



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Kemal ŞAHAN

GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME
SİSTEMLERİ İÇİN ALICI YAPILARININ
GELİŞTİRİLMESİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

OSMANIYE – 2024

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN
ALICI YAPILARININ GELİŞTİRİLMESİ**

Mustafa Kemal ŞAHAN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**OSMANIYE
EYLÜL 2024**

TEZ ONAYI

GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN ALICI YAPILARININ GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa Kemal Şahan tarafından Doç.Dr. Mehmet Sönmez danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi olarak** kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Sönmez.
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Selva Çürük
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTE

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Çağatay Cebeci
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Eyyup TEL
Enstitü Müdürü, **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

Bu tez çalışması, OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP-2023-PT2-046) tarafından desteklenmiştir.

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

(İmza)
(Mustafa Kemal Şahan)



ÖZET

GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN ALICI YAPILARININ GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa Kemal ŞAHAN
Yüksek Lisans, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç.Dr. Mehmet SÖNMEZ

Temmuz 2024, 72 sayfa

Bu çalışmada, Görünür Işık Haberleşme sistemleri için son zamanlarda önerilen SPAM (Superposed Pulse Amplitude Modulation: Üst-üste konumlandırılmış Darbe Genlik Modülasyonu) iletim şemasının performansı analiz edilmiştir. SPAM iletim şemasının uygulaması gereği alıcı tarafta eşik değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle tez çalışmasında farklı eşik değeri tahmin yöntemleri kullanılarak SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı karşılaştırılmıştır. K-ortalama yöntemi, geliştirilen Çok Seviyeli Tahmin Yöntemi (ÇSTY) ve geleneksel yöntem alıcı tarafta kullanılmıştır. Geliştirilen yöntem için matematiksel bir çerçeve oluşturulmuştur. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre K-ortalama yöntemini ve matematiksel model tabanlı geliştirilen ÇSTY'nin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır. Performans sonuçlarının iyileştirilmesi için bazı öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alıcı tasarımı, ÇSTY, GIH, K-ortalama, SPAM.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF RECEIVER STRUCTURES FOR VISIBLE LIGHT COMMUNICATION SYSTEMS

Mustafa Kemal ŞAHAN
M.Sc., Department of Electrical and Electronics Engineering
Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Mehmet SÖNMEZ

JULY 2024, 72 pages

In this study, the performance of SPAM (Superposed Pulse Amplitude Modulation) transmission scheme, which is recently proposed for Visible Light Communication systems, is analysed. Due to the implementation of the SPAM transmission scheme, threshold values are necessary at the receiving side. For this reason, in the thesis study, the bit error rate performance of the SPAM transmission scheme was compared by using the different threshold value estimation methods. The K-means method, a Multi-Level Estimation Method (MLEM) and the traditional method, has been used on the receiver side. A mathematical framework for improved method has been generated. According to the achieved simulation results, the advantages and disadvantages of the K-means method and the developed MLEM are discussed. Some propositions are presented to improve the performance results.

Key Words: Receiver Design, MLEM, VLC, K-means, SPAM.



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Sabır ve özveri ile desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen başta danışman hocam Sn. Doç. Dr. Mehmet SÖNMEZ'e, diğer bölüm hocalarıma ve kıymetli aileme teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR	x
1. Giriş.....	1
1.1 Tezin literatüre katkısı	4
2. GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN (VLC) YAPISI.....	6
2.1 VLC’de kullanılan Modülasyon Teknikleri	13
3.SPAM İLETİM YÖNTEMİ VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ	15
3.1 SPAM Sinyalinin Üretim Yöntemleri	15
3.2 Yapay zekâ ve Makine Öğrenmesi	18
3.3 Makine Öğrenmesi Çeşitleri	19
3.3.1 Denetimsiz Öğrenme.....	20
3.3.2 Denetimli Öğrenme	20
4. SPAM İLETİM YÖNTEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN ALICI MİMARİLERİ.....	22
5. SİMÜLASYON VE DENEYSEL SONUÇLAR.....	27
6. SONUÇ	65
KAYNAKÇA	67
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Örnek bir kapalı ortam VLC sistem yapısı	2
Şekil 2.1. Temel bir VLC Sistemi.....	7
Şekil 2.2 Görünür Işık Spektrumu	7
Şekil 2.3 VLC Temel Çalışma Prensibi	8
Şekil 2.4 Örnek sürücü devresi	9
Şekil 2.5 Kare dalga sinyal şarj-deşarj eğrisi	10
Şekil 2.6 Örnek Fotodiyot ve TIA devresi	11
Şekil 2.7.Örnek OOK sinyalinin zamana göre değişimi	11
Şekil 2.8. OOK Senkronizasyon şeması [53].....	12
Şekil 2.9. OOK ve PPM iletim şemaları için örnek alıcı blok diyagramları. (a) OOK şeması için alıcı yapısı. (b) 4-PPM iletim şeması için alıcı yapısı.....	13
Şekil 2.10. Modülasyon Teknikleri.....	14
Şekil 3.1. SPAM sinyalinin oluşumu	15
Şekil 3.2. 4-SPAM sinyal üretimi için örnek bir LED dizilimi	16
Şekil 3.3. 4-SPAM sinyal için optik güç dağılımı (a,b,c)	18
Şekil 3.4. Otonom Sistem Tarihsel Blok Şeması	19
Şekil 3.5 Makine Öğrenmesi Grupları	20
Şekil 4.1 Kümeleme Yöntemi için bir akış diyagramı.....	26
Şekil 5.1. 15dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	27
Şekil 5.2. 15dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	28
Şekil 5.3. 25dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	28
Şekil 5.4. 15dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	30
Şekil 5.5. 20dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	31
Şekil 5.6. 25dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	31

Şekil 5.7. 30dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	32
Şekil 5.8. 20dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	32
Şekil 5.9. 25dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	33
Şekil 5.10. 30dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi.....	33
Şekil 5.11. 25dB SGO ve 5 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak 4-SPAM yöntemi için tahmin edilen iletim seviye değerleri (a) Bir iterasyon için alınan sonuçlar (b) iki iterasyon için alınan sonuçlar (c) Beş iterasyon için alınan sonuçlar (d) Beş iterasyon için 2000 döngü ile elde edilen sonuçlar.....	36
Şekil 5.12. 25dB SGO ve 5 adet eğitim seti için önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 4-SPAM yöntemi için tahmin edilen iletim seviye değerleri.....	36
Şekil 5.13. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak 4-SPAM yöntemi için tahmin edilen iletim seviye değerleri.....	37
Şekil 5.14. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 4-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri.....	38
Şekil 5.15. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak 4-SPAM yöntemi için tahmin edilen iletim seviye değerleri.....	38
Şekil 5.16. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 4-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri.....	39
Şekil 5.17. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak OOK yöntemi için tahmin edilen iletim seviye değerleri	40
Şekil 5.18. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak tahmin edilen OOK şemasının iletim seviye değerleri	41
Şekil 5.19. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak 8-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri (a) Bir iterasyon için hesaplanan değerler (b) Beş iterasyon için hesaplanan değerleri (c) On iterasyon için hesaplanan değerleri.....	43
Şekil 5.20. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 8-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri.....	44

Şekil 5.21. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak 8-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri.....	44
Şekil 5.22. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak elde edilen 8-SPAM şemasının iletim seviye değerleri	45
Şekil 5.23. 5 eğitim seti için K-ortalamlar ve çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı a) K-ortalamlar yöntemi ile küme merkezlerinin hatalı hesaplanması ile elde edilen sonuçlar b) Doğru hesaplanan küme merkezleri ile elde edilen sonuçlar.....	48
Şekil 5.24. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve önerilen yöntem kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı. a) K-ortalamlar yöntemi ile küme merkezlerinin hatalı hesaplanması ile elde edilen sonuçlar b) Doğru hesaplanan küme merkezleri ile elde edilen sonuçlar.....	49
Şekil 5.25. 15 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve önerilen yöntem kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı	50
Şekil 5.26. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve önerilen yöntem kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı	50
Şekil 5.27. 50 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı.....	51
Şekil 5.28. 5 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı.....	52
Şekil 5.29. 5 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO'ye göre iletim seviye değerleri.....	54
Şekil 5.30. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve Çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı.....	55
Şekil 5.31. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO'a göre küme merkezlerinin değişimi.....	57
Şekil 5.32. 15 eğitim seti için K-ortalamlar ve önerilen yöntem kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı	58
Şekil 5.33. 15 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO'ya göre küme merkezlerinin değişimi.....	59
Şekil 5.34. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve önerilen yöntem kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı	60

Şekil 5.35. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO'ye göre küme merkezlerinin değişimi.....	61
Şekil 5.36. 50 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve önerilen yöntem kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı	62
Şekil 5.37. 50 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO'ye göre küme merkezlerinin değişimi.....	64



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bilgi bitlerinin durumuna göre aktif led durumu.....	16
Çizelge 5.1. 5 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezleri	53
Çizelge 5.2. 2 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)	53
Çizelge 5.3. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezleri	55
Çizelge 5.4. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)	56
Çizelge 5.5. 15 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezleri	58
Çizelge 5.6 15 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)	59
Çizelge 5.7. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezleri	60
Çizelge 5.8. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)	61
Çizelge 5.9. 50 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezleri	63
Çizelge 5.10 50 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)	63

KISALTMALAR

RF	Radyo Frekansı
MIMO	Çoklu girişli Çoklu Çıkışlı
SVM	Destek Vektör Makinesi
DPIM	Sayısal Darbe Aralık Modülasyonu
PAM	Darbe Genlik Modülasyonu
SPAM	Üst-üste Konumlandırılmış Darbe Genlik Modülasyonu
VLC	Görünür Işık Haberleşmesi
LED	Işık Yanan Diyot
WI-FI	Kablosuz Haberleşme
5G	5. Nesil Mobil Telekomünikasyon Hizmeti
VPPM	Değişken Karartma Seviyeli Darbe Konum Modülasyonu
DC	Doğru Akım
TIA	Entegre Otomasyon Sistemi
IM-DD	Yoğunluk modülasyonlu doğrudan algılama yöntemi
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
M-SPAM	Çoklu Üst-üste Konumlandırılmış Darbe Genlik Modülasyonu
SNR,SGO	Sinyal Gürültü Oranı
dB	Desibel
SCM	Tek Kanal Modülasyonu
OOK	Aç -Kapa Anahtarlama
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
PPM	Darbe Konum Modülasyonu
M-PPM	Çoklu Darbe Konum Modülasyonu
VOOK	Değişken Aç-Kapa Anahtarlama Modülasyon
VPAPM	Değişken darbe genlik ve konum modülasyonu
MCM	Çoklu Kanal Modülasyonu
OFDM	Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama
CSK	Renk Kaydırmalı Anahtarlama
BHO	Bit Hata Oranı
ÇSTY	Çok Seviyeli Tahmin Yöntemi

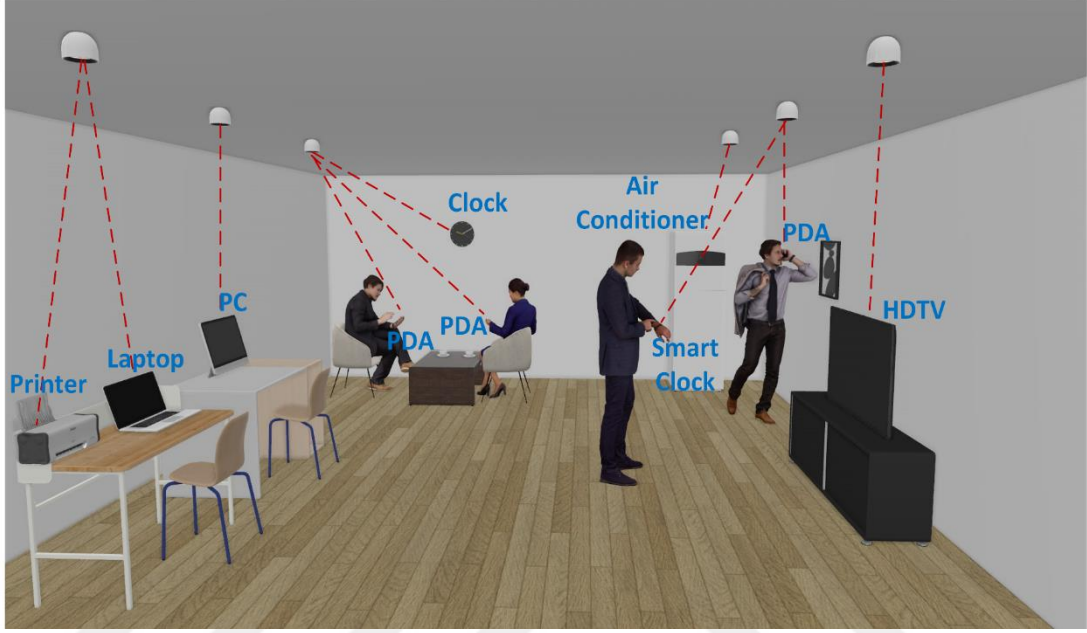
1. GİRİŞ

Günümüzde, kablosuz veri aktarımı sağlayan cihazların gelişmesi hem kullanıcıların günlük yaşantılarını kolaylaştırması hem de servis sağlayıcılarının gelişimi açısından önemli katkılar sağlamaktadır [1-2]. Literatür açısından incelendiğinde son nesil mobil haberleşme sistemleri kullanılarak veri iletiminin sağlanması, genellikle RF (Radio Frequency: Radyo Frekansı) sistemler ve Optik teknolojiler sayesinde sağlanmakta olup bazı sistemler iki teknolojinin hibrid kullanılmasıyla tasarlanmaktadır [3-5]. Hibrid RF/Optik sistemlerin iç ortamda optik sistemler kullanılarak, dış mekânda ise RF sistemler kullanarak veri akışını sağladığı görülmektedir [6].

Hem RF sistemlerde [7], hem optik sistemlerde [8], hem de hibrid çalışan sistemlerde [9], yüksek veri iletimine olanak sağlayan teknolojiler geliştirilmiş olup, bu sistemlerin performanslarını artırmaya yönelik çalışmaların devam ettiği literatürde görülmektedir. Geniş bantlı kablosuz haberleşme alt yapısının desteklenmesi açısından en büyük gelişmelerden birisi, Çok Girişli Çok Çıkışlı (MIMO: Multiple-Input Multiple Output) iletişim teknolojisinin ve sonrasında geliştirilen Yoğun MIMO yöntemlerinin haberleşme sistemlerinde uygulanması olmuştur [10-11]. Son zamanlarda yeni nesil mobil haberleşme sistemlerinin gerektirdiği yüksek bant genişliği nedeniyle MIMO ile birlikte Orbital Açısız Momentum (OAM: Orbital Angle Momentum) iletim yönteminin geliştirilmesi kablosuz RF haberleşme sistemlerinin ilerleyişi açısından büyük bir öneme sahiptir [11].

Radyo Frekansları ile yapılan kablosuz haberleşme sistemlerinde olduğu gibi kablosuz optik haberleşme sistemlerinde de geniş bantlı iletme olanak sağlaması nedeniyle MIMO teknolojisi yaygın olarak çalışılmaktadır [13-15], Özellikle son zamanlarda kablosuz bir optik haberleşme teknolojisi olarak geliştirilen VLC (Visible Light Communication: Görünür Işık Haberleşmesi), iç mekân aydınlatmasının yanında veri iletiminin sağlanması açısından oldukça ilgili çeken bir teknoloji olarak görülmektedir [17-19], Görünür ışık haberleşme sistemlerinde ışığı algılayabilmek için alıcı tarafta fotodiyot kullanılırken, elektriksel sinyali ortama ışık formunda yaymak için de vericide LED'ler kullanılmaktadır [18]. Son

zamanlarda yariletken teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle hem ışığı yaymak için kullanılan aydınlanma elemanlarında hem de ortamdaki ışığın değişimini algılayabilen foto-algılayıcılarda önemli gelişmeler gerçekleştirilmiştir [20-21]. Genel olarak incelendiğinde bir kapalı ortam örnek VLC sistemi Şekil 1.1’de verildiği gibidir.



Şekil 1.1 Örnek bir kapalı ortam VLC sistem yapısı

Şekil 1.1’de verilen örnek VLC sistem yapısında kullanıcılar oda içerisinde hem aydınlanma hem de veri iletimi için LED (Light Emitted Diode: Işık Yayan Diyot) tabanlı aydınlatma sistemleri kullanmaktadırlar. [23-24]. Nesnelerin interneti olarak tanımlanan bu teknoloji sayesinde kontrolün yanında takip sistemlerinin geliştirilmesi [24] ve güvenlik seviyesinin artırılması [25] gibi alanlarda da gelişmelerin yaşanması beklenmektedir. Aydınlanmanın yanı sıra yüksek hızlarda veri iletiminin sağlanması LED’in yüksek frekanslarda anahtarlama özelliklerini taşıması ve LED’i süren devrelerin de yüksek hızlarda açılıp kapanması açısından oldukça büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle literatürde yüksek güçlü LED’lerin yanında yüksek frekanslarda aç-kapa yapabilen LED’lerin kullanılması ve LED’i süren yüksek hızlı devrelerin tasarımı da birçok araştırmacı tarafından ilgi odağı olmuştur [27-29].

LED'lerin anahtarlama hızlarının yanında kullanılan fotodiyot ve fotodiyot çıkışında kullanılacak bir akım-gerilim dönüştürücüsünün de yüksek frekans cevaplarına sahip olmaları beklenmektedir. Yetersiz frekans cevabı neticesinde girişim oluşacak ve bilgi bitlerinin akım-gerilim dönüştürücüsü çıkışından alınan sinyalden elde edilmesi güçleşecektir. Bu nedenle literatürde birçok çalışmada denkleştirme yöntemleri kullanılarak girişim etkisinin azaltılması sağlanıp, daha yüksek veri iletim oranlarının elde edilmesi sağlanmıştır [29]. Geniş iletişim bandına sahip olan ve VLC sistemlerine ilk uygulanan denkleştirici modelleri RC, sıfıra zorlayıcı ve yapay sinir ağı tabanlı denkleştirici modelleridir [30]. Tasarlanan denkleştiriciler genellikle yapay zekâ teknikleri kullanılarak elde edilmiştir [32-34]. Bazen de verici tarafta sinyal LED sürücüyü uygulanmadan önce bir ön işlemden geçirilerek girişim etkisi düşürülmeye çalışılmaktadır [34].

Literatürde makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak VLC sistemlerinde alıcı tasarımı üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bir önceki paragrafta ifade edildiği gibi makine öğrenmesi yöntemlerinin denkleştirici sistemlerinin tasarımının yanında; destek vektör makineleri kullanılarak alınan sinyaldeki bozulmaların iyileştirilmesi [35], k-en yakın komşu algoritması ve regresyon algoritmaları ile kapalı ortamlarda kullanıcı konum tahminin gerçekleştirilmesi [36], modülasyon sınıflandırma yöntemlerinin uygulanması [37], K-ortalamar yöntemi kullanılarak eşik değeri tahmin yöntemlerinin geliştirilmesi [38] ve yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak karartma seviyesi tahmini [39] gibi birçok VLC tabanlı alanda uygulamalarının olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde genlik tabanlı çalışan modülasyon yöntemleri için eşik değeri tahmini gerçekleştiren çalışmaların olduğu görülmektedir [41-43]. Öncelikli olarak literatürde yaygın olarak kullanılan OOK iletim yöntemi için eşik değeri tahminini gerçekleştiren yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları gezgin kullanıcılar [41-42] için önerilmesine rağmen bazı sistemler de sadece gezgin olmayan sistemler [42] için önerilmiştir. Ayrıca literatürde PPM iletim şemasının slot uzunluğunu azaltmak için önerilmiş olan DPIM (Digital Pulse Interval Modulation: Sayısal Darbe Aralık Modülasyonu) gibi eşik değerine ihtiyaç duyan yöntemler için de eşik değeri tahmin yöntemleri geliştirilmiştir [43]. Ayrıca 4-PAM iletim şeması için de K-ortalamar algoritması kullanılarak kümeleme tabanlı veri bitlerini

algılayan sistem geliştirilmiştir [44]. Ayrıca son zamanlarda SPAM iletim şeması için SVM (Support Vector Machine: Destek Vektör Makinesi) yöntemi kullanan bir alıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir [45]. Literatürde önerilen bu çalışmalardan farklı olarak bu tez çalışmasında kullanılan ve önerilen yöntemlerin literatüre katkısı ve literatürdeki çalışmalardan farkı aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1.1 Tezin literatüre katkısı

[44]'de yapılan çalışmada 4-SPAM için K-ortalamar algoritması kullanılmıştır. Yapılan çalışmada yüksek bir veri seti üzerinden eğitim yapılmadan veri bitleri algılanmıştır. Eğitim setinin kullanılmaması bir avantaj olarak görünmesine rağmen veri biti uzunluğunun yüksek olması senkronizasyon açısından büyük problemler oluşturabilmektedir. Yapılan çalışmada, sistem performansı çevrimdışı olarak analiz edildiğinden senkronizasyonla ilgili bir problem oluşmamıştır. Ayrıca K-ortalamar algoritması OOK veya DPIM gibi iki güç seviyeli modülasyon yöntemlerinin dışında çok seviyeli güç sinyalleri kullanan SPAM ve PAM gibi iletişim şemalarında küme merkezlerini hesaplarırken rastgele seviyelerden örnek aldığından küme merkezi hesaplamalarında farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Küme merkezlerinin sıralı iki seviye arasındaki eşik değeri olarak düşünüldüğünde, sıralı iki seviyenin ortalaması olan optimum eşik değerinden sapmalar Bit Hata Oranı Performansını olumsuz bir şekilde etkilemektedir.

[45]'de yapılan çalışmada ise SVM yöntemi kullanılarak bilgi bitleri sınıflandırma algoritmasıyla algılanmaya çalışılmıştır. Veri iletim oranı artırılarak girişimin artması sağlanmış ve SVM tabanlı alıcının performansı modülasyonlu sinyalin frekansına göre ölçülmüştür. Yapılan çalışmada geleneksel yöntem için kullanılan eşik değerinde her veri iletim oranındaki değişimde güncellenme yapılmamışken, SVM için her veri iletim oranı için eğitim seti kullanılarak SVM için karar eşiği oluşturulmuştur. Bu durumda SVM geleneksel yöntemle göre daha yüksek performans vermiştir.

Bu çalışmada önerilen yöntem olarak çok seviyeli tahmin yöntemi için performans analizleri kıyaslanmıştır. Bu yöntemle göre verici, eğitim aşamasında SPAM sinyalinin bütün güç seviyeleri için sinyal iletimi gerçekleştirir. Alıcı tarafta alınan sinyal bir ortalama alan sistemden geçirilerek sinyal seviyeleri tahmini olarak elde

edilmiş olur. Sinyal seviyelerinin orta noktaları da eşik seviyesi olarak belirlenmektedir. Önerilen bu yöntem hem SVM hem de K-ortalamlar yöntemine göre daha basit ve gerçek zamanlı uygulanabilir bir yöntem olarak görülmektedir.

Ayrıca yapılan çalışmada K-ortalamlar yöntemi kullanan bir alıcı mimarisinin simülasyon sonuçları verilmiştir. K-ortalamlar algoritmasının iki seviyeli teknikler için eşik değeri tahmini yüksek doğruluğa sahipken, yüksek seviyeli SPAM modülasyonlu sinyallerinde bazı durumlarda eşik seviyesini yanlış hesaplamaktadır. Bu problemle ilgili bir simülasyon araştırması gerçekleştirilmiş olup, geleneksel K-ortalamlar algoritmasının yüksek seviyeli PAM veya SPAM iletim şemaları için yetersiz olduğu görülmüştür.



2. GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN (VLC) YAPISI

VLC (Visible Light Communication: Görünür Işık Haberleşmesi), haberleşmenin ışık aracılığıyla ortam üzerinden kablosuz şekilde sağlanmasıdır. Günümüz teknolojisinde kablosuz veri haberleşmesi yaygın olarak radyo frekans dalgaları ile sağlanmaktadır [46]. Gelişmekte olan teknolojiye bağlı olarak bilgi haberleşmesinin yoğunlaşması ve hali hazırda kullanılan iletişim kanalının sınırlı olması gelecekte birçok sayıda probleme neden olacağı öngörülmüştür. Bu araştırmalar doğrultusunda daha hızlı, güvenli, ekonomik ve çevre dostu sonuçları veren VLC tasarımlarına yönelim hızla artmaktadır [47].

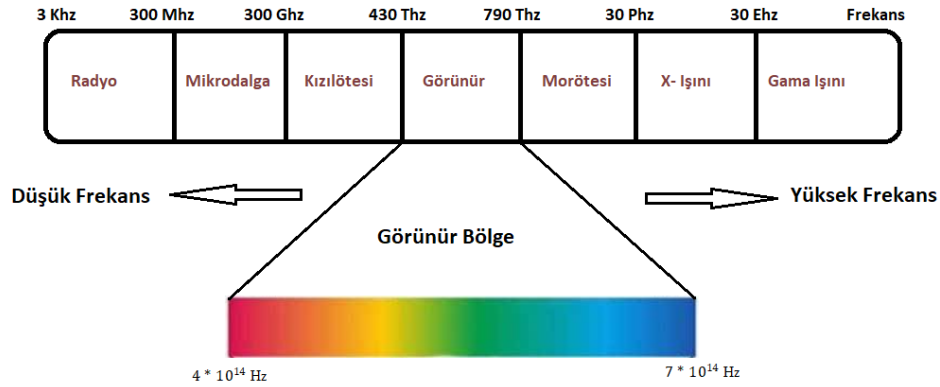
Işık haberleşmesi uzun yıllardır bir haberleşme aracı kullanılmaktadır. İlk olarak ateş yakılarak duman ile haberleşme sağlanmıştır. 19.Yüzyılda Tomas Edison tarafından elektrik lambasının icadı devamında birçok haberleşme yöntemine yol açmıştır. Daha sonra Arthur C. W. Aldis tarafından icat edilen sinyal lambası, açılıp kapanan panjuru ile mors alfabesi kullanılarak iletişim aracı olarak kullanılmıştır[48]. 1880 yıllarda ise Alexander Graham Bell ışığı haberleşme tekniği olarak ışık huzmesi üzerinde ses sinyalini ileten bir sistem tasarlamıştır ancak ortam şartlarının iletişime aşırı parazit oluşturması nedeniyle çalışmasını durdurmuştur [49].

Daha sonraki yıllarda LED teknolojisinin buluşu, VLC sisteminin araştırmalarına kaynak oluşturmuştur. VLC, göz tarafından fark edilemeyecek kadar tekrarlanan bir (400-700 nm) LED lamba ışığı üzerine, bir veri sinyalinin kodlanarak ortam üzerinden transfer yapılmasıyla sağlanmaktadır. LED ışık, aydınlatmanın yanı sıra farklı bir fonksiyon da üstlenerek kablosuz veri haberleşmesine hizmet verebilmektedir. Bu fonksiyonu ile kablosuz haberleşme olarak hâlihazırda yaygın olan radyo frekans yöntemine göre daha verimli ve sürdürülebilir bir yapıdadır. RF haberleşmesi elektromanyetik spektrumda 3KHZ ile 300GHZ aralığında kullanılmaktadır. Ayrıca bu haberleşmede uluslararası ve ulusal düzeyde belirli aralıklara lisanslandırma ile sınırlandırmalar getirilmiştir. Haberleşmenin gün geçtikçe yoğun kullanımlara karşı ihtiyaçları karşılamayacağı öngörülmektedir [48]. Temel bir VLC sistemi Şekil 2.1’de verildiği gibidir.



Şekil 2.1. Temel bir VLC Sistemi

Şekil 2.1’den de görüldüğü gibi verici ve alıcı birimlerde ışığın yayılımı için LED ve ışığın algılanması için fotodiyot kullanılmaktadır. Verilen şekilde verici ve alıcının birbirini doğrudan gördüğü varsayılmaktadır. Serbest uzayda bilgiyi taşıyarak yayılan ışığın spektrumu 400 THZ -790 THZ aralığında kullanım aralığına sahip olup herhangi bir sınırlama veya lisanslandırma prosedürüne sahip değildir. Böylesine geniş bir haberleşme ortamı ve sınırlama olmaması gelecekte oluşabilecek haberleşme problemlerini çözebilmek için araştırmaların hızlanmasına yol açmıştır. VLC spektrumu Şekil 2.2’de verildiği gibidir.



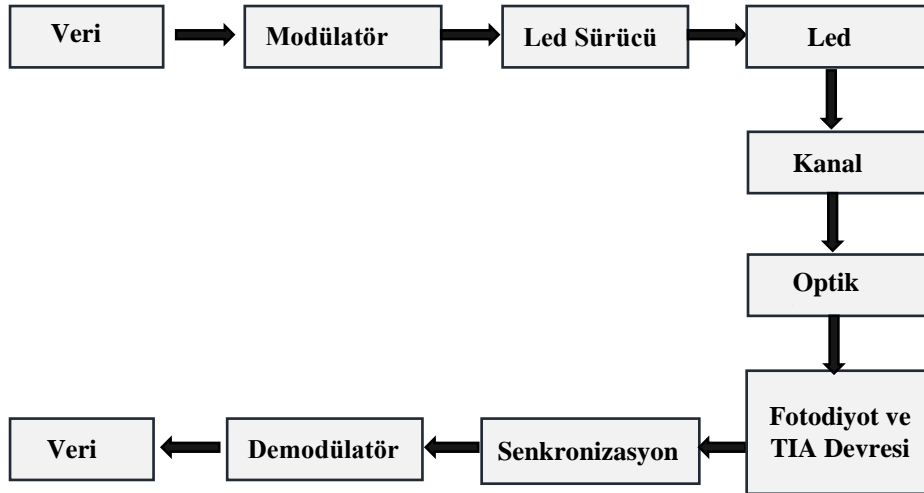
Şekil 2.2 Görünür Işık Spektrumu

Kablosuz haberleşme teknolojisi haberleşme hızı günden güne gelişen teknolojilerle artmaktadır. VLC teknolojisinin geliştirilmesi ile mevcut 250 kat artacağı öngörülmektedir [5]. Kablosuz haberleşme LED lambalar tarafından daha az enerji tüketimi kullanılarak sağlanmaktadır. Mevcut kullanımda olan kablosuz veri haberleşme yönteminde çeşitli nedenlerden dolayı (duvar sayısı, coğrafik şartlar vb.) sinyal zayıflaması durumu ile karşılaşılmadan daha hızlı veri aktarımı sağlanabilecektir. Ayrıca özel alanda iletişim sağlaması durumu ile veri transferi daha güvenli olabilecektir. Su altı haberleşmesinde hastane uygulamalarında,

sanayide makine haberleşmesinde daha hızlı ve verimli bir teknoloji olarak kullanılabilir [47].

Trafik lambalarını tanımaya yardımcı olacak kameralar ile trafik güvenliğine katkı sağlanmış olacaktır. Ayrıca araçlara takip mesafesi ve trafik yoğunluk uygulamalarına daha hızlı çözümler noktasında katkı sağlayabilecektir.

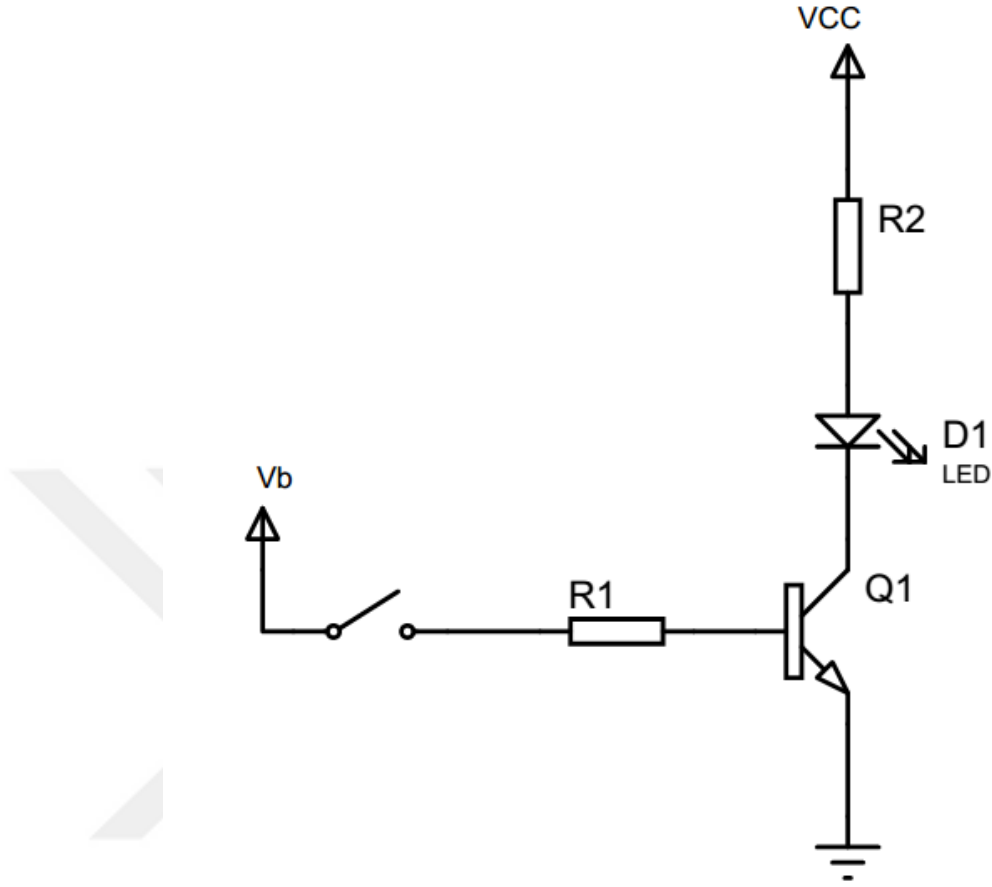
Hava yolu haberleşmesine örnek bir uygulama verilmiştir. Hava yolu taşımacılığında kullanılan navigasyon ekipmanları WI-FI ya da 5G gibi radyo frekans uygulamalarından olumsuz etkilenebilmektedir. VLC sistemi ile geliştirilen Li-Fi (Light Fidelity) haberleşmesi bu önemli problemleri çözmekte yarar sağlayacaktır. [50]



Şekil 2.3 VLC Temel Çalışma Prensibi

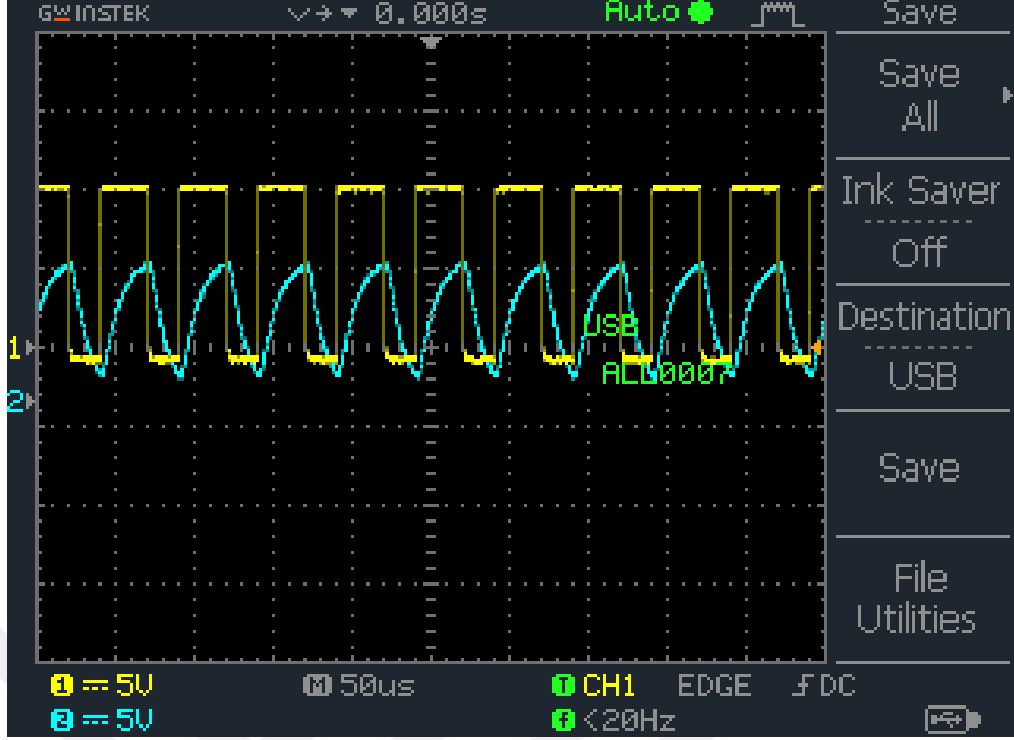
VLC sistemi Şekil 1.2 'de verilen şemaya göre iletilmek istenen veri öncelikle bir modülasyon bloğuna uygulanır. Modülasyon işleminde görünür ışık haberleşme sistemlerine özgü olarak kullanılan teknikler kullanılabilir. Bu yöntemler, sistemin güç verimliliği, bant genişliği verimliliği, veri iletim hızı, sinyal gürültü oranı gibi parametreler dikkate alınarak uygulanmaktadır. Modülasyon işleminden sonra elektriksel sinyalin LED tarafından optik sinyal olarak yayılmasını sağlamak için bir LED sürücü devreye uygulanmaktadır. LED sürücü devrelerinin tasarımında

karartma seviyesi göz önünde bulundurulmaktadır. Örnek bir LED sürücü devresi Şekil 2.4’te verilmektedir.



Şekil 2.4 Örnek sürücü devresi

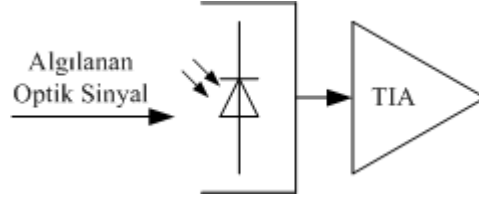
Verilen şekilde bilgi bitleri 0 – V aralığında düşünüldüğünde ve V gerilim değerinin transistörü doyum bölgesinde çalıştırdığı göz önüne alındığında basit bir aç kapa anahtarlama yöntemi gerçekleştirilebilir. VPPM gibi sinyalin görev periyodunun değiştiren sistemler için girişe değişken doluluk boşluk oranına sahip kare dalga sinyaller uygulanır. Ancak sistemin frekans cevabı düşünüldüğünde yüksek hızlarda veri iletiminin sağlanması için kullanılan anahtarlama elemanının (transistör gibi) yüksek frekanslarda çalışmayı desteklemesi gerekmektedir. Işığı yaymak için kullanılan LED elemanlarının da yüksek frekansları desteklemesi gerekmektedir. Aksi takdirde slot’lar arasında girişim oluşmaktadır.



Şekil 2.5 Kare dalga sinyal şarj-deşarj eğrisi

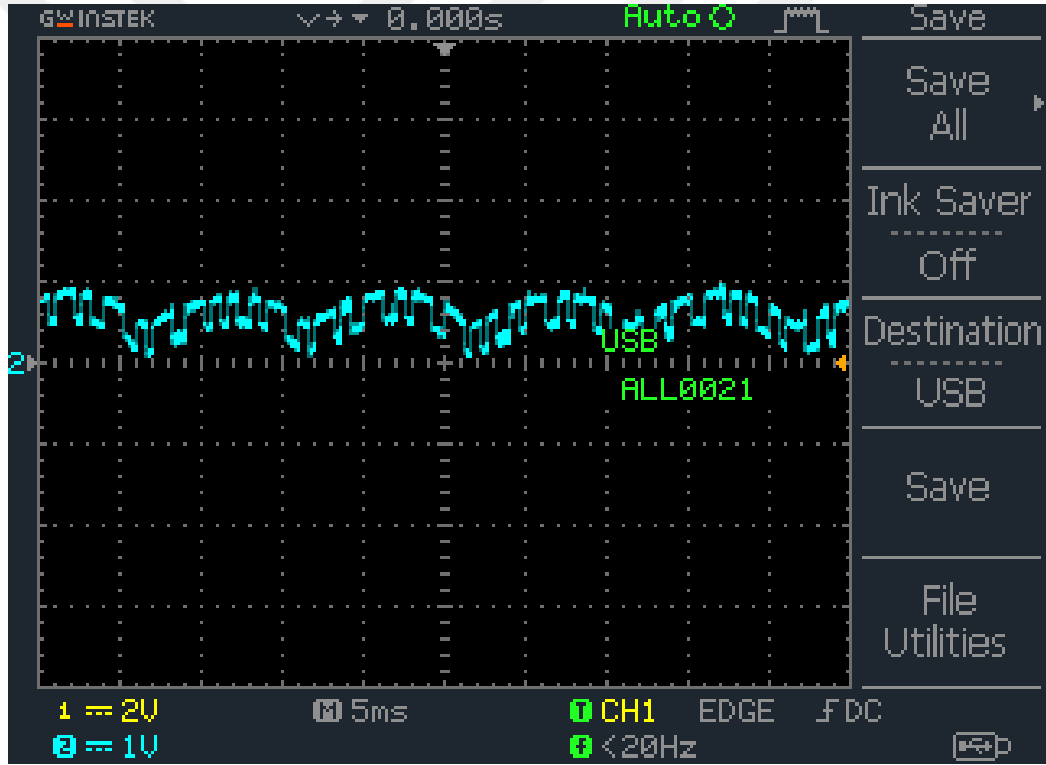
Şekil 2.5'te görüldüğü gibi kare dalga sinyal bir kondansatörün şarj-deşarj eğrisi gibi görünmektedir. Bu durum da slot'lar arasında girişime neden olmaktadır. Alıcı tarafta demodülasyon aşamasında boş olan slot'un integral değerini artırarak bit hata oranı performansını düşürmektedir. Benzer şekilde dolu olan slot'un integral değerini düşürmektedir. Dolu slot'un integral değerinin düşmesi, boş slot'un integral değerinin artması aradaki farkı düşüreceği için mantıksal 1 ve mantıksal 0 seviyelerinin algılanması zorlanmaktadır. Bu problemin çözülebilmesi için literatürde ön denkleştiriciler kullanılarak alınan sinyaldeki bozulmaların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

Literatürde bazı çalışmalarda alıcı tarafta fotodiyot yerine frekans cevabı daha düşük olan solar hücreler kullanılmıştır. Solar hücrelerin frekans cevabının düşük olması nedeniyle bozulmaları minimuma indirmek için verici tarafta modüle edilmiş sinyale DC sinyal eklemeleri gerçekleştirilmiştir[51].



Şekil 2.6 Örnek Fotodiyot ve TIA devresi

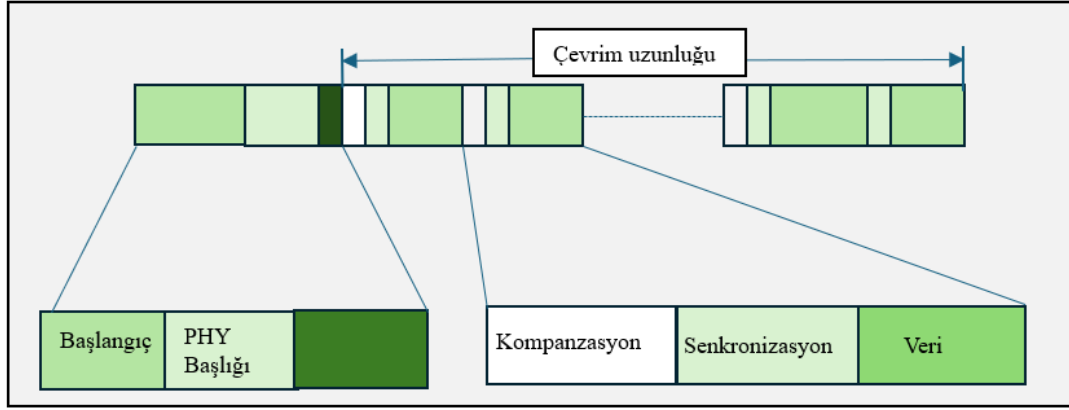
Şekil 2.6’da görüldüğü gibi optik lensin fotodiyot üzerine odakladığı optik sinyal fotodiyot çıkışından elektriksel akım sinyali olarak elde edilmektedir. Bu akım sinyalini gerilim sinyaline dönüştürüp sinyalin genlik seviyesini arttırmak için TIA devreleri kullanılır. Ayrıca yapay ışık etkisini ortadan kaldırmak için birçok çalışmada kullanılmıştır[52].Yapay ışık etkisi altında bir OOK sinyalin zamana göre değişimi Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7.Örnek OOK sinyalinin zamana göre değişimi

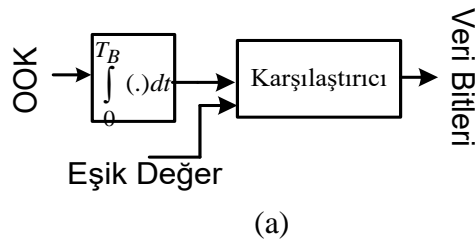
Şekil 2.7’de floresan lambanın, OOK modülasyon yöntemi kullanan bir sisteme etkisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi sinüzoidal bir sinyal OOK sinyale eklenmiş olarak görülmektedir. Literatürde bu floresan lamba etkisi probleminin çözümüne yönelik birçok çalışma bulunmaktadır.

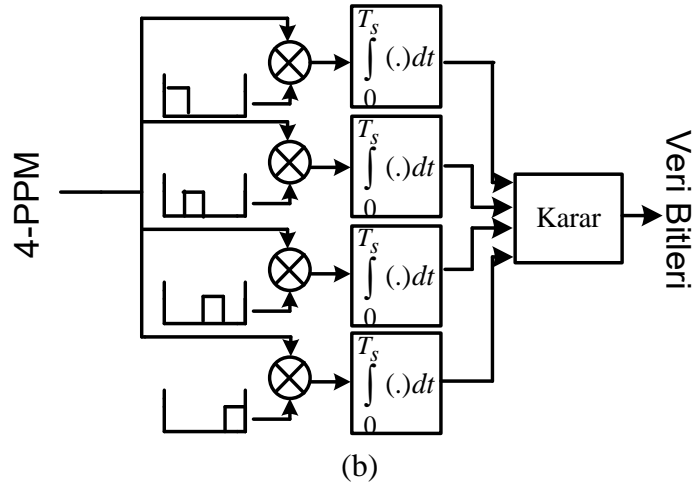
VLC sistemlerinde önemli olan noktalardan birisi de senkronizasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Alınan veri bitlerinin doğru bir şekilde çerçeveye yerleştirilmesi için alıcı ve verici arasında mutlaka bir protokol oluşturulmalıdır. Örnek bir senkronizasyon şeması Şekil 2.8’de verilmektedir.



Şekil 2.8. OOK Senkronizasyon şeması [53]

Alıcı tarafta bilgi bitlerinin yeniden elde edilebilmesi için haberleşme sisteminde kullanılan modülasyon yöntemine bağlı olarak demodülasyon sürecinde değişiklikler oluşabilmektedir. Örneğin, OOK iletim şeması kullanan bir sistem için mantıksal '1' ve mantıksal '0' seviyelerinin algılanması amaçlanmaktayken; bilgi bitlerinin tahmini için PPM iletim şemasında dolu olan slotun yerinin belirlenmesi gerekmektedir. OOK ve PPM iletim şemaları için kullanılacak temel demodülatör mimarileri Şekil 2.9’da verildiği gibidir.





Şekil 2.9. OOK ve PPM iletim şemaları için örnek alıcı blok diyagramları. (a) OOK şeması için alıcı yapısı. (b) 4-PPM iletim şeması için alıcı yapısı

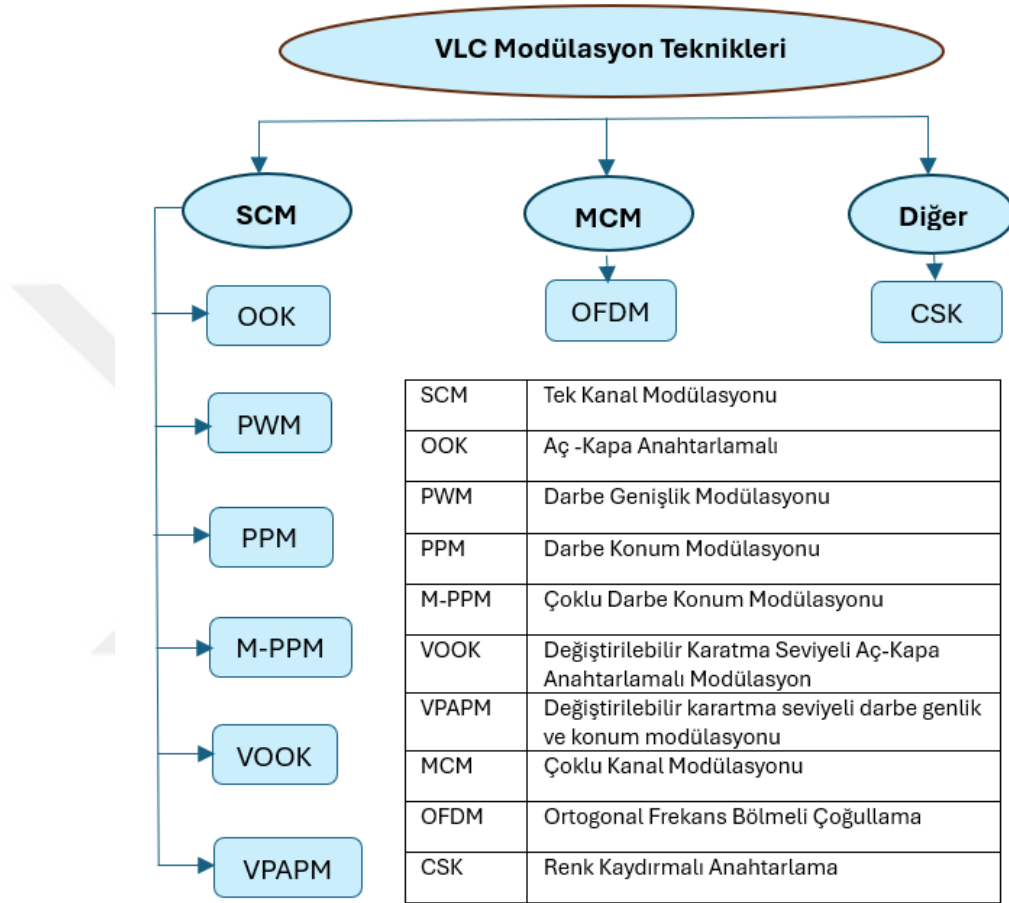
Şekil 2.9’da hem OOK hem de PPM iletim şemaları için birer alıcı şema sunulmaktadır. OOK iletim şeması için bir bit periyodu süresince sinyal alındıktan sonra integral işleminden geçirilir ve integral sonucu bir eşik değeri ile karşılaştırılır. PPM iletim şemasında ise alınan sinyal sembol iletim süresince integral sürecinden geçer ve her slot için ayrı ayrı integral alma işlemi gerçekleştirilir. Karar bloğunda en büyük integral sonucunun elde edildiği slot dikkate alınarak bilgi bitleri belirlenmektedir.

2.1 VLC’de kullanılan Modülasyon Teknikleri

VLC sisteminde kullanılan LED ışık güç performansı, karartma kontrolü ve fark edilmeyecek titreşim durumları göz önünde bulundurulmalıdır. Bir insan 100 Hz. üzeri frekans titreşimini algılayamamaktadır. VLC ışık haberleşmesinde veri LED üzerinden ışık ile iletimi sağlanmaktadır. Radyo frekans haberleşmesinde olduğu gibi faz ve genlik üzerinden veri kodlama imkânı bulunmamaktadır. Veri ışık yoğunluğunun değiştirilmesi ile karşıdaki alıcıya doğrudan iletimi ile sağlanabilmektedir. Bu tekniğe yoğunluk modülasyonlu doğrudan algılama yöntemi (Intensity-Modulated Direct Detection IM-DD) olarak adlandırılmaktadır. Yüksek oranda veri hızını gönderebilmek aynı zamanda istenilen düzeyde aydınlatma sağlayabilmek için karartma ve titreşim seviyelerini göz önünde bulundurulmalıdır.

Uygulamada birçok alanda ihtiyaç duyulan aydınlatma şiddeti farklıdır. Örneğin bir laboratuvarında 500 lüks ışık seviyesi kullanılırken koridor veya diğer kullanım

alanlarında 100 lüks ışık seviyesi kullanılmaktadır [54]. Modülasyon tekniğinin farklı ışık seviyelerinden etkilenmeyecek şekilde uygulanması ve IEEE 802.15.7 standardında belirtildiği üzere 200 Hz. 'den daha büyük yoğunluk değişiminde iletimin sağlanması gerekmektedir. Şekil 2.1'de modülasyon teknikleri ve açıklamalarına yer verilmiştir.



Şekil 2.10. Modülasyon Teknikleri[55]

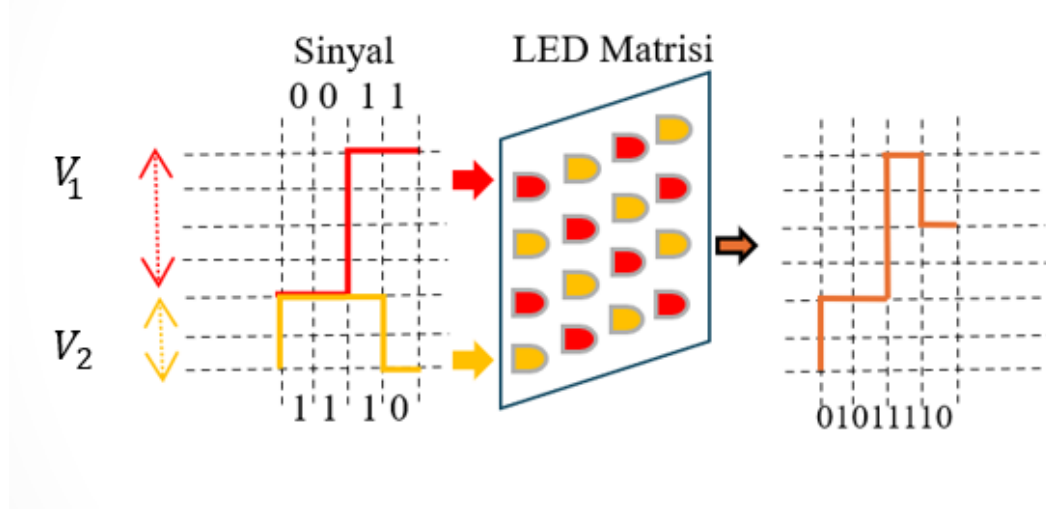
VLC sistemlerinde hem çok taşıyıcılı hem de tek taşıyıcılı modülasyon şemaları yaygın olarak kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan iletim şemaları arasında OOK ve PPM yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler zamanla birçok araştırmacı tarafından geliştirilerek karartma seviyesi desteği sağlanması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda göze çarpan bir diğer önemli iletişim yöntemi OFDM çoğullama tekniğidir. Ayrıca renk tabanlı çalışan modülasyon yöntemleri de literatürde ilgi çeken yöntemler arasında olmuştur.

3.SPAM İLETİM YÖNTEMİ VE YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ

Bu bölümde SPAM iletim şeması ve makine öğrenmesi yöntemleri ile ilgili temel gösterimler ve bazı açıklamalar verilmektedir. Öncelikli olarak SPAM iletim şemasının deneysel kurulumu ve tasarımı ile ilgili aşamalar sunulmuştur. Sonrasında yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemleri grupları ile ilgili açıklamalara yer verilmektedir.

3.1 SPAM Sinyalinin Üretim Yöntemleri

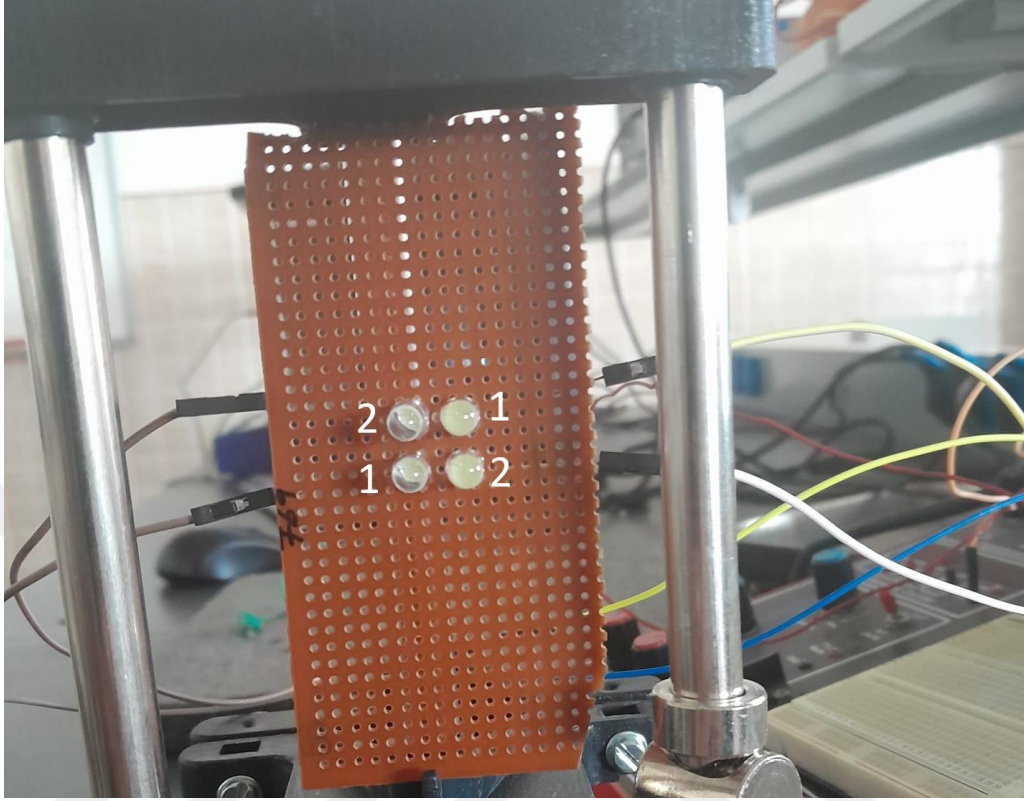
SPAM sinyalini oluşturabilmek için verici tarafta kullanılan LED'lerin simetrik olarak gruplandırılması oldukça önemlidir. Bunun nedeni alıcı tarafta istenilen toplam güç seviyelerini elde edebilmek içindir. Örnek bir LED matris gösterimi ve sinyal iletim seviyeleri şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1. SPAM sinyalinin oluşumu

Şekil 3.1'de görülen örnek mimari dikkate alınarak bir deneysel model gösterimi Şekil 3.2'de verilmektedir. Şekilde 3.2'de 4-SPAM modülasyonu için, 4 adet LED kullanılarak oluşturulan devre şeması verilmiştir. 1 ve 2 olarak numaralandırılmış LED'ler 2x2 matris düzenine göre yerleştirilmiş olup iki farklı genlikte sinyal bu numaralandırılmış LED'lere uygulanarak alıcıdan süperpoze edilmiş sinyal alınması amaçlanmıştır. 1 numaralı LED'lere V_1 sinyali, 2 numaralı LED'lere V_2 sinyali bilgi bitlerinin durumuna göre uygulanmaktadır. V_1 sinyali ve V_2 sinyali arasında iki kat güç oranı bulunmaktadır. Eğer V_1 sinyali fotodiyot üzerinde P seviyesinde bir optik

güç etkisine sahipse V2 sinyali fotodiyot üzerinde 2P seviyesinde optik güç etkisine sahiptir.



Şekil 3.2. 4-SPAM sinyal üretimi için örnek bir LED dizilimi

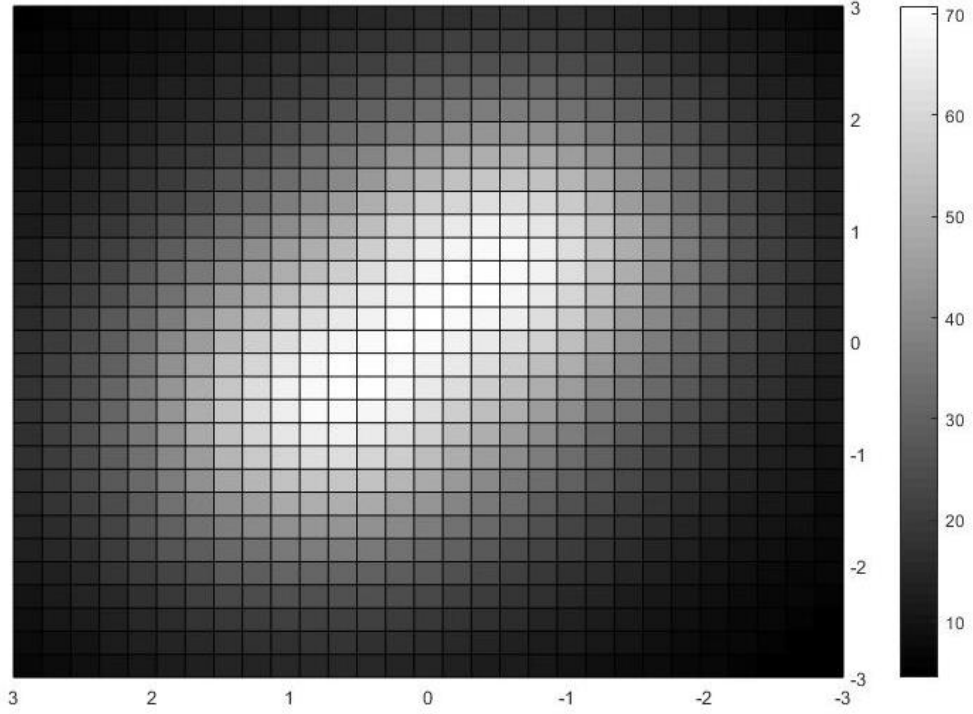
Çizelge 3.1. Bilgi bitlerinin durumuna göre aktif led durumu

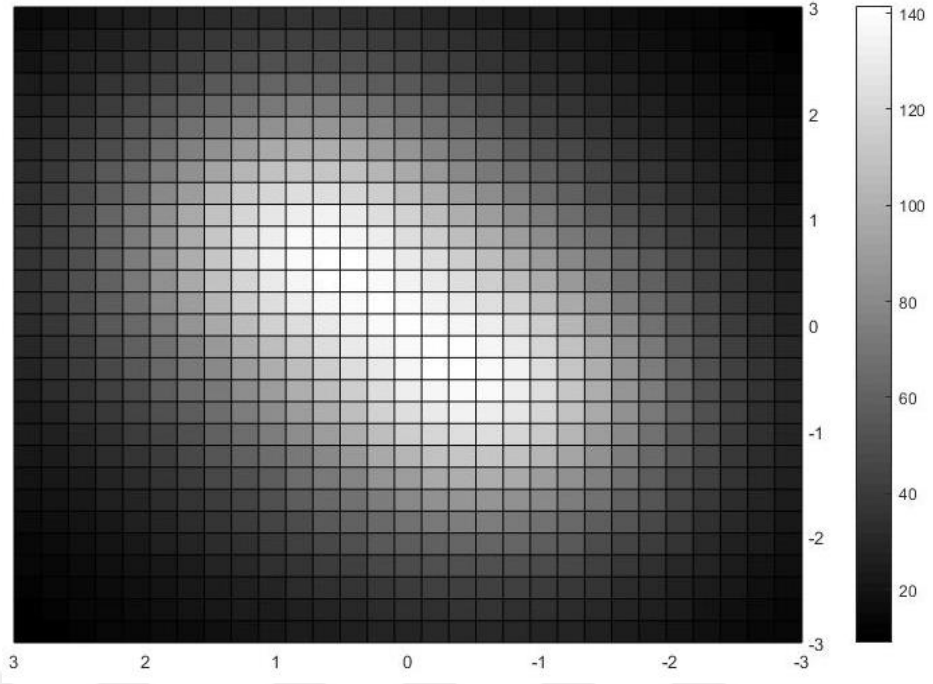
Bilgi Bitleri	Aktif LED durumu	Optik Güç
00	-	0
01	LED 1 grubu	P
10	LED 2 grubu	2P
11	LED 1,2 grubu	3P

Çizelge 3.1’de örnek bir SPAM sinyalin üretimi için kullanılan LED gruplarının aktif ve pasif olma durumları özetlenmektedir. Tablodan görüldüğü gibi dört farklı güç durumu göz önünde bulundurulmuştur. İlk seviyede herhangi bir LED grubu aktif değildir. Bu nedenle alıcıda gürültü haricinde herhangi bir elektriksel sinyal algılanmamaktadır. İkinci durumda sadece LED-1 grubu aktif iken üçüncü durumda sadece LED-2 grubu aktif olmaktadır. LED-2 grubunun LED-1 grubuna göre güç

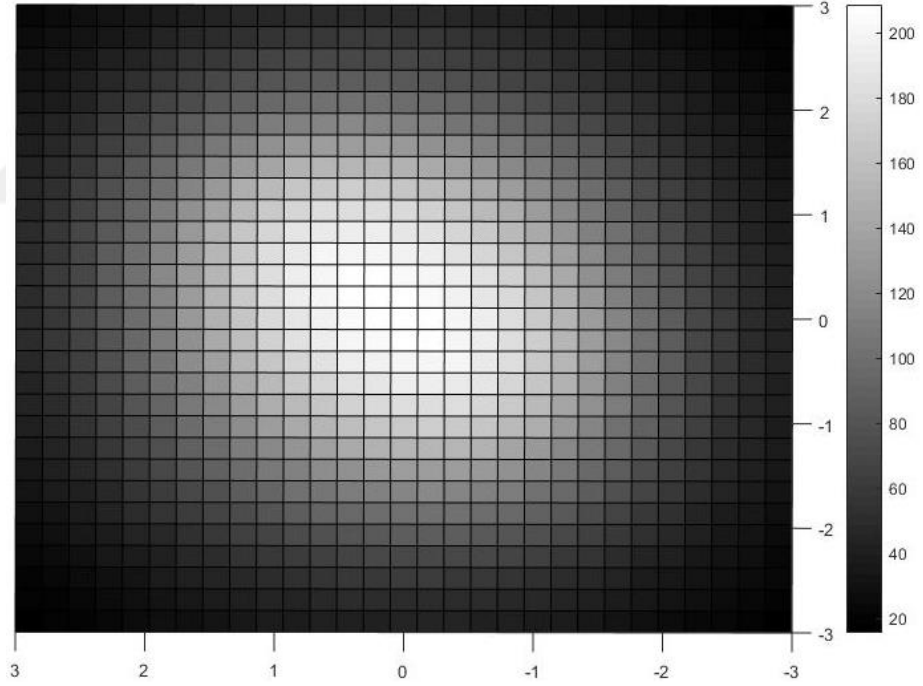
seviyesi açısından iki katında olduğu görülmektedir. Bu iki LED grubundan yayılan optik sinyalin gücü de LED-1 grubundan yayılan optik gücün üç katı olmaktadır. Ayrıca bilgi bitlerini optimum algılama performansı içerisinde algılayabilmek için optik güçler arasında belirlenecek seviyeler de iki optik güç seviyesinin orta noktası olmalıdır.

Bu iki LED grubunun ayrı ayrı ve birlikte aktif olma durumlarının gösterilebilmesi açısından bir modelleme sonucu Şekil-3.3'te verilmektedir. LED'ler iki farklı şekilde gruplandırılmış ve kapalı bir oda içerisinde dağılımı verilen optik güç seviyeleri elde edilmiştir. Kullanılan modelde oda 6mx6mx4m boyutlarındadır. Şekil 3.3(a)'da kullanılan LED gruplarının maksimum optik güç seviyesinin ve Şekil 3.3.(b)'de kullanılan LED gruplarının maksimum optik güç seviyesinin yarısı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu iki LED grubunun aktif olduğu durumda elde edilen sonuçlar da Şekil 3.3 (c)'de görüldüğü gibi elde edilmiştir.





(b)



(c)

Şekil 3.3. 4-SPAM sinyal için optik güç dağılımı (a,b,c)

3.2 Yapay zekâ ve Makine Öğrenmesi

Yapay zekâ, insan zekasının doğasında yer alan algılama, öğrenme, planlama, karşılaştırma, sonuç çıkarma gibi yeteneklerinin modellenmesi ile benzer veya daha iyi sonuçlara ulaştırabilmek için yapılan çalışmaların ürünüdür. Günümüzde yapay

zeka yöntemleri medikal uygulamalar [56], endüstriyel sistemler [57], uzay araştırmaları[58], eğitim [59], güvenlik [60] gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Neredeyse bütün insanların günlük hayatta farkında olmadan etkileşim halinde olduğu bir teknolojik kavram olarak nitelendirilebilir.

İnsan zekasının modellenerek, öğrenme ve gündelik hayatlarındaki kazanımları dikkate alınarak birçok çalışmanın temeli oluşturulmuştur. İnsan beyninin sinirler aracılığıyla sahip olduğumuz duyu organlarıyla sürekli olarak haberleşme döngüsü içerisinde olması, haberleşme sonucunda karar vermesi ayrı bir Yapay Zekâ biliminin konusu olarak nitelendirilebilmektedir [61]. Yapay zekanın ürünü olan Makine öğrenmesi, bir bilgisayar sisteminin verilerden yola çıkarak öğrenme ve uygulama becerisini otonom halde yapabilmesini sağlamaktadır.

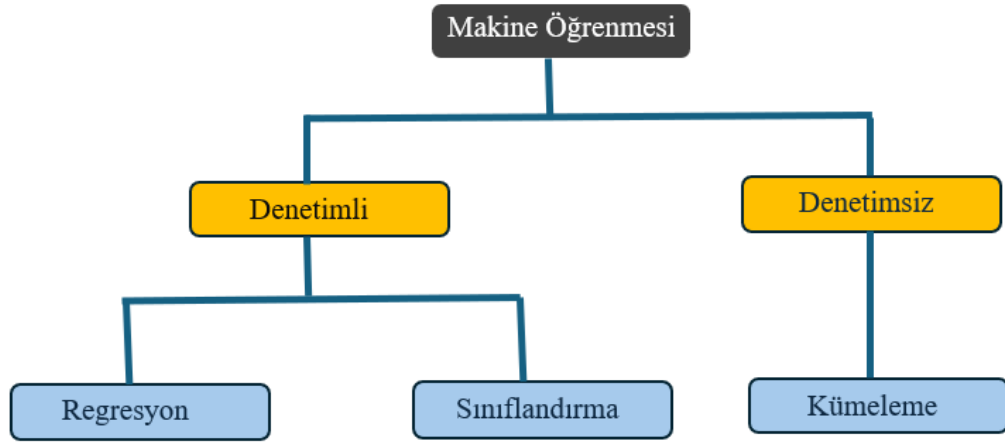
Günümüz bilgi çağında öğrenme adına veri ve deneyimlerin hızlı şekilde artmaktadır. Bu deneyimlerin depolanması ve erişilebilmesinin kolaylaşmasına bağılı olarak geliştirilen yapay zekâ sistemleri ile makine öğrenmesi birçok alanda uygulama alanı olmuştur. Son zamanlarda derin öğrenme yöntemlerinin de geliştirilmesiyle birlikte hayatın birçok alanında zorlukların üstesinden geldiği görülmektedir. Şekil 3.4'te otonom sistemlerin tarihsel gelişimini göstermek için bir blok şema verilmektedir.



Şekil 3.4. Otonom Sistem Tarihsel Blok Şeması

3.3 Makine Öğrenmesi Çeşitleri

Makine öğrenmesi yöntemleri yapay zekanın uygulanabilmesi için ilk aşamayı oluşturmaktadır. Makine öğrenmesinin çeşitleri incelendiğinde denetimli ve denetimsiz olmak üzere genel olarak iki gruba ayrılmaktadır.



Şekil 3.5 Makine Öğrenmesi Grupları

3.3.1 Denetimsiz Öğrenme

Denetimsiz öğrenme başlangıç şartlarında herhangi bir etikete ihtiyaç duymadan gruplandırma yapmaktadır. Bu nedenle kümeleme yöntemleri denetimsiz öğrenme grubundadır. Belirli miktarda girişe uygulanan veriler kendi aralarında gruplandırılmaktadır. Benzer özelliklere sahip olanlar aynı kümenin elemanı olarak atanmaktadırlar. Literatürde k-ortalama, hiyerarşik, Bulanık (Fuzzy), temel bileşenler analizi gibi birçok kümeleme yöntemi bulunmaktadır.

3.3.2 Denetimli Öğrenme

Denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenmeden farklı olarak bir eğitim aşamasından geçirilir ve eğitim verilerinin tamamının etiketi belirlidir. Girişte verilen eğitim verilerinin özellikleri kullanılarak bir test verisinin eğitim verisi içerisinde hangi guruba ait olabileceği tahmin edilebilmektedir.

Bu öğrenme şeklinin en basit örnekleri arasında sınıflandırma yöntemleri gelmektedir. Destek vektör makinaları, Naive Bayes, K-en yakın komşu algoritması, gibi algoritmalar sınıflandırma algoritmaları olarak tanımlanmaktadır[62].

Regresyon yöntemleri ise, bağımsız değişkenlerin bir bağımlı değişkene göre değişimini analiz etmek için kullanılan yöntemlerdir. Bu analiz yönteminde kullanılan katsayıların değerleri verilerin tahmin edilmesinde oldukça önemlidir.



4. SPAM İLETİM YÖNTEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN ALICI MİMARİLERİ

Bu bölümde eşik değerlerini tahmin etmek için kullanılan K-ortalamalar ve önerilen yöntemin teorik analizi gerçekleştirilecektir. Teorik analiz öncesinde görünür ışık haberleşme sistemleri için kanal durumu verilecek olup, analiz edilen kanal durumu sonucunda alınan sinyal üzerinden nümerik analizler yapılacaktır. Kapalı ortam optik haberleşme sistemlerinde ışık yayılımı Lambertian dağılım model dikkate alınarak incelenmektedir. Bu nedenle vericiden iletilen optik sinyalin alıcı taraftaki gücü teorik olarak iletilen güç ifadesinden elde edilebilmektedir. Kanalın DC kazancının Lambertian dağılım modeline göre ifadesi Eşitlik 1’de verildiği gibi hesaplanabilir.

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A_r}{2\pi D_k^2} \cos^m(\varphi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0, \psi > \Psi_c \end{cases} \quad (1)$$

Verilen eşitlikte $H(0)$ kanalın DC kazancını göstermektedir. Verilen eşitlikte optik süzgecin ve yoğunlaştırıcı kazançları sırasıyla T_s ve g ile gösterilmiştir. Ayrıca fotodiyodun fiziksel alanı, alıcı ve verici birimler arasındaki mesafe, Lambertian derecesi ve görüş alanının genişliği sırasıyla A_r , D_k , m ve Ψ_c ile ifade edilmektedir[63]; $H(0)$ kanal DC kazancı ile alınan ve iletilen güçler arasında eğer iletilen güç P_t ile ifade edilirse alınan güç Denklem (2)’de verildiği gibi gösterilebilir.

$$P_r = H(0)P_t \quad (2)$$

Alınan güç P_r ile ifade edilmektedir. Fotodiyot çıkışında elde edilen sinyal algılanan optik sinyalden üretilmektedir. Fotodiyotun algıladığı sinyal $s(t)$ ile gösterilirse, alınan sinyalin gücü Denklem (2)’ye göre değişiklik gösterebilmektedir. Eğer gürültü $n(t)$ ile ifade edilirse fotodiyot çıkışında elde edilen elektriksel akım sinyalinin ifadesi Denklem (3)’te verildiği gibi gösterilebilmektedir [64, 65].

$$y(t) = (RP_r M_{index} f(t)) \otimes h(t) + n(t) \quad (3)$$

Denklemde M_{index} modülasyon indeksini gösteriyorken, normalize edilmiş modülasyon sinyali ve fotodiyot duyarlılığı da sırasıyla $f(t)$ ve R olarak ifade edilmektedir [66]. Denklemde $h(t)$ ise kullanılan elemanların (LED ve fotodiyot gibi) slotlar arası girişime neden olan toplam dürtü yanıtı olarak ifade edilmektedir.

Denklemden fotodiyot çıkışında elde edilen $y(t)$ sinyali kullanılarak önerilen yöntem ve K-ortalama yönteminin SPAM sinyaller için uygulaması gösterilebilmektedir.

Aşama-1: Eğitim.

Bu aşamada $y(t)$ sinyalinin belirli süre eğitim sinyali olarak iletilmesiyle eşik değerinin tahmini gerçekleştirilmektedir. Denklem 2’de verilen eşitlikten P_t ile P_r arasında bir $H(0)$ çarpanı olması nedeniyle pratik uygulamalarda iletilen sinyalin verici taraftaki güç seviyeleri alıcı tarafta tahmin edilememektedir. Ancak belirli bir güçte iletilen sinyalin alıcı çıkışında belirli bir güç seviyesinde sinyal oluşturması nedeniyle yine bütün iletim seviyeleri arasında bir genlik farkı oluşacaktır. Normalize edilmiş modülasyonlu sinyal Denklem 3’te verilen $f(t)$ olarak ifade edilirse, SPAM sinyalin gösterimi Denklem 4’te görüldüğü gibi verilebilir.

$$f(t) = \gamma \sum_k a_k g(t - kT_s) \quad (4)$$

Eşitlikte γ ve $g(t)$ sırasıyla normalizasyon katsayısı ve birim genlikli bir darbe sinyalini göstermektedir. a_k Katsayısı, iletilecek bilgi bitlerinin durumu göz önünde bulundurulduğunda ve M modülasyon derecesi 2^n ile ifade edildiğinde Eşitlik 5’te verildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$a_k = A \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i \quad (5)$$

Eşitlikte A değeri, iletilecek sembolün onluk tabandaki değeri 1 olduğunda M-SPAM iletim seviyesini göstermektedir, n değeri ise bir sembolü oluşturan bit sayısı olarak ifade edilmektedir.

Örneklenen $y(t)$ sinyalinden bir küme seti oluşturulduğunda küme örnekleri denklem 6’te verilen eşitlik elde edilecektir.

$$y_i = \frac{1}{T_s} \int_{(i-1)T_s}^{iT_s} y(t) dt \quad (6)$$

Bir sembol süresi boyunca alınan sinyal integral sürecinden geçerek bir ortalama değer elde edilmektedir. Bu ortalama değerler küme setini oluşturmaktadır. Küme

setinin boyutu d olursa, $Y = [y_1, y_2, y_3 \dots \dots y_d]$ şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitlikte küme seti boyutu eğitim setini ifade etmektedir. Eğer modülasyon derecesi de M olursa başlangıç şartlarında rastgele kullanılacak küme merkezleri $X = [\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots \dots \mu_M]$ olarak gösterilebilir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi M-SPAM sinyal kümeleri tek boyutta olduğundan, küme elemanları ve rastgele seçilen küme merkezleri arasındaki mesafe mutlak değer ile gösterilmesi yeterlidir. K-ortalamlar yöntemi kullanılarak düzenlenen eşitlik, Denklem (7) ve (8)'de verildiği gibidir.

$$\operatorname{argmin}_{X, \delta} \sum_{k=1}^d \sum_{\alpha=1}^M \delta_{k, \alpha} |y_k - \mu_\alpha| \quad (7)$$

$$\delta_{k, \alpha} = \begin{cases} 1, & |y_k - \mu_\alpha| < |y_k - \mu_\beta|, \beta \in \frac{\{1, \dots, M\}}{k} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (8)$$

Verilen eşitliklerde y_k k'inci küme örneği ve μ_α ise rastgele seçilen α 'inci kümenin merkezidir. Küme merkezlerine en yakın elemanlar seçildikten sonra M-SPAM sinyallerden eşik değeri belirlenmesi için küme merkezlerinin değerinin yeniden hesaplanması gerekmektedir. Her M kümede bulunan elemanların tümünün ortalama değeri elde edilerek Denklem (9)'da verilen yeni küme merkezleri hesaplanabilmektedir.

$$\mu_a^* = \frac{1}{\tau} \sum_{k=0}^d \delta_{k, \alpha} y_k \quad (9)$$

Denklemden μ_a^* yeniden hesaplanan küme merkezlerini ifade ederken τ ise kümenin uzunluğunu göstermektedir. Hesaplanan küme merkezleri, M-SPAM sinyalinin tahmini iletim seviyesini göstermektedir. Tahmini ardışık iki iletim seviyesinin orta noktası ise eşik seviyesi olarak tanımlanmakta olup, toplam eşik değeri sayısı da M-1 olarak ifade edilmektedir. Denklem 10'da eşik değerleri için genel bir eşitlik verilmektedir.

$$E_a = \frac{\mu_a^* + \mu_{a+1}^*}{2} \# \quad (10)$$

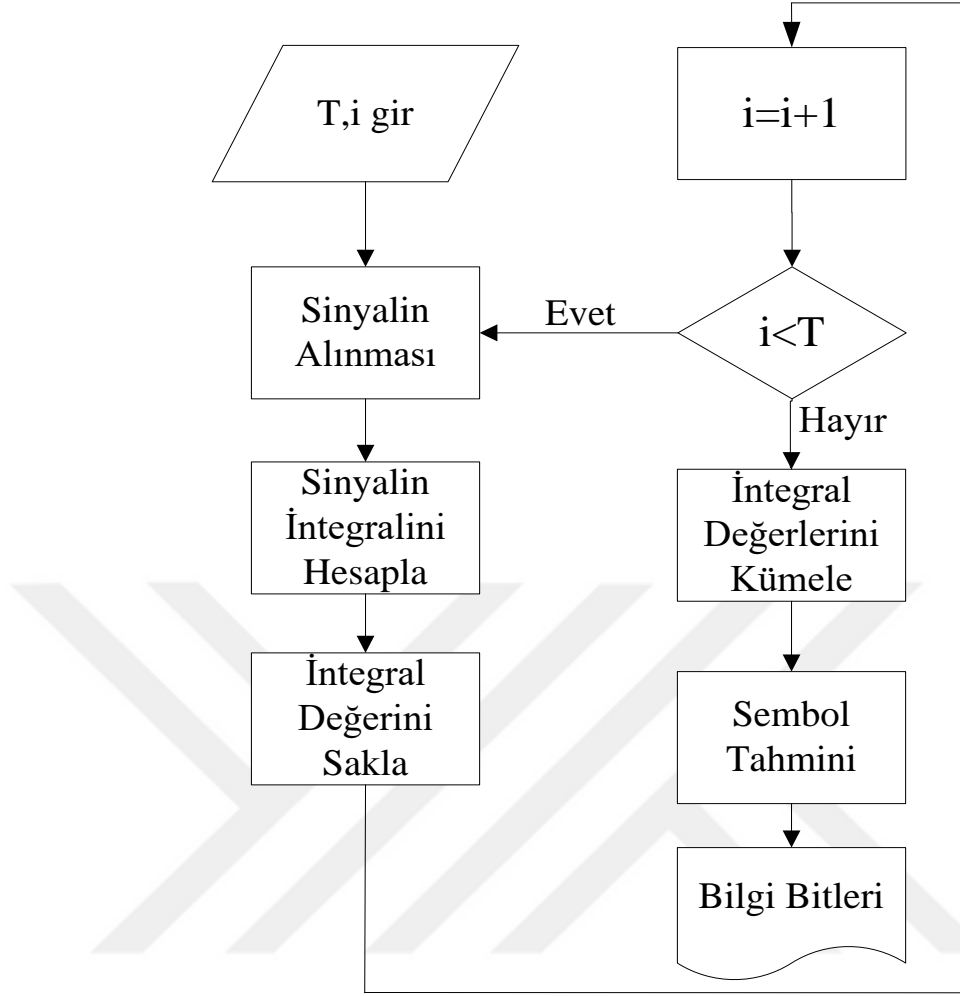
Önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak tahmin edilen eşik değerleri daha az karmaşık bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu yöntemin ifadesi verilecek olursa Denklem (6) kullanılarak, aşağıdaki eşitlik elde edilebilir.

$$S_a = \frac{1}{T} \sum_{\alpha=1}^M \sum_{k=1}^T y_{k,\alpha} \# \quad (11)$$

Eşitlikte S_a , α 'inci iletim seviyesinin tahminini göstermekte olup her bir seviye için T adet eğitim seti alınmıştır. Toplamda alınan eğitim seti sayısı K-ortalamlar yönteminde kullanılan eğitim seti sayısına eşittir. Denklem (9)'dan da görüldüğü gibi eşik değeri ardışık iki iletim seviyesinin ortalamasına eşit olmaktadır. Önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak hesaplanan eşik değeri Denklem (12)'de verildiği gibi olmaktadır.

$$Ed_a = \frac{S_a + S_{a+1}}{2} \# \quad (12)$$

Eşitlik 4.5 kümeleme yönteminin uygulanabilirliği dikkate alınarak açıklanır, T değeri kümeleme için kullanılacak sinyal sayısını vermektedir. Ayrıca n değeri de bir periyotluk sinyalden alınan toplam örnek sayısını vermektedir. Eşitlikte elde edilen S_i değerleri kümeleme yapan birime uygulanarak SPAM sinyalinin seviyelerinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi için bir akış diyagramı Şekil 4.1'de verilmektedir.



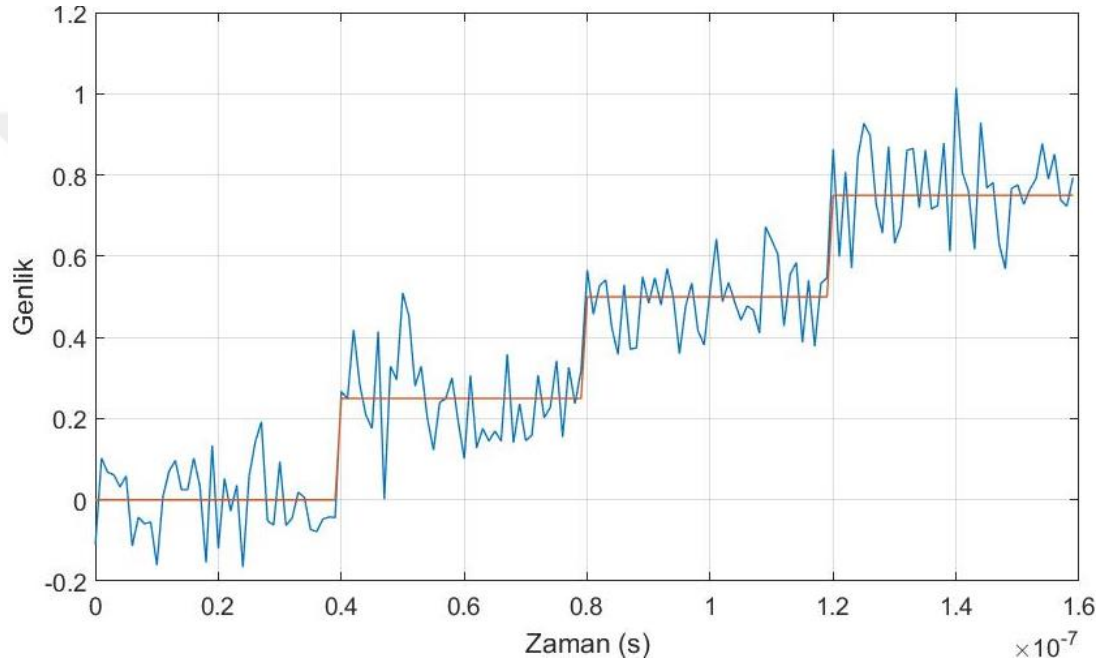
Şekil 4.1 Kümeleme Yöntemi için bir akış diyagramı

Şekil 4.1'den de görüldüğü gibi bir periyot süresince alınan SPAM sinyallerinin integral değerleri alınarak bir kaydedicide saklanmaktadır. Alınan periyot sayısı hedef periyot sayısına ulaştığında (Hedef periyot sayısı akış diyagramında T olarak verilmiştir) saklanan integral değerleri bir kümeleme işleminden geçmektedir. SPAM iletim yönteminin çok seviyeli bir modülasyon şeması olması nedeniyle kümeleme sonucunda semboller tahmin edilmektedir. Son aşamada elde edilen semboller bilgi bitlerine dönüştürülerek çıkış sağlanmaktadır.

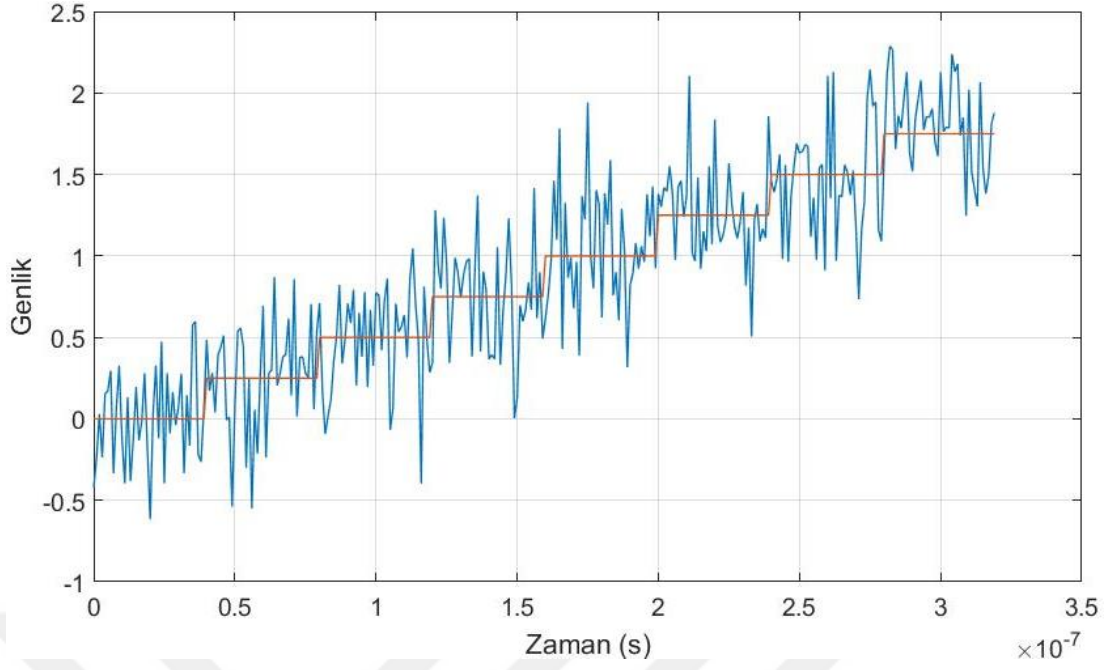
Kümeleme yöntemi, sınıflandırma yönteminden farklı olarak, anlık olarak elde ettiği integral değerlerini kullanarak (Eşitlik 4.5'teki) SPAM sinyalin seviyesini belirlemektedir.

5. SİMÜLASYON VE DENEYSEL SONUÇLAR

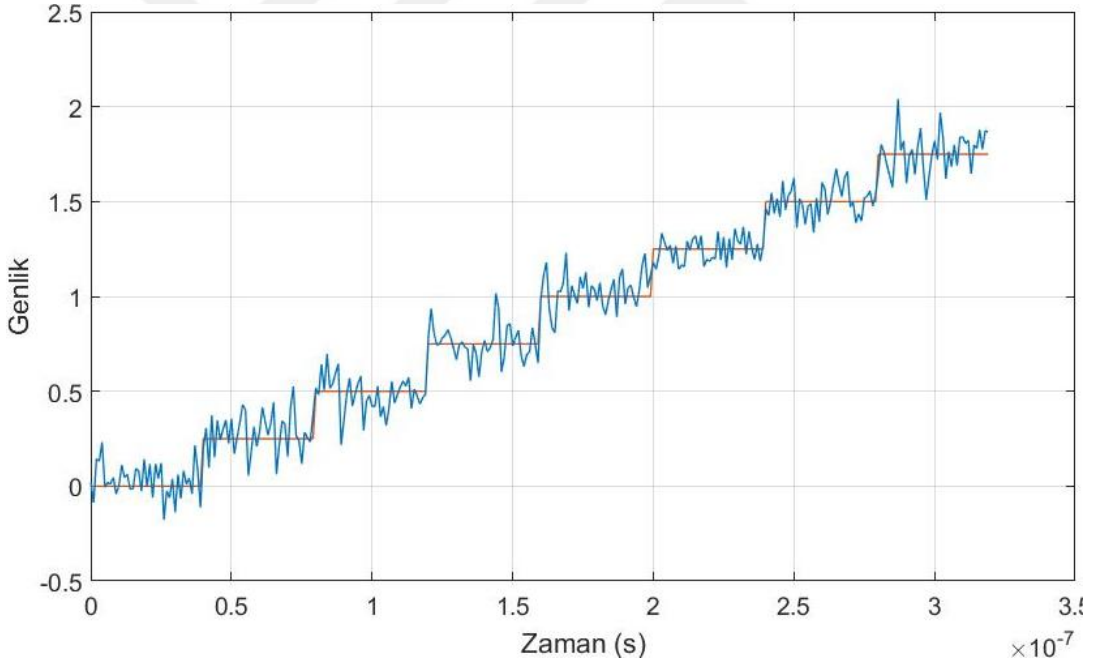
Bu bölümde kümeleme yöntemleri ve önerilen yöntem için elde edilen simülasyon sonuçları verilmiştir. Simülasyon sonuçları MATLAB programında elde edilmiştir. Ayrıca deneysel olarak elde edilen sonuçlar da çevrimdışı olarak MATLAB programına aktarılmış olup yöntemlerin karşılaştırılması çevrimdışı olarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, 4-SPAM ve 8-SPAM iletim şemaları göz önünde bulundurularak gözlemlenmiştir. 4-SPAM ve 8-SPAM sinyallerin ileteceği bilgi bitleri için her bir seviye Şekil 5.1’de verildiği gibidir.



Şekil 5.1. 15dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi



Şekil 5.2. 15dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi



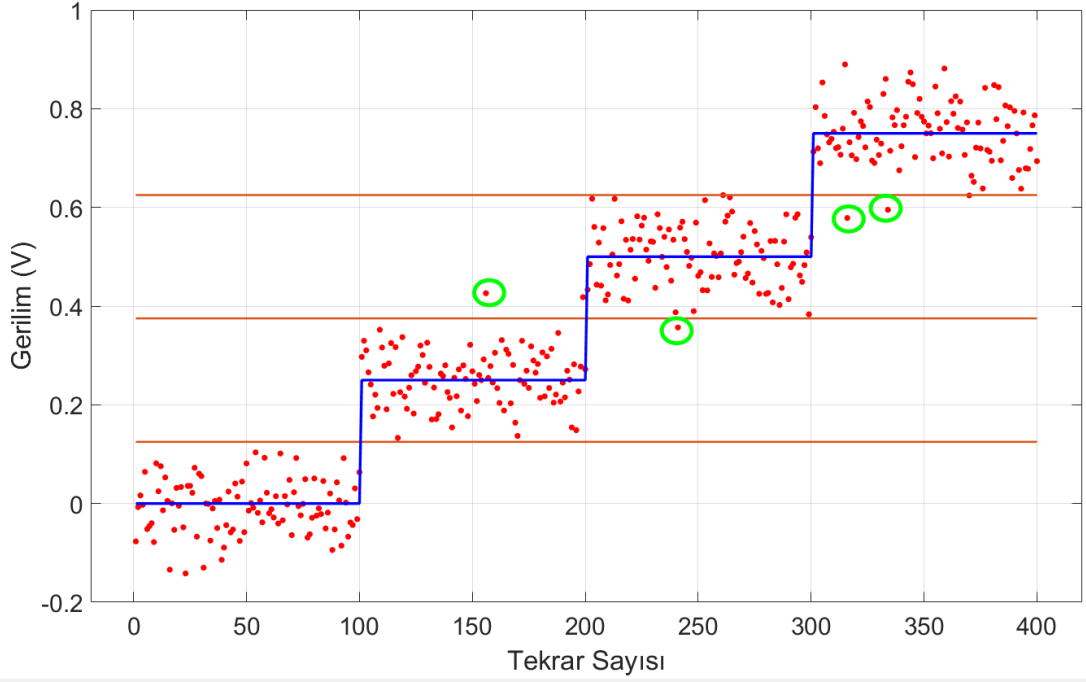
Şekil 5.3. 25dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi

Verilen şekillerden de görüldüğü gibi 4-SPAM için 4 seviye kullanılıyorken 8-SPAM için 8 genlik seviyesi kullanılmaktadır. Verilen seviyeler için gürültü kullanılarak gürültünün seviyesi değişkenlik göstermektedir. 15dB ve 25dB sinyal gürültü oranlarında modülasyonlu SPAM sinyalleri çizdirilmiştir. Şekillerden de

görüldüğü gibi sinyal gürültü oranı arttıkça modülasyonlu sinyalin eşik değerlerine yaklaştığı izlenmiştir. Bu nedenle iletilen sinyaldeki salınımlarda bir düşüş oluşmaktadır.

4-SPAM ve 8-SPAM sinyaller için elde edilen kümelerin görüntüleri de Şekil 5.4 ile Şekil 5.10 aralığındaki şekillerde verildiği gibidir. Şekillerde elde edilen simülasyon sonuçları farklı sinyal gürültü oranları seçilerek çizdirilmiştir. Verilen her bir nokta kümesi bir periyotluk SPAM sinyalin integral sonucunu vermektedir. İntegral sonucu ile eşik değerler arasında bir karşılaştırma gerçekleştirilerek bilgi bitlerinin algılanması gerçekleştirilebilmektedir. 4-SPAM için şekilde verilen sinyal seviyeleri, '0', '0.25', '0.5' ve '0.75' değerleridir. Bu nedenle kullanılacak eşik değerleri '0.125', '0.375' ve '0.625' olarak belirlenebilir. Alınan integral değerleri bu seviyeler arasında karşılaştırılarak bilgi bitleri algılanabilmektedir.

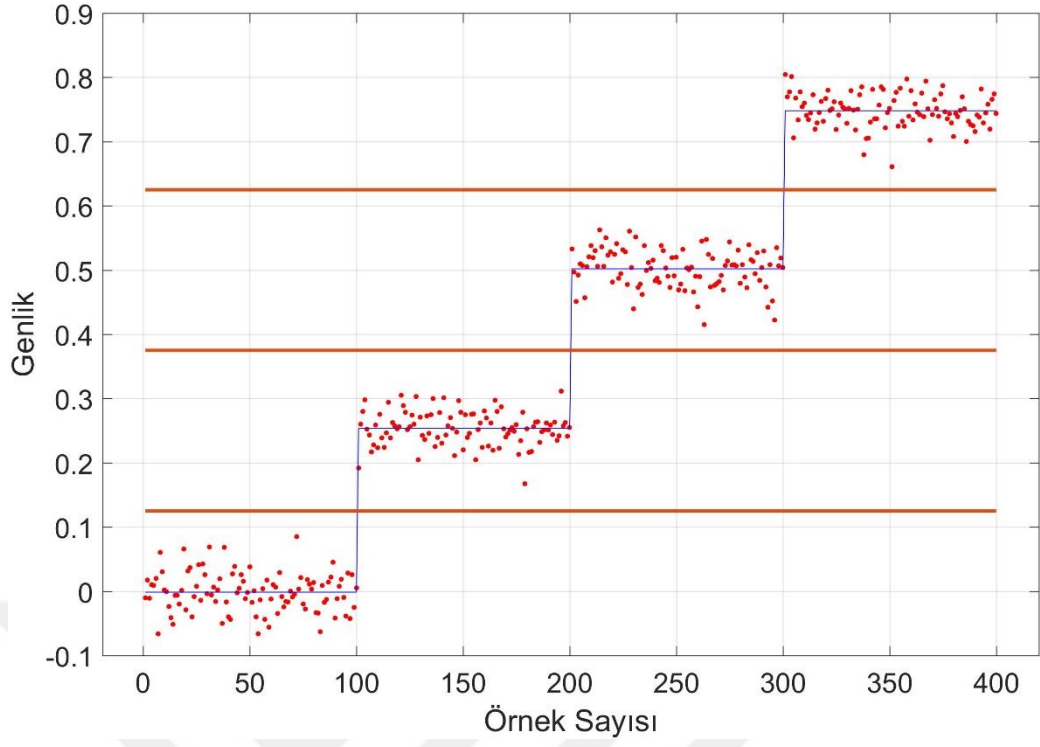
4-SPAM iletim şeması için alınan sonuçlar Şekil 5.4 ile Şekil 5.7 aralığında verilmektedir. Sinyal gürültü seviyesinin artması durumunda Şekil 5.4'te görüldüğü gibi en düşük sinyal gürültü oranında sinyal iletimi gerçekleştiriliyorken, Şekil 5.7'de en yüksek sinyal gürültü oranında sinyal iletimi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle Şekil 5.4'te verilen küme elemanları, diğer şekillerde verilen küme elemanlarına göre eşik değerlere daha yakındır. Küme elemanlarının eşik değerlere yakın olması bilgi bitlerinin doğru algılanma performansında düşüğe neden olmaktadır. Bu sonuçlar sinyallerin bit hata oranı performansı için alınan sonuçlarda görülmektedir. Şekillerde iletilen modülasyonlu sinyal sayısı toplamda 400 adet olup, her seviyeden 100 adet sinyal iletimi gerçekleştirilmiştir.



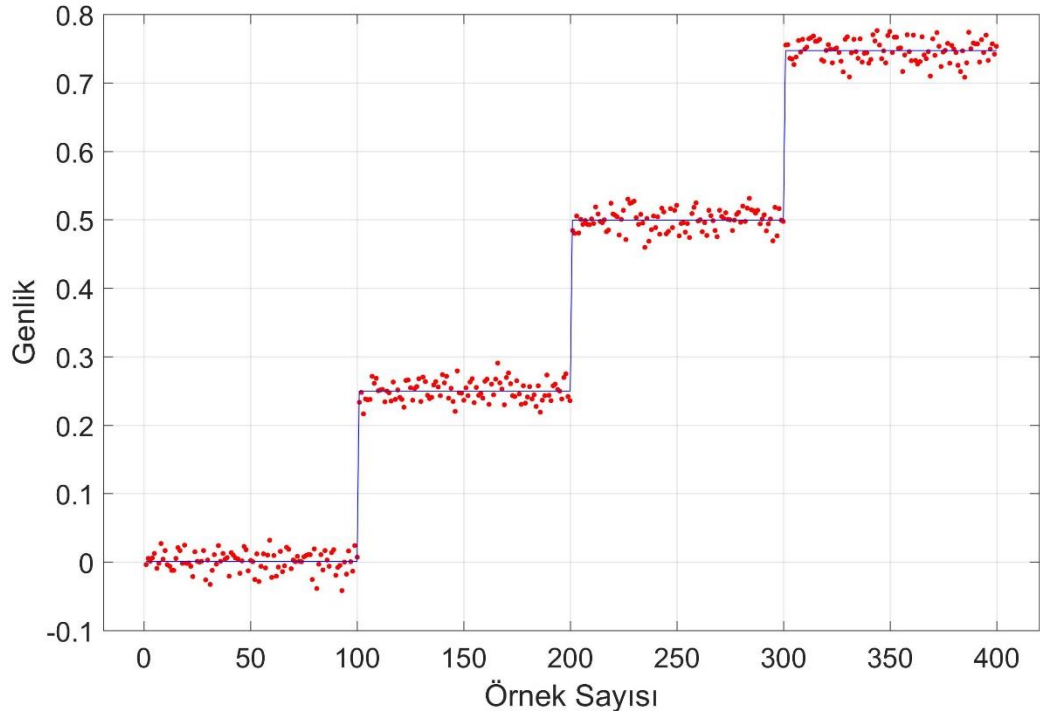
Şekil 5.4. 15dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi

4-SPAM iletim şeması için Şekil 5.4 detaylı olarak incelendiğinde bilgi bitlerinin hatalı algılanması ile ilgili sonuçlara ulaşılmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi kırmızı dağılım kümeleri göstermekte, mavi çizim ise SPAM sinyali için seviyeleri göstermektedir. Kırmızı küme dağılımı gürültülü SPAM sinyalin integral sonucunu ifade etmektedir. Kümelerden bazıları bir üst veya bir alt eşik değeri sınırını geçerek alıcı tarafta farklı bilgi bitlerinin algılanmasına neden olmaktadır. Bu küme elemanları yeşil çember içerisine alınmıştır.

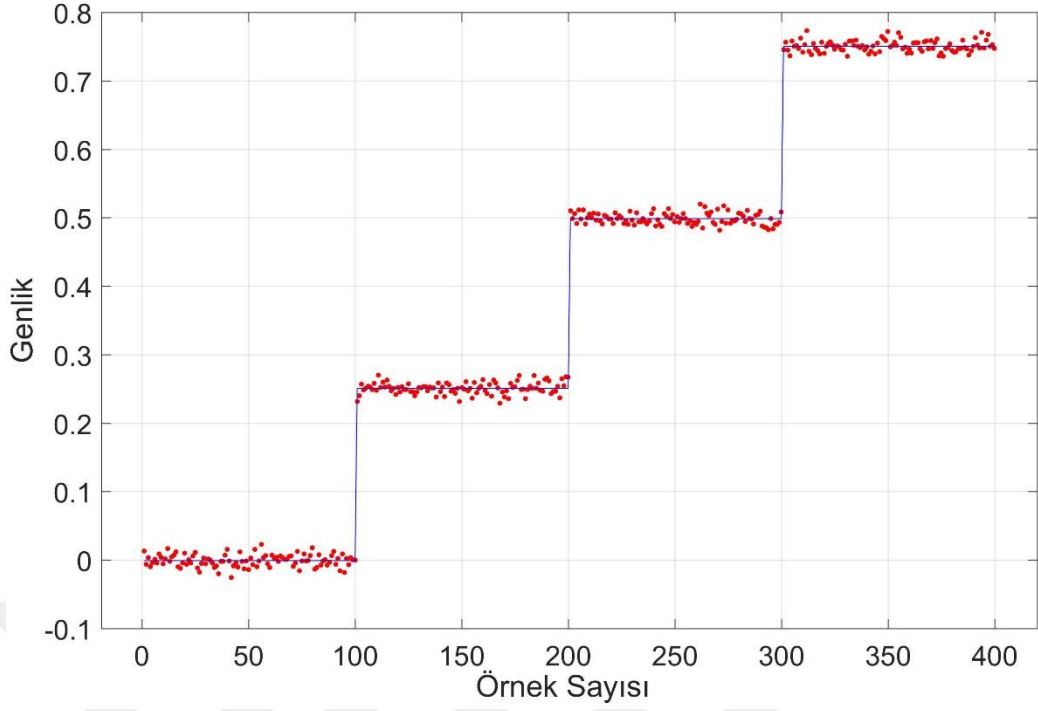
Şekil 5.5'te görüldüğü gibi gürültü seviyesi biraz daha düşürüldüğünde ve sinyal gürültü oranı 20dB seviyesine çıkarıldığında, küme elemanlarının eşik değerlerden uzaklaşarak SPAM iletim seviyelerine daha yakın olacak şekilde iletim seviyeleri etrafında değiştiği izlenmektedir. Bu durumda bit hata oranı ile ilgili iletim performansında artış olacağı görülmektedir. Şekiller 5.6 ve 5.7'de ise sinyal gürültü oranı sırasıyla 25dB ve 30dB seviyelerine çıkarılarak SPAM seviye sinyaline göre küme elemanlarının değişimi izlenmiştir.



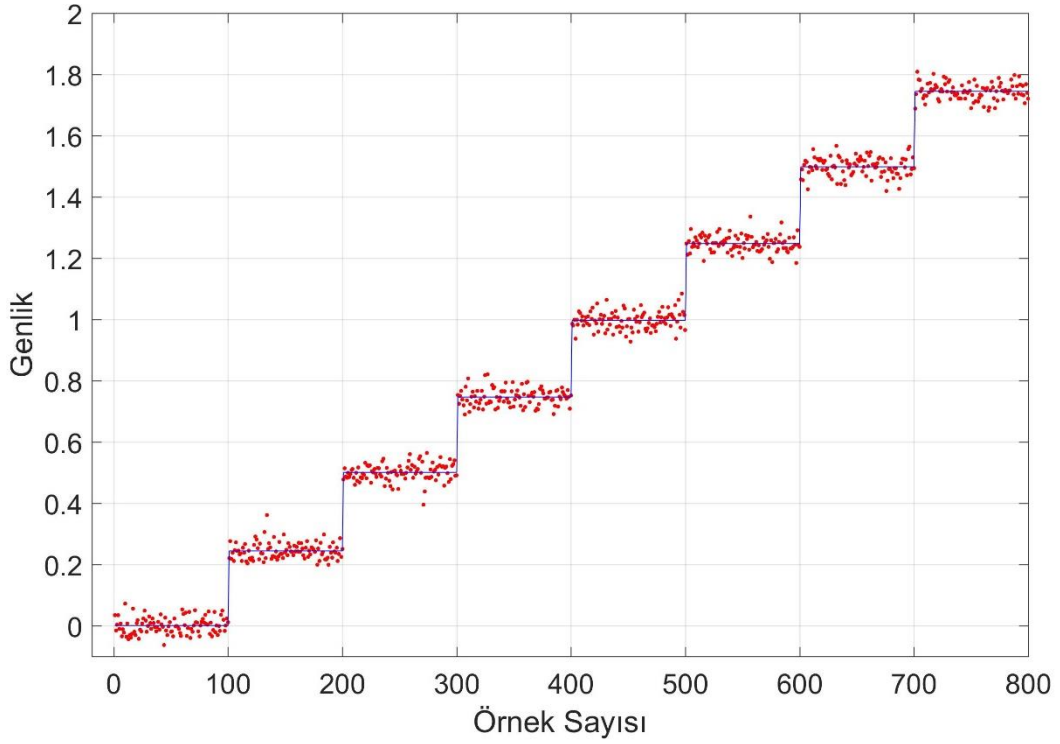
Şekil 5.5. 20dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi



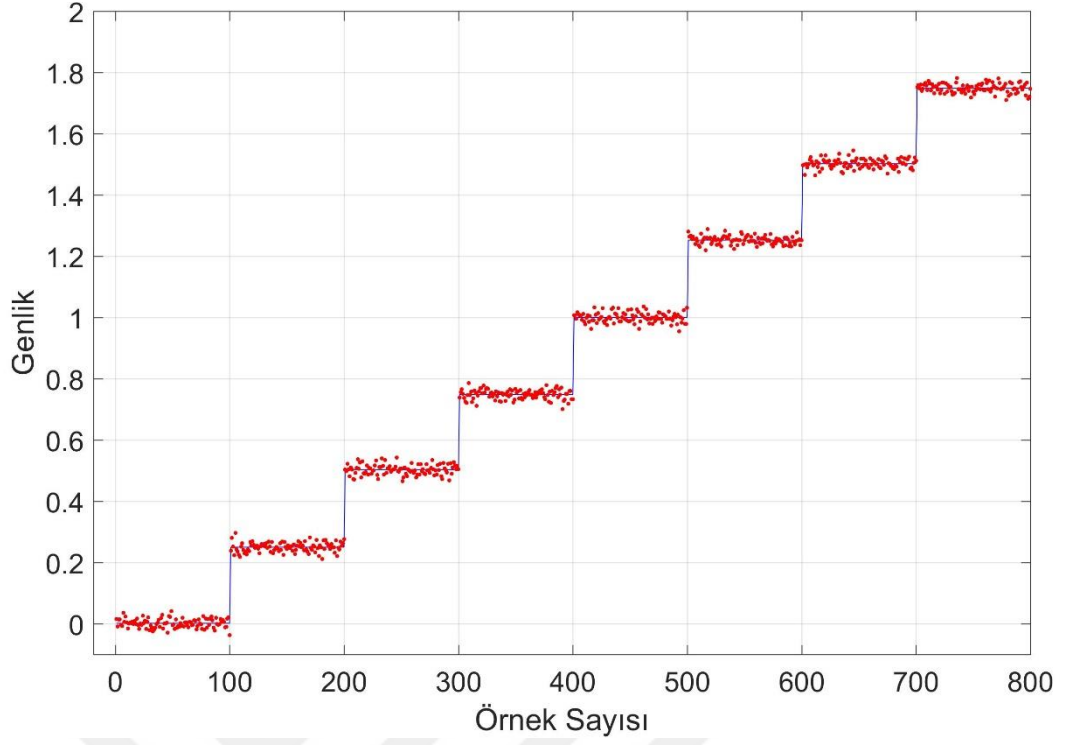
Şekil 5.6. 25dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi



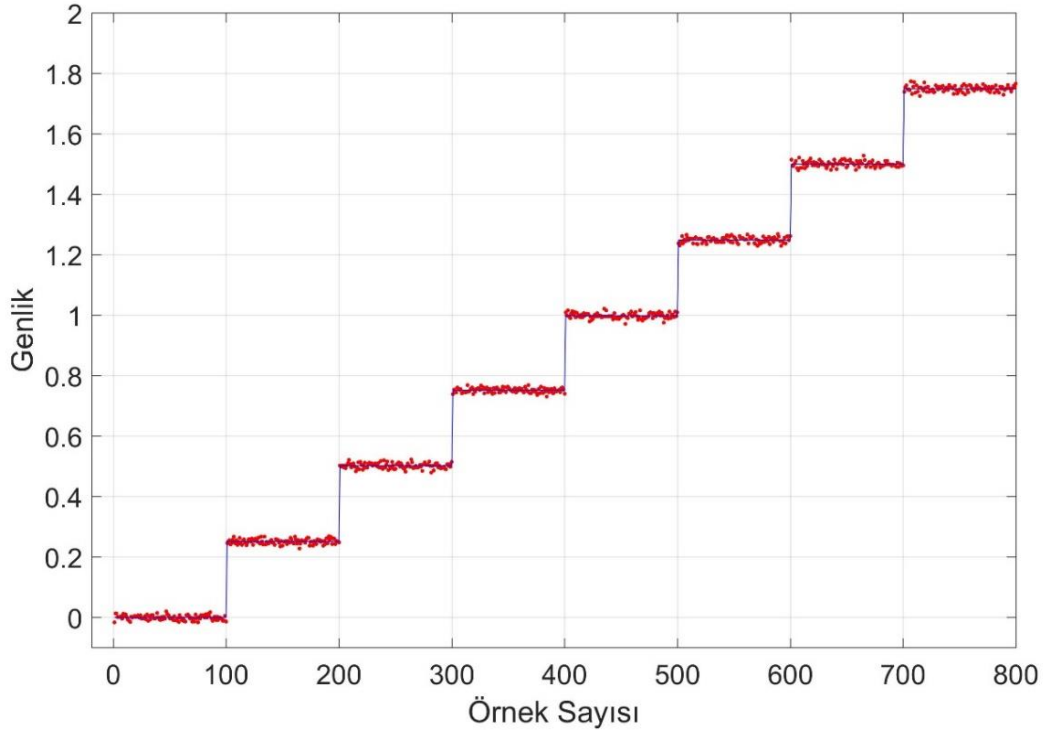
Şekil 5.7. 30dB SGO için iletilen gürültülü 4-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi



Şekil 5.8. 20dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi



Şekil 5.9. 25dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi

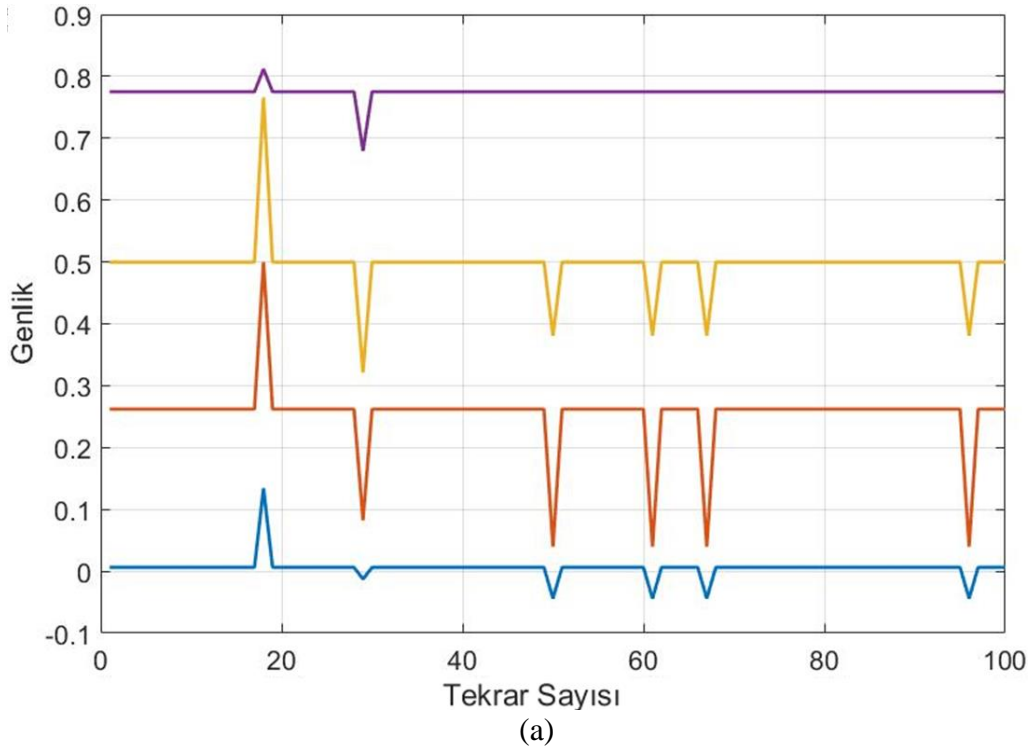


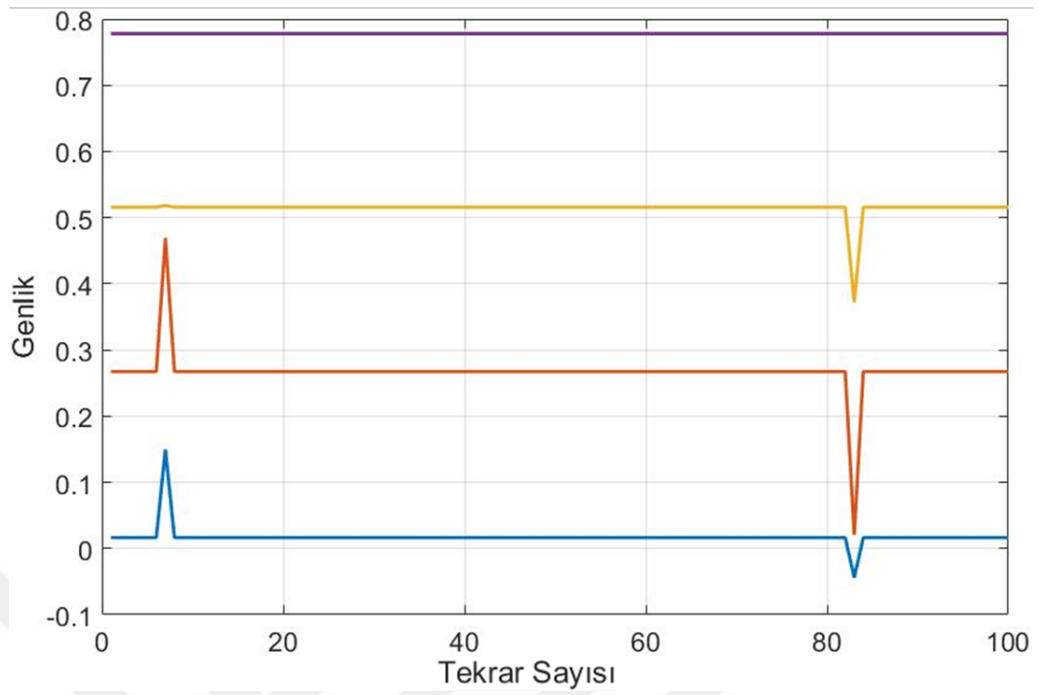
Şekil 5.10. 30dB SGO için iletilen gürültülü 8-SPAM sinyalin gürültüsüz sinyale göre değişimi

Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10; 8-SPAM sinyali için elde edilmiş küme elemanlarının modülasyonlu sinyalin değişimine göre sonuçlarını vermektedir. İlgili şekiller sırasıyla 20dB, 25dB ve 30dB işaret gürültü oranları için çizdirilmiştir. 4-SPAM modülasyon yönteminde olduğu gibi 8-SPAM iletim şemasında da işaret gürültü oranı arttıkça küme elemanlarının sinyal seviyelerine daha yakın bir şekilde değiştiği izlenmektedir. Benzer şekilde bu durum da 8-SPAM iletim şeması için bit hata oranı performansının bu işaret gürültü oranları için çok düşük olacağını göstermektedir.

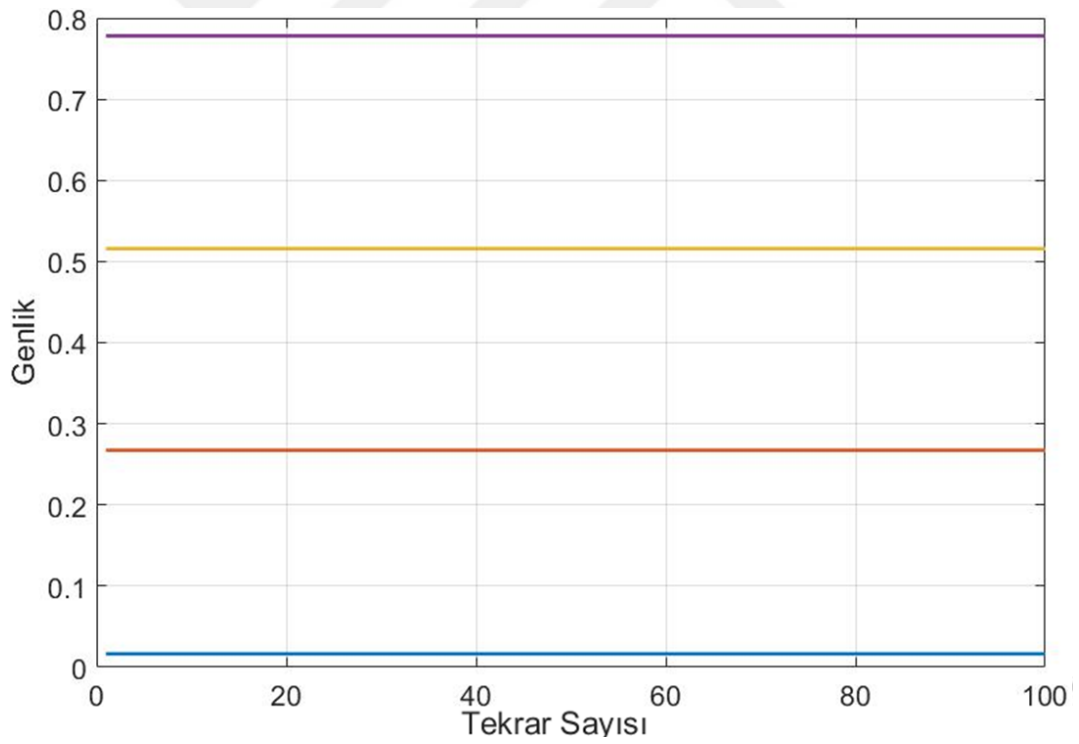
Şekil 5.11-Şekil 5.16 aralığında farklı eğitim seti uzunlukları için 4-SPAM iletim şeması için eşik değeri tahmin sonuçları verilmiştir. Şekillerde eşik değeri tahmini için K-ortalamlar ve önerilen yöntemler kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarında Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de eğitim seti 5, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te eğitim seti 20 son olarak Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da eğitim seti 200 adet örnekten oluşmaktadır. Bütün sonuçlar için işaret gürültü oranı 25dB olarak alınmıştır.

Şekil 5.11’de üç farklı eğitim seti için dört farklı sonuç alınmıştır. Şekil 5.11.a’da bir iterasyon kullanılarak K-ortalamlar yönteminin küme merkezleri hesaplanmıştır. Şekil 5.11.b’de ise iki iterasyon kullanılmış olup küme merkezlerindeki sapmanın düştüğü görülmüştür.

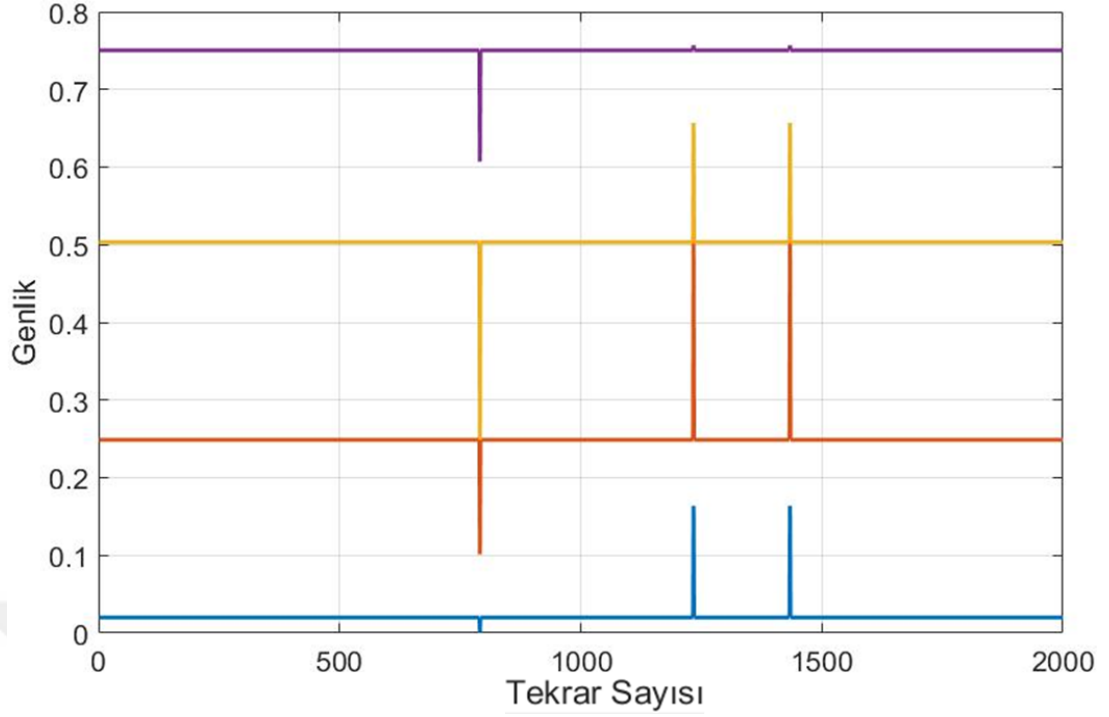




(b)

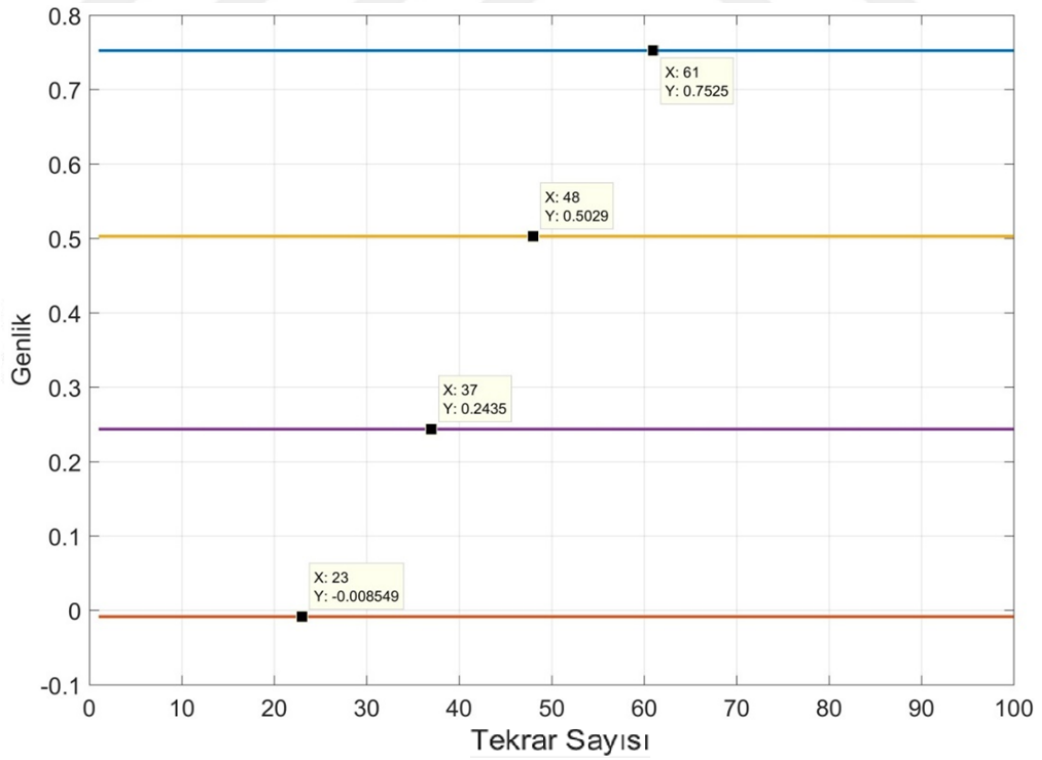


(c)

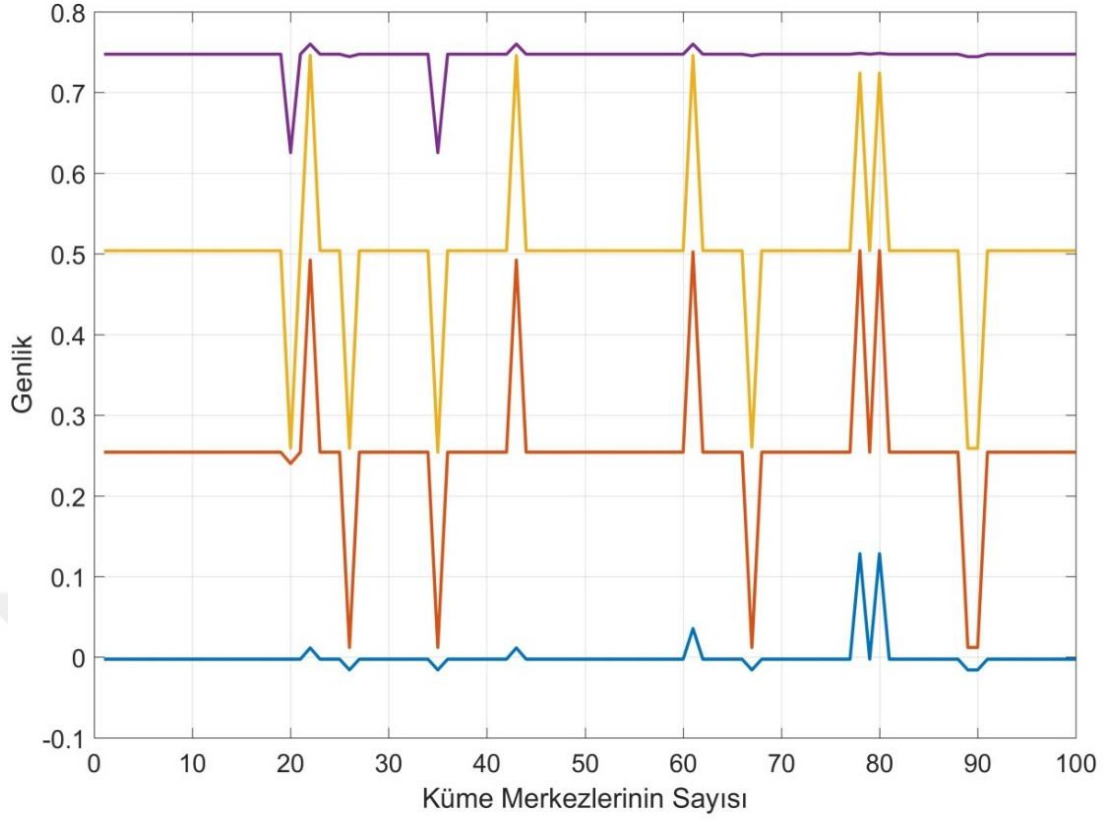


(d)

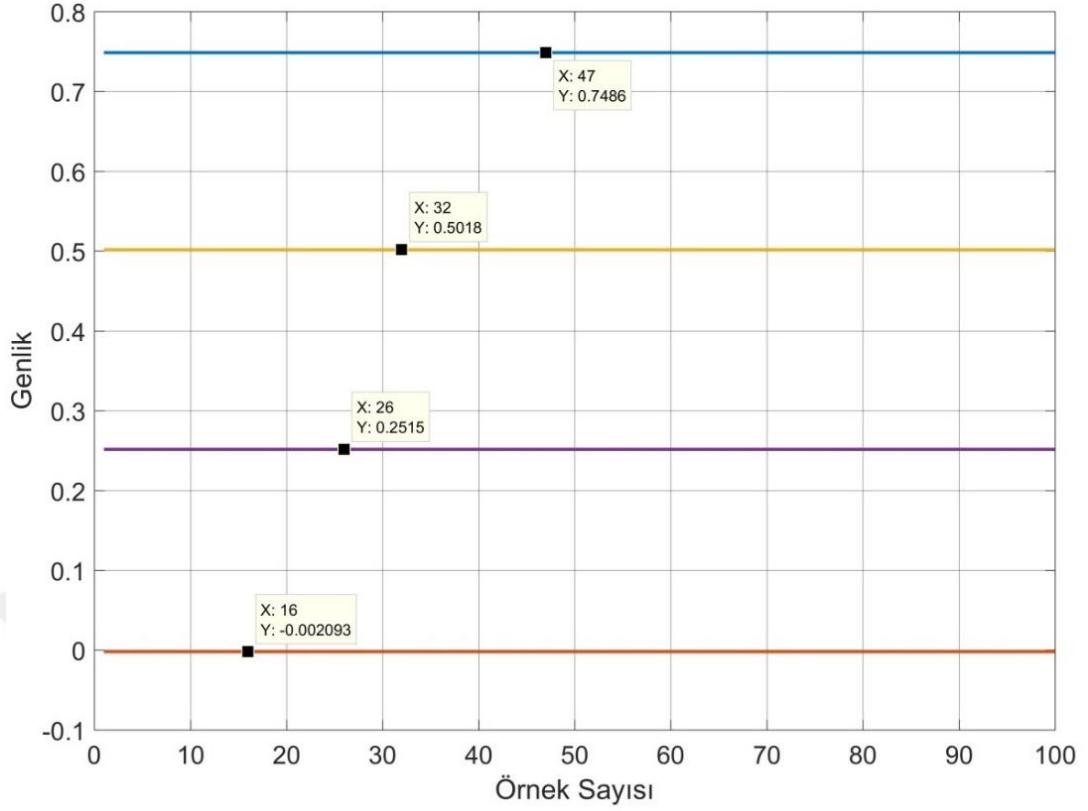
Şekil 5.11. 25dB SGO ve 5 adet eğitim seti için K-ortalamalar yöntemi kullanılarak 4-SPAM yöntemi için tahmin edilen iletim seviye değerleri (a) Bir iterasyon için alınan sonuçlar (b) iki iterasyon için alınan sonuçlar (c) Beş iterasyon için alınan sonuçlar (d) Beş iterasyon için 2000 döngü ile elde edilen sonuçlar



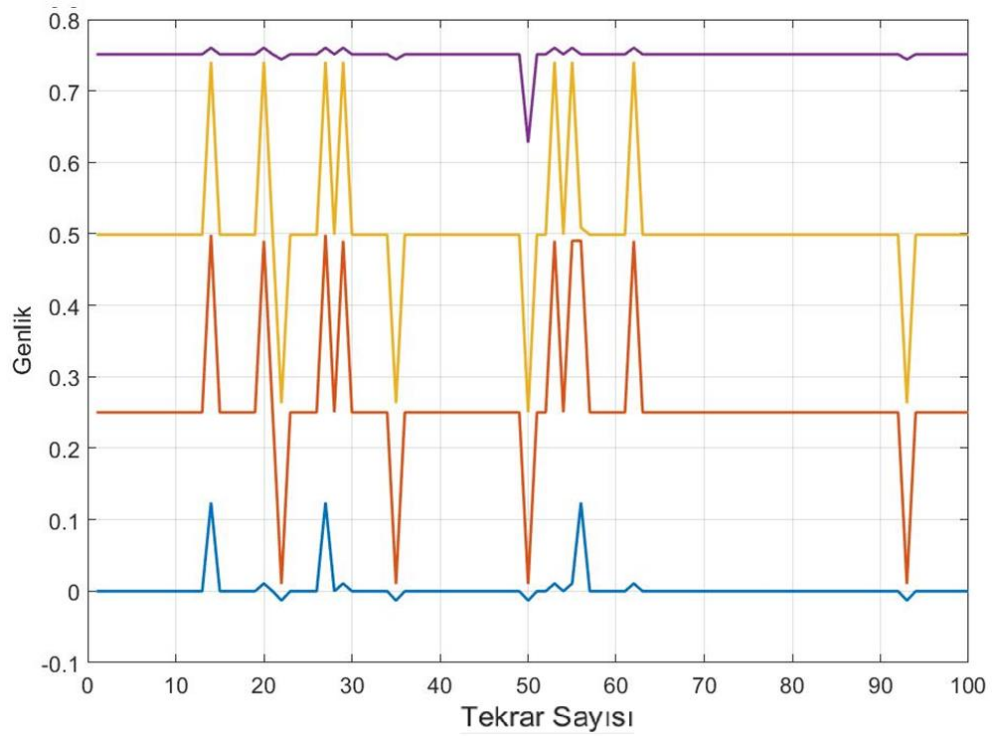
Şekil 5.12. 25dB SGO ve 5 adet eğitim seti için önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 4-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri



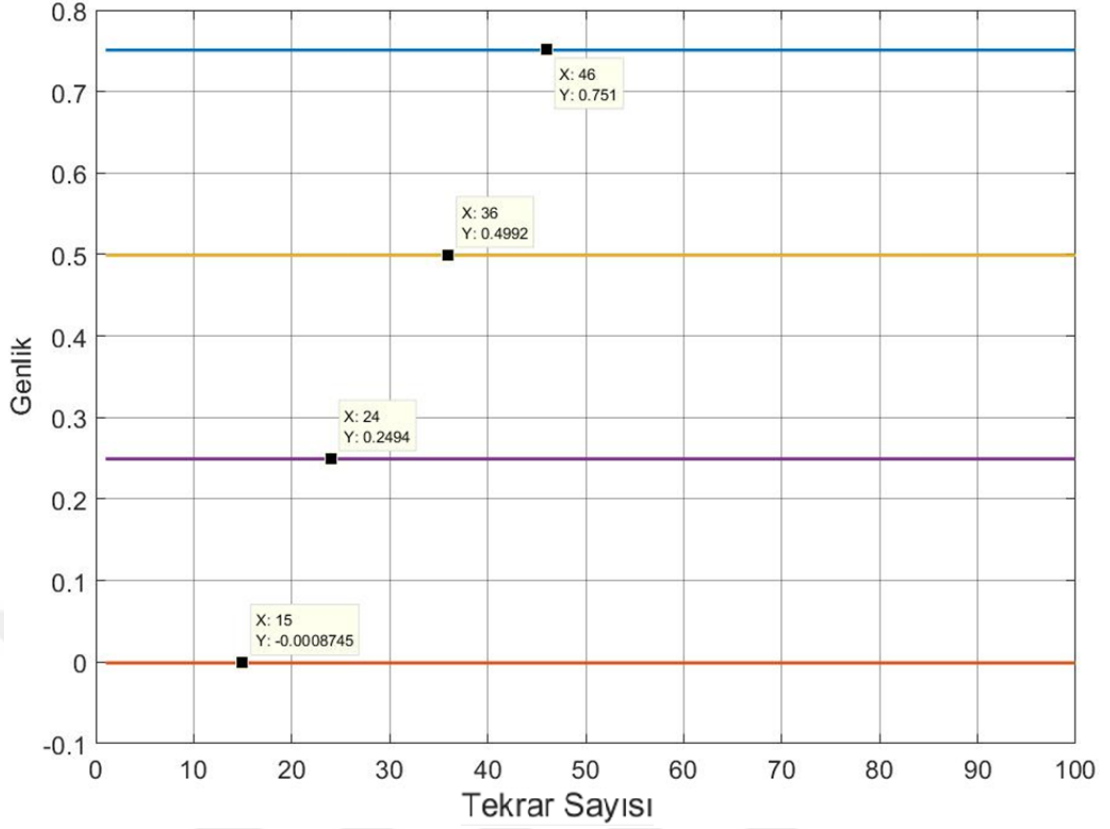
Şekil 5.13. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak 4-SPAM yöntemi için tahmin edilen iletim seviye değerleri



Şekil 5.14. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 4-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri



Şekil 5.15. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak 4-SPAM yöntemi için tahmin edilen iletim seviye değerleri



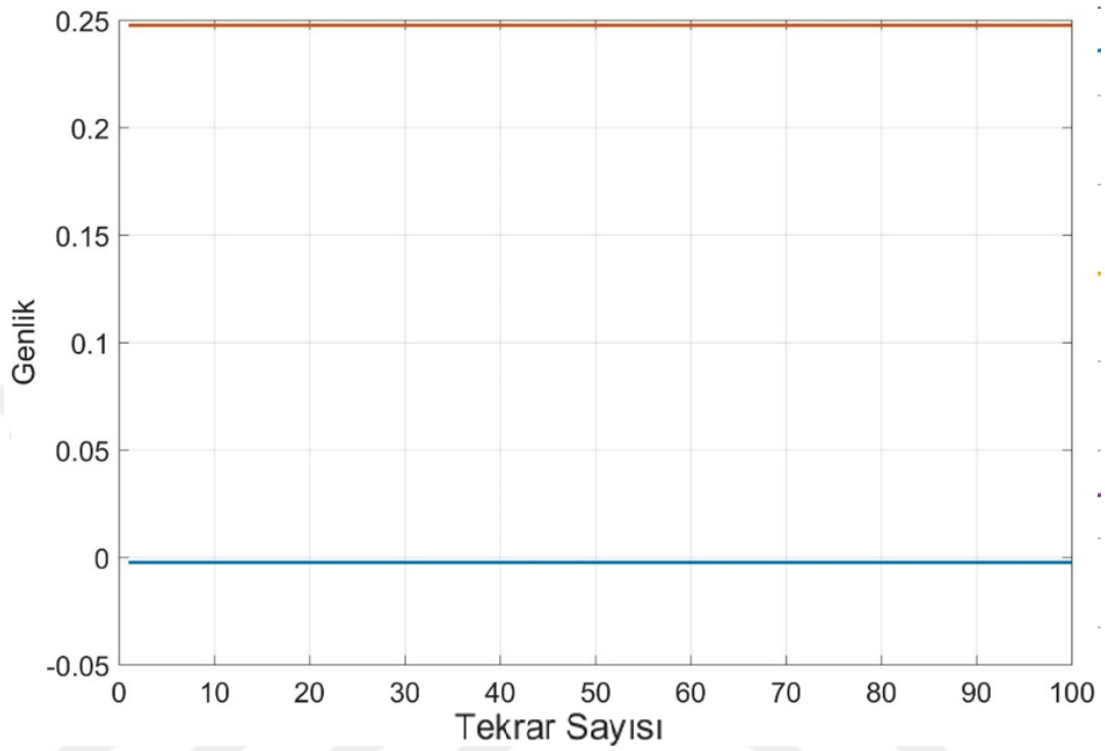
Şekil 5.16. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak tahmin edilen 4-SPAM şemasının iletim seviye değerleri

Şekil 5.11.c ve Şekil 5.11.d'de de ise beş iterasyon için küme merkezi hesaplaması yapılmış olup sapma olmadığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.11.d için küme merkezleri 2000 kez hesaplanmış olup, aynı veri dizisi için çok daha az sapma ile küme merkezleri hesaplanmıştır.

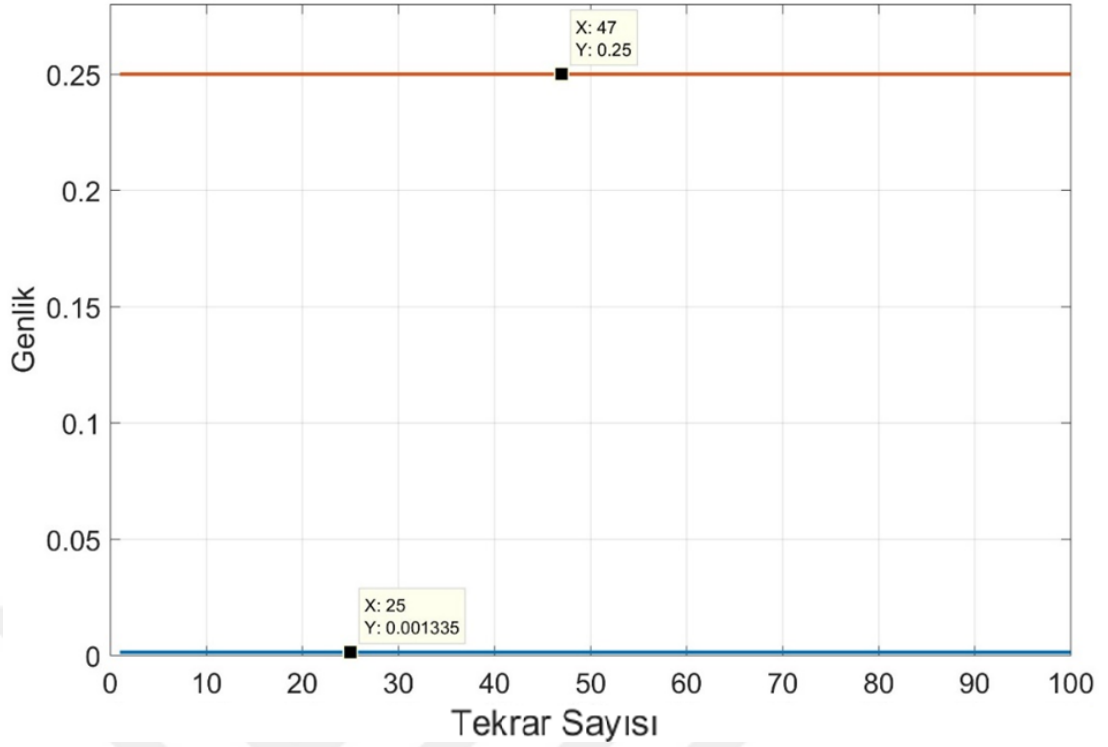
Şekillerde örnek sayısının k ortalama yöntemi için nihai küme merkezleri ve çok seviyeli tahmin yöntem için de 4-SPAM iletim şemasının seviye tahmini üzerindeki etkisi incelenmiştir. K-ortalamlar yönteminde elde edilen sıralı iki merkez ortalaması ile çok seviyeli tahmin yöntemdeki sıralı SPAM seviyeleri ortalaması algılanan eşik değerini vermektedir.

Şekil 5.11 ile Şekil 5.16 arasında elde edilen sonuçlar k ortalama algoritmasının çok seviyeli modülasyon yöntemlerinde eşik değeri tahmini için uygun olmadığını göstermektedir. Ancak ikili iletimlerde (OOK şeması) dolayısıyla iki seviyeli modülasyon yöntemleri için k ortalama algoritmasının kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bu nedenle Şekil 5.17 ve Şekil 5.18, OOK iletim şeması için K-

ortalamalar yöntemi için elde edilen sonuçları göstermektedir. Sonuçlardan görülmektedir ki 4-SPAM iletim şemasının aksine K-ortalamalar yöntemi herhangi bir sapma oluşturmadan sabit bir eşik değeri vermektedir. Şekil 5.17 ve Şekil 5.18; Şekil 5.11, Şekil 5.13 ve Şekil 5.15 ile karşılaştırılabilmektedir.



Şekil 5.17. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için K-ortalamalar yöntemi kullanılarak tahmin edilen OOK şemasının iletim seviye değerleri

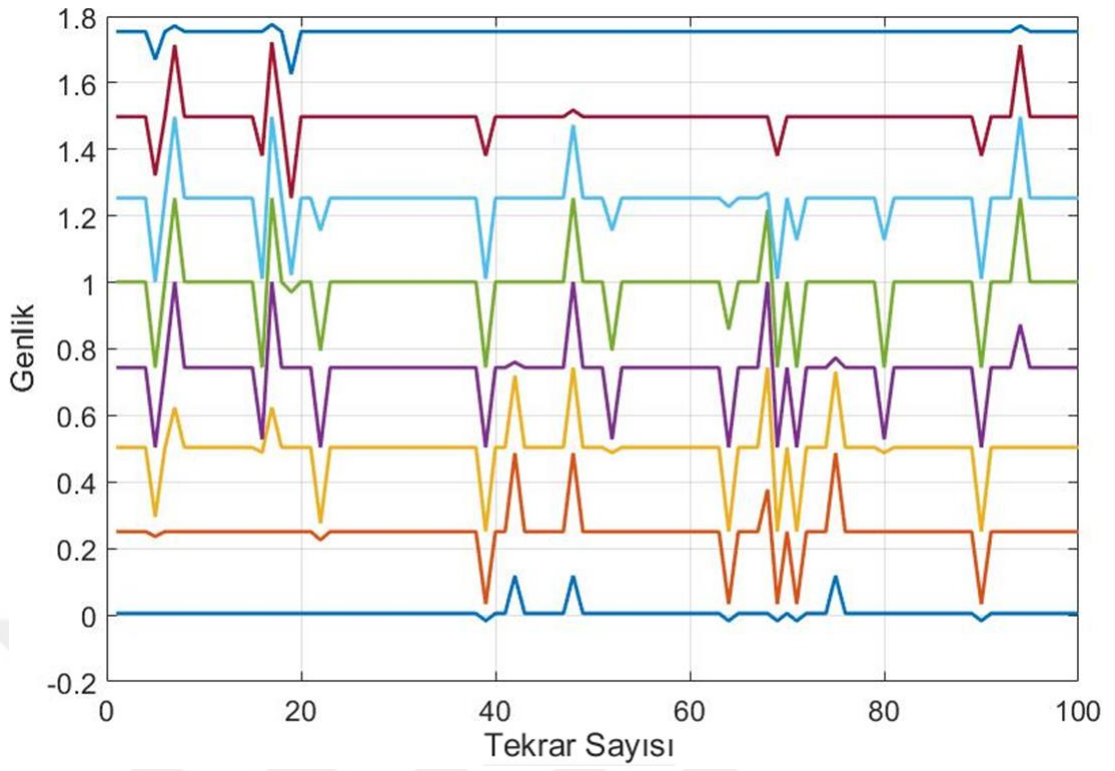


Şekil 5.18. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için K-ortalamlar yöntemi kullanılarak tahmin edilen OOK şemasının iletim seviye değerleri

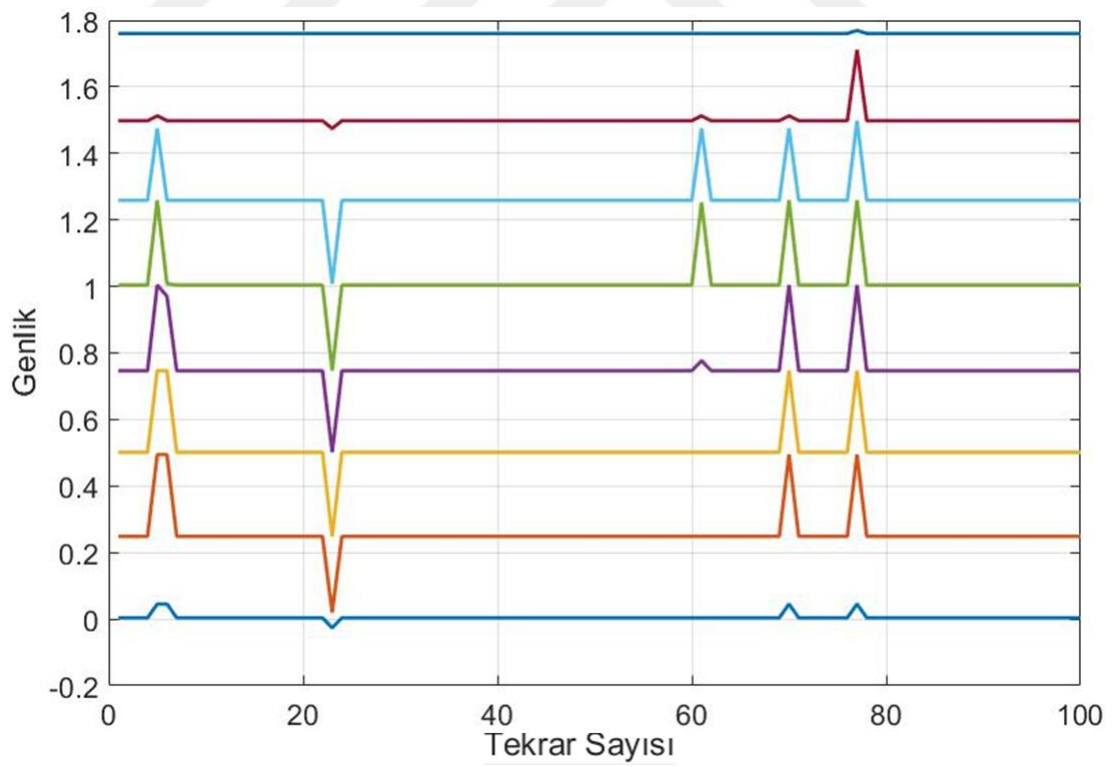
Şekil 5.11, Şekil 5.13 ve Şekil 5.15'ten k ortalama yönteminin yüksek seviyeli genlik şemaları için geleneksel olarak uygulanmasının uygun olmadığı görülmektedir. Benzer şekilde 8-SPAM iletim şeması için de geleneksel K-ortalamlar algoritmasının uygulanabilir olmadığı görülebilmektedir. K-ortalamlar algoritmasının nihai küme merkezlerini hesaplarken hesaplama işlemine küme elemanlarını rastgele seçmesi nedeniyle bu problem oluşmaktadır.

Ayrıca, OOK iletim şeması için K-ortalamlar yönteminde kullanılan eğitim setinin artırılması optimum eşik değerini yakalayabilmek için oldukça önemlidir. Bu durum Şekil 5.17 ile Şekil 5.18 arasındaki fark ile gözlemlenebilmektedir. Şekil 5.18'de 0.25 genlik seviyeli küme merkezinin başarılı bir şekilde algılanması ispat niteliğinde gösterilebilmektedir.

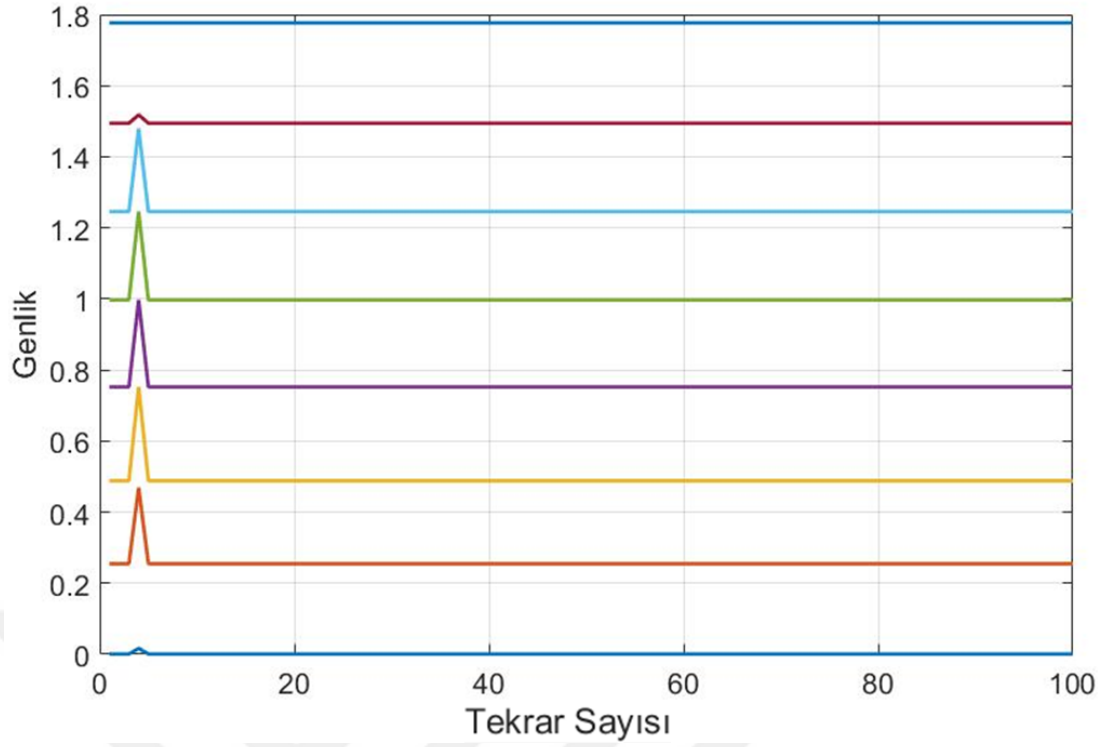
Şekil 5.19 ile Şekil 5.22 aralığında verilen şekiller önerilen ve K-ortalamlar yöntemlerini kullanan 8-SPAM alıcı şemaları için elde edilmiştir. Şekillerde 20 ve 200 adet eğitim seviyelerine karşılık, 25dB sinyal gürültü oranları kullanılmıştır.



(a)

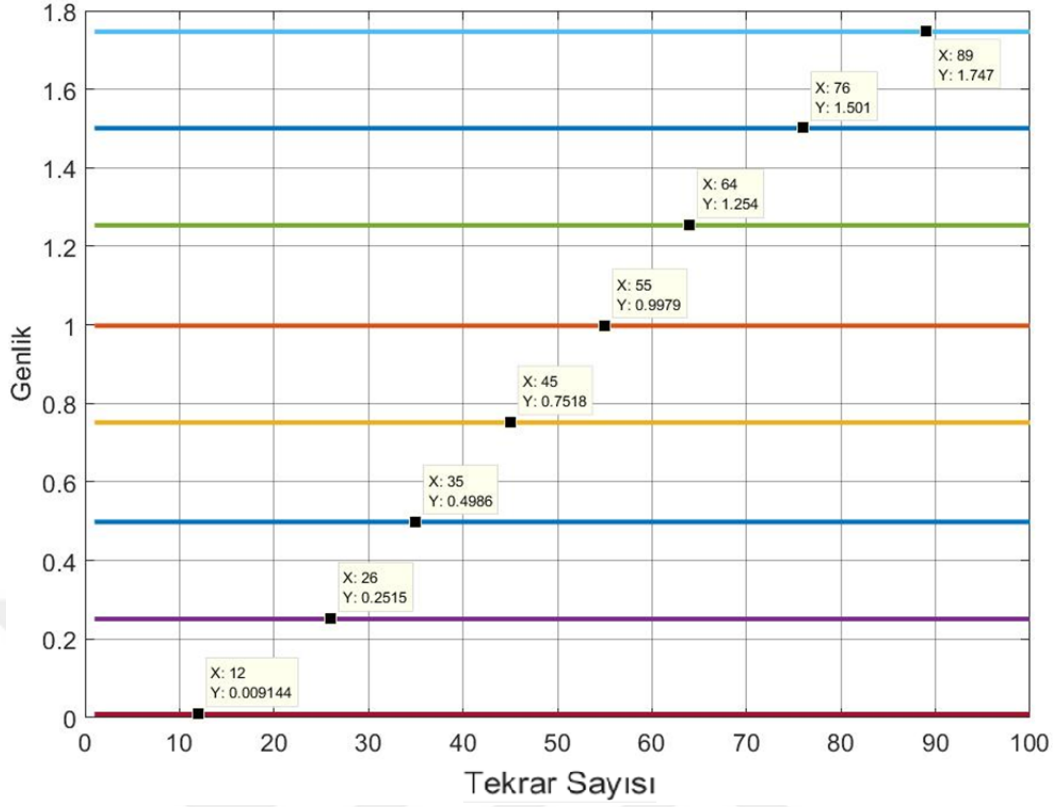


(b)

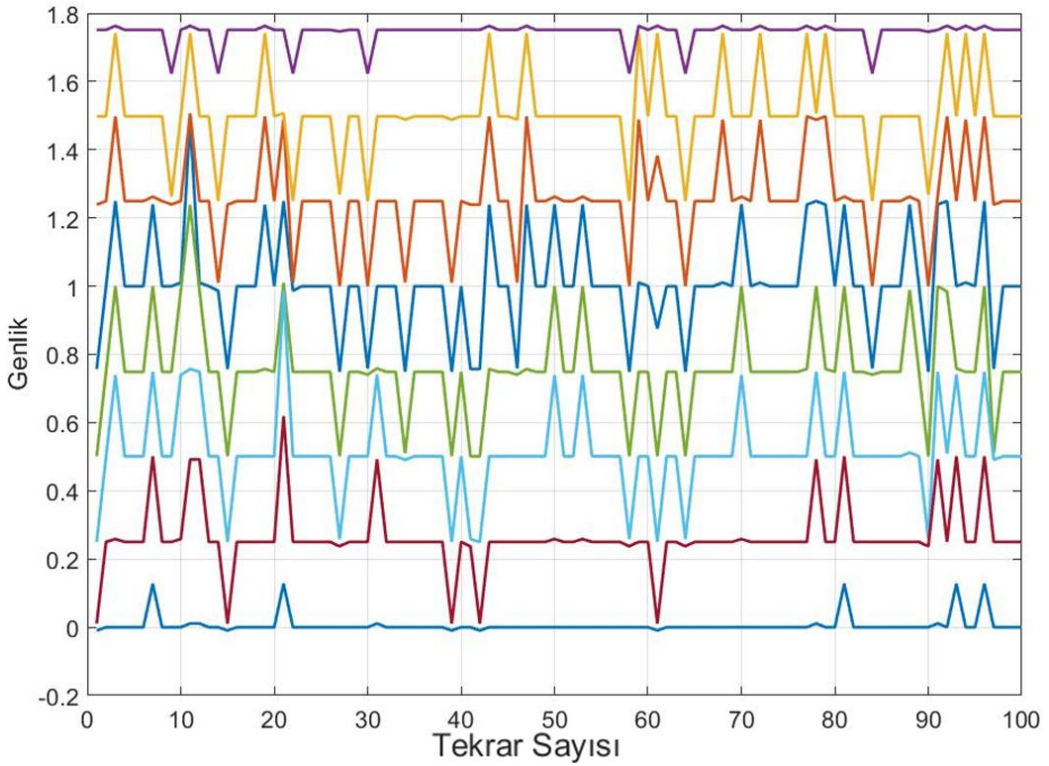


(c)

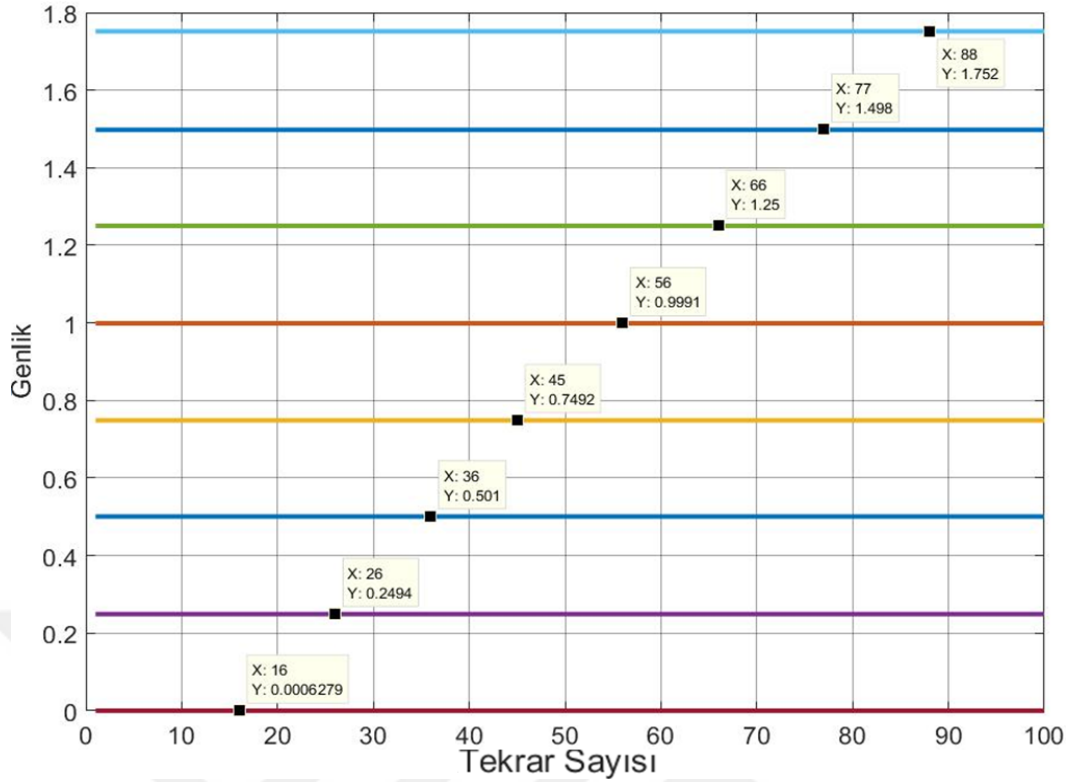
Şekil 5.19. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için K-ortalamalar yöntemi kullanılarak 8-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri (a) Bir iterasyon için hesaplanan değerler (b) Beş iterasyon için hesaplanan değerleri (c) On iterasyon için hesaplanan değerleri



Şekil 5.20. 25dB SGO ve 20 adet eğitim seti için çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 8-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri



Şekil 5.21. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için K-ortalama yöntemi kullanılarak 8-SPAM şeması için tahmin edilen iletim seviye değerleri



Şekil 5.22. 25dB SGO ve 200 adet eğitim seti için çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak elde edilen 8-SPAM şemasının iletim seviye değerleri

Şekil 5.19 ve Şekil 5.22 aralığında verilen şekillerde 8-SPAM iletim şeması için sonuçlar verilmektedir. Şekil 5.13 ile Şekil 5.19 ve Şekil 5.15 ile Şekil 5.21 kendi aralarında karşılaştırılabilir. Karşılaştırma sonucunda 4-SPAM iletim şeması ve 8-SPAM iletim şeması için K-ortalamlar yönteminin kullanılması durumunda seviye sayısının artmasının doğru küme merkezlerinin hesaplanması olasılığını düşürdüğü gözlemlenmektedir. Bunun en doğru kanıtı 4-SPAM iletim şemasındaki sapmaların 8-SPAM iletim şemasındaki sapmalara göre daha az olması ile gösterilebilmektedir. Bu nedenle Bit hata oranı performansı açısından 8-SPAM iletim yönteminin 4-SPAM iletim yöntemine göre daha düşük bir performans vermesi beklenmektedir.

Çok seviyeli tahmin yöntemi ile arasında yapılacak bir karşılaştırmada fark olmadığı görülecektir. Bu nedenle önerilen sistemin, K-ortalamlar yöntemine göre seviye sayısının artması durumunda daha etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.19'da farklı iterasyon sayıları için küme merkezleri hesaplanmış olup, iterasyon sayısı arttığında küme merkezlerinin daha doğru bir şekilde hesaplandığı görülmektedir.

Şekil 5.23 ile Şekil 5.33 aralığında verilen şekillerde hem 4-SPAM hem de 8-SPAM iletim yöntemleri için bit hata oranlarının eğitim seti sayısı ve sinyal gürültü oranları referans alınarak değişimi verilmektedir.

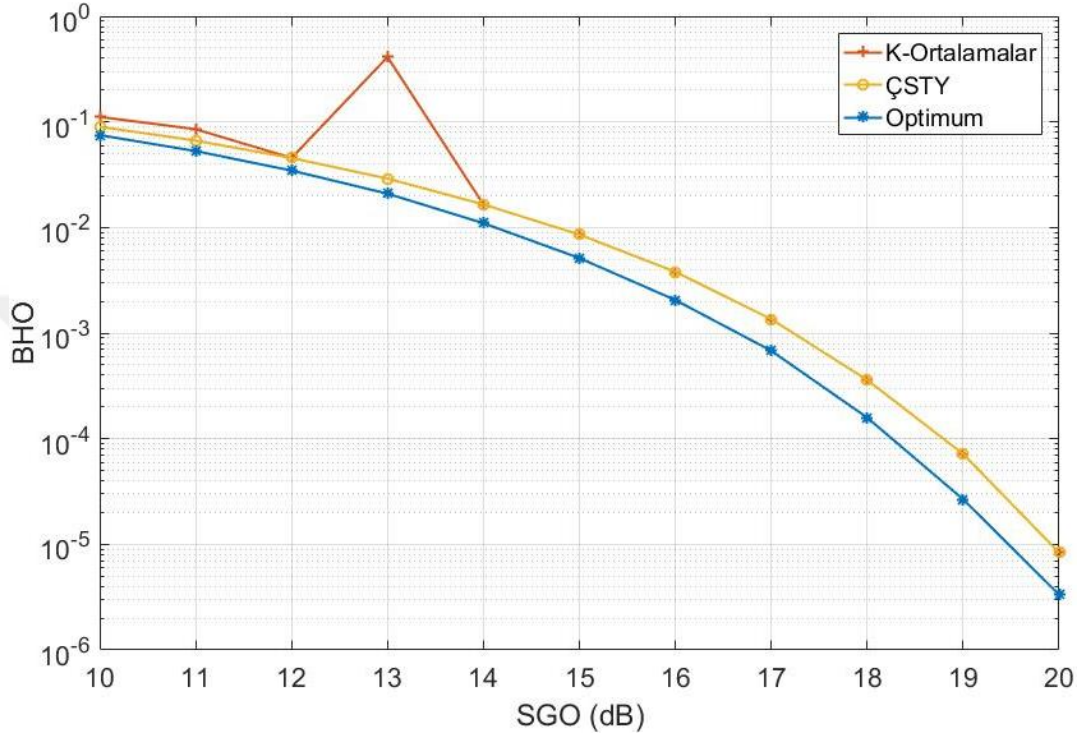
Şekil 5.23 ile Şekil 5.27 aralığında verilen bit hata oranı performansları 4-SPAM iletim şeması için elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları eğitim seti sayıları 5, 10, 15, 20 ve 50 seçilerek elde edilmiştir. Şekil 5.11, Şekil 5.13 ve Şekil 5.15'te verilen sonuçlarda K-ortalamlar yöntemindeki küme merkezlerinin yanlış hesaplanması durumlarında bit hata oranı performanslarında sapmalar meydana gelmektedir. Ancak küme merkezlerinin doğru seçilmesi durumunda önerilen ve K-ortalamlar yöntemlerinin bit hata oranı performanslarının Şekil 5.23 ile Şekil 5.27 aralığında verilen sonuçlarda benzer olduğu görülmektedir. Şekillerde turuncu çizim ile verilen sonuçlar çok seviyeli tahmin yöntemi için elde edilmişken kırmızı çizim K-ortalamlar yöntemi için elde edilen simülasyon sonuçlarını vermektedir. Mavi çizgi ile verilen çizim de optimum merkez veya eşik değerlerinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçları vermektedir. Mavi çizim ile verilen sonuçlarda eşik değerleri 0.125, 0.375 ve 0.625 olarak kullanılmıştır.

Şekil 5.23'te eğitim seti sayısı hem K-ortalamlar hem de önerilen yöntem için 5 olarak seçilmiştir. Eğitim seti sayısının düşük olması hesaplanan eşik değerlerinin doğruluk oranının düşük olmasına neden olmaktadır.

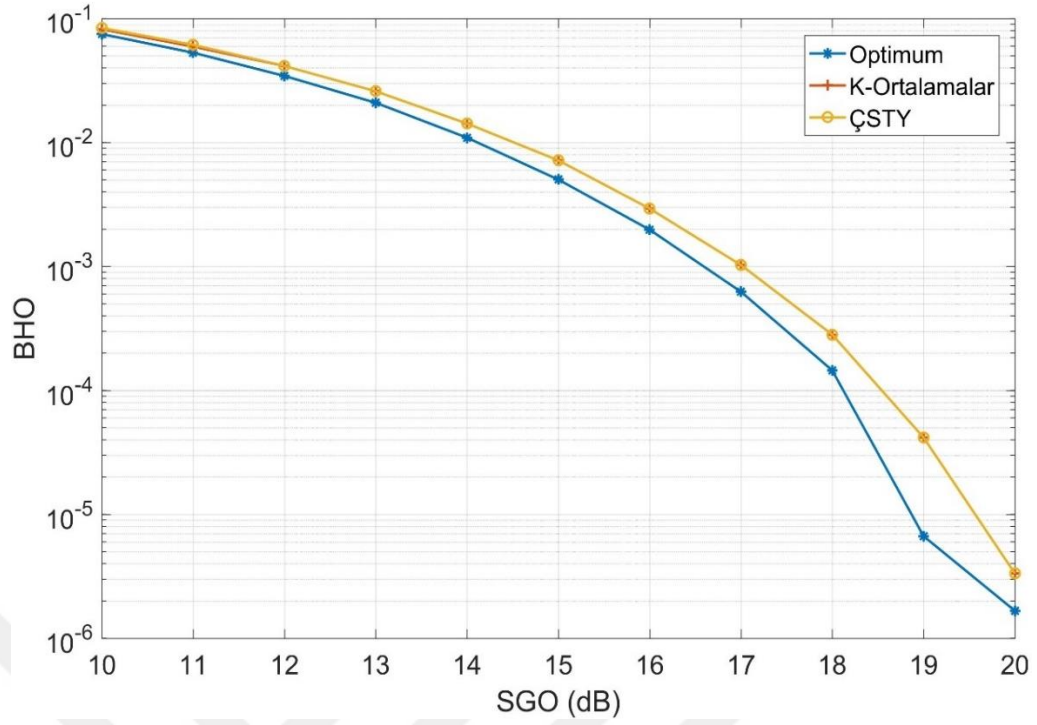
Hesaplanan eşik değerlerinin doğruluk oranları ile ilgili bir karşılaştırma, çok seviyeli tahmin yöntemi ve K-ortalamlar yönteminin bit hata oranı performanslarının optimum sisteme olan yakınlığı ile gerçekleştirilebilir. Şekil 5.23-Şekil 5.27 aralığında en kötü bit hata oranı performansı 5 adet eğitim seti kullanılarak hesaplanan eşik değerlerinin kullanılması ile elde edilmiştir. Bunun nedeni ise gürültünün yeterli derecede etkisiz olamamasından dolayıdır. Kullanılan örnek sayısındaki artış gürültü etkisini azaltacaktır.

Bu nedenle Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'de önerilen yöntem ile optimum sistemin bit hata oranı performansları bazı işaret gürültü oranı değerlerinde eşit olarak elde edilmiştir. Ayrıca daha önce de ifade edildiği gibi K-ortalamlar yöntemi seviye hesaplamalarını yüksek hata ile de hesaplamaktadır. Bunun örneklerinden birisi Şekil 5.23.a'da 13dB'lik sinyal gürültü oranında görülmektedir. Şekilden

görüldüğü gibi bit hata oranı anlamsız bir şekilde düşmüştür. Bu anlamsız sapma, K-ortalamlar yönteminin bazı seviyeleri hatalı hesapladığını göstermektedir. Ancak Şekil 5.23.b’de ise merkez noktaları k-ortalamlar yöntemi ile doğru hesaplandığından bit hata oranı performansı önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi ile benzerlik göstermektedir.

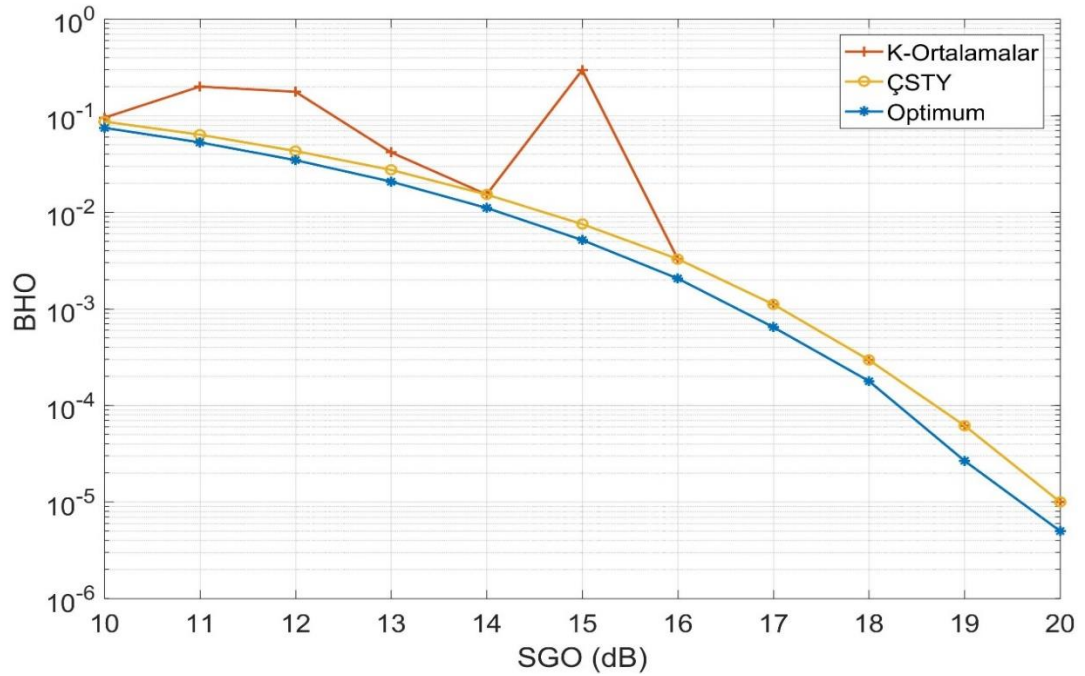


(a)

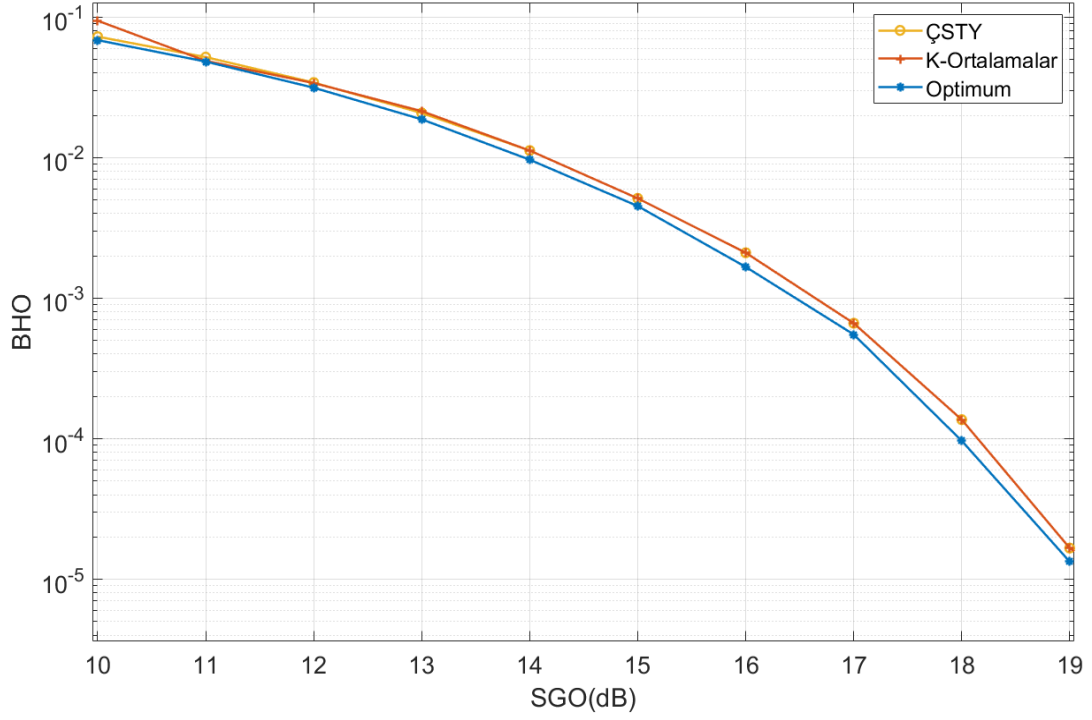


(b)

Şekil 5.23. 5 eğitim seti için K-ortalamlar ve çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı a) K-ortalamlar yöntemi ile küme merkezlerinin hatalı hesaplanması ile elde edilen sonuçlar b) Doğru hesaplanan küme merkezleri ile elde edilen sonuçlar



(a)



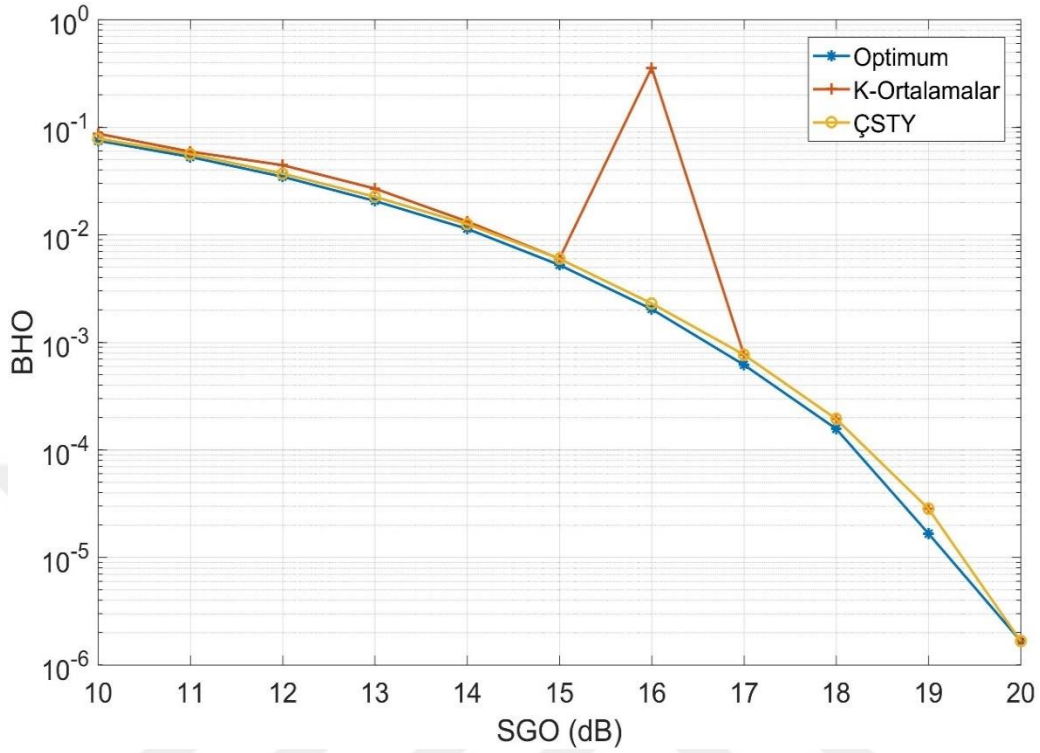
(b)

Şekil 5.24. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve önerilen yöntem kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı. a) K-ortalamlar yöntemi ile küme merkezlerinin hatalı hesaplanması ile elde edilen sonuçlar b) Doğru hesaplanan küme merkezleri ile elde edilen sonuçlar

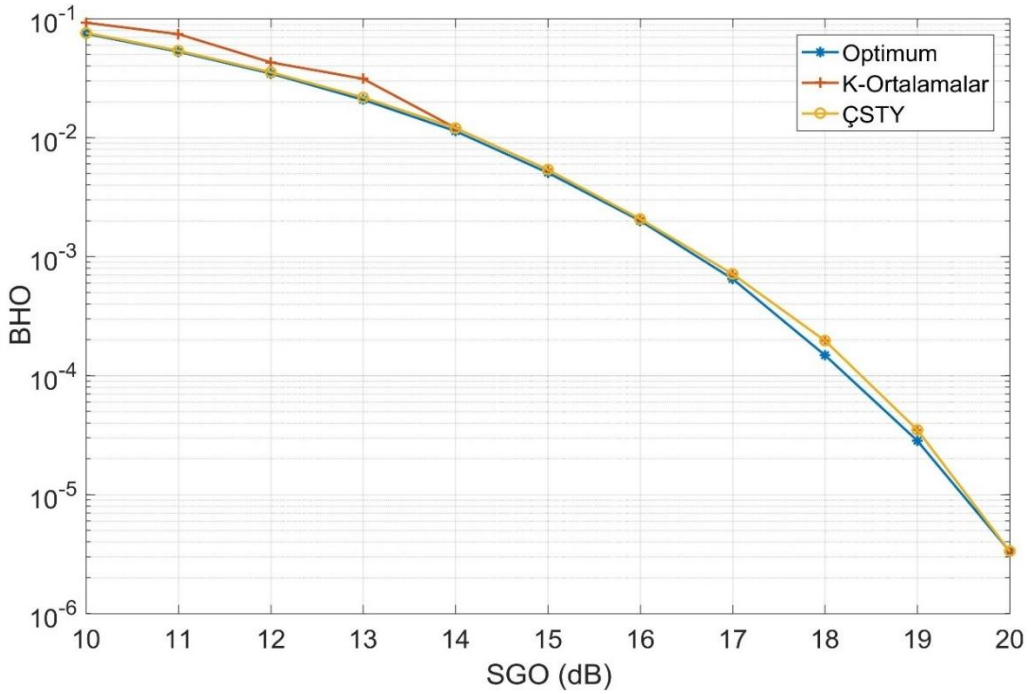
Şekil 5.23'te olduğu gibi Şekil 5.24'te de bit hata oranının anlamsız bir şekilde saptığı görülmektedir. Şekil 5.24.a'da 11dB, 12dB ve özellikle 15dB değerlerinde K-ortalamlar yöntemi küme merkezlerini hatalı hesapladığı için bit hata oranı performansı olumsuz bir şekilde etkilenmiştir. Ancak küme merkezlerinin doğru hesaplandığı Şekil 5.24.b'de ise önerilen ve k-ortalamlar yöntemi benzer performanslar vermiştir.

Şekil 5.24'te eğitim setinde 10 adet veri kullanılmış olup, önerilen yöntem için Şekil 5.23'te elde edilen hata oranına benzer bir hata oranı elde edilmektedir. Ayrıca K-ortalamlar yöntemi ile karşılaştırıldığında önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi, küme merkezlerinin doğru hesaplandığı işaret gürültü oranlarında K-ortalamlar yöntemi ile neredeyse aynı hata oranını vermektedir. Şekil 5.25'te ise 15 adet eğitim verisi kullanılarak elde edilen sonuçlar görülmektedir. Şekilden elde edilen verilere göre 16dB sinyal gürültü oranında K-ortalamlar yöntemi küme merkezlerini doğru olarak hesaplayamamıştır. Ancak eğitim seti sayısı arttığı için önerilen yöntem ile

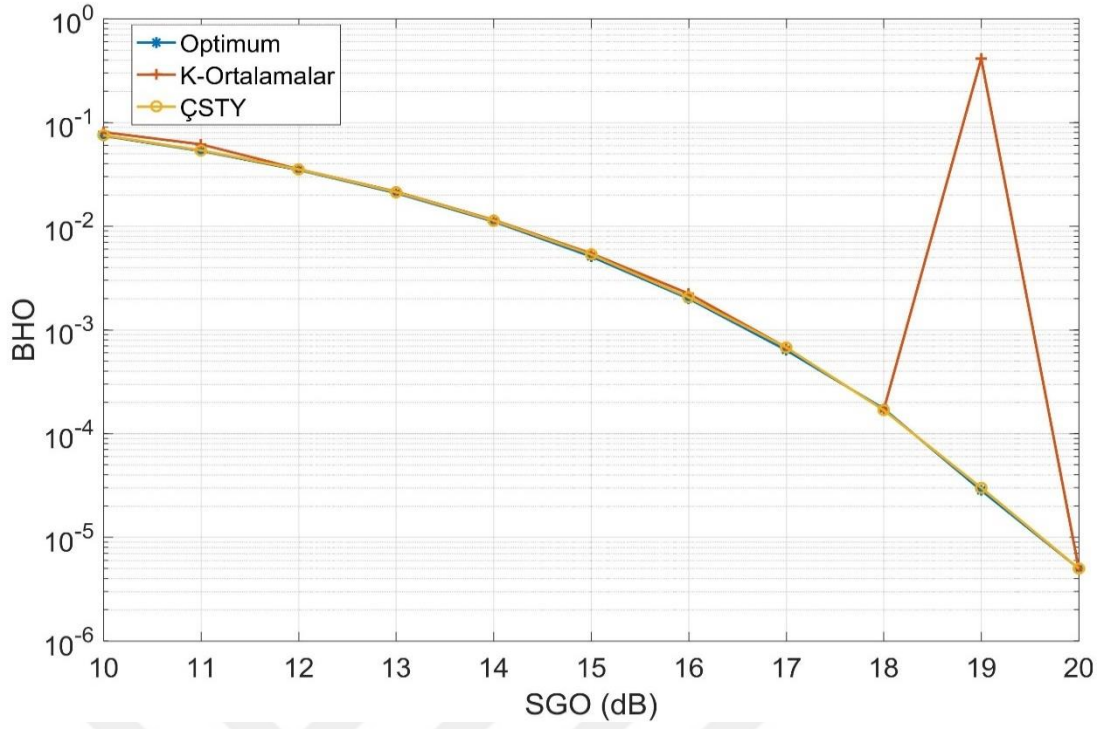
doğru küme merkezli K-ortalamlar yöntemi optimum sisteme daha yakın sonuçlar vermiştir.



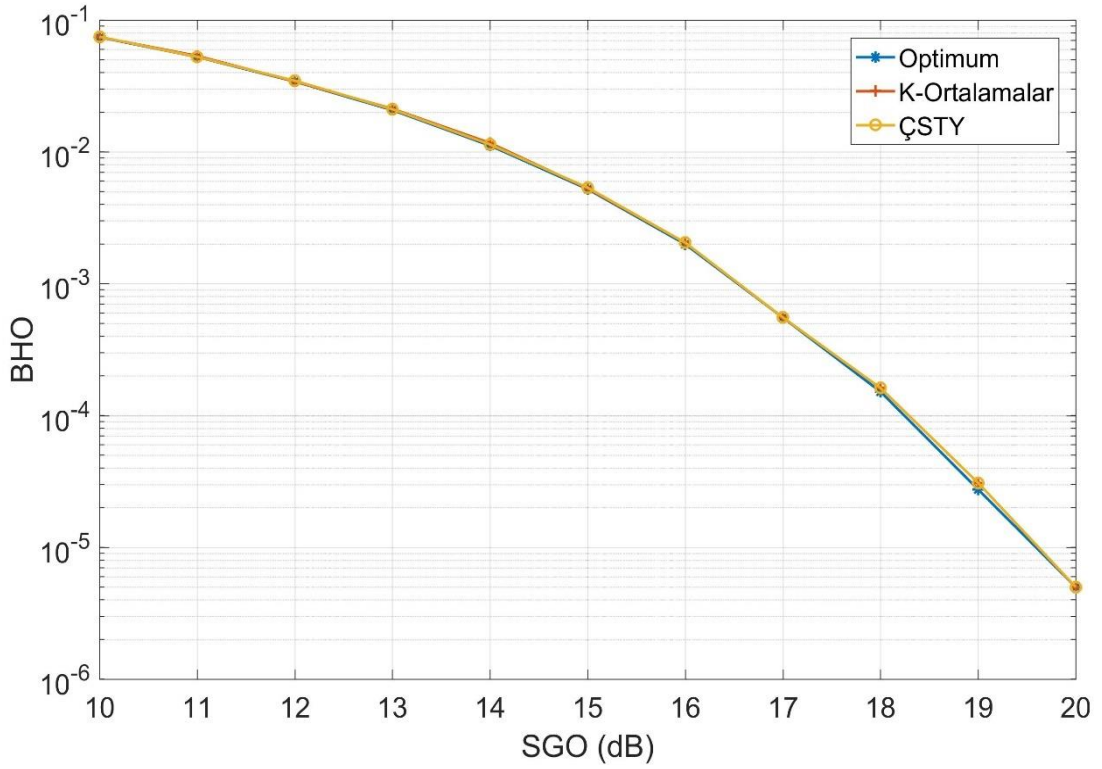
Şekil 5.25. 15 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve STY yöntemi kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı



Şekil 5.26. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve önerilen yöntem kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı



(a)

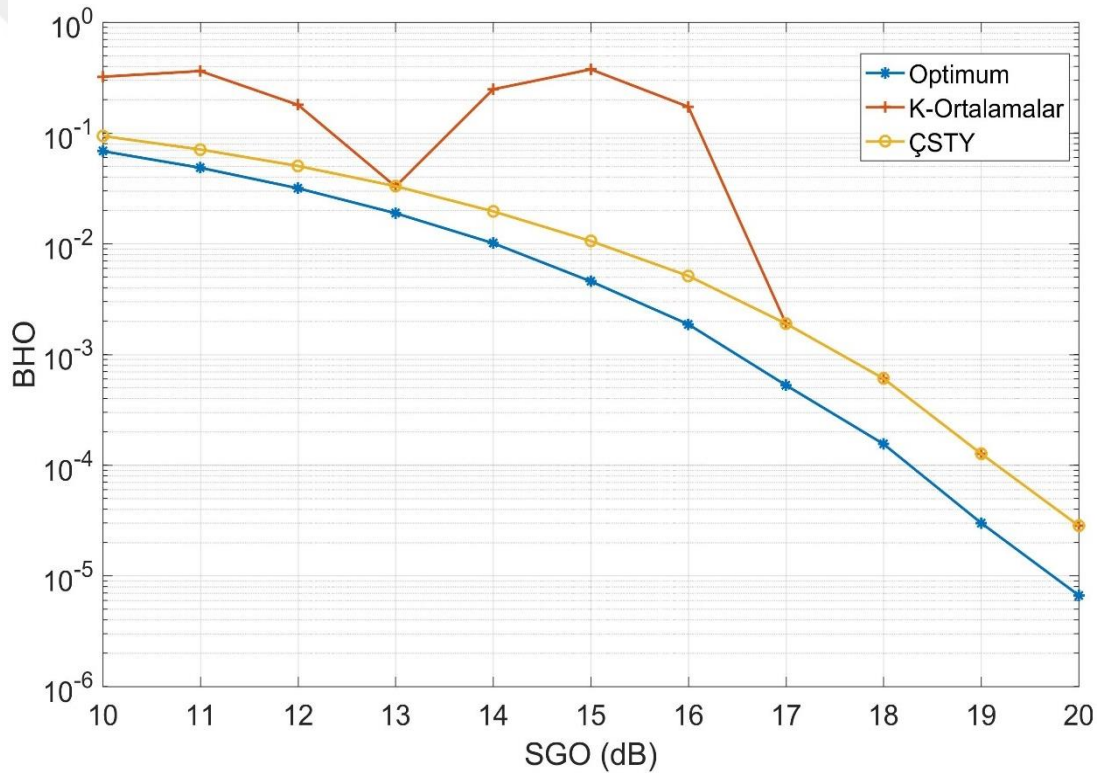


(b)

Şekil 5.27. 50 adet eğitim seti için a)K-ortalamlar ve b) önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 4-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı

Şekil 5.26 ve Şekil 5.27 ise sırasıyla 20 ve 50 adet eğitim seti kullanılarak elde edilmiş sonuçlardır. 50 adet eğitim seti kullanılarak elde edilen sonuçlarda (Şekil 5.27.a'da) 19dB işaret gürültü oranında K-ortalamlar yöntemi küme merkezlerini doğru bir şekilde hesaplayamamıştır. Bu nedenle hata oranı performansında bir sapma oluşmuştur. Ancak Şekil 5.27.b'de küme merkezleri doğru hesaplandığından ve eğitim seti sayısı diğer sonuçların alınmasında kullanılan eğitim seti sayısından daha fazla olduğundan K-ortalamlar ve çok seviyeli tahmin yöntemi optimum sisteme daha yakın sonuçlar vermiştir.

Şekil 5.28 ile Şekil 5.37 aralığında elde edilen sonuçlar da 8-SPAM için elde edilmiş sonuçları göstermektedir.



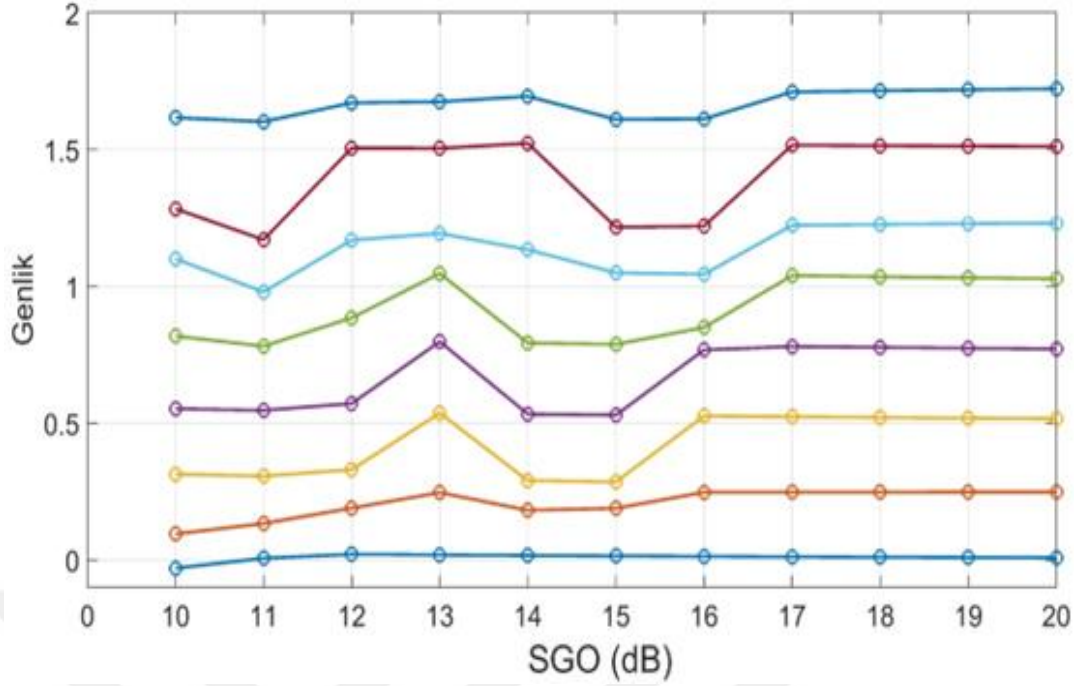
Şekil 5.28. 5 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı

Çizelge 5.1. 5 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin

10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
-										
0.0296	0.0065	0.0213	0.0190	0.0169	0.0151	0.0134	0.0120	0.0107	0.0095	0.0085
0.0954	0.1335	0.1898	0.2464	0.1818	0.1892	0.2474	0.2477	0.2480	0.2482	0.2484
0.3136	0.3066	0.3302	0.5372	0.2901	0.2857	0.5264	0.5235	0.5209	0.5187	0.5166
0.5526	0.5469	0.5718	0.7982	0.5332	0.5296	0.7677	0.7804	0.7771	0.7741	0.7715
0.8180	0.7814	0.8849	1.0473	0.7929	0.7882	0.8498	1.0394	1.0351	1.0313	1.0279
1.1005	0.9800	1.1690	1.1937	1.1340	1.0496	1.0442	1.2233	1.2262	1.2288	1.2311
1.2832	1.1706	1.5053	1.5048	1.5229	1.2164	1.2201	1.5162	1.5145	1.5129	1.5115
1.6167	1.6021	1.6708	1.6749	1.6947	1.6106	1.6121	1.7108	1.7151	1.7189	1.7223

Çizelge 5.2. 2 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)

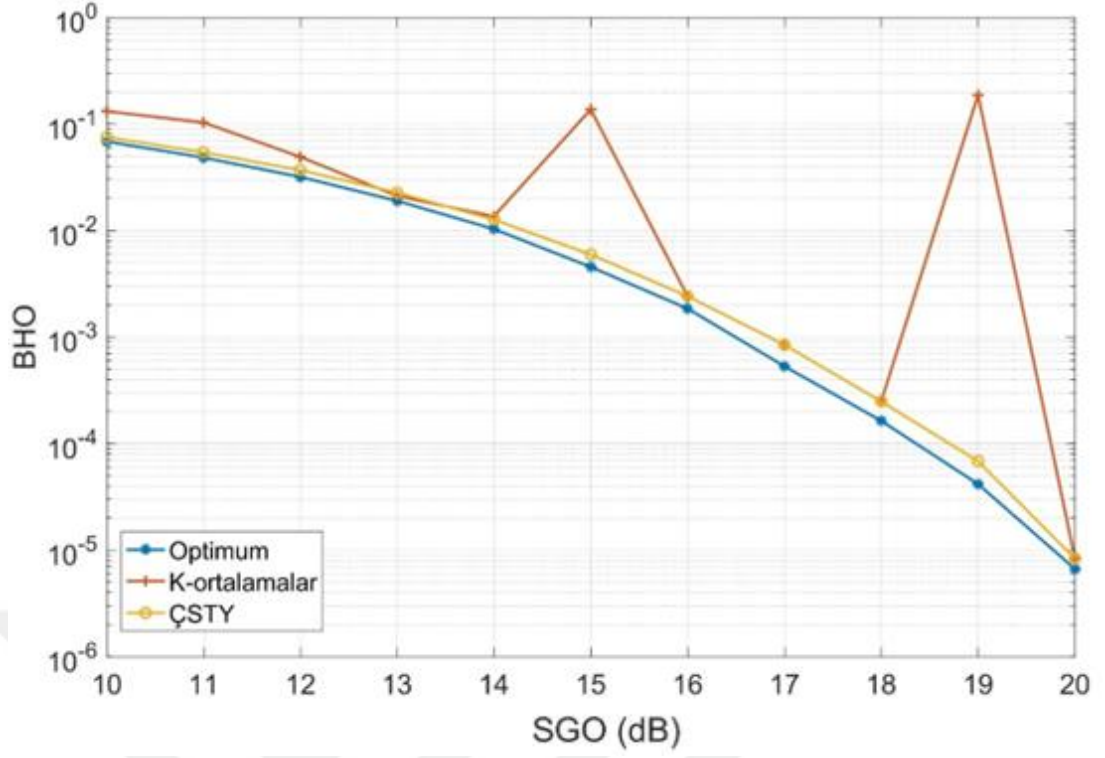
Referans Değer	10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
0.25	61.85	46.6	24.1	1.45	27.29	24.33	1.03	0.92	0.82	0.73	0.65
0.50	37.29	38.68	33.96	7.45	41.98	42.86	5.28	4.7	4.19	3.74	3.33
0.75	26.33	27.09	23.76	6.43	28.92	29.4	2.36	4.06	3.62	3.22	2.87
1.00	18.2	21.86	11.52	4.73	20.71	21.18	15.03	3.95	3.52	3.14	2.8
1.25	11.97	21.61	6.48	4.51	9.28	16.04	16.47	2.14	1.91	1.7	1.51
1.50	14.46	21.97	0.36	0.32	1.53	18.91	18.67	1.09	0.97	0.86	0.77
1.75	7.62	8.46	4.53	4.3	3.17	7.97	7.88	2.24	2	1.78	1.59



Şekil 5.29. 5 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO'ya göre iletim seviye değerleri

Şekil 5.28'de elde edilen sonuçlar 5 adet eğitim seti kullanılarak elde edilmiş bit hata oranı performansını göstermektedir. Elde edilen sonuçların Şekil 5.23'te 4-SPAM iletim şemasında elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği görülmektedir. Şekil 5.28'de de küme merkezlerini doğru hesaplayan K-ortalamlar ve önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi optimum sisteme göre daha kötü bir bit hata oranı performansı vermiştir. Şekil 5.28'de 10dB, 11dB ve 12dB sinyal gürültü oranları ile 14dB, 15dB ve 16dB sinyal gürültü oranlarında K-ortalamlar yönteminin küme merkezlerini doğru hesaplayamadığı görülmektedir.

Çizelge 5.1'de K-ortalamlar yöntemi ile hesaplanan küme merkezlerini gösteriyorken, Çizelge 5.2'de ise verilen referans değere göre hesaplanan küme merkezlerinin sapma yüzdelere vermektedir. Tablolarda verilen sapmalarda sıfır eşik seviyesine göre sapma oranları verilmemiştir. Çizelge 5.2'de sapma oranı %10 ve üzeri olanlar işaretlenerek Şekil 5.28 ile karşılaştırıldığında K-ortalamlar yöntemi ile elde edilen bit hata oranındaki sapmaların nedenleri daha belirleyici olmaktadır. Şekil 5.29'da ise Çizelge 5.1'de verilen küme merkezlerinin çizimi gösterilmiştir.



Şekil 5.30. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve Çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı

Çizelge 5.3. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezleri

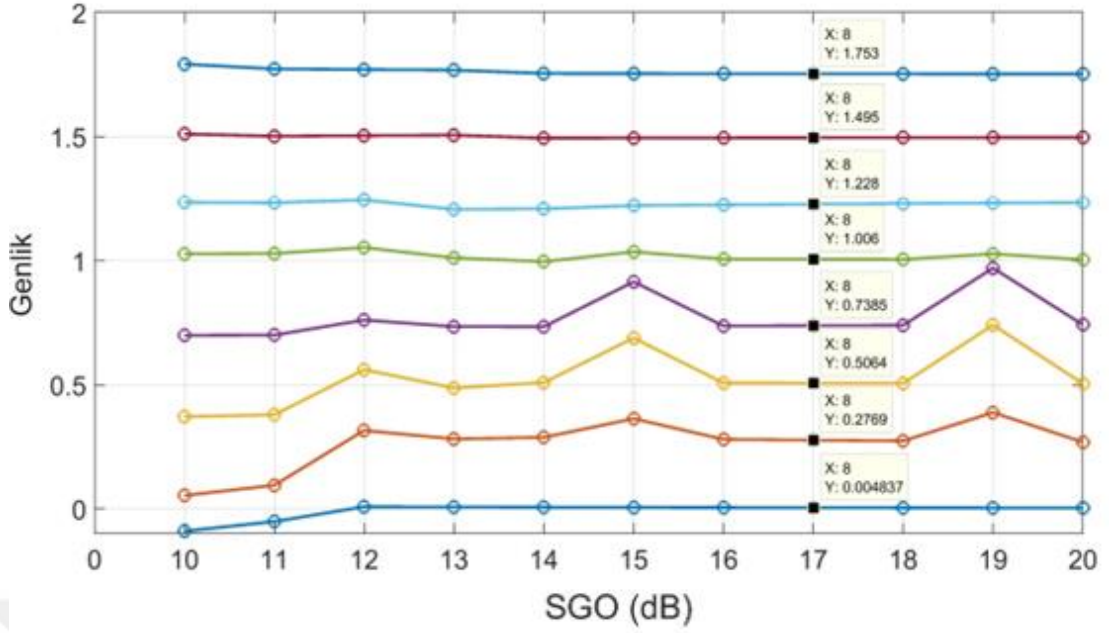
10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
-	-	0.0086	0.0077	0.0068	0.0061	0.0054	0.0048	0.0043	0.0038	0.0034
0.0896	0.0511									
0.0539	0.0952	0.3158	0.2818	0.2880	0.3635	0.2802	0.2769	0.2740	0.3882	0.2691
0.3717	0.3791	0.5607	0.4869	0.5090	0.6882	0.5072	0.5064	0.5057	0.7409	0.5045
0.6987	0.7001	0.7608	0.7344	0.7338	0.9148	0.7371	0.7385	0.7398	0.9701	0.7419
1.0274	1.0289	1.0528	1.0113	0.9962	1.0354	1.0062	1.0056	1.0050	1.0273	1.0039
1.2352	1.2334	1.2447	1.2066	1.2088	1.2218	1.2249	1.2276	1.2301	1.2322	1.2342
1.5105	1.5013	1.5036	1.5057	1.4934	1.4942	1.4948	1.4954	1.4959	1.4963	1.4967
1.7917	1.7721	1.7697	1.7676	1.7540	1.7536	1.7532	1.7528	1.7525	1.7522	1.7520

Çizelge 5.4. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)

Referans Değer	10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
0.25	78.46	61.94	26.34	12.71	15.22	45.4	12.09	10.78	9.61	55.3	7.63
0.50	25.67	24.19	12.14	2.63	1.81	37.65	1.44	1.28	1.14	48.18	0.91
0.75	6.84	6.66	1.44	2.09	2.17	21.98	1.72	1.53	1.37	29.35	1.09
1.00	2.74	2.9	5.28	1.13	0.39	3.55	0.63	0.56	0.5	2.74	0.4
1.25	1.19	1.33	0.43	3.48	3.3	2.26	2.01	1.79	1.6	1.43	1.27
1.50	0.7	0.09	0.25	0.39	0.44	0.39	0.35	0.31	0.28	0.25	0.22
1.75	2.39	1.27	1.13	1.01	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12

Şekil 5.30'da 8-SPAM iletim şeması için önerilen, K-ortalamlar ve optimum sistemin bit hata oranı performansları verilmektedir. Şekilden 15dB ve 19dB işaret gürültü oranlarında K-ortalamlar yönteminin küme merkezlerini doğru hesaplayamadığı görülmekte iken önerilen yöntemin daha durgun bir performans verdiği görülmektedir. İlgili işaret gürültü oranlarında Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 de incelendiğinde özellikle 15dB ve 19dB işaret gürültü oranları değerlerinde 3 küme merkezi hesaplamasının minimum %20 sapma ile hesaplandığı görülmektedir.

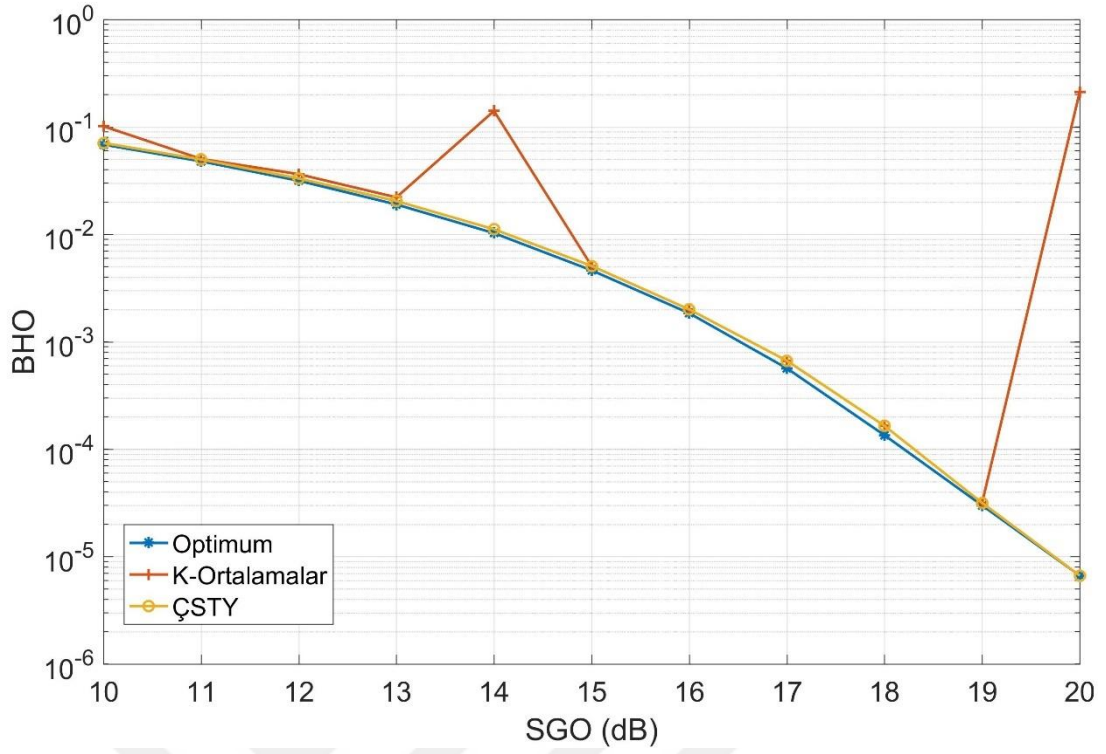
Şekil 5.31'de ise Çizelge 5.3'te verilen verilerin değişimi çizdirilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 15dB ve 19dB işaret gürültü oranlarında belirgin sapmalar oluşmuştur.



Şekil 5.31. 10 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO'ya göre küme merkezlerinin değişimi

Şekil 5.32'de eğitim seti sayısı 15 olarak seçilmiş olup önerilen ve K-ortalamlar yöntemlerinin optimum sisteme göre performansları karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre 14dB ve 20dB haricindeki işaret gürültü oranlarında önerilen ve K-ortalamlar yöntemleri benzer sonuçlar vermiştir. 5 ve 10 adet eğitim seti ile alınan sonuçlara göre optimum sisteme daha yakın bit hata oranı performansı vermişlerdir. Ancak 14dB ve 20dB işaret gürültü oranlarında K-ortalamlar yöntemi küme merkezlerini doğru hesaplayamamıştır.

Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Şekil 5.33 incelendiğinde 14dB ve 20dB işaret gürültü oranlarında en az %24 sapma oluşmuşken, en yüksek sapma oranı 20dB işaret gürültü oranında yaklaşık olarak %69 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre bit hata oranı performansındaki K-ortalamlar yöntemi için görülen anlamsız değerlerin nedeni daha doğru bir şekilde ifade edilmiş olur.



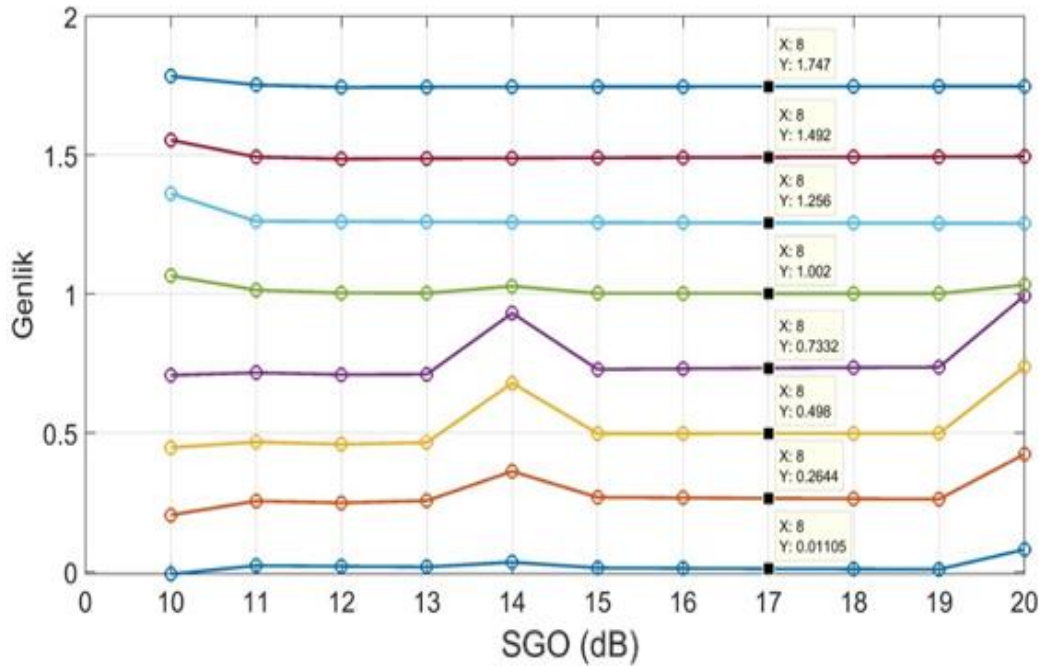
Şekil 5.32. 15 eğitim seti için K-ortalamlar ve Çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı

Çizelge 5.5. 15 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezleri

10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
-	0.0221	0.0197	0.0175	0.0344	0.0139	0.0124	0.0111	0.0099	0.0088	0.0800
0.0087										
0.2041	0.2546	0.2480	0.2560	0.3616	0.2681	0.2661	0.2644	0.2628	0.2614	0.4234
0.4469	0.4674	0.4587	0.4653	0.6795	0.4974	0.4977	0.4980	0.4982	0.4984	0.7381
0.7076	0.7167	0.7098	0.7110	0.9313	0.7288	0.7311	0.7332	0.7350	0.7366	0.9936
1.0657	1.0145	1.0036	1.0032	1.0281	1.0025	1.0022	1.0020	1.0018	1.0016	1.0328
1.3616	1.2621	1.2607	1.2596	1.2585	1.2576	1.2568	1.2560	1.2554	1.2548	1.2543
1.5544	1.4933	1.4864	1.4879	1.4892	1.4904	1.4914	1.4924	1.4932	1.4939	1.4946
1.7844	1.7528	1.7447	1.7453	1.7458	1.7463	1.7467	1.7470	1.7474	1.7476	1.7479

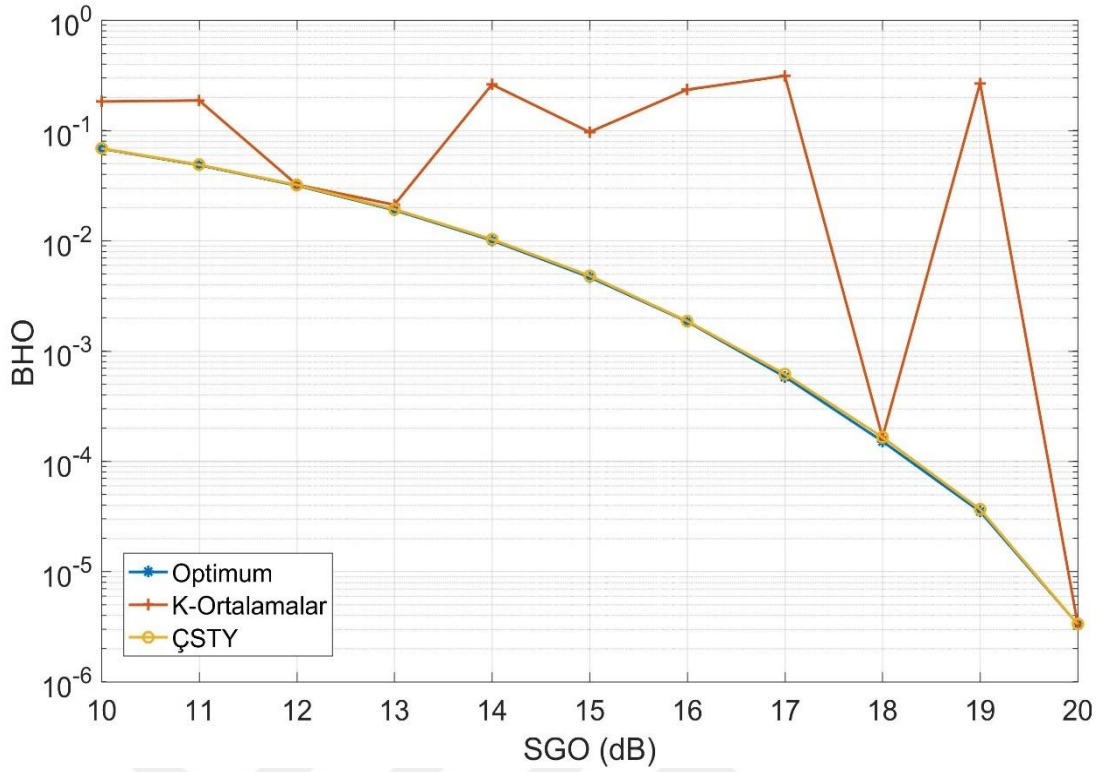
Çizelge 5.6 15 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)

Referans Değer	10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
0.25	18.35	1.86	0.81	2.4	44.66	7.25	6.46	5.76	5.13	4.57	69.38
0.50	10.62	6.52	8.27	6.95	35.91	0.52	0.46	0.41	0.37	0.33	47.62
0.75	5.66	4.44	5.37	5.21	24.18	2.83	2.52	2.25	2	1.79	32.48
1.00	6.58	1.45	0.36	0.32	2.82	0.26	0.23	0.21	0.18	0.16	3.29
1.25	8.93	0.97	0.86	0.77	0.69	0.61	0.55	0.49	0.44	0.39	0.35
1.50	3.63	0.45	0.91	0.81	0.72	0.65	0.58	0.51	0.46	0.41	0.37
1.75	1.97	0.16	0.31	0.27	0.24	0.22	0.19	0.17	0.16	0.14	0.12



Şekil 5.33. 15 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO'ya göre küme merkezlerinin değişimi

Şekil 5.34, Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8 ile Şekil 5.35'te 20 adet eğitim seti için elde edilen sonuçlar verilmektedir. Şekil 5.34'te bit hata oranı performansı verilmişken, Çizelgelerde K-ortalamlar yöntemi ile hesaplanan küme merkezlerinin sapma performansı görülmektedir.



Şekil 5.34. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve Çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı

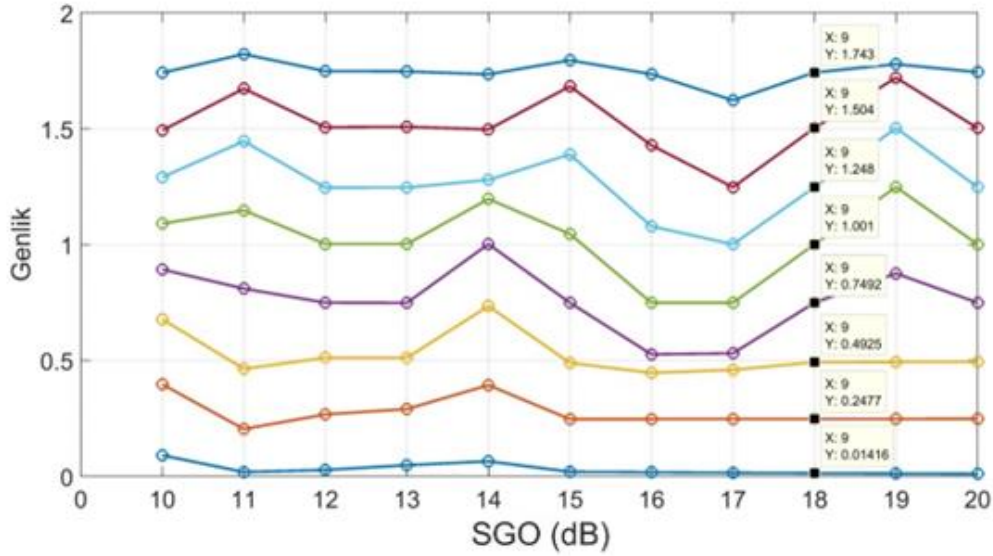
Çizelge 5.7. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezleri

10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
0.0909	0.0189	0.0277	0.0484	0.0650	0.0200	0.0178	0.0159	0.0142	0.0126	0.0112
0.3971	0.2041	0.2673	0.2906	0.3934	0.2468	0.2471	0.2475	0.2477	0.2480	0.2482
0.6778	0.4638	0.5117	0.5115	0.7347	0.4894	0.4466	0.4593	0.4925	0.4933	0.4941
0.8927	0.8100	0.7494	0.7486	1.0021	0.7489	0.5265	0.5311	0.7492	0.8752	0.7494
1.0906	1.1474	1.0027	1.0024	1.1970	1.0458	0.7490	0.7491	1.0013	1.2480	1.0011
1.2909	1.4460	1.2455	1.2460	1.2794	1.3893	1.0786	1.0015	1.2478	1.5032	1.2482
1.4931	1.6731	1.5061	1.5080	1.4971	1.6831	1.4285	1.2475	1.5035	1.7201	1.5028
1.7417	1.8219	1.7486	1.7473	1.7350	1.7954	1.7357	1.6229	1.7427	1.7786	1.7442

Şekil 5.34'te 12dB, 13dB, 18dB ve 20dB işaret gürültü oranları haricindeki değerlerden küme merkezlerinin hesaplanmasında problem olduğu görülmektedir. Bu değerlerin haricindeki değerlerde önerilen yöntem ile K-ortalamlar yöntemi arasındaki bit hata oranı performansında önemli sapmalar olduğu izlenmektedir.

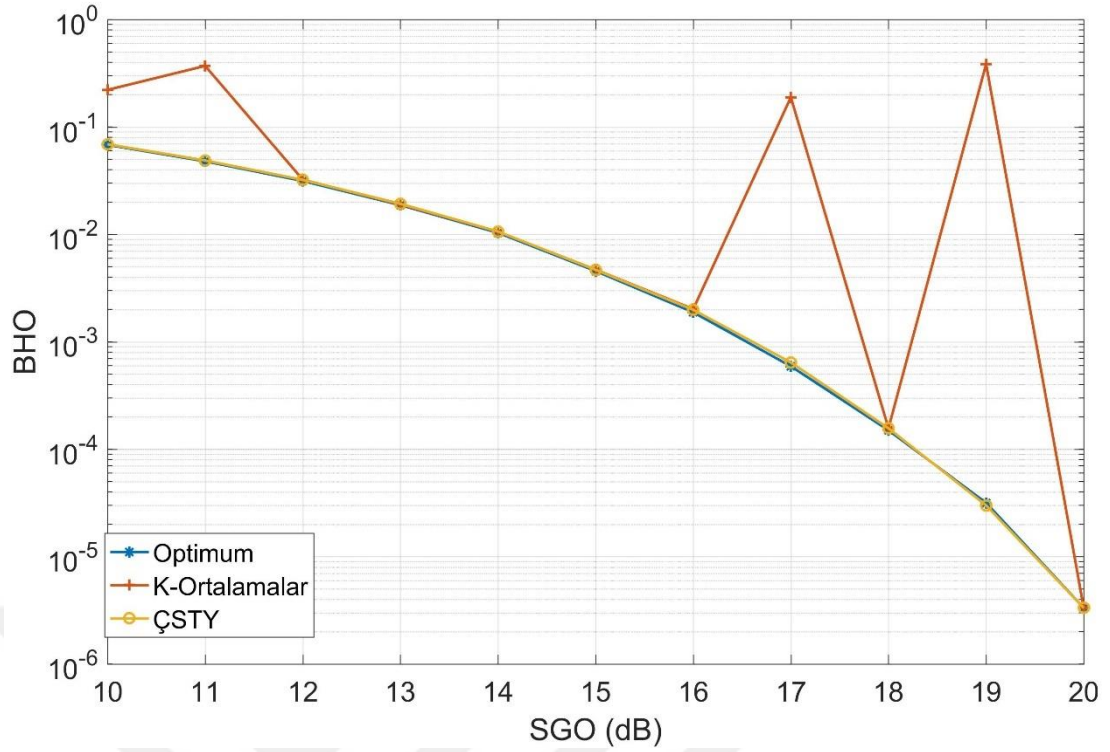
Çizelge 5.8. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)

Referans Değer	10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
0.25	58.83	18.35	6.93	16.24	57.35	1.29	1.15	1.02	0.91	0.81	0.73
0.50	35.56	7.25	2.34	2.3	46.95	2.12	10.68	8.15	1.5	1.34	1.19
0.75	19.03	8.01	0.09	0.2	33.62	0.16	29.8	29.2	0.11	16.7	0.09
1.00	9.07	14.75	0.27	0.24	19.71	4.59	25.11	25.1	0.14	24.81	0.11
1.25	3.28	15.68	0.36	0.32	2.36	11.15	13.72	19.88	0.18	20.26	0.15
1.50	0.46	11.55	0.41	0.54	0.2	12.21	4.77	16.84	0.24	14.68	0.192
1.75	0.48	4.11	0.09	0.16	0.86	2.6	0.82	7.27	0.42	1.64	0.34



Şekil 5.35. 20 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO'ye göre küme merkezlerinin değişimi

Çizelge 5.7, Çizelge 5.8 ve Şekil 5.35'te elde edilen veriler bit hata oranı değişimi sonuçlarını desteklemektedir. Çizelge 5.7'den elde edilerek sapma değerleri hesaplanan ve Çizelge 5.8'de sunulan verilere göre 10dB, 11dB, 14dB, 15dB, 16dB, 17dB ve 19dB işaret gürültü oranlarında K-ortalamlar yönteminin hesapladığı küme merkezleri en az %10 sapma ile elde edilmiştir.



Şekil 5.36. 50 adet eğitim seti için K-ortalamlar ve Çok seviyeli tahmin yöntemi kullanılarak 8-SPAM iletim şemasının bit hata oranı performansı

8-SPAM iletim şeması için son olarak eğitim seti içerisinde 50 adet veri kullanılarak eşik değerlerinin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Hem Şekil 5.36 hem de Şekil 5.34'de elde edilen hata oranlarına göre eğitim setindeki artış önerilen yöntemin ve küme merkezlerini doğru hesaplayabilen K-ortalamlar yönteminin başarımının arttığını göstermektedir. Verilen şekillerde önerilen yöntemin ve K-ortalamlar yönteminin neredeyse optimum sistem ile benzer sonuçlar verdiği görülmektedir.

Şekil 5.36'da görüldüğü gibi 10dB, 11dB, 17dB ve 19dB işaret gürültü oranlarında K-ortalamlar yöntemi küme merkezlerini verimli bir şekilde hesaplayamamıştır. Sapma oranı %10 üzerinde olan değerler de Çizelge 5.9'dan hesaplanarak Çizelge 5.10'da verilmektedir. Çizelge 5.10'da da görüldüğü gibi K-ortalamlar yönteminin hesapladığı küme merkezleri gerçek değerden %88'e varan sapmalar ile hesaplanmıştır. Bu sapmalardan dolayı da bit hata oranında anlamlı olmayan değişiklikler gözlemlenmektedir.

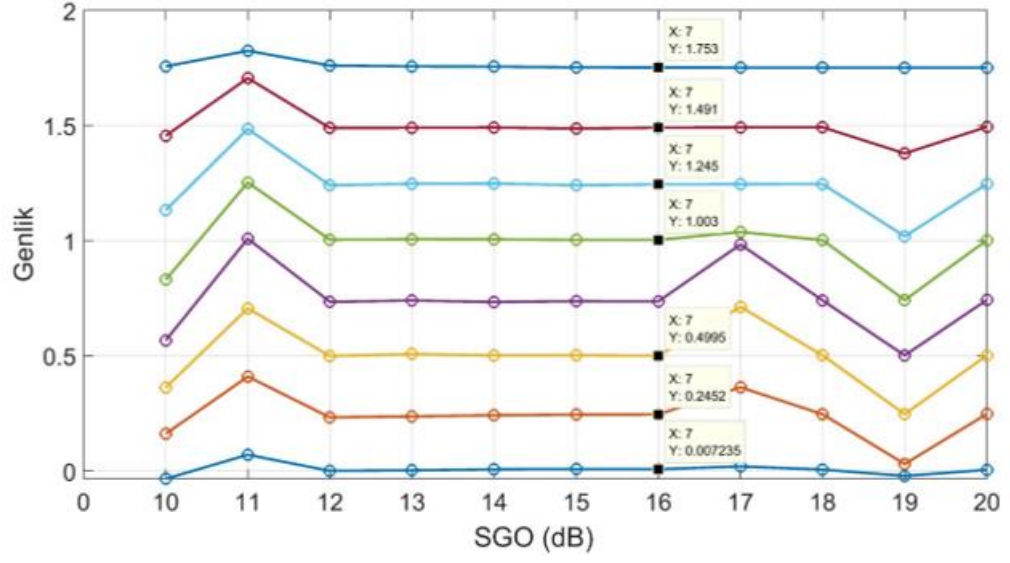
Çizelge 5.9. 50 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezleri

10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
0.0340	0.0697	0.0080	0.0026	0.0067	0.0081	0.0072	0.0194	0.0057	0.0215	0.0046
0.1613	0.4096	0.2324	0.2369	0.2417	0.2447	0.2452	0.3632	0.2462	0.0297	0.2470
0,3621	0,7060	0,4984	0.2522	0.5014	0.5018	0.4995	0.5019	0.2723	0.5015	0.5014
0,5669	1,0085	0,7344	0.5095	0.7339	0.7376	0.6778	0.7396	0.5017	0.7418	0.7427
0,8303	1,2524	1,0045	0.7487	1.0060	1.0039	0.7671	1.0031	0.7408	1.0025	1.0022
1,1326	1,4853	1,2407	1.0978	1.2480	1.2413	1.1051	1.2452	1.0187	1.2462	1.2466
1,455	1,7065	1,4898	1.4592	1.4915	1.4875	1.4613	1.4918	1.3793	1.4935	1.4942
1,7578	1,8251	1,7616	1.7576	1.7568	1.7535	1.7531	1.7527	1.7524	1.7522	1.7519

Çizelge 5.10 50 adet eğitim seti için K-ortalamlar şemasının SGO değişimine göre küme merkezlerinin gerçek seviyelerden sapma oranları (%10 ve üzeri sapma değerler gri ton ile belirtilmiştir)

Referans Değer	10dB	11dB	12dB	13dB	14dB	15dB	16dB	17dB	18dB	19dB	20dB
0.25	35.49	63.83	7.03	5.25	3.33	2.14	1.91	45.27	1.51	88.12	1.2
0.50	27.57	41.22	0.32	1.47	0.28	0.36	0.1	42.54	0.35	50.68	0.28
0.75	24.41	34.47	2.08	1.32	2.16	1.66	1.83	31.13	1.24	33.14	0.98
1.00	16.97	25.25	0.46	0.63	0.6	0.39	0.35	3.81	0.28	25.83	0.22
1.25	9.39	18.83	0.74	0.23	0.16	0.7	0.43	0.39	0.35	18.47	0.28
1.50	2.95	13.77	0.68	0.64	0.57	0.84	0.62	0.55	0.49	8.04	0.39
1.75	0.45	4.3	0.67	0.44	0.39	0.2	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12

Çizelge 5.9.'da verilen değerler çizdirilerek Şekil 5.37 elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bazı işaret gürültü oranlarında küme merkezi değerlerinde artış veya azalışlar oluşmuştur.



Şekil 5.37. 50 adet eğitim seti için K-ortalamalar şemasının SGO'ye göre küme merkezlerinin değişimi

6. SONUÇ

Yapılan tez çalışmasında SPAM iletim şeması için alıcı mimarilerinin performansları karşılaştırılmıştır. Literatürde 4-SPAM iletim şeması için K-ortalamlar algoritması kullanılmış olup kullanılan algoritma bütün sinyal paketini anlık olarak kümeleme algoritmasından geçirmiştir. Haberleşme sistemlerinde bu durum yeterli bellek miktarının gerekliliği, verinin çözümündeki gecikmeler gibi dezavantajlar sunmaktadır. Ayrıca SPAM sinyalin demodülasyonu için destek vektör makineleri tabanlı demodülatörler de önerilmiştir.

Bu tez çalışmasında uygulanan yöntem destek vektör makinesi tabanlı sisteme göre daha az karmaşıklıkla, gerçek zamanlı olarak da daha uygulan bir yöntem olarak görülmektedir. Çünkü önerilen çok seviyeli tahmin yöntemi ile geleneksel sistemin performans sonuçları incelendiğinde oldukça yakın bit hata oranı performansı verdikleri görülmüştür. Özellikle eğitim setinde kullanılan veri sayısının artırılması çok seviyeli tahmin sisteminin performansının geliştirilmesi açısından oldukça önemli olarak görülmektedir.

K-ortalamlar algoritması ile gerçekleştirilen demodülatör uygulamasında literatürden farklı bir yöntem izlenmiştir. Literatürde bilgi bitleri doğrudan kümeleme yöntemi ile elde edilebiliyorken, bu tez çalışmasında iki merkez noktasının ortalaması eşik değeri olarak tanımlanmıştır. Bu değişiklik ile literatürde daha önceden önerilen demodülatör mimarilerindeki gibi demodülasyon süreci için sinyalin tamamının alınmasına gerek duyulmamaktadır. Bu öneri ile K-ortalamlar yöntemi kullanan sistemlerdeki gecikmeler minimuma indirilmiştir.

Ayrıca K-ortalamlar yönteminde merkez değerlerin hesaplanması için eğitim setinden alınan değerler rastgele seçildiğinden bazen eşik değeri hesaplamaları hatalı sonuçlar vermektedir. Hatalı hesaplanan eşik değerleri sonucunda bit hata oranı performansında da düşüşler olduğu görülmektedir. Bu nedenle K-ortalamlar yönteminin uygulanabilir olduğunu göstermek için eşik değeri hesaplamalarında iterasyon sayısında artışlar gerçekleştirilmiştir. İterasyon sayısı artırıldığında eşik değerlerinin daha doğru hesaplandığı görülmüştür.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda önerilen sistemlerin sayısal devre tabanlı tasarımları gerçekleştirilerek, gerçek zamanlı olarak performans analizi gözlemlenebilir. Ayrıca kullanıcıların hem hareketli hem de değişken veri iletim oranı durumları göz önünde bulundurularak eşik değeri tahmin yöntemleri geliştirilebilir.



KAYNAKÇA

- [1] C. Prakash, L. P. Singh, A. Gupta, ve S. K. Lohan, “Advancements in smart farming: A comprehensive review of IoT, wireless communication, sensors, and hardware for agricultural automation”, *Sensors and Actuators A: Physical*, c. 362, s. 114605, Kas. 2023, doi: 10.1016/j.sna.2023.114605.
- [2] C. Jenila ve R. K. Jeyachitra, “Green indoor optical wireless communication systems: Pathway towards pervasive deployment”, *Digital Communications and Networks*, c. 7, sy 3, ss. 410-444, Ağu. 2021, doi: 10.1016/j.dcan.2020.09.004.
- [3] W. Zhang, X. Zhao, Y. Zhao, ve J. Sun, “On security performance analysis of IRS-aided VLC/RF hybrid system”, *Physical Communication*, c. 61, s. 102176, Ara. 2023, doi: 10.1016/j.phycom.2023.102176.
- [4] T. P. V. Andrade vd., “A Novel A-RoF and VLC-based Full-Duplex FiWi System for B5G Applications”, *Optics Communications*, c. 565, s. 130642, Ağu. 2024, doi: 10.1016/j.optcom.2024.130642.
- [5] L. Feng, J. Zhang, H. Liu, S. Li, J. Li, ve G. Pan, “Performance evaluation for multi-antenna UWOC-RF NOMA systems with imperfect CSI and SIC”, *Digital Signal Processing*, c. 149, s. 104493, Haz. 2024, doi: 10.1016/j.dsp.2024.104493.
- [6] Y. Chen, C. Gan, X. Wang, ve Y. Chen, “Self-adaptive anti-misalignment model for transceivers in hybrid (RF/VLC)-V2V network”, *Optical Switching and Networking*, c. 48, s. 100729, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.osn.2022.100729.
- [7] D. Sarkar, V. Pal, S. S. Yadav, ve S. K. Patra, “IRS-aided NOMA-based communication architecture for 6G wireless networks: An enhanced error-control and reliable data transmission”, *Physical Communication*, c. 65, s. 102394, Ağu. 2024, doi: 10.1016/j.phycom.2024.102394.
- [8] S. Ramachandrapura, F. Ahmad, A. Prosad, ve V. Raghunathan, “Dual-carrier multiplexed laser-based hybrid transmitter for high data-rate indoor optical wireless communication”, *Optik*, c. 274, s. 170522, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.ijleo.2023.170522.
- [9] N. K. Shukla vd., “High speed integrated RF-VLC data communication system: Performance constraints and capacity considerations”, *Physical Communication*, c. 50, s. 101492, Şub. 2022, doi: 10.1016/j.phycom.2021.101492.
- [10] M. Kasiselvanathan, P. P., L. Raja, ve S. Lebaka, “A multi-radio antenna system for Cognitive Radio(CR), 5G, WLAN and UWB MIMO applications”, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, c. 180, s. 155315, Haz. 2024, doi: 10.1016/j.aeue.2024.155315.
- [11] “Effectiveness evaluation of MIMO in polarized OAM multiplexing | IEICE Journals & Magazine | IEEE Xplore”. Erişim: 13 Haziran 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10400562>
- [12] W.-C. Wu ve G.-L. Chen, “Multiuser downlink communication for MIMO-VLC system using spatial modulation and optical orthogonal codes”, *Physical Communication*, c. 63, s. 102264, Nis. 2024, doi: 10.1016/j.phycom.2023.102264.
- [13] V. Dixit ve A. Kumar, “BER analysis of dynamic FOV based MIMO-NOMA-VLC system”, *AEU - International Journal of Electronics and*

- Communications*, c. 142, s. 153989, Ara. 2021, doi: 10.1016/j.aeue.2021.153989.
- [14] M. Chen, H. Lu, D. Chen, J. Jin, ve J. Wang, “An efficient MIMO–OFDM VLC system of combining space time block coding with orthogonal circulant matrix transform precoding”, *Optics Communications*, c. 473, s. 125993, Eki. 2020, doi: 10.1016/j.optcom.2020.125993.
- [15] G. Li, S. Sun, Y. Gao, A. Li, ve K. Zhu, “Research and development of indoor positioning technology based on visible light communication”, *Urban Lifeline*, c. 1, sy 1, s. 10, Ara. 2023, doi: 10.1007/s44285-023-00011-y.
- [16] B. Anitha Vijayalakshmi, S. Lekashri, R. Mary Victoria, M. Gomathi, ve M. Nesasudha, “In-flight connectivity using LEDs as light source in visible light communication system”, *J Opt*, Oca. 2024, doi: 10.1007/s12596-023-01582-3.
- [17] S.-J. Song ve H. Nam, “Short-distance visible light communication with simple clock data recovery for audio applications”, *Journal of the Society for Information Display*, c. 23, sy 10, ss. 443-450, 2015, doi: 10.1002/jsid.375.
- [18] J. S. B. Perlaza, R. L. Domínguez, ve E. S. M. Heredia, “Phase Characterization and Correction in a Hardware Implementation of an OFDM-Based System for VLC Applications”, *IEEE Photonics Journal*, c. 15, sy 2, ss. 1-7, Nis. 2023, doi: 10.1109/JPHOT.2023.3260447.
- [19] H. Nguyen, I. B. Krishna Yoga Utama, ve Y. M. Jang, “Enabling Technologies and New Challenges in IEEE 802.15.7 Optical Camera Communications Standard”, *IEEE Communications Magazine*, c. 62, sy 3, ss. 90-95, Mar. 2024, doi: 10.1109/MCOM.002.2300289.
- [20] S. Dutta, G. J. M. Wienk, R. J. E. Hueting, J. Schmitz, ve A.-J. Annema, “Optical Power Efficiency Versus Breakdown Voltage of Avalanche-Mode Silicon LEDs in CMOS”, *IEEE Electron Device Letters*, c. 38, sy 7, ss. 898-901, Tem. 2017, doi: 10.1109/LED.2017.2701505.
- [21] R.-H. Horng, Y.-F. Chen, C.-H. Wang, ve H.-Y. Chen, “Development of Metal Bonding for Passive Matrix Micro-LED Display Applications”, *IEEE Electron Device Letters*, c. 42, sy 7, ss. 1017-1020, Tem. 2021, doi: 10.1109/LED.2021.3078778.
- [22] S. Ghosh, “Outage analysis of hybrid VLC–RF system for IoT application under energy harvesting”, *Telecommun Syst*, c. 84, sy 3, ss. 387-397, Kas. 2023, doi: 10.1007/s11235-023-01054-w.
- [23] L. Danys vd., “Visible Light Communication and localization: A study on tracking solutions for Industry 4.0 and the Operator 4.0”, *Journal of Manufacturing Systems*, c. 64, ss. 535-545, Tem. 2022, doi: 10.1016/j.jmsy.2022.07.011.
- [24] S. Shao, A. Khreishah, ve I. Khalil, “RETRO: Retroreflector Based Visible Light Indoor Localization for Real-time Tracking of IoT Devices”, içinde *IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications*, Nis. 2018, ss. 1025-1033. doi: 10.1109/INFOCOM.2018.8485817.
- [25] H. A. El Zouka, “An Efficient and Secure Vehicular Networks Based on IoT and Cloud Computing”, *SN COMPUT. SCI.*, c. 3, sy 3, s. 240, Nis. 2022, doi: 10.1007/s42979-022-01096-y.
- [26] M. J. Faruki ve N. Karmakar, “Modulation Bandwidth Study on SQW GaN LEDs for High-Speed Visible Light Communication”, içinde *2023 33rd International Telecommunication Networks and Applications Conference*, Kas. 2023, ss. 180-182. doi: 10.1109/ITNAC59571.2023.10368504.

- [27] Y. Huang, Z. Guo, X. Wang, H. Li, ve D. Xiang, “GaN-Based High-Response Frequency and High-Optical Power Matrix Micro-LED for Visible Light Communication”, *IEEE Electron Device Letters*, c. 41, sy 10, ss. 1536-1539, Eki. 2020, doi: 10.1109/LED.2020.3021282.
- [28] Y. Wu, X. Mao, C. Min, D. Yan, ve H. Chen, “GaN FET Push–Pull Driver Circuit Enabling Power Light Emitting Diode to be a High-Efficiency, High-Speed Wireless Transmitter”, *IEEE Photonics Journal*, c. 10, sy 6, ss. 1-10, Ara. 2018, doi: 10.1109/JPHOT.2018.2879322.
- [29] A. Zafar, A. Khalid, ve H. M. Asif, “Equalization techniques for visible light communication system”, içinde *2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)*, Kas. 2017, ss. 1-5. doi: 10.1109/ICECTA.2017.8251941.
- [30] P. A. Haigh *vd.*, “Exploiting Equalization Techniques for Improving Data Rates in Organic Optoelectronic Devices for Visible Light Communications”, *Journal of Lightwave Technology*, c. 30, sy 19, ss. 3081-3088, Eki. 2012, doi: 10.1109/JLT.2012.2210028.
- [31] T. Liao, L. Xue, W. Hu, ve L. Yi, “Unsupervised Learning for Neural Network-Based Blind Equalization”, *IEEE Photonics Technology Letters*, c. 32, sy 10, ss. 569-572, May. 2020, doi: 10.1109/LPT.2020.2985307.
- [32] J. Liu, K. Mei, X. Zhang, D. Ma, ve J. Wei, “Online Extreme Learning Machine-Based Channel Estimation and Equalization for OFDM Systems”, *IEEE Communications Letters*, c. 23, sy 7, ss. 1276-1279, Tem. 2019, doi: 10.1109/LCOMM.2019.2916797.
- [33] Md. Nahiduzzaman *vd.*, “A Novel Method for Multivariant Pneumonia Classification Based on Hybrid CNN-PCA Based Feature Extraction Using Extreme Learning Machine With CXR Images”, *IEEE Access*, c. 9, ss. 147512-147526, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3123782.
- [34] F.-M. Wu, C.-T. Lin, C.-C. Wei, C.-W. Chen, H.-T. Huang, ve C.-H. Ho, “1.1-Gb/s White-LED-Based Visible Light Communication Employing Carrier-Less Amplitude and Phase Modulation”, *IEEE Photonics Technology Letters*, c. 24, sy 19, ss. 1730-1732, Eki. 2012, doi: 10.1109/LPT.2012.2210540.
- [35] X. Wu, F. Hu, P. Zou, X. Lu, ve N. Chi, “The performance improvement of visible light communication systems under strong nonlinearities based on Gaussian mixture model”, *Microwave and Optical Technology Letters*, c. 62, sy 2, ss. 547-554, 2020, doi: 10.1002/mop.32080.
- [36] X. Peng, R. Chen, K. Yu, F. Ye, ve W. Xue, “An Improved Weighted K-Nearest Neighbor Algorithm for Indoor Localization”, *Electronics*, c. 9, sy 12, Art. sy 12, Ara. 2020, doi: 10.3390/electronics9122117.
- [37] T. T. Ağır ve M. Sönmez, “The modulation classification methods in PPM–VLC systems”, *Opt Quant Electron*, c. 55, sy 3, s. 223, Oca. 2023, doi: 10.1007/s11082-022-04520-y.
- [38] J. Song, F. Li, ve R. Li, “Improved K-means Algorithm Based on Threshold Value Radius”, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, c. 428, sy 1, s. 012001, Oca. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/428/1/012001.
- [39] K. M. Sünnetci ve M. Sönmez, “Variable pulse position modulation receivers for visible light communication systems without the knowledge of dimming level”, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, c. 33, sy 5, s. e4445, 2022, doi: 10.1002/ett.4445.

- [40] M. Sönmez, “Artificial neural network-based threshold detection for OOK-VLC Systems”, *Optics Communications*, c. 460, s. 125107, Nis. 2020, doi: 10.1016/j.optcom.2019.125107.
- [41] S. Li, A. Pandharipande, ve F. M. J. Willems, “Adaptive visible light communication LED receiver”, içinde *2017 IEEE SENSORS*, Eki. 2017, ss. 1-3. doi: 10.1109/ICSENS.2017.8234237.
- [42] S. Li, A. Pandharipande, ve F. M. J. Willems, “Unidirectional Visible Light Communication and Illumination With LEDs”, *IEEE Sensors Journal*, c. 16, sy 23, ss. 8617-8626, Ara. 2016, doi: 10.1109/JSEN.2016.2614968.
- [43] K. Ayten ve M. Sönmez, “Threshold detection and slot clustering algorithms in DPIM-VLC systems”, *Optik*, c. 248, s. 168085, Ara. 2021, doi: 10.1016/j.ijleo.2021.168085.
- [44] J. Ma, J. He, J. Shi, J. He, Z. Zhou, ve R. Deng, “Nonlinear Compensation Based on K-Means Clustering Algorithm for Nyquist PAM-4 VLC System”, *IEEE Photonics Technology Letters*, c. 31, sy 12, ss. 935-938, Haz. 2019, doi: 10.1109/LPT.2019.2913662.
- [45] Y. Yuan vd., “SVM-based detection in visible light communications”, *Optik*, c. 151, ss. 55-64, Ara. 2017, doi: 10.1016/j.ijleo.2017.08.089.
- [46] S. Arnon, *Visible Light Communication*. Cambridge University Press, 2015.
- [47] L. U. Khan, “Visible Light Communication: Applications, Architecture, Standardization and Research Challenges”, *Digital Communications and Networks*, c. 3, May. 2017, doi: 10.1016/j.dcan.2016.07.004.
- [48] I. Hickman, “Chapter 5 - Passive signal processing and signal transmission”, içinde *Analog Electronics (Second Edition)*, I. Hickman, Ed., Oxford: Newnes, 1999, ss. 109-124. doi: 10.1016/B978-075064416-7/50005-1.
- [49] P. Kocharoen, “Visible Light Communication: Importance and Thai Preparations”, *Procedia Computer Science*, c. 86, ss. 51-54, Oca. 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.05.013.
- [50] T. Wani ve S. A. A. Qadri, “An Insight into the Modulation schemes for Visible light communication”.
- [51] J.-T. Wu, C.-W. Chow, Y. Liu, C.-W. Hsu, ve C.-H. Yeh, “Performance enhancement technique of visible light communications using passive photovoltaic cell”, *Optics Communications*, c. 392, ss. 119-122, Haz. 2017, doi: 10.1016/j.optcom.2017.01.052.
- [52] M. Ahmed ve A. Bermak, “A CMOS Transimpedance Amplifier With Ambient Light Rejection for Visible Light Communication in Intelligent Transport Systems”, içinde *2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, Haz. 2019, ss. 7-13. doi: 10.1109/IWCMC.2019.8766535.
- [53] S. Rajagopal, R. D. Roberts, ve S.-K. Lim, “IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support”, *IEEE Communications Magazine*, c. 50, sy 3, ss. 72-82, Mar. 2012, doi: 10.1109/MCOM.2012.6163585.
- [54] G. Bayrakdar, “İŞYERLERİNDE AYDINLATMA KOŞULLARININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ”.
- [55] S. S. Das ve M. Sekh, “A Survey of Different Modulation Schemes and Channel Modeling Techniques of a VLC System”, 2022, ss. 259-268. doi: 10.1007/978-981-19-5224-1_28.

- [56] M. Nazar, M. M. Alam, E. Yafi, ve M. M. Su'ud, "A Systematic Review of Human-Computer Interaction and Explainable Artificial Intelligence in Healthcare With Artificial Intelligence Techniques", *IEEE Access*, c. 9, ss. 153316-153348, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3127881.
- [57] I. Ahmed, G. Jeon, ve F. Piccialli, "From Artificial Intelligence to Explainable Artificial Intelligence in Industry 4.0: A Survey on What, How, and Where", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, c. 18, sy 8, ss. 5031-5042, Ağu. 2022, doi: 10.1109/TII.2022.3146552.
- [58] X. Ren ve Y. Chen, "How Can Artificial Intelligence Help With Space Missions - A Case Study: Computational Intelligence-Assisted Design of Space Tether for Payload Orbital Transfer Under Uncertainties", *IEEE Access*, c. 7, ss. 161449-161458, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2951136.
- [59] L. Chen, P. Chen, ve Z. Lin, "Artificial Intelligence in Education: A Review", *IEEE Access*, c. 8, ss. 75264-75278, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988510.
- [60] N. Capuano, G. Fenza, V. Loia, ve C. Stanzione, "Explainable Artificial Intelligence in CyberSecurity: A Survey", *IEEE Access*, c. 10, ss. 93575-93600, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3204171.
- [61] "Nörobilim ve Yapay Zeka | Türk Nöroloji Derneği". Erişim: 08 Temmuz 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://noroloji.org.tr/menu/189/norobilim-ve-yapay-zeka>
- [62] Ö. Gökalp, "Makine Öğrenmesi - Machine Learning", 2022, s. 14.
- [63] T. Komine ve M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible light communication system using LED light", *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, c. 50, ss. 100-107, Mar. 2004, doi: 10.1109/TCE.2004.1277847.
- [64] S. Börekoğlu ve M. Sönmez, "VPAPM İletim Yönteminin BER Performansı", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 11, ss. 1554-1567, 2023, doi: 10.21923/jesd.1256647
- [65] R. Raj, S. Jaiswal ve A. Dixit, "On the effect of multipath reflections in indoor visible light communication links: Channel characterization and BER analysis", *IEEE Access*, c. 8, ss. 190620-190636, 2020.
- [66] Wang Z., Zhong WD., Yu C., Chen J., Francois CPS., Chen W. Performance of dimming control scheme in visible light communication system. *Optics Express* 2012; 20(17): 18861-18868.

ÖZGEÇMİŞ

- 1. Adı Soyadı** : Mustafa Kemal ŞAHAN
2. Ünvanı : Elektrik -Elektronik Mühendisi
3. Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü/ Elektronik Öğretmenliği Pr.	Sakarya Üniversitesi	2009
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD.	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	2021
Yüksek Lisans	Fen Bilimleri Enstitüsü -İş Sağlığı ve Güvenliği (Tezsiz)	Çukurova Üniversitesi	2019
Yüksek Lisans	Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü A.B.D	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2024

4. İş Tecrübesi:

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Bilgisayar Öğretmenliği & Ağ ve Sistemleri Tek.Destek	İSTANBUL	2009
Uçak Aviyonik Teknik Bakım	İSTANBUL	2010-2013
Elektrik – Otomasyon Bakım Amiri	HATAY	2013-....



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU FORMU
(SAVUNMA SONRASI)

FORM
TEZLİ YL-24

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı	Mustafa Kemal ŞAHAN
Öğrenci Numarası	2111705105
Ana Bilim/ Ana Sanat Dalı	Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Doç. Dr. Mehmet Sönmez
Tez Başlığı (Türkçe)	GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN ALICI YAPILARININ GELİŞTİRİLMESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract c) Giriş, d) Ana bölümler, e) Sonuç ve f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 72 sayfalık kısmına ilişkin, 18 /09 /2024 tarihinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 6 'tür.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

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

Tarih ve İmza
Öğrenci

Danışman Onayı
UYGUNDUR

Unvanı, Adı Soyadı
(İmzası)

Enstitü Onayı
UYGUNDUR

Adı Soyadı
(İmzası)

AÇIKLAMALAR

1. Lisansüstü tezler, savunma öncesinde benzerlik raporu ile birlikte Enstitüye teslim edilir.
2. Benzerlik raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN'den alınan raporda "benzerlik oranı"nın, "alıntılar hariç" en fazla %10, "alıntılar dahil" % 30'u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).