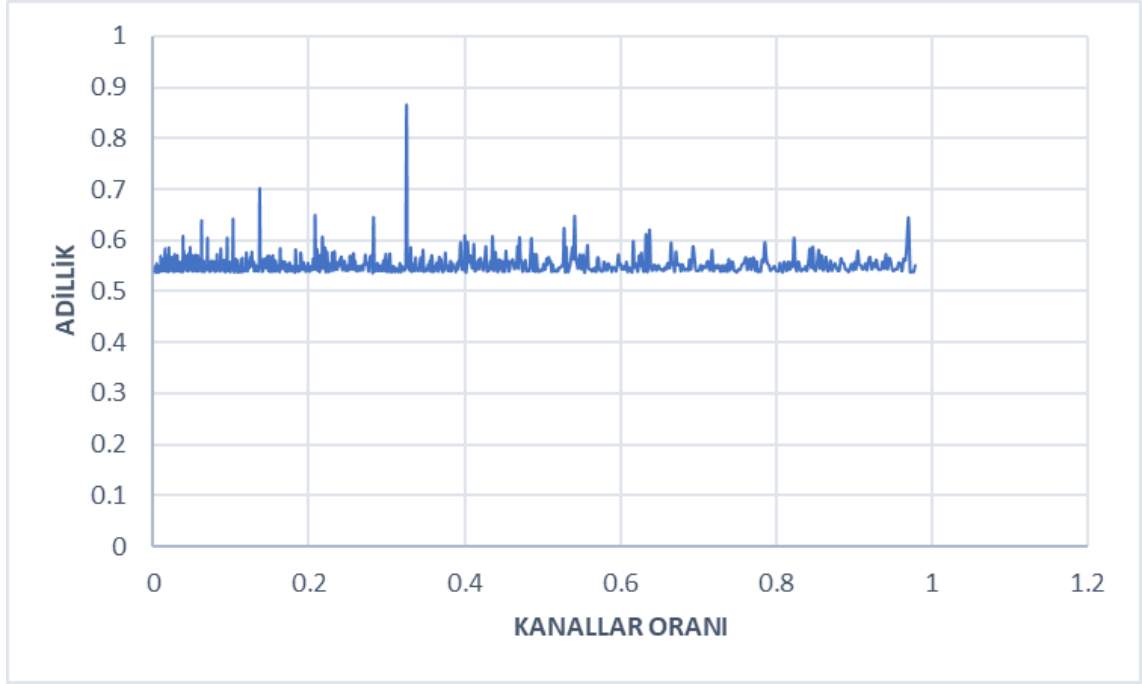
$$p_2 = 22.5 - p_1 \quad (51)$$

Tablo 10. Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum toplam kapasite için elde edilen değerler

Parametre	Değeri
F_{min}	0,5373
P	22,5
C_{max}	6,7082
R_C (Mbps)	835,81 \pm %0.1



Şekil 11. Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum toplam kanal kapasitesini sağlayan güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi



Şekil 12. Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum toplam kanal kapasitesini sağlandığında adilliğin kanallar oranına göre değişimi

3.1.1.2. Maksimum Parlaklık Seviye Kısıtı Yokken Maksimum Adilliği Sağlayan Güç Tahsis Katsayılarının Bulunması

Başlıkta belirtilen amaç doğrultusunda optimizasyon problemi $K=2$ kullanıcı için aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\text{maksimize}_{p_k} \quad F(p_k) \quad (52)$$

$$\text{k. s.} \quad \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (53)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (54)$$

$$p_k \in (0, P_{max}] \quad (55)$$

Bu problem doğrultusunda ABC algoritmasında FITNESSFCN olarak (52) numaralı bağıntı alınmış subjects olarak (53), (54) ve (55) numaralı bağıntılar alınmıştır. Algoritma bu fonksiyonlar altında 1000 farklı kanallar oranını sağlayan h_1 , h_2 için 1000 defa oluşturulmuştur.

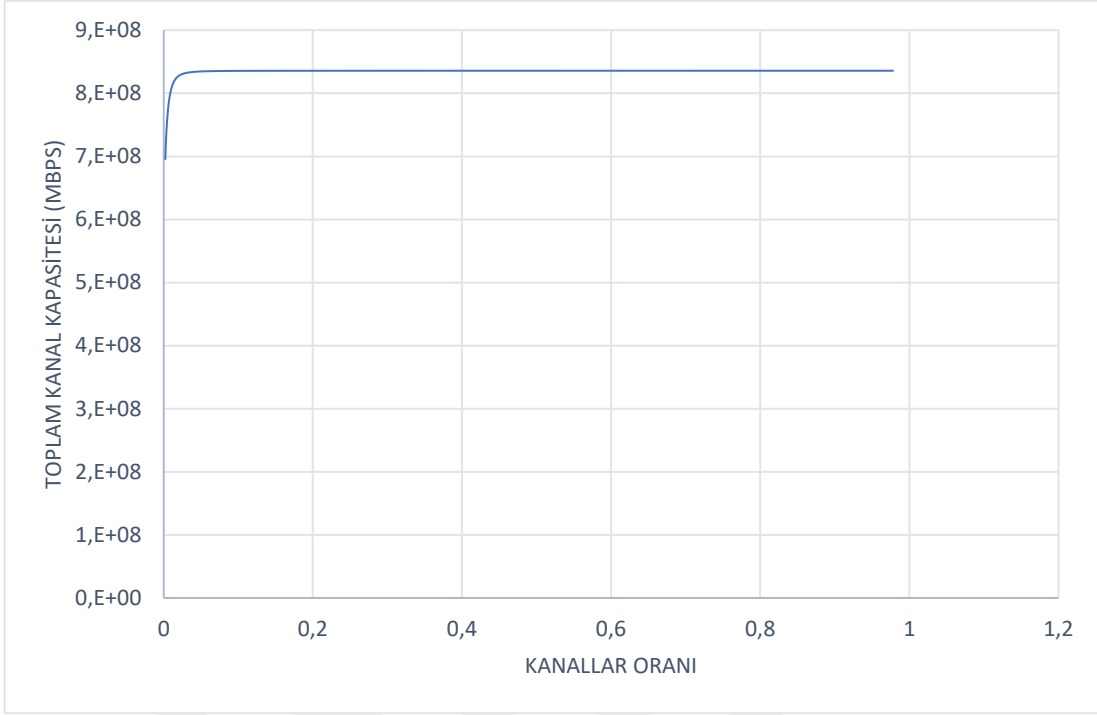
Koşturma işlemleri sonucunda adillik değeri “1” olarak elde edildiğinde daha iyi kanaldaki kullanıcı için güç tahsisi p_1 Şekil 13’de verilmiştir. p_1 ile p_2 arasında yine (51) numaralı ilişki vardır. p_1 ile kanallar oranı arasında da bir ilişki olduğu görülmektedir. Eğri uydurma yöntemiyle tespit edilen bu ilişki Şekil 13 üzerinde ampirik olarak gösterilmiştir.

Optimizasyon sonucu ortaya çıkan güç tahsis katsayıları kullanıldığında toplam kanal kapasitesinin kanallar oranına göre değişimi Şekil 13’deki gibi olmaktadır. LED’in parlaklığını belirleyen C büyüklüğü ile kanallar oranı arasındaki ilişki ise Şekil 14’de verilmiştir. Adillik F , toplam güç tahsisi katsayısı P , maksimum aydınlatma şiddetiyle ilişkili büyüklük C_{max} ve maksimum toplam kanal kapasitesi $R_{c_{max}}$ Tablo 11’de verilmiştir. Güç tahsis katsayıları Şekil 13’deki gibi seçildiğinde işaretin değişimi seçilen 1000 adet kanal arasında en fazla $[-4,7812 \ 4,7812]$ aralığında olacaktır. Buna göre eklenecek DC değer Tablo 10 için hesaplanan değerden $\sim\%28,72$ daha küçük seçilebilir. Bu da maksimum parlaklığı $\sim\%49,20$ oranında azaltmak anlamına gelir. Hem adilliğin sağlandığı hem toplam kapasitenin maksimum olduğu hem de güç tahsis katsayıları toplamının tamamı kullanıldığındaki en düşük maksimum parlaklık seviyesi bu durumda oluşmaktadır.

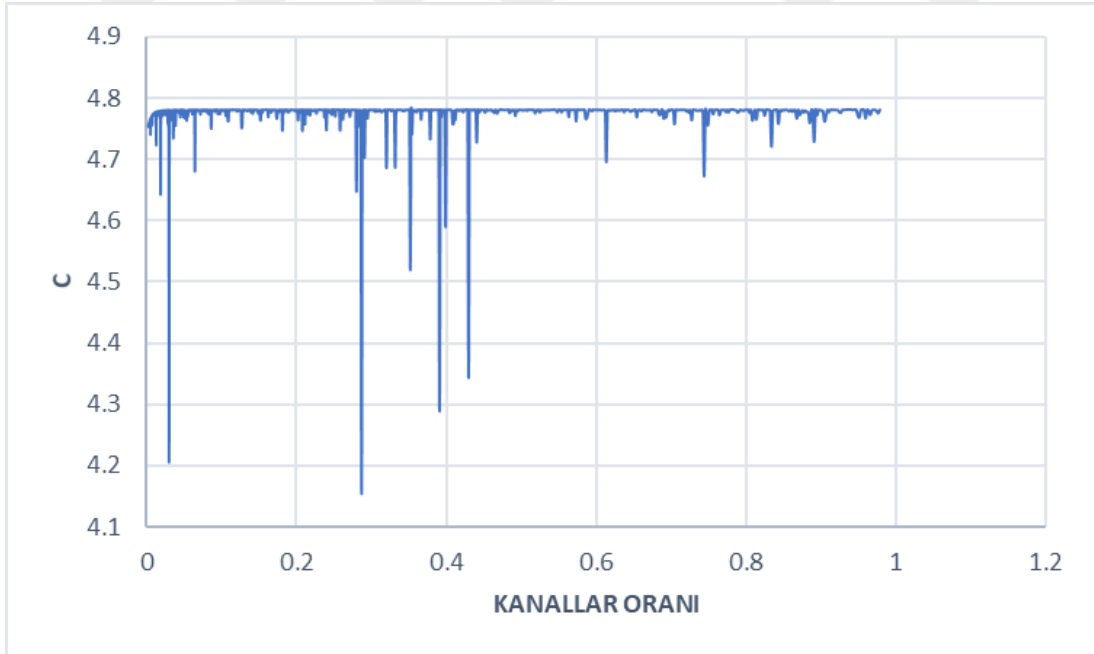
Şekil 13’deki ampirik güç tahsisi ifadesi kullanıldığında toplam kanal kapasitesinin ve C ’nin kanallar oranına göre değişimi sırasıyla Şekil 15 ve Şekil 17’deki gibi olmaktadır.

Tablo 11. Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum adillik için elde edilen değerler

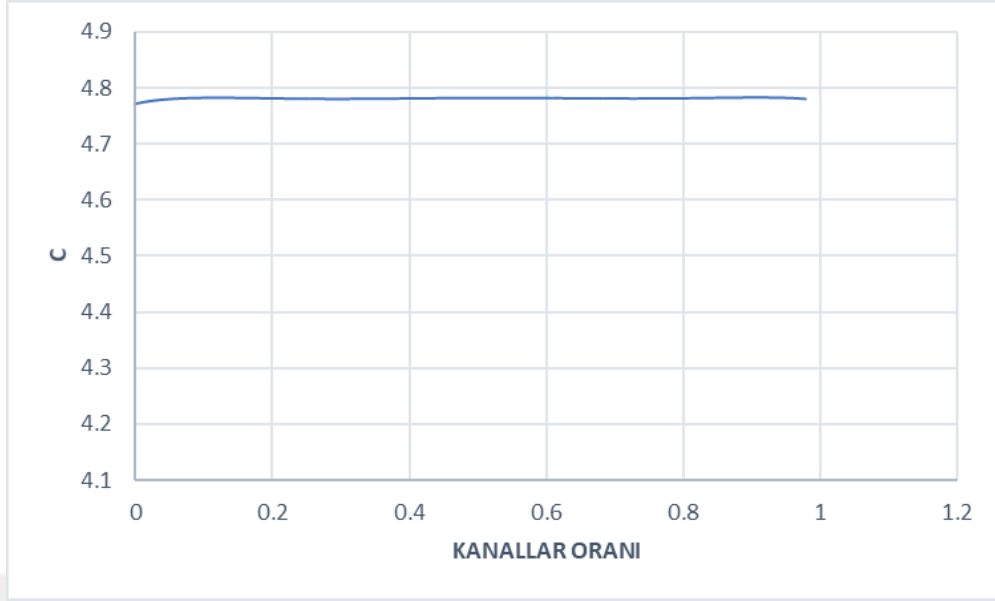
Parametre	Değeri
F	1
P	22,5
C_{max}	4,7812
$R_{c_{max}}(Mbps)$	835,81



Şekil 15. Elde edilen ampirik güç tahsisi denklemi kullanıldığında toplam kanal kapasitesinin kanallar oranına göre değişimi

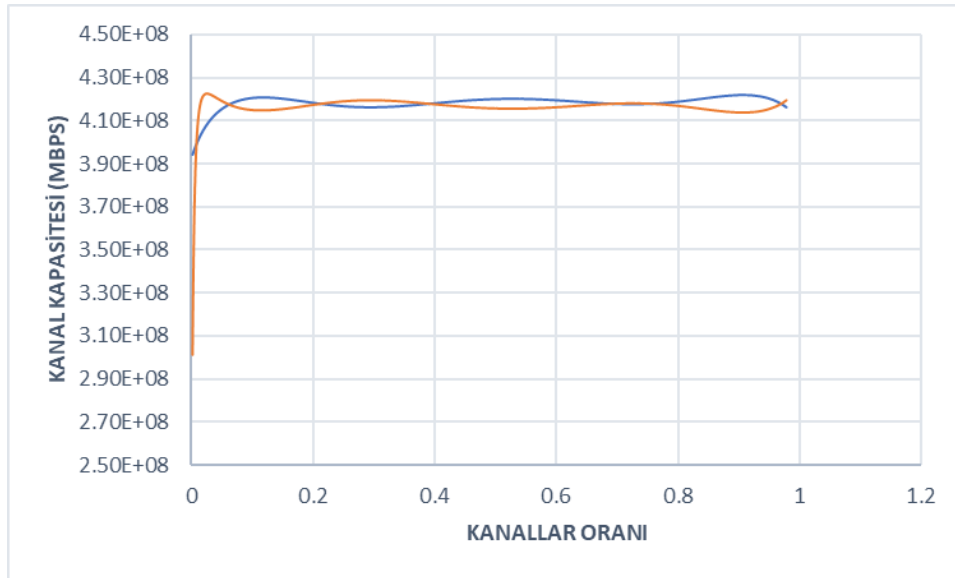


Şekil 16. Maksimum parlaklık kısıtı yokken maksimum adillik sağlandığında LED'in maksimum parlaklığını belirleyen C değerinin kanallar oranına göre değişimi



Şekil 17. Elde edilen ampirik güç tahsisi denklemi kullanıldığında LED'in maksimum parlaklığını belirleyen C değerinin kanallar oranına göre değişimi

Ampirik güç tahsisi denklemi kullanıldığında ortaya çıkan kullanıcı kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi Şekil 18'de verilmiştir. Buna karşılık gelen adillik değişimi de Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 18. Elde edilen ampirik güç tahsisi denklemi kullanıldığında kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi



Şekil 19. Elde edilen ampirik güç tahsisi denklemleri kullanıldığında adilliğin kanallar oranına göre değişimi

3.1.1.3. Maksimum Parlaklık Seviyesi Kısıtlanmışken Maksimum Adillliği Sağlayan Güç Tahsis Katsayılarının Bulunması

Başlıkta belirtilen amaç doğrultusunda optimizasyon problemi $K=2$ kullanıcı için aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\underset{p_k}{\text{maksimize}} \quad F(p_k) \quad (56)$$

$$\text{k. s.} \quad \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (57)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (58)$$

$$C \quad (59)$$

$$p_k \in (0, P_{max}] \quad (60)$$

Bu problemde $C = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_n}$ değeri ilk iki benzetimlerde ortaya çıkan [4.7812 6.7082] değer aralığının dışındaki 4 değerine sınırlandırılmıştır. Buradaki amaç bunun maksimum parlaklık, toplam kanal kapasitesi ve adillik üzerindeki etkisini görmektir. Bu amaç doğrultusunda ABC algoritmasında FITNESSFCN olarak (56) numaralı bağıntı alınmış subjects olarak (57), (58), (59) ve (60) numaralı bağıntılar alınmıştır. Algoritma bu

fonksiyonlar altında 1000 farklı kanallar oranını sağlayan h_1 , h_2 için 1000 defa koşturulmuştur.

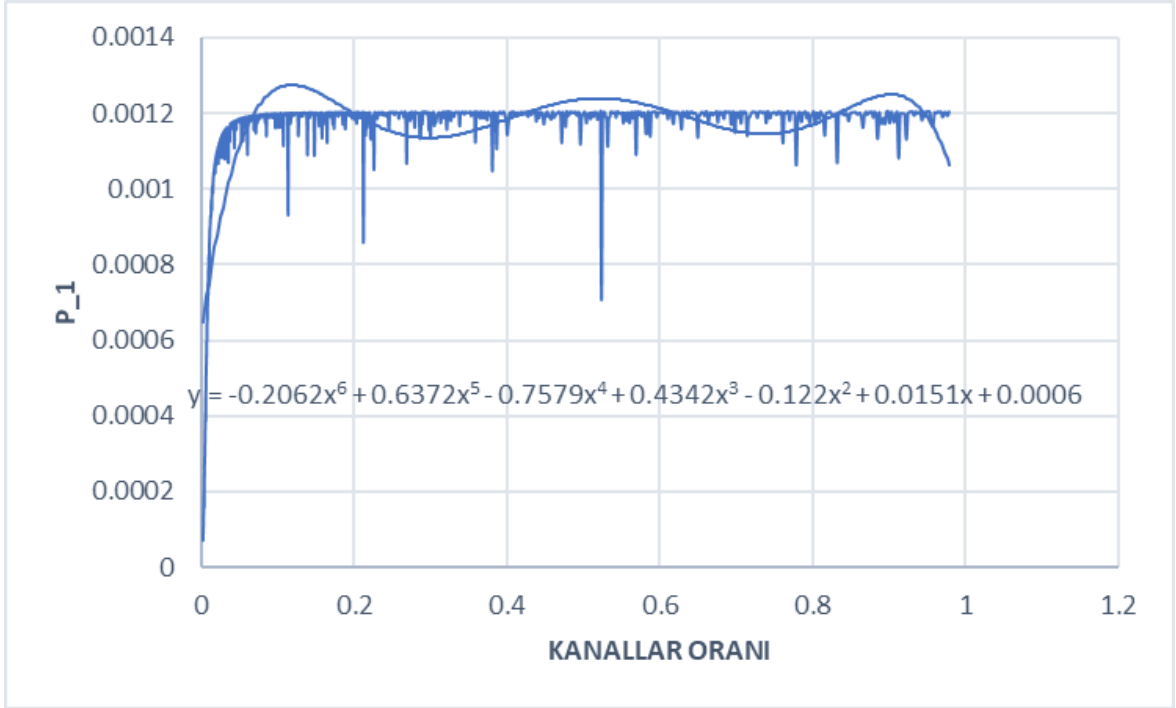
(56) numaralı bağıntı FITNESSFCN olarak seçilip adillik optimizasyonu yapıldığında daha iyi kanaldaki kullanıcı için güç tahsisi p_1 'in kanallar oranına göre değişimi ve bu değişimi eğri uydurma yöntemiyle ifade eden ampirik denklem Şekil 20'de verilmiştir.

Optimizasyon sonucu ortaya çıkan güç tahsis katsayıları kullanıldığında toplam kanal kapasitesinin kanallar oranına göre değişimi Şekil 21'deki gibi olmaktadır. LED'in parlaklığını belirleyen C büyüklüğü ile kanal oranı arasındaki ilişki ise Şekil 23'de verilmiştir. Şekil 20'deki güç tahsisi denklemini kullanıldığında ise toplam kanal kapasitesinin kanal oranına göre değişimi Şekil 22'deki ve C büyüklüğü ile kanal oranı arasındaki ilişki ise Şekil 24'deki gibi olmaktadır. Adillik F , toplam maksimum güç tahsisi katsayısı P_{max} , maksimum aydınlatma şiddetiyle ilişkili büyüklük C_{max} ve maksimum toplam kanal kapasitesi $R_{c_{max}}$ Tablo 12'de verilmiştir. Güç tahsis katsayıları Şekil 20'deki gibi seçildiğinde işaretin değişimi seçilen 1000 adet kanal arasında en fazla [-4 4] aralığında olacaktır. Buna göre eklenecek DC değer Tablo 11 için hesaplanan değerden $\sim\%16,33$ daha küçük seçilebilir. Bu da maksimum parlaklığı $\sim\%30$ oranında azaltmak anlamına gelir.

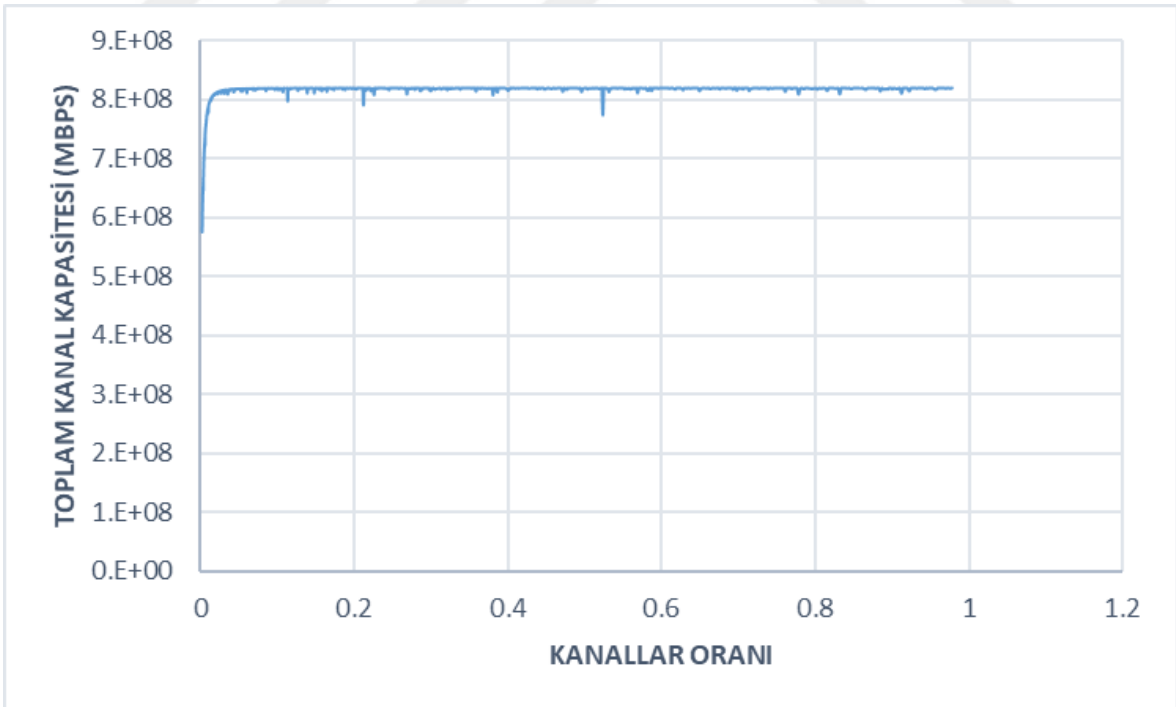
Bu şekilde C değeri kısıtlanarak maksimum parlaklık azaltıldığında maksimum toplam güç tahsisi 15,9131 ve maksimum toplam kanal kapasitesi 820,30 $Mbps$ olmaktadır. Buna göre bu kısıt toplam güç tahsisini ve toplam kanal kapasitesini bir miktar azaltmaktadır.

Tablo 12. Maksimum parlaklık kısıtı varken maksimum toplam kapasite ve adillik için elde edilen değerler

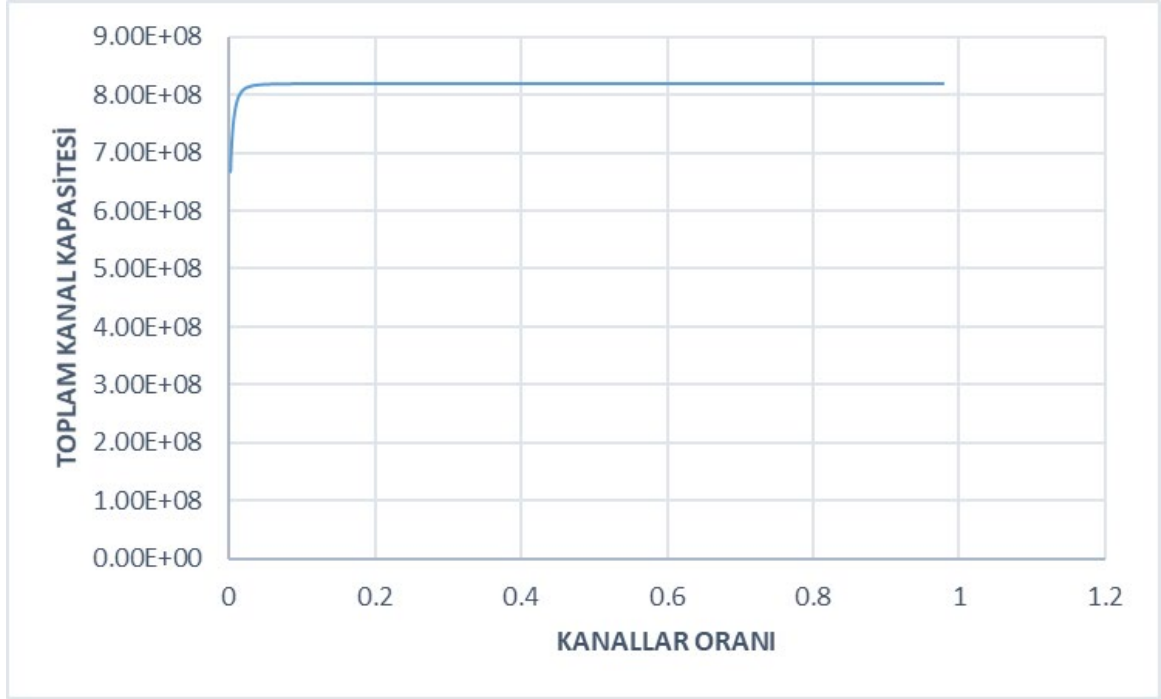
Parametre	Değeri
F	1
P_{max}	15,9131
C_{max}	4
$R_{c_{max}}$	820,30



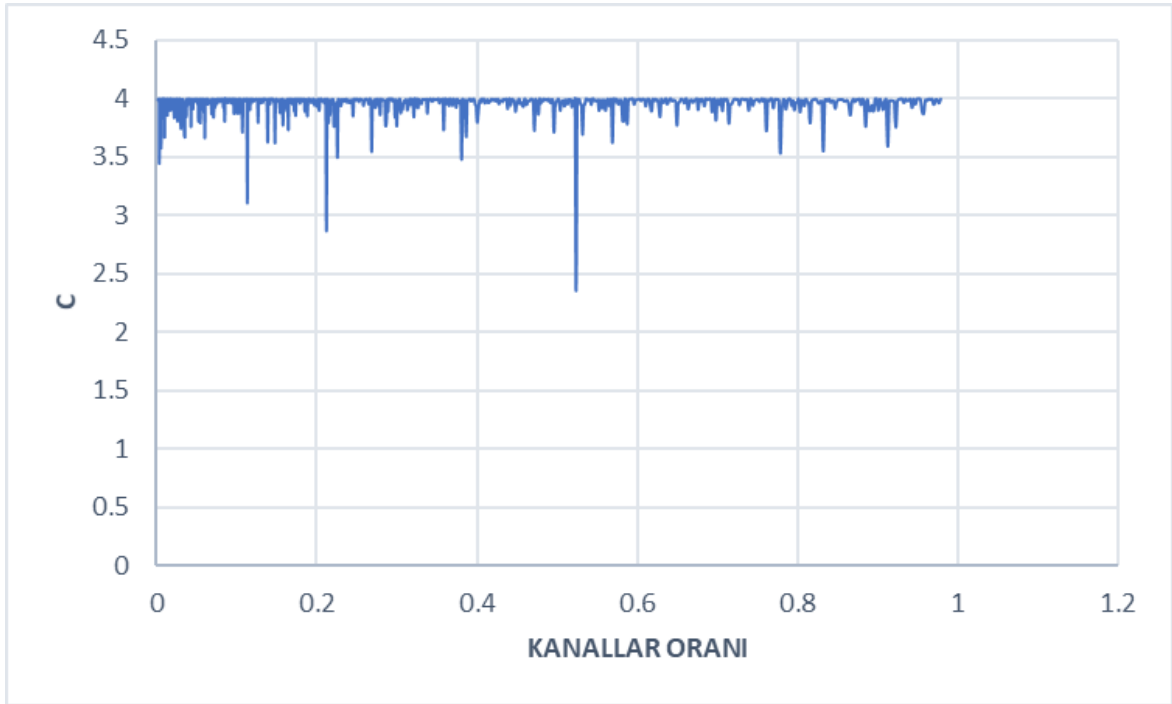
Şekil 20. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adilliği sağlayan iyi kanaldaki kullanıcının güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi



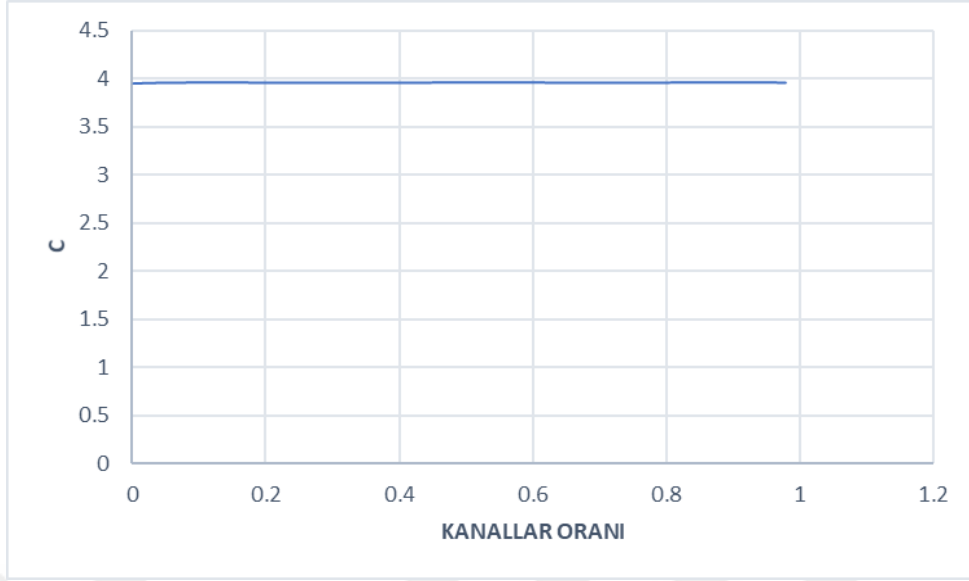
Şekil 21. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik sağlandığında toplam kanal kapasitesinin kanallar oranına göre değişimi



Şekil 22. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik için elde edilen ampirik güç tahsisi kullanıldığında toplam kanal kapasitesinin kanallar oranına göre değişimi

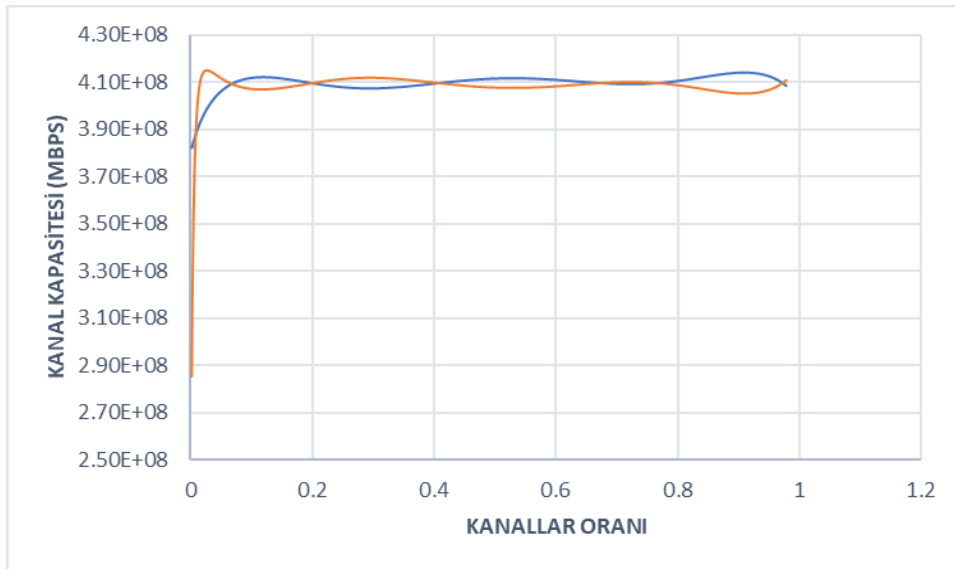


Şekil 23. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik sağlandığında C'nin kanallar oranına göre değişimi

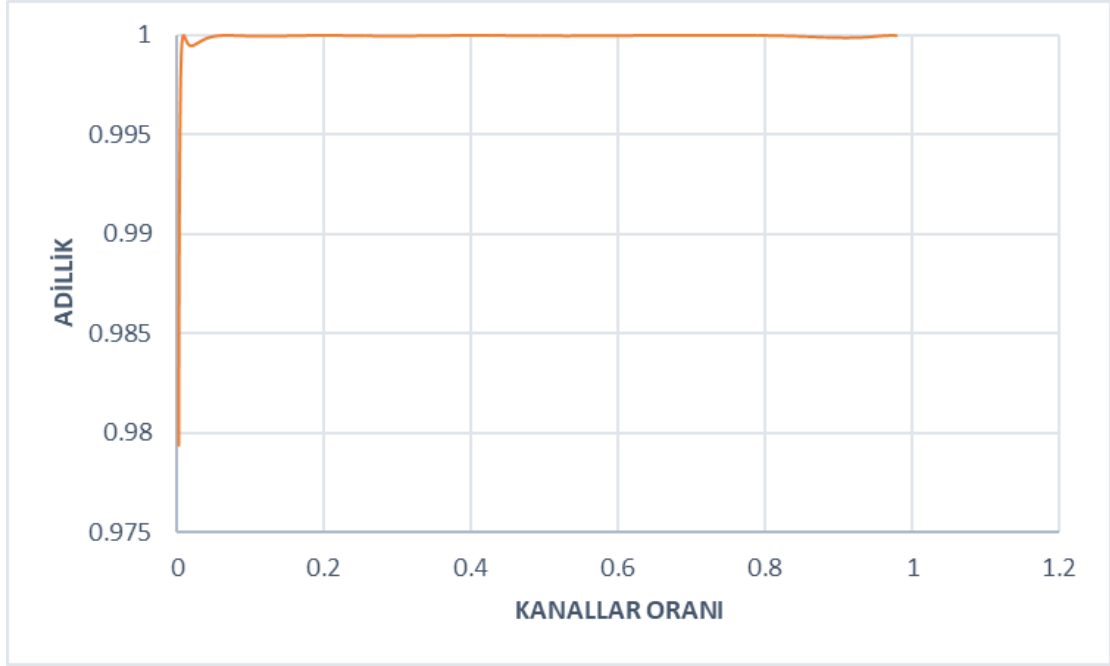


Şekil 24. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik için elde edilen ampirik güç tahsisi kullanıldığında C'nin kanallar oranına göre değişimi

Ampirik güç tahsisi denklemleri kullanıldığında ortaya çıkan kullanıcı kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi Şekil 25'te verilmiştir. Buna karşılık gelen adillik değişimi de Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 25. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik için elde edilen ampirik güç tahsisi kullanıldığında kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi



Şekil 26. Maksimum parlaklık seviyesi kısıtlanmışken maksimum adillik için elde edilen ampirik güç tahsisi kullanıldığında adillik kanallar oranına göre değişimi

3.1.1.4. Maksimum Parlaklık Seviyesi Kısıtı Yokken Farklı Adillik Değerlerinde Maksimum Toplam Kapasiteyi Sağlayan Güç Tahsis Katsayılarının Bulunması

Başlıkta belirtilen amaç doğrultusunda optimizasyon problemi $K=2$ kullanıcı için aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\text{maksimize}_{p_k} \quad R_C(p_k) \quad (61)$$

$$\text{k. s.} \quad \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (62)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (63)$$

$$F \quad (64)$$

$$p_k \in (0, P_{max}] \quad (65)$$

Bu problemde adillik F değeri sırasıyla, 0,6 , 0,7 , 0,8 ve 0,9 değerlerine sınırlandırılarak, ABC algoritmasında FITNESSFCN olarak (61) numaralı bağıntı alınmış subjects olarak (62), (63), (64) ve (65) numaralı bağıntılar alınmıştır. Algoritma bu

fonksiyonlar altında 1000 farklı kanallar oranını sağlayan h_1 , h_2 için 1000 defa koşturulmuştur.

Koşturma işlemleri sonucunda ortaya çıkan güç tahsis katsayıları kullanıldığında elde edilen minimum adilik F_{min} , toplam güç tahsisi katsayısı P , maksimum aydınlatma şiddetiyle ilişkili büyüklük C_{max} ve maksimum toplam kanal kapasitesi $R_{C_{max}}$ Tablo 13’de verilmiştir

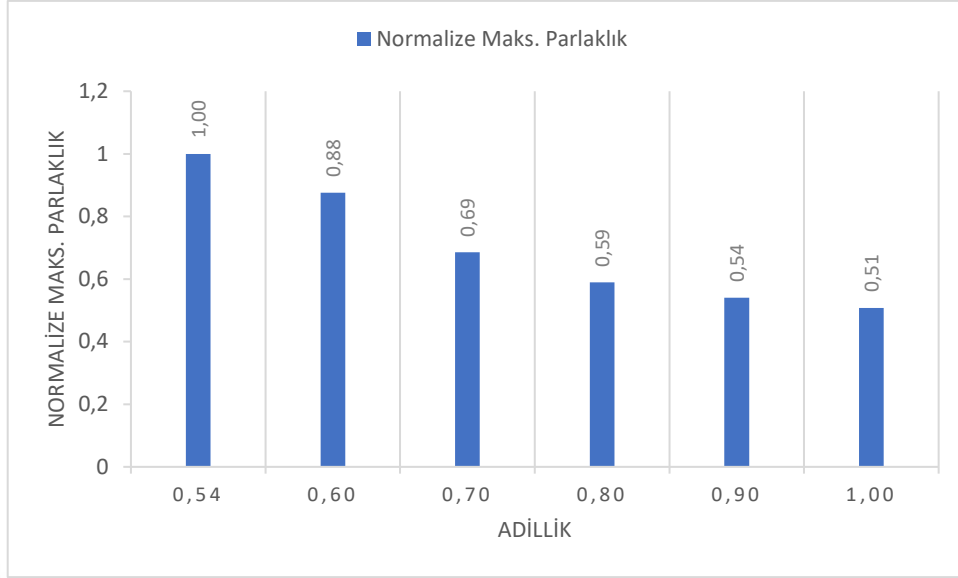
Tablo 13’de gösterilen C_{max} değeri ile maksimum parlaklık arasındaki (66) numaralı doğru orantı vardır.

$$Max\ Parlaklık \propto C_{max}^2 \quad (66)$$

Bu optimizasyon sonucunda (66) numaralı orandan yararlanılarak adillik ile normalize maksimum parlaklık seviyesi arasındaki ilişkinin Şekil 27’deki gibi olduğu belirlenmiştir. Normalizasyon için en yüksek maksimum parlak değeri olarak 3.1.1.1 numaralı başlıkta bulunan maksimum parlaklık değeri alınmıştır.

Tablo 13. Maksimum parlaklık kısıtı yokken 0,6 , 0,7 , 0,8 ve 0,9 adillik seviyelerinde maksimum toplam kapasite optimizasyonu için elde edilen değerler

F kısıtı	F_{min}	P	C_{max}	$R_{C_{max}}(Mbps)$
0,6	0,6	22,5	6,2771	835,81
0,7	0,7	22.5	5,5535	835,81
0,8	0,8	22.5	5,1488	835,81
0,9	0,9	22.5	4,9294	835,81



Şekil 27. Normalize maksimum parlaklık ile adillik arasındaki ilişki

3.1.1.5. Maksimum Adilliğin Sağlandığı Durumda Maksimum Parlaklık Kısıtının Değiştirilmesi Durumunda Kapasitenin Değişiminin İncelenmesi

Başlıkta belirtilen amaç doğrultusunda optimizasyon problemi $K=2$ kullanıcı için aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\text{maksimize}_{p_n} \quad F(p_k) \quad (67)$$

$$\text{k. s.} \quad \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (68)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (69)$$

$$C \quad (70)$$

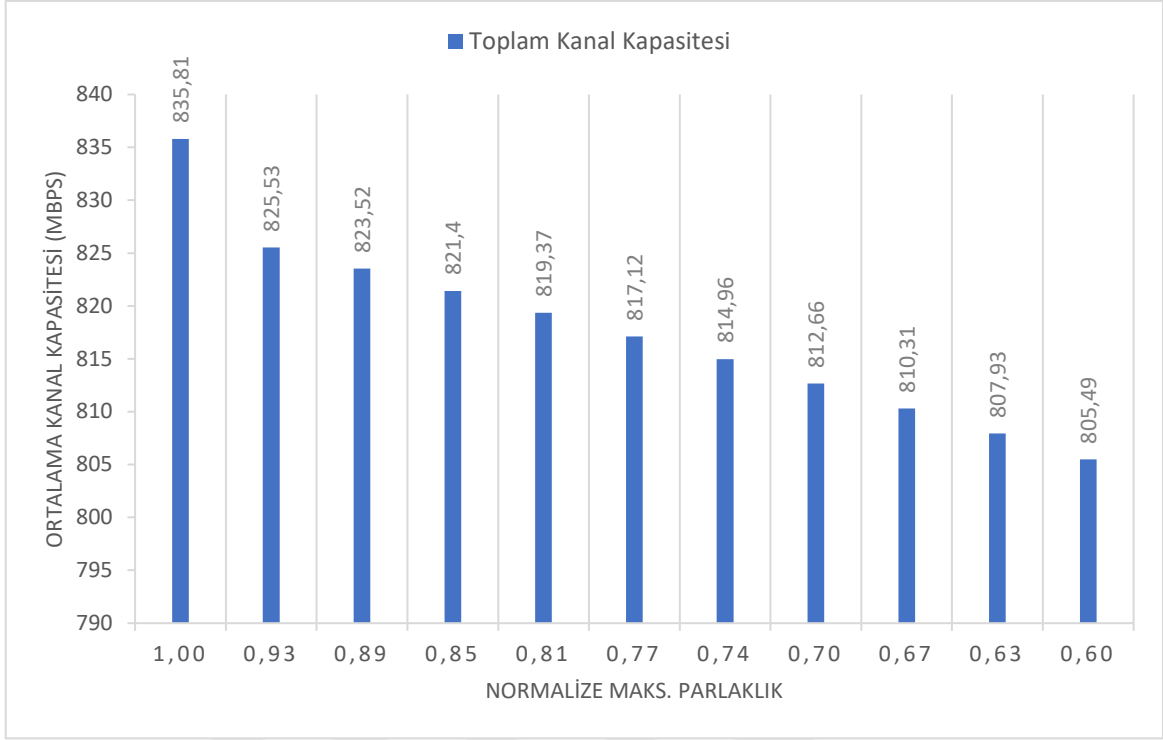
$$p_k \in (0, P_{max}] \quad (71)$$

$C = \sum_{n=1}^N \sqrt{p_n}$ olduğu daha önce de belirtilmişti. Bu problemde C değeri sırasıyla Tablo 14'de verilen değerlere sınırlandırılarak, ABC algoritmasında FITNESSFCN olarak (67) numaralı bağıntı alınmış subjects olarak (68), (69), (70) ve (71) numaralı bağıntılar alınmıştır. Algoritmalar bu fonksiyonlar altında koşturulmuştur.

Koşturma işlemleri sonucunda adillik değeri “1” olarak elde edildiğinde ortaya çıkan güç tahsis katsayıları toplamının ortalaması P_0 ve ortalama toplam kanal kapasitesi R_{c_0} Tablo 14’de verilmiştir. Daha önceki 3.1.2 numaralı başlıkta maksimum adillik için C değerinin 4,7812 olduğu durumda maksimum parlaklığa ulaşıldığını belirtmiştik. Maksimum parlaklık değeri bu değere göre normalize edilirse toplam kanal kapasitesi ile normalize maksimum parlaklık arasındaki ilişki Şekil 28’deki gibi olmaktadır.

Tablo 14. Maksimum adilliğin sağlandığı durumda farklı C değerlerine ilişkin bulunan toplam kapasite değerleri ve güç tahsis katsayıları toplamı

Algoritmadaki C Sınırı	P_0	$R_{c_0}(Mbps)$
4,6	20,4529	825,53
4,5	19,5622	823,52
4,4	18,6799	821,40
4,3	17,8598	819,37
4,2	16,9958	817,12
4,1	16,2082	814,96
4,0	15,4197	812,66
3,9	14,6447	810,31
3,8	13,8876	807,93
3,7	13,1676	805,49

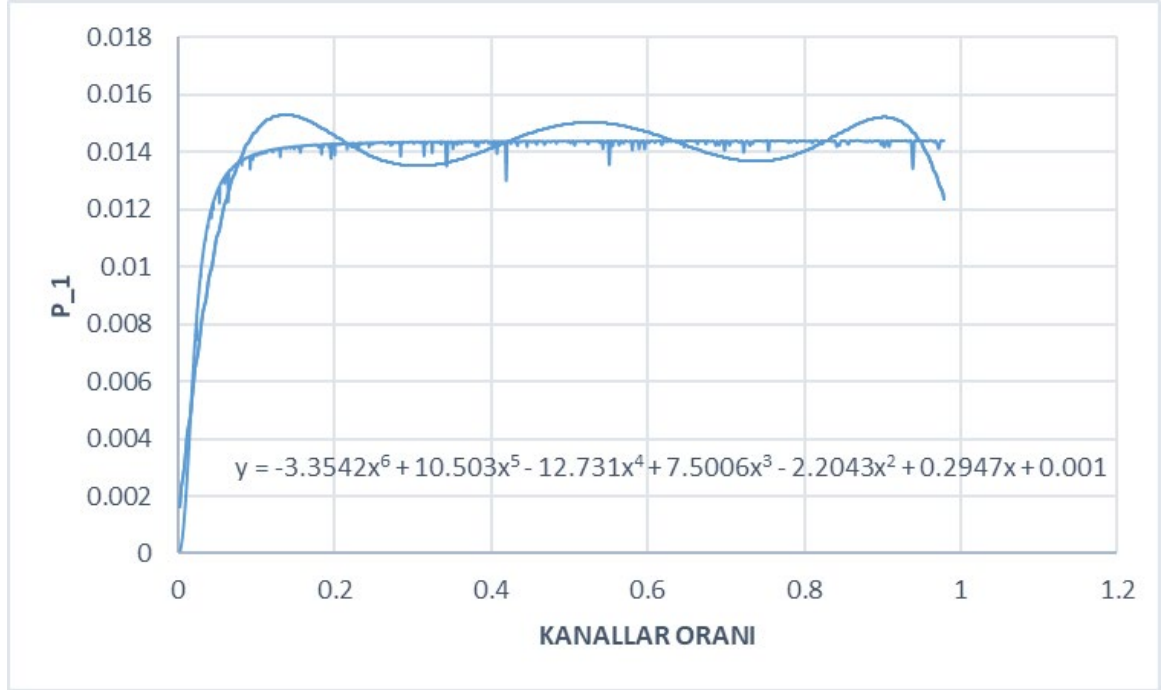


Şekil 28. Normalize maksimum parlaklık ile ortalama kanal kapasitesi arasındaki ilişki

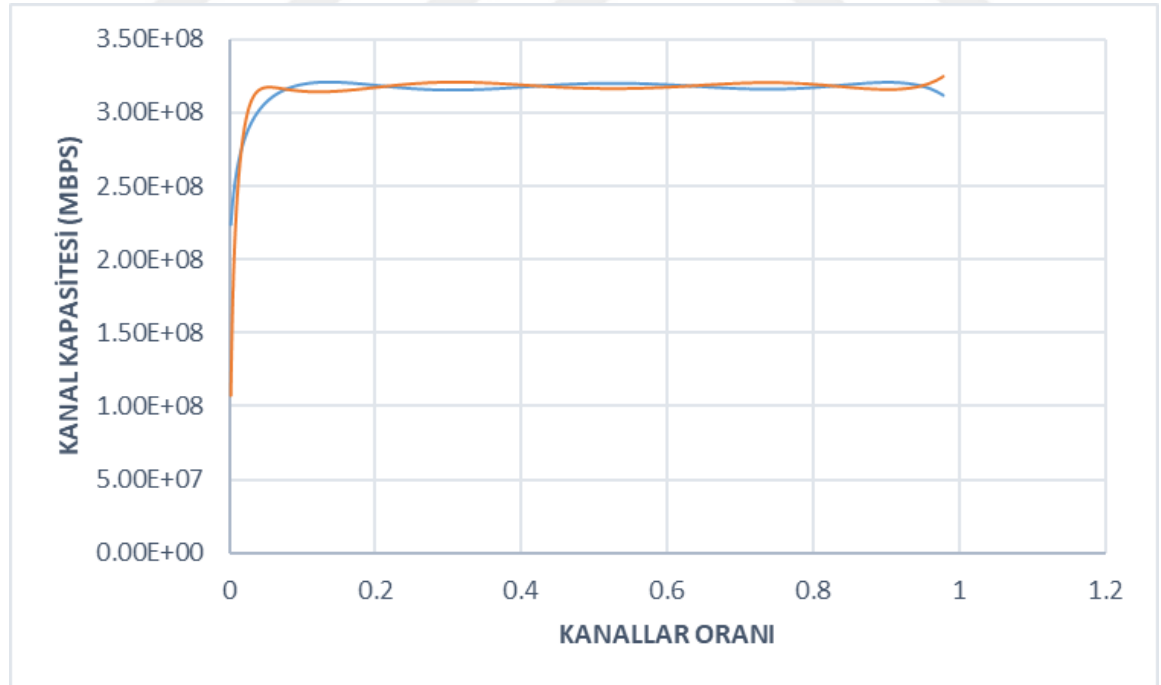
3.1.1.6. Gürültü Etkisinin İncelenmesi

Bundan önceki incelemelerimizde gürültü gücü hep $N = 3 \times 10^{-12} W$ olarak değerlendirilmişti. Adillik optimizasyonu için, gürültü gücü böyle düşük bir seviyedeysen daha iyi kanaldaki kullanıcıya yaklaşık olarak 0.2 kanal oranından sonra sabit bir $0.0014 W$ gibi düşük bir güç seviyesi tahsis edildiği görülmektedir. Gürültü gücünün etkisini incelemek açısından gürültü gücünün $3 \cdot 10^{-10} W$ ve $3 \cdot 10^{-8} W$ olduğu durumlarda maksimum parlaklık kısıtsız adillik optimizasyonu tekrarlanmıştır.

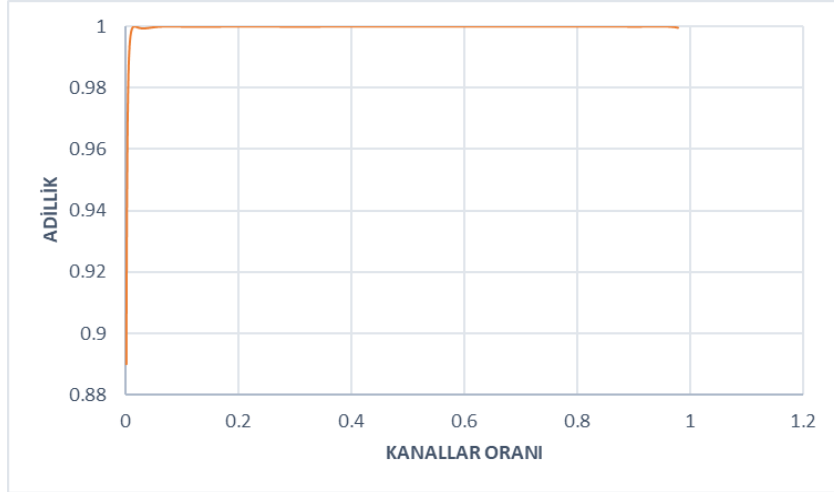
Gürültü gücü $3 \cdot 10^{-10} W$ alınarak inceleme yapıldığında kanallar oranına güç tahsisinin değişimi Şekil 29'deki gibi olmaktadır. Bu güç tahsisi değişimi için eğri uydurma yöntemiyle elde edilen ampirik güç tahsisi ifadesi yine şekil üzerinde verilmiştir. Bu ampirik güç tahsisi ifadesi kullanıldığında elde edilen kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi ve adillik ise sırasıyla Şekil 30 ve Şekil 31'de verilmiştir.



Şekil 29. $3 \cdot 10^{-10} W$ 'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu sağlandığında iyi kanaldaki kullanıcının güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi

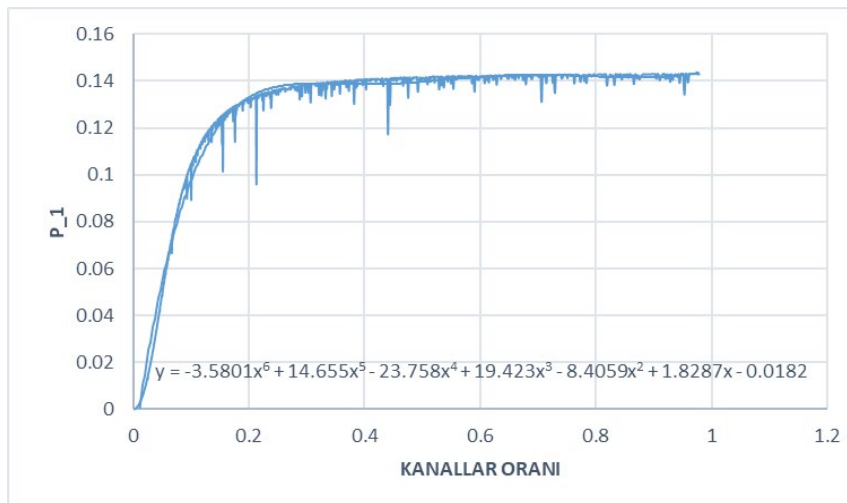


Şekil 30. $3 \cdot 10^{-10} W$ 'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu sağlandığında kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi

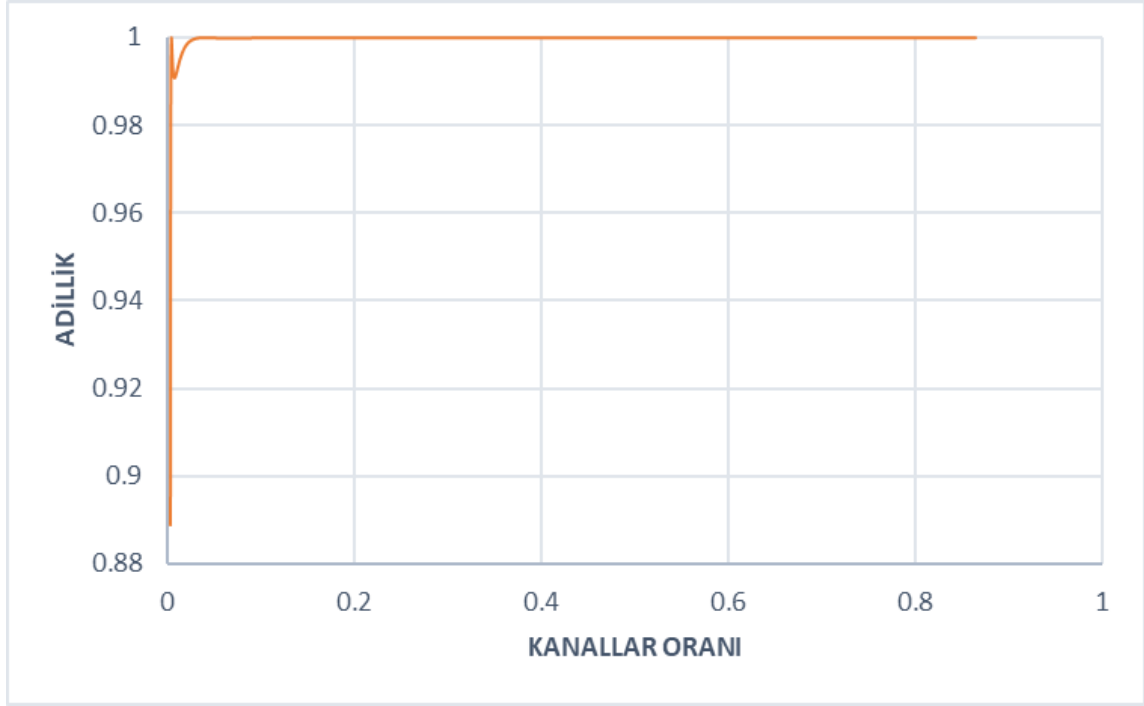


Şekil 31. $3 \cdot 10^{-10} W$ 'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu için ampirik güç tahsisi yapıldığında adillik kanallar oranına göre değişimi

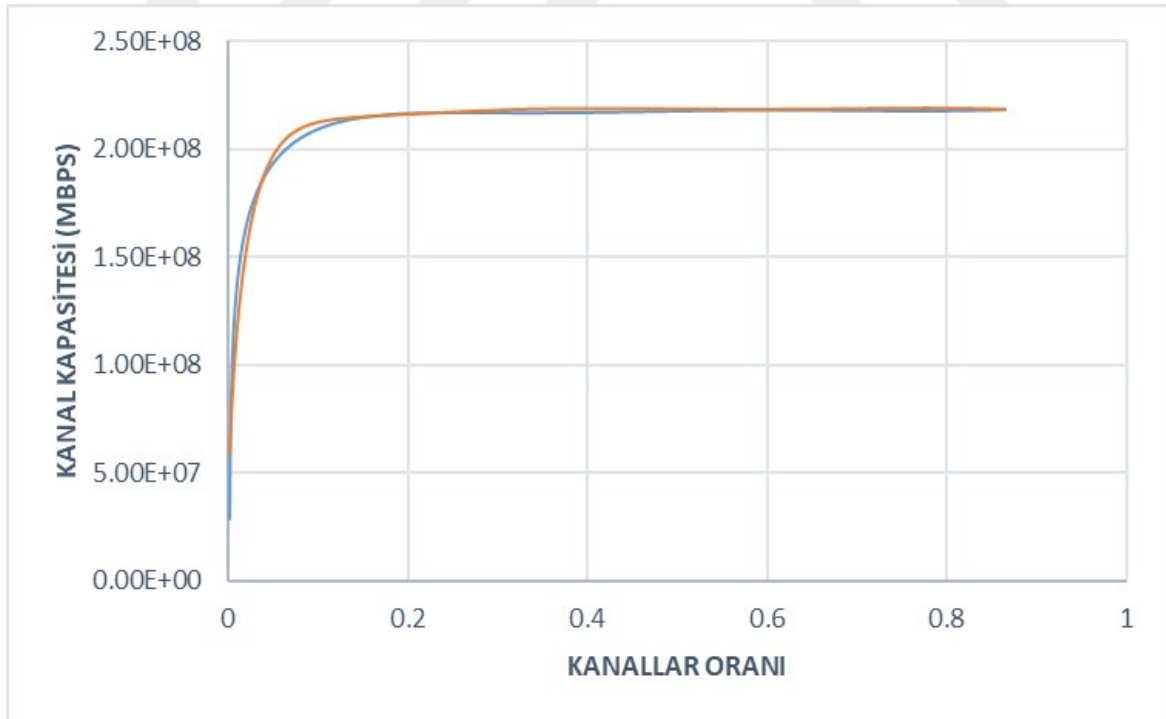
Gürültü gücü $3 \cdot 10^{-8} W$ alınarak inceleme yapıldığında kanallar oranına güç tahsisinin değişimi Şekil 32'deki gibi olmaktadır. Bu güç tahsisi değişimi için eğri uydurma yöntemiyle elde edilen ampirik güç tahsisi ifadesi yine şekil üzerinde verilmiştir. Bu ampirik güç tahsisi ifadesi kullanıldığında elde edilen kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi ve adillik ise sırasıyla Şekil 33 ve Şekil 34'de verilmiştir.



Şekil 32. $3 \cdot 10^{-8} W$ 'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu sağlandığında iyi kanaldaki kullanıcının güç tahsis katsayılarının kanallar oranına göre değişimi



Şekil 33. $3 \cdot 10^{-8}$ W'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu sağlandığında kullanıcıların kanal kapasitelerinin kanallar oranına göre değişimi



Şekil 34. $3 \cdot 10^{-8}$ W'lık gürültü gücünde maksimum adillik optimizasyonu için ampirik güç tahsisi yapıldığında adillik kanallar oranına göre değişimi

Gürültü gücü arttıkça tahsis edilen güç tahsisi değeri artmaktadır. Güç tahsisinin 0.2 kanal oranından sonra değişimi artmaktadır. Toplam kanal kapasitesi azalmaktadır. Elde edilen ampirik güç tahsisi ifadeleri de değişmektedir. Ampirik ifadeler kullanıldığında da adillik sağlanmaktadır.

3.1.2. Kanal Kodlama İnceleme Bulguları

PD-NOMA VLC sistemi için kanal kodlama kodlamam incelememizde optimizasyon amacı toplam kanal kapasitesi olarak belirlenmiş ve bu optimizasyon problemi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. 2.3.2 numaralı başlık altında belirttiğimiz gibi bu inceleme $K = 2$ kullanıcıli durum için yapılmıştır.

$$\text{maksimize}_{p_k} \quad R_C(p_k) \quad (72)$$

$$\text{k. s.} \quad \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (73)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (74)$$

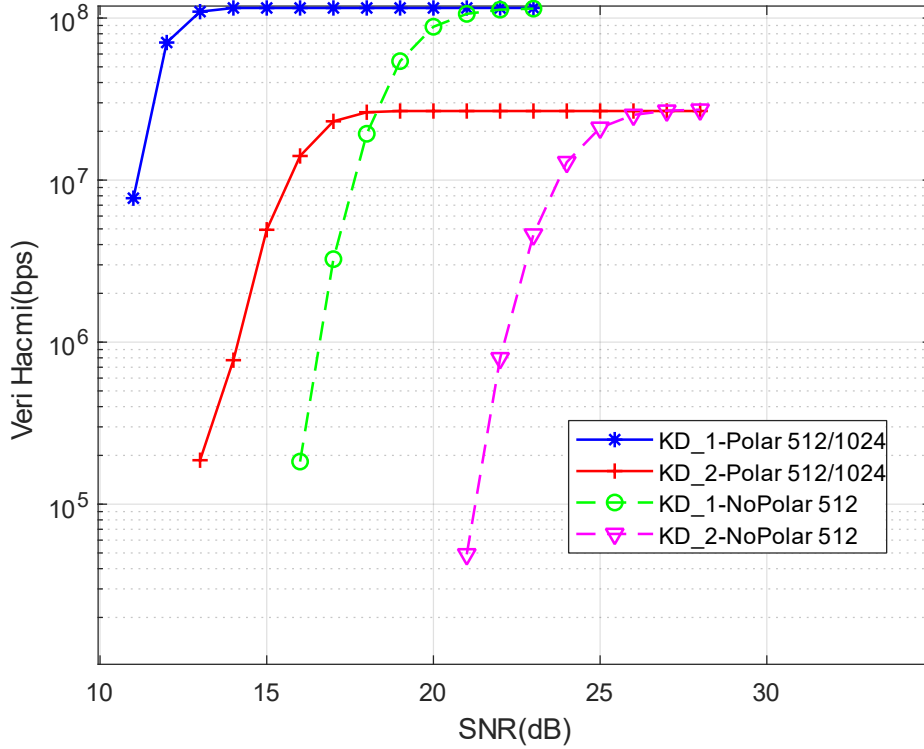
$$p_k \in (0, P_{max}] \quad (75)$$

Bu problem doğrultusunda ABC algoritmasında FITNESSFCN olarak (72) numaralı bağıntı alınmış subjects olarak (73), (74) ve (75) numaralı bağıntılar alınmıştır. Algoritma bu fonksiyonlar altında koşturulmuş ve maksimum toplam kanal kapasitesini sağlayan güç tahsis katsayıları elde edilmiştir.

Alıcı-verici olarak Şekil 9 ve Şekil 10'da oluşturduğumuz yapı 2 kullanıcıli durum için ele alınmıştır. Kullanıcıların mesaj verileri olan b_1 ve b_2 ikili verisi 512 bitlik bloklara bölünmüştür. Bu bloklar $r_c = \frac{1}{2}$ kod oranında polar kodlara dönüştürülmüş ve 2-PAM'a tabi tutularak (7) numaralı bağıntıdaki s_k sinyalleri elde edilmiştir. Optimizasyon sonucunda bulunan güç tahsis katsayıları kullanılarak s_k sinyallerine PD-NOMA işlemi uygulanmış ve (7) numaralı bağıntıdaki x sinyali elde edilmiştir. Elde edilen bu x sinyali VLC kanallardan geçirilerek (8) numaralı formüldeki gibi alıcılarda y_k sinyalleri elde edilmiştir. y_k sinyalleri Şekil 10'da oluşturduğumuz alıcı yapısına ulaşır. Bu sinyaller alıcılarda 2.3.2 numaralı başlık altında açıkladığımız şekilde demodülasyon, dekodlama ve SIC işlemlerine tabi

tutularak \hat{b}_1 ve \hat{b}_2 tahmini yapılmıştır. Bu tahmin yapıldıktan sonra b_k ve \hat{b}_k 'in 512 bitlik blokları karşılaştırılarak E_k BLER değerleri elde edilmiş (31) numaralı bağıntı yardımıyla alıcıda veri hacmi hesaplanmış ve SNR ile değişimi Şekil 35'te gösterilmiştir. Aynı işlemler verici taraftaki 512 bitlik blokların verici tarafta polar kodlama yapılmadığı ve dolayısı alıcı tarafta da polar çözme işleminin yapılmadığı durumunda gerçekleştirilmiş ve alıcıda elde edilen veri hacmi değişimi yine Şekil 35'te gösterilmiştir.

Şekil 35'te KD_1, 512/1024 polar kodlanmış yapıda maksimum veri hacmine 15dB'de ulaşmışken, herhangi bir kodlamanın kullanılmadığı yapıda 23dB'de ulaşmaktadır. Bu yönden 8dB'lik bir kazanç sağlanmıştır. VLC sistemlerde kanal zayıflaması mesafenin karesi ile doğru orantılı olduğundan, mesafe arttıkça sinyal gücü çok hızlı düşecektir. Bu da SNR'ı düşürecektir. Bu nedenle, düşük SNR değerlerinde daha yüksek veri hacmine ulaşma amacı önem kazanmaktadır. Başka bir deyişle, örnek olarak Şekil 35'teki KD_1 için polar kodlamanın kullanıldığı duruma bakıldığında, 15 dB altındaki blokların doğru şekilde alınmaya başladığı her SNR değerinde veri hacmi optimizasyonu yapılabilir.



Şekil 35. Polar kanal kodlamalı ve kodlamasız durum için SNR ile veri hacmi değişimi

Tablo 5'e bakıldığında oluşturduğumuz yapıya göre KD_2 'ye gelen işaret KD_1 'e göre 5dB daha fazla zayıflamaktadır. Bu durumda vericiden çıkan sinyal için KD_2 'nin 16dB'deki veri hacmi, KD_1 'in 11dB'deki veri hacmine karşılık gelecektir. Benzer olarak KD_2 'nin 19dB'deki veri hacmi değeri, KD_1 'in 14dB'deki veri hacmine karşılık gelecektir. Buna göre, KD_1 'in 11 dB ve 14dB'de olduğu durumlar için iki ayrı toplam veri hacmi optimizasyon problemi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\underset{p_K}{\text{maksimize}} \quad R_T(p_k, SNR_{KD_1}) \quad (76)$$

$$\text{k. s.} \quad \sum_{k=1}^K p_k \leq P_{max} \quad (77)$$

$$0 < p_1 < p_2 < p_3 \dots \dots < p_K \quad (78)$$

$$p_k \in (0, P_{max}] \quad (79)$$

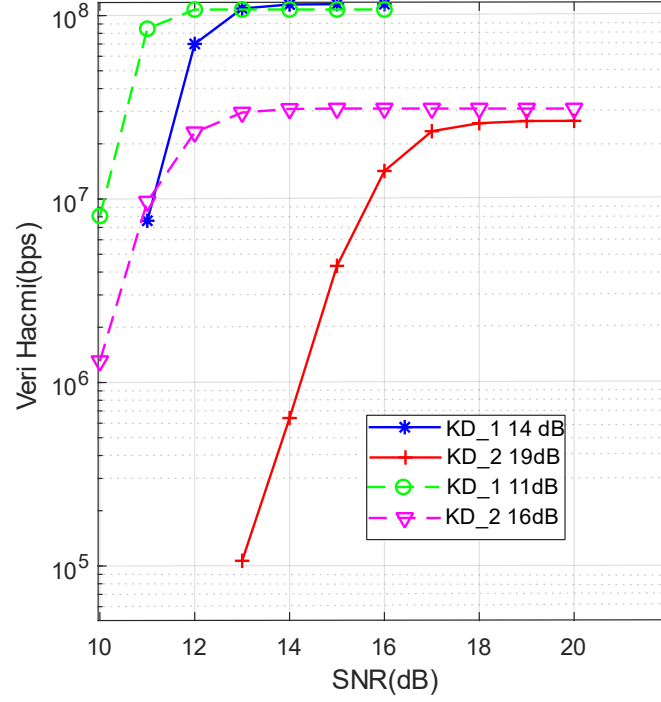
$$SNR_{KD_1} \in \{11, 14\} \quad (80)$$

Bu problem doğrultusunda ABC algoritmasında FITNESSFCN olarak (76) numaralı bağıntı alınmış subjects olarak (77), (78), (79) ve (80) numaralı bağıntılar alınmıştır. Algoritma bu fonksiyonlar altında koşturulmuştur. 512 bitlik bloklar $\frac{1}{2}$ kod oranında 1024 bitlik polar kodlara dönüştürülmüş ve KD_1 'in 11 dB ve 14 dB değerlerinde alıcıda veri hacmi optimizasyon işlemleri yapılmıştır. Bu optimizasyonlar sonucunda Şekil 36 elde edilmiştir.

$SNR_{KD_1} = 11dB$ optimizasyonunda 11 dB'deki toplam veri hacmi değeri (81) numaralı formüldeki gibi 115.96 Mbps elde edilmiş, $SNR_{KD_1} = 14dB$ optimizasyonunda 11 dB'deki toplam veri hacmi değeri ise (82) numaralı formüldeki gibi 90.36 Mbps elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre 14 dB için yapılan optimizasyon grafiğindeki 11 dB değerine göre, 11 dB için yapılan optimizasyonda %28.33 daha yüksek toplam veri hacmi elde edilmiştir.

$$KD_{11dB}(11dB) + KD_{216dB}(16dB) = 115,96 \text{ Mbps} \quad (81)$$

$$KD_{114dB}(11dB) + KD_{219dB}(16dB) = 90,36 \text{ Mbps} \quad (82)$$

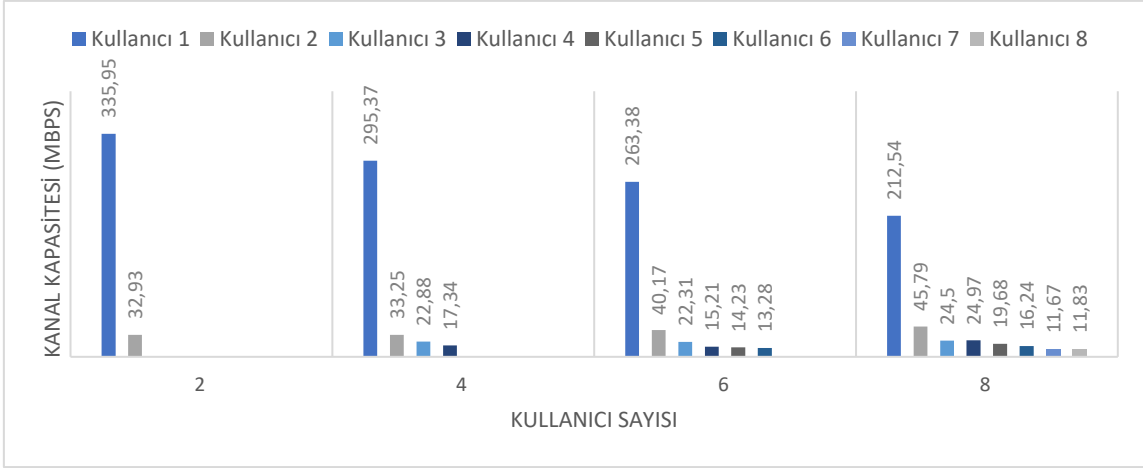


Şekil 36. 512/1024 polar kodlamalı durum için belirli SNR değerinde optimizasyon yapıldığında ortaya çıkan veri hacmi grafiği

3.2. İki'den Fazla Kullanıcılı NOMA VLC İçin İnceleme Bulguları

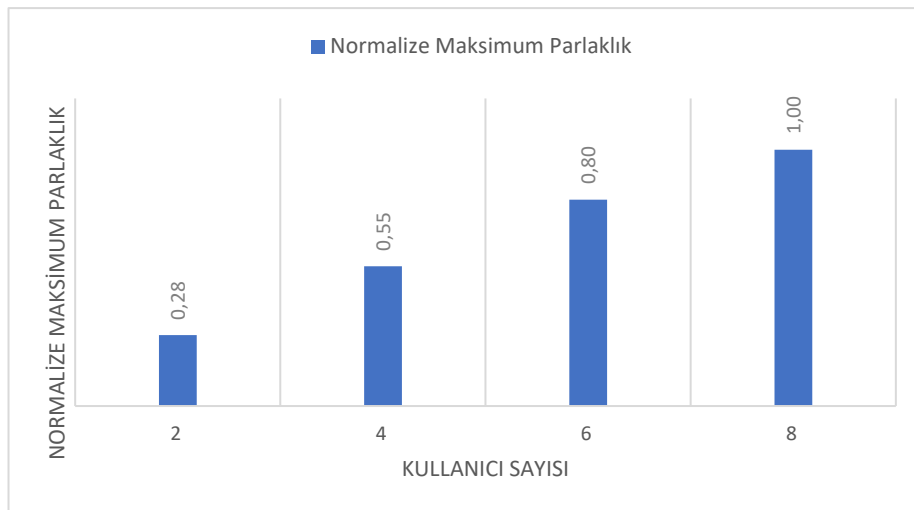
Tablo 7'de belirtilen konumlarda bulunan iki kullanıcı için (6) numaralı formül ve Tablo 8'deki parametreler kullanılarak kanal kazanımları -44.5030 dB ve -45.8613 dB olarak hesaplanmıştır. Kullanıcı sayısının etkilerini incelemek amacıyla bu iki kullanıcının bulunduğu ortama sırasıyla -46 dB, -48 dB, -50 dB, -52 dB, -54 dB ve -56 dB kanallarında bulunan kullanıcılar ikişer ikişer PD NOMA VLC sistemine eklenerek daha önce yapılan tüm optimizasyon işlemleri bu 2,4,6 ve 8 kullanıcıli sistemler için tekrarlanmıştır.

Maksimum toplam kanal kapasitesi için optimizasyon sonucunda ortaya çıkan kullanıcıların kanal kapasiteleri Şekil 37'de verilmiştir. Toplam kanal kapasitesinde bir değişim olmazken, kullanıcı kanal kapasiteleri Şekil 37'deki gibi değişmektedir.



Şekil 37. VLC kanala daha kötü kanallara sahip kullanıcılar eklendiğinde maksimum toplam kanal kapasitesi optimizasyonu sonucu ortaya çıkan kullanıcıların kanal kapasiteleri

Daha önce maksimum parlaklığın C^2 ile orantılı olduğundan bahsetmiştik. İki kullanıcıli sisteme göre yeni kullanıcıların haberleşmeye katılmasıyla LED'in maksimum parlaklık değerinin ilişkili olduğu C değerinin arttığı Tablo 15'teki gibi gözlemlenmiştir. Sekiz kullanıcının bulunduğu duruma göre LED'in maksimum parlaklığı normalize edildiğinde kullanıcı sayısı ile LED'in normalize maksimum parlaklığı arasındaki ilişki Şekil 38'deki gibi olmaktadır.

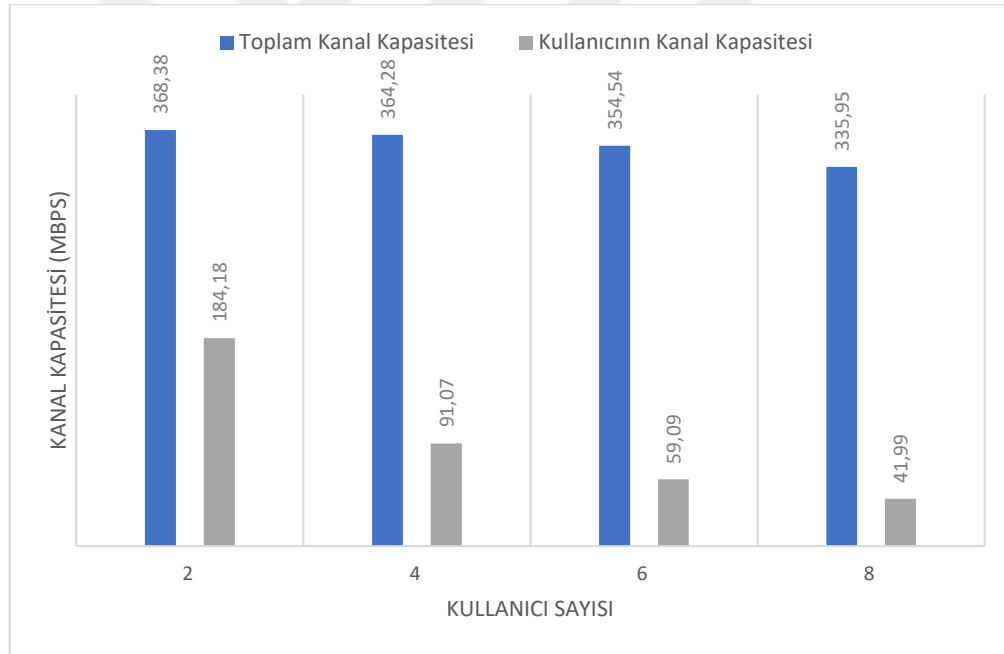


Şekil 38. VLC kanala daha kötü kanallara sahip kullanıcılar eklendiğinde maksimum toplam kanal kapasitesi optimizasyonu sonucu ortaya çıkan normalize maksimum parlaklık değişimi

Tablo 15. Kullanıcı sayısı ile C değişimi

Kullanıcı Sayısı	C
2	4,8979
4	6,8830
6	8,3621
8	9,3201

Maksimum adillik için optimizasyon sonucunda ortaya çıkan kullanıcıların kanal kapasiteleri ve toplam kapasiteler Şekil 39’da verilmiştir. Toplam kanal kapasitesinde azalma olduğu görölmektedir.

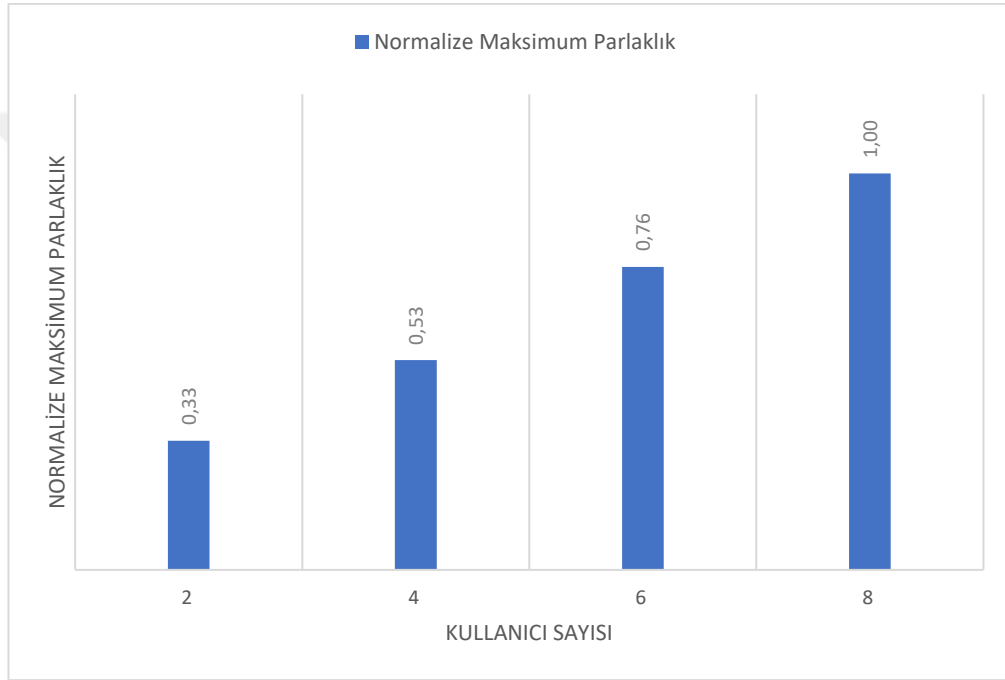


Şekil 39. VLC kanala daha kötü kanallara sahip kullanıcılar eklendiğinde maksimum adillik optimizasyonu sonucu ortaya çıkan kullanıcı kanalları kapasitesi ve toplam kanal kapasitesi değişimi

Kullanıcı sayısını arttırılmasıyla birlikte adillik optimizasyonları yapıldığında ve sekiz kullanıcının bulunduğu duruma göre LED’in maksimum parlaklığı normalize edildiğinde, Tablo 16’daki C değerleri elde edilmiş ve kullanıcı sayısı ile normalize maksimum parlaklık ilişkisi ise Şekil 40’daki gibi oluşmuştur.

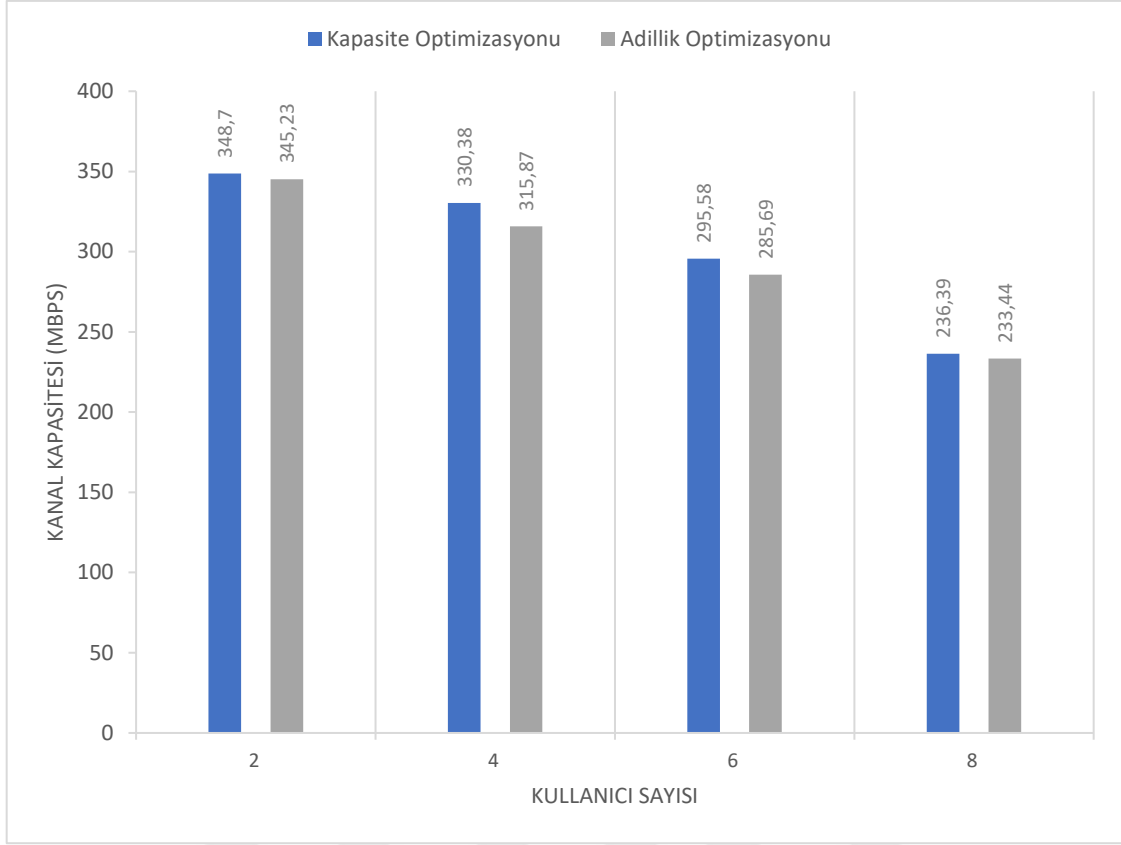
Tablo 16. Kullanıcı sayısı ile C değışimi

Kullanıcı Sayısı	C
2	3,8473
4	4,9048
6	5,8948
8	6,7442



Şekil 40. VLC kanala daha yeni kullanıcılar eklendiğinde maksimum adillik optimizasyonu sonucu ortaya çıkan normalize maksimum parlaklık değışimi

Ortama yeni kullanıcı eklenmesinin hem adillik hem toplam kapasite optimizasyonlarında maksimum parlaklığı arttırdığı görülmektedir. Bu durumda ortama yeni kullanıcılar geldiğinde maksimum parlaklığın değışmemesi amaçlanırsa yani altı ve sekiz kullanıcıli durumlarda C değeri seçilen bir değeri ile sınırlandırılıp toplam kanal kapasitesi ve adillik optimizasyonu yapılırsa toplam kanal kapasitesi değışimi Şekil 41'deki gibi olmaktadır. C değeri "3" olarak seçilmiştir.



Şekil 41. Kullanıcı sayısı artırılıp maksimum parlaklık sabit tutulup maksimum toplam kanal kapasitesi ve adillik optimizasyonları yapıldığında toplam kanal kapasitesinin kullanıcı sayısına göre değişimi

Şekil 41'den de anlaşılacağı üzere maksimum parlaklık değeri sabit tutulmak istendiğinde ve kullanıcı sayısı artırıldığında maksimum adilliği sağlama amacıyla optimizasyon yapmak, maksimum toplam kapasiteyi sağlama amacıyla optimizasyon yapmaktan daha düşük toplam kanal kapasitesi değeri ile sonuçlanmaktadır. Toplam kanal kapasitesi her iki durumda da azalmaktadır

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışması ile PD-NOMA VLC sistemlerde kullanıcıların kanalları oranına göre ampirik bir güç tahsisi denkleminin nasıl oluşturulabileceği ortaya koyulmuştur. Polar kanal kodlamanın nasıl yapılabileceği gösterilmiş ve performansı incelenerek, nasıl artırılabilceği gösterilmiştir. Kullanıcı sayısını arttırmanın aydınlatma ve haberleşme üzerindeki etkileri ortaya koyulmuştur. Elde edilen diğer sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Maksimum toplam kanal kapasitesi optimizasyonunda maksimum adillik optimizasyonuna göre daha yüksek aydınlatma değerine ulaşılır.
- Maksimum adillik optimizasyonunda kanallar oranı ile optimum güç tahsisi arasında ilişki tespit edilmiş ve bu ilişki ampirik olarak ortaya koyulmuştur.
- Maksimum adillik optimizasyonu için kullanıcı sayısı arttırılırsa toplam kanal kapasitesi azalır.
- Ortama yeni kullanıcılar eklendiğinde LED'in maksimum parlaklığının değişmemesi amaçlandığında, maksimum toplam kanal kapasitesi ve adillik optimizasyonları için toplam kanal kapasitesi azalır. Maksimum adillik optimizasyonunda azalma daha fazladır.
- PD-NOMA VLC'de kanal kodlama amacıyla polar kodlar kullanılabilir.
- Polar kodlar kullanıldığı durumda PD-NOMA VLC sistemler için yeni alıcı ve verici yapıları oluşturulabilir.
- Alıcıda belirli bir SNR değeri için veri hacmi optimizasyonu ile veri hacmi arttırılabilir.
- Aydınlatma gereksinimi belli olan bir oda için PD-NOMA VLC sisteminin nasıl uygulanabileceği görülmüştür.
- PD-NOMA VLC sistemleri için meta-sezgisel optimizasyon algoritması yardımıyla kullanıcıların kanalları oranına göre ilk defa ampirik güç tahsisi denklemi yapısı oluşturulmuştur.
- Ortamdaki gürültü yoğunluğu oluşturulan ampirik denklemi değiştirmektedir.
- Oluşturulan ampirik denklemlerin maksimum adillik amacını sağlama performansı gösterilmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Ahsan, M. ve Asif, H. M., ESIM-OFDM-based Transceiver Design of a Visible Light Communication System, International Journal of Communication Systems, 30,8 (2019).
2. Pathak, P. H., Feng, X., Hu, P. ve Mohapatra, P., Visible light communication, networking, and sensing: A survey, potential and challenges, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17,4 (2015) 2047-2077.
3. Armstrong, J., Sekercioglu, Y. ve Neild, A., Visible light positioning: A roadmap for international standardization, IEEE Communications Magazine, 51,12 (2013) 68-73.
4. Lee, K., Park, H. ve Barry, J., Indoor Channel Characteristics for Visible Light Communications, IEEE Communications Letters, 15,2 (2011) 217-219.
5. Tuğcu, E., Yazgan A., Albayrak, C. ve Türk, K., Red-shift effect in multi-color LEDs based visible light communication, Optics Communication, 463, 2020.
6. Albayrak, C., Türk, K., Tuğcu, E. ve Yazgan A., Seamless rate adaptation for indoor visible light communication without CSI at the transmitter, Physical Communication, 40, 2020.
7. Gong, C., Li, S., Gao, Q. Ve Xu, Z., Power and rate optimization for visible light communication system with lighting constraints, IEEE Trans. Signal Process, 63,16 (2015) 4245-4256.
8. Kashef, M., Abdallah, M., Qarage, K., Haas ve Uysal, M., On the benefits of cooperation via power control in OFDM-based visible light communication systems, IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC), Eylül 2014, Doha, Katar, 856-860.
9. Shen, C., Lou, S., Gong, C. ve Xu, Z., User association with lighting constraints in visible light communication systems, IEEE Annual Conference on Information Science and Systems (CISS), Nisan 2016, Princeton, 222-227.
10. Shen, H., Deng, Y., Xu, W. ve Zhao, C., Rate maximization for downlink multiuser visible light communications, IEEE Access, PP,99 (2016) 1-1.
11. Japan Electronics and Information Technology Industries Association (JEITA), Visible Light Communications System, Yayın No: CP-1221, 2018.
12. Adams, F., Andrews, D. L. (Editor), Encyclopedia of Applied Spectroscopy, Analytical and Bioanalytical Chemistry, 396, 7 (2010) 2371–2372.

13. Marshoud, H., Kapinas, V. M., Karagiannidis, G. K. ve Muhaidat, S., Non-orthogonal multiple access for visible light communications, IEEE Photonics Technology Letters, 28,1 (2015) 51-54.
14. Benjebbour, A., Saito, Y., Kishiyama, Y., Li, A., Harada, A. ve Nakamura, T., Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access, Proc. International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS), Kasım 2013, Naha.
15. Timotheou, S. ve Krikidis, I., Fairness for non-orthogonal multiple access in 5G systems, IEEE Signal Process. Lett., 22,10 (2015), 1647-1651.
16. Tao, S., Yu, H., Li, Q. ve Tang, Y., Performance analysis of gain ratio power allocation strategies for non-orthogonal multiple access in indoor visible light communication networks, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 154 (2018).
17. Islam, S. R., Ayazov, N., Dobre, O. A. ve Kwak, K. S., IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19,2 (2017), 721-742.
18. Manglayev, T., Kizilirmak, R. C. ve Kho, Y. H., Optimum power allocation for non-orthogonal multiple access (NOMA), IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), Ekim 2016, Baku, 1-4.
19. Xiao, H., Wang, Y., Cheng, Q. ve Wang, Y., An Improved PSO-Based Power Allocation Algorithm for the Optimal EE and SE Tradeoff in Downlink NOMA Systems, IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Eylül 2018, Bologna, 1-5.
20. Chen, C., Zhong, W. D., Yang, H. ve Du, P., On the Performance of MIMO-NOMA Based Visible Light Communication Systems, IEEE Photonics Technology Letters, 30,4 (2018), 307-310.
21. Tahira, Z., Asif, H. M., Khan, A. A., Baig, S., Mumtaz, S. ve Al-Rubaye, S., Optimization of Non-Orthogonal Multiple Access based Visible Light Communication Systems, IEEE Communications Letters, 23,8 (2019), 1365-1368.
22. Tao, S., Zuo, Y., Yu, H., Li, Q. ve Tang, Y., Power Allocation of Non-Orthogonal Multiple Access with Variable on-off Keying Dimming Control in Visible Light Communication Networks, IEEE 18th International Conference on Communication Technology (ICCT), Ağustos 2018, Chongqing, 321-325.
23. Gong, C., Li, S., Gao, Q. ve Xu, Z., Power and rate optimization for visible light communication system with lighting constraints, IEEE Trans. Signal Process., 63,16 (2015), 4245-4256.
24. Kashef, M., Abdallah, M., Qarage, K., Haas, H. ve Uysal, M., On the benefits of cooperation via power control in OFDM-based visible light communication systems,

IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC), Eylül 2014, Doha, 856-860.

25. Zhou, Y., Chen, Z., Lin, J. ve Wang, Z., A High-Speed Successive Cancellation Decoder for Polar Codes Using Approximate Computing, IEEE Trans. on Circuits and Systems II: Express Briefs, 66,2 (2019), 227-231.
26. Sarkis, G., Tal, I., Giard, P., Vardy, A., Thibeault, C. ve Gross W. J., Flexible and low-complexity encoding and decoding of systematic polar codes, IEEE Trans. Communications, 64,7 (2016), 2732-2745.
27. Wang, H ve Kim, S., Dimming Control Systems With Polar Codes in Visible Light Communication, IEEE Photonics Technology Letters, 29,19 (2017), 1651–1654.
28. Gao, Z., Wang, Y., Liu, X. ve Zhou, F., Using Polar Codes in NOMA-Enabled Visible Light Communication Systems, IEEE Sensors Letters, 3,5 (2019), 1–1.
29. Verdu, S., Multiuser Detection, Cambridge University Press, Cambridge 1998.
30. Nonaka, N., Kishiyama, Y. ve Higuchi, K., Non-Orthogonal Multiple Access Using Intra-Beam Superposition Coding and SIC in Base Station Cooperative MIMO Cellular Downlink. IEEE 80th Vehicular Technology Conference, Eylül 2014, Vancouver.
31. Kim, B., Chung, W., Lim, S., Suh, S., Kwun, J., Choi, S. ve Hong, D., Uplink NOMA with Multi-Antenna, IEEE 81st Vehicular Technology Conference, Mayıs 2015, Glasgow.
32. Ding, Z., Peng, M. ve Poor, H. V., Cooperative Non-Orthogonal Multiple Access in 5G Systems, IEEE Communications Letters, 19,8 (2015), 1462–1465.
33. Choi, J., Non-Orthogonal Multiple Access in Downlink Coordinated Two-Point Systems, IEEE Communications Letters, 18,2 (2014), 313–316.
34. Sari, H., Vanhaverbeke, F. ve Moeneclaey, M., Multiple access using two sets of orthogonal signal waveforms, IEEE Communications Letters, 4,1 (2000), 4–6.
35. Nikopour, H. ve Baligh, H., Sparse code multiple Access, IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), Eylül 2013, London.
36. Dongning G. ve Chih-Chun W., Multiuser Detection of Sparsely Spread CDMA, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 26,3 (2008), 421–431.
37. Hoshyar, R., Razavi, R. ve Al-Imari, M., LDS-OFDM an Efficient Multiple Access Technique, IEEE 71st Vehicular Technology Conference, Mayıs 2010, Taipei.

38. Zhang, S., Xu, X., Lu, L., Wu, Y., He, G. ve Chen, Y., Sparse code multiple access: An energy efficient uplink approach for 5G wireless systems, IEEE Global Communications Conference, Aralık 2014, Austin.
39. Vela S. ve Türk, K., Kapalı Mekân Görünür Işık Haberleşmesinde Dikgen Olmayan Çoklu Erişim İçin Optimum Güç Tahsisi, EEMKON 2019 Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi, Kasım 2019, İstanbul, 1-4.
40. Cai, Y., Qin, Z., Cui, F., Li, G. Y. ve McCann, J. A., Modulation and Multiple Access for 5G Networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20,1 (2018), 629–646.
41. Wang, C., Sklar, D. Ve Johnson, D., Forward Error-Correction Coding, Crosslink. The Aerospace Corporation, 3,1 (2002).
42. Arikan, E., Channel Polarization: A Method for Constructing Capacity-Achieving Codes for Symmetric Binary-Input Memoryless Channels, IEEE Transactions on Information Theory, 55,7 (2009), 3051–3073.
43. Lee, K., Park, H. ve Barry, J. R., Indoor Channel Characteristics for Visible Light Communications. IEEE Communications Letters, 15,2 (2011), 217–219.
44. Yazgan A., Şimşek C., Albayrak C., Tuğcu E. ve Türk, K., Experimental Channel Measurement for Indoor Office Visible Light Communication, 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Haziran 2018, Atina, 746-749.
45. Yang, X. S., Nature-inspired metaheuristic algorithms. Luniver press, Teddington, 2010.
46. Karaboga, D. ve Akay, B., Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks, IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications (SIU), Haziran 2007, Eskişehir.
47. SKS Labs., Artificial Bee Colony (Termination Criterion: Maximum number of functional evaluations). mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/65794-single-objective-artificial-bee-colony-optimization 10 Ekim 2019
48. Albayrak., C. ve Türk, K., 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Haziran 2017, Barselona, 200-203.
49. Archtoolbox., Recommended Lighting Levels in Buildings. archtoolbox.com/materials-systems/electrical/recommended-lighting-levels-in-buildings.html 1 Haziran 2020.
50. Alamdar-Yazdi, A. ve Kschischang, F. R., A Simplified Successive-Cancellation Decoder for Polar Codes, IEEE Communications Letters, 15,12 (2011), 1378–1380

ÖZGEÇMİŞ

Serkan VELA 1993 yılında Rize’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Yavuz Selim İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini Tevfik İleri Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde Lisans Programı’na başladı. Yabancı dil olarak çok iyi İngilizce bilmektedir.

YAYINI

Vela, S. ve Türk, K., Kapalı Mekân Görünür Işık Haberleşmesinde Dikgen Olmayan Çoklu Erişim İçin Optimum Güç Tahsisi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi (EEMKON), Kasım 2019, İstanbul, Bildiriler Kitapçığı: 385-391.