



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ İLETİM HATLARINDAKİ PROBLEMLERİN FİBER
OPTİK TABANLI DAĞITIK SENSÖR KULLANILARAK
BELİRLENMESİ VE SINIFLANDIRILMASI**

**SAMET CAN ÇORUK
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Yasin ERTEN**

KIRIKKALE-2024



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ İLETİM HATLARINDAKİ PROBLEMLERİN FİBER
OPTİK TABANLI DAĞITIK SENSÖR KULLANILARAK
BELİRLENMESİ VE SINIFLANDIRILMASI**

**SAMET CAN ÇORUK
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Yasin ERTEN**

KIRIKKALE-2024

Samet Can ÇORUK tarafından hazırlanan “ENERJİ İLETİM HATLARINDAKİ PROBLEMLERİN FİBER OPTİK TABANLI DAĞITIK SENSÖR KULLANILARAK BELİRLENMESİ VE SINIFLANDIRILMASI” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Yasin ERTEN

Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KÖK

Yapay Zekâ ve Veri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin AYDİLEK

Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 04/10/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerinegetirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Recep ÇALIN
Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....

Samet Can ÇORUK

04.10.2024

ÖZET

ENERJİ İLETİM HATLARINDAKİ PROBLEMLERİN FİBER OPTİK TABANLI DAĞITIK SENSÖR KULLANILARAK BELİRLENMESİ VE SINIFLANDIRILMASI

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği

Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Yasin ERTEN

Ekim 2024, 65 sayfa

Dağıtık akustik sensör (DAS) sistemleri ulusal sınır güvenlikleri, kritik tesis güvenlikleri, petrol boru hatları ve enerji ağları gibi birçok farklı alanda kullanılarak günümüz teknolojisinde yerini almaktadır. DAS sistemleri kullanılarak fiber optik hat boyunca gerçekleşen darbelerin konumsal tespiti yapılabilmektedir. Enerji iletim hatlarında gerçekleşen olumsuzlukların tespiti günümüzde halen bir problemdir. Bu çalışmada, yüksek gerilim enerji iletim hatları ve bu hatları taşıyan direklerde meydana gelen hırsızlık, darbe, yıkılma vb. olumsuzluklara karşı bu durumların konumlandırılması ve yaşanan olumsuz durumun sebebinin tespit edilmesine ilişkin çalışma ele alınmaktadır. Optik zaman alan reflaktometri (Optical Time Domain Reflectometry - OTDR) tekniğine dayanan DAS sistemleri ile enerji iletim hatlarını taşıyan direkler üzerinde el ile sökme, makine ile sökme ve çekiç ile vurma senaryoları gerçekleştirilerek elde edilen veri setleri, görüntü formatına dönüştürülmüştür. Gerçekleştirilen bu üç senaryonun her biri için ayrı ayrı elde edilen görüntüler üzerinde k-ortalama (k-means) kümeleme algoritması, DenseNet169, VGG-19 (Visual Geometry Group) , Xception ve topluluk öğrenmesi (ensemble learning) teknikleri uygulanmaktadır. Sonuç olarak enerji iletim hatları ve bu hatları taşıyan direkler üzerinde meydana gelecek tehlikelerin konumsal olarak tespit edilmesi ve bu tehlikenin el ile sökme, makine ile sökme ve çekiç ile vurmada hangisi olduğuna yönelik sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: OTDR, DAS, k-means, VGG19, DenseNet169, Xception

ABSTRACT

DETERMINATION AND CLASSIFICATION OF PROBLEMS IN ENERGY TRANSMISSION LINES USING FIBER OPTIC BASED DISTRIBUTED SENSORS

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronic Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa Yasin ERTEN

October 2024, 65 pages

Distributed acoustic sensor (DAS) systems are used in many areas such as national border security, critical facility security, oil pipelines, and energy networks. They are taking their place in today's technology. DAS can be used to detect the events occurring along the fiber optic line. The detection of occurred events in energy transmission lines is still a problem. This study discusses the location of theft, impact, collapse, etc. occurring in high voltage energy transmission lines and the poles carrying these lines and the determination of the cause of the negative situation. The data sets obtained by performing manual dismantling, machine dismantling, and hammer strike scenarios on the poles carrying energy transmission lines with DAS systems based on the optical time domain reflectometry (OTDR) technique were converted to image format. For each of these three scenarios, k-means clustering algorithm, DenseNet169, VGG-19 (Visual Geometry Group), Xception and ensemble learning techniques are applied to the images obtained separately. As a result, the locational detection of the hazards that will occur on the energy transmission lines and the poles carrying these lines and the classification of these hazards as manual dismantling, machine dismantling, and hammer strikes are carried out.

Keywords: OTDR, DAS, k-means, VGG19, DenseNet169, Xception

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve bana yol gösteren, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım tez danışmanım Mustafa Yasin Erten’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, yüksek lisans savunma jürimde değerli yorumları ile tezimin gelişimine katkıda bulunan Hüseyin Aydılek ve İbrahim Kök’e de teşekkürlerimi sunarım.

Tezin uygulama sürecinde yardım ve desteklerini esirgemeyen Nanotam firması çalışanları Sayın Ekmel Özbay, Tolga Kartaloğlu ve Tolga İpek’e teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans serüvenimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan bana her fırsatta yardımcı olan Sayın Burhan Çalı ve Sayın Ümit Çetinkaya’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan kıymetli eşim Remziye Büşra Çoruk ve canım oğlum Bulut Çoruk’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Samet Can ÇORUK

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Fiber Optik Haberleşme	5
1.2. Fiber Optik Tasarımı	6
1.2.1. Işığın Yayılması	7
1.2.1.1. Kırılma	7
1.2.1.2. Yansıma	8
1.2.2. Zayıflama	12
1.2.2.1. Soğurma Kaybı	12
1.2.2.2. Malzeme ve Rayleigh Saçınım Kaybı	13
1.2.3. Optik Ek Kayıpları	14
1.2.4. Bükülme	14
1.2.5. Yayılma	14
1.2.6. Optik Geri Dönüş Kaybı	15
1.2.7. Saçılma	16
1.2.7.1. Rayleigh Saçılması	16
1.2.7.2. Raman Saçılması	16
1.2.7.3. Brillouin Saçılması	17
1.3. Optical Time-Domain Reflectometers (OTDR)	17
1.3.1. Dalga Boyu	19
1.3.2. Darbe Genişliği	20
1.3.3. Ölçüm Mesafesi	20
1.3.4. Ortalama Zaman	21
1.4. OTDR Cihazını Fibere Bağlama	22
1.4.1. Doğrudan Bağlantı	22
1.4.2. Patchcord (Her iki ucu konnektörlü) ile Bağlantı	22
1.4.3. Çıplak Uçlu Pigtail Bağlantısı	23
1.5. OTDR ile Zayıflama Ölçümü	23
1.6. Faz-duyarlı Optik Zaman Alan Reflektometrisi (φ -OTDR)	25
2. MATERYAL ve METOT	26
2.1. Materyal	26
2.1.1. Veri Setinin Oluşturulması	26
2.1.2. Veri Toplama Prosedürü	28
2.2. Metot	30

2.2.1. K-Means Kümeleme	30
2.2.1.1. K-Means Algoritmasının Uygulanması	30
2.2.2. Evrişimli Sinir Ağları.....	33
2.2.3. Giriş Katmanı.....	33
2.2.4. Evrişim Katmanı	34
2.2.5. Ortaklama Katmanı.....	36
2.2.6. Tam Bağlantılı Katman.....	36
2.2.7. Sınıflandırma Katmanı.....	36
2.3. DenseNet169 Mimarisi	37
2.4. Xception Mimarisi	38
2.5. VGG-19 Mimarisi.....	39
2.6. Topluluk Öğrenmesi	39
2.6.1. Torbalama	40
2.6.2. Yükseltme	41
2.6.3. Yığma.....	41
2.6.4. Oylama.....	42
2.6.5. Ortalama.....	43
2.6.6. Ağırlıklı Ortalama.....	43
2.6.7. Harmanlama.....	43
2.7. Siyam Sinir Ağları	43
3. BULGULAR ve TARTIŞMA	45
3.1. K-means ile Elde Edilen Sonuçlar	45
3.2. VGG19 ile Elde Edilen Sonuçlar.....	48
3.3. DenseNet169 ile Elde Edilen Sonuçlar.....	50
3.4. Xception ile Elde Edilen Sonuçlar.....	52
3.5. Topluluk Öğrenmesi ile Elde Edilen Sonuçlar	53
3.6. Siyam Sinir Ağı ile Elde Edilen Sonuçlar.....	54
4. SONUÇ	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
1.1. Optik iletişimde kullanılan dalga boyları.....	9
1.2. ISO standartlarına göre fiber özellikleri.....	10
1.3. ITU-T standartlarını göre G.652 fiber özellikleri	11
1.4. ITU-T standartlarını göre G.653 fiber özellikleri	11
1.5. ITU-T standartlarını göre G.655 fiber özellikleri	11
1.6. Çok modlu ve tek modlu fiber karşılaştırması	11
3.1. Metotların metrik değerleri	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
1.1. Fiber optik dağıtık sensör (FODS) sistem mimarisi	1
1.2. Fiber optik haberleşme yapısı	5
1.3. Fiber optik kablo iç yapısı	6
1.4. Fiber optik kablo içerisinde ışık ışını iletimi	7
1.5. Işığın kırılması	8
1.6. Işığın yansıması.....	8
1.7. Fiber optik iletişimde dalga boyuna göre zayıflama	9
1.8. Fiber optik kablo bükülümü	14
1.9. Fiber optik ışık yayılım şekilleri	15
1.10. OTDR teknolojisinin çalışma prensibi şematik gösterimi.	18
1.11. Ölü olay bölgesi	19
1.12. Darbe genişliğinin ölçüm sonucuna etkisi	20
1.13. Ölçüm mesafesinin ölçüm sonucuna etkisi	21
1.14. Ölçüm süresinin ölçüm sonucuna etkisi	21
1.15. Fiberin doğrudan bağlantısı	22
1.16. Patchcord ile bağlantı.....	23
1.17. Çıplak uçlu pigtail bağlantı	23
1.18. OTDR ile ek kayıplarının ölçümü	24
1.19. OTDR ile ölçümde ek noktasının grafiğe yansıması	25
1.20. Optik darbelerle eşzamanlı ardışık ϕ -OTDR izleri.....	25
2.1. DAS sistemi	27
2.2. 154 kV Gölbaşı yüksek gerilim hattı	28
2.3. Enerji taşıyan direkte el ile sökme işlemi	29
2.4. Veri seti [50]	31
2.5. Veri seti üzerinde seçilen noktalar	31
2.6. Veri noktalarının kümelere ayrılması	31
2.7. Küme merkezlerinin tekrar hesaplanması	32
2.8. Nesnelerin küme merkezlerine göre tekrar paylaşımı.....	32
2.9. Nesnelerin kümelemesinin kesinleşmiş durumu	32
2.10. Evrişimli sinir ağları mimarisinin temel yapısı.....	33
2.11. Evrişim katmanı adımları.....	34
2.12. (a) Girdi matrisi, (b) Filtre matrisi	34
2.13. Konvolüsyon örneği.....	35
2.14. DenseNet169 ağı mimarisi blok yapısı	37
2.15. Xception mimari yapısı.....	38
2.16. VGG-19 modelinin ağı mimarisinin gösterimi (conv, evrişim anlamına gelir; FC, tamamen bağlı anlamına gelir.).....	39
2.17. Topluluk öğrenmesi çalışma prensibi	40
2.18. Bagging yöntemi	40
2.19. Boosting yöntemi	41
2.20. Stacking yöntemi.....	42
2.21. Voting (Oylama) yöntemi	42

2.22. Siyam sinir ağı yapısı	44
3.1. El ile sökme (a) Küme 1 (b) Küme 2 (c) Küme 3 (d) Küme 4 (e) Küme 5 ...	46
3.2. Makine ile sökme (a) Küme 1 (b) Küme 2 (c) Küme 3 (d) Küme 4 (e) Küme 5	47
3.3. Çekiç ile vurma (a) Küme 1 (b) Küme 2 (c) Küme 3 (d) Küme 4 (e) Küme 5	47
3.4. K-Means Kümeleme Sonuçları (a) Çekiç ile vurma (b) Aktivite yok (c) El ile sökme (d) Makine ile sökme.....	48
3.5. VGG19 eğitim sonuç grafikleri.....	49
3.6. VGG19 karışıklık matrisi.....	50
3.7. DenseNet169 eğitim sonuç grafikleri.....	51
3.8. DenseNet169 karışıklık matrisi.....	51
3.9. Xception eğitim sonuç grafikleri.....	52
3.10. Xception karışıklık matrisi.....	53
3.11. Metotların karşılaştırılması	54
3.12. Siyam - El ile sökme	55
3.13. Siyam - El ile sökme skor	55
3.14. Siyam - Makine ile sökme.....	55
3.15. Siyam - Makine ile sökme skor.....	56
3.16. Siyam – Çekiç ile vurma	56
3.17. Siyam – Çekiç ile vurma skor	56

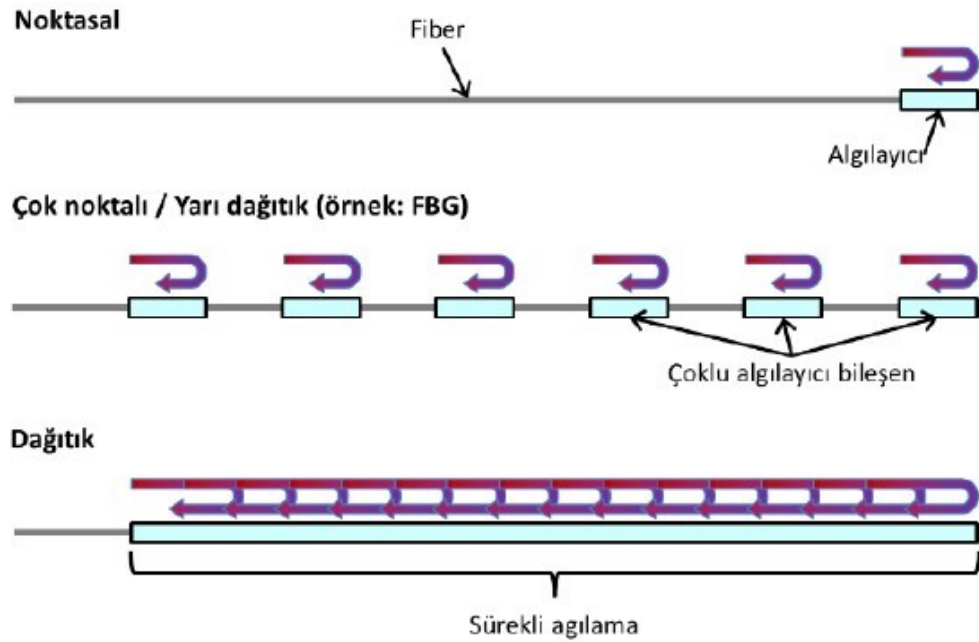
KISALTMALAR

BER	Bit hata oranı
CD	Chromatic dispersion
CNN	Convolutional neural networks
DAS	Dağıtık akustik sensör
dB	Desibel
dB/km	Kilometre başına desibel
DFOS	Distributed fiber optic sensing
EDZ	Event dead zone
ESA	Evrişimli sinir ağları
FODS	Fiber optik dağıtık sensör
FOS	Fiber optik sensör
IP-CNN	Faz yığınlı CNN
NA	Numerical aperture
NN	Neural networks
OFTT	Optik fiberli toprak teli
OPGW	Optical ground wire
ORL	Optical reflection loss
OSNR	Optik sinyal gürültü oranı
OTDR	Optical time domain reflectometry
OZAR	Optik zaman alanı reflektometrisi
PMD	Polarization mode dispersion
RF	Radyo frekans
TEİAŞ	Türkiye elektrik iletim anonim şirketi
WDM	Wavelength division multiplexing
Φ -OTDR	Faz duyarlı optik alan reflektometrisi

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde geniş yer kaplayan elektronik cihazların sistem parametreleri sensörler ile ölçülmektedir. Ancak, yüksek hassasiyet, mukavemet, güvenilirlik ve düşük maliyet gibi avantajlar ve 20.yy'da optik fiber teknolojisinde kaydedilen hızlı ilerlemeler nedenleri ile yeni bir algılama teknolojisi olarak fiber optik sensörler ortaya çıkmıştır. Zaman içerisinde Fiber Optik Sensörler (FOS) geleneksel sensörlerin yerini alarak literatürde kendisine önemli bir yer edinmiştir [1].

Optik fiberler, telekomünikasyon ve enerji sektörleri başta olmak üzere birçok alanda hızlı bir gelişim göstererek daha yaygın bir teknoloji haline gelmiştir. Fiber optik sistemler, sensör teknolojisinde ilk olarak noktasal şekilde kullanılmaya başlamış ve ilerleyen zamanlarda bu yöntemde de gelişim göstererek çok noktalı/yarı dağıtık ve dağıtık sensörler ile daha da verimli bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [2]. Fiber optik dağıtık sensör tiplerine ilişkin farklı sistem mimarileri Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Fiber optik dağıtık sensör (FODS) sistem mimarisi [3]

Dağıtık sensör sistemleri günümüzde askeri uygulamalar, gaz ve petrol kuyuları, kritik tesis güvenliği, petrol boru hatları, altyapı güvenliği, hırsızlığın önlenmesi, toprak sınır güvenliği ve enerji iletim hatları olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır [3]. Fiber Optik Dağıtık Sensör (FODS) - Distributed Fiber Optic Sensing (DFOS) sistemleri genellikle Optik Zaman Alanı Refloktometresini (OZAR) - (OTDR) esas almaktadır. OTDR, temelde ışığın yansıması prensibiyle çalışır. OTDR metodunda optik sinyaller fiber içerisinde gönderildikten sonra yayılan ışığın dalga boyundan farklı dalga boylarında geriye saçılan işaretleri toplar ve işaretteki değişimler analiz edilir [4]. OTDR ile fiber optik kabloda tek yönlü ölçüm yapılarak fiberin uzunluğu ve fiberdeki kayıplar ölçülebilir. Bu geri yansıyan sinyallerdeki değişime ve kat ettiği mesafeye göre zayıflamalar ve konumlamalar tespit edilir [5].

FODS sistemleri temel olarak saçılma tekniğine dayanmaktadır. Saçılma, ışığın ilerlediği ortamda bulunan parçacıklar veya kusurların ışığın doğrultusundan sapması ya da tüm yönler dağılmasıdır. FODS sistemlerinde kullanılan saçılma yöntemleri Rayleigh [6], Brillouin [7] ve Raman [8] olarak bilinmektedir. Bu tezde DAS sistemi ile ölçümler yapılacağından Rayleigh saçılma yöntemi kullanılacaktır. Rayleigh saçılımı, ışığın dalga boyundan daha küçük tanecikler tarafından saçılımını ifade eder. Bu saçılım metoduna dayanan sensör tipi Dağıtık Akustik Sensör (DAS) teknolojisidir. Rayleigh saçılımı gelen sinyali tüm yönler aynı frekansta ileterek, saçılan ışığın küçük bir kısmını optik fiberin giriş kısmına geri yönlendirmektedir. Fiberde bir darbe, titreşim, kopma veya kayıp varsa, geri yansıyan bu sinyal analiz edilerek söz konusu olumsuzlukların konumları tespit edilmektedir [9].

DAS teknolojisinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri de elektrik iletim hatlarıdır. Elektrik iletim hatlarında genellikle bakır ve alüminyum iletkenli yüksek gerilim kabloları yaygın olarak kullanılmaktadır. Trafo merkezleri arasında bu kablo yardımı ile elektrik iletimi sağlanmaktadır. Ayrıca, trafo merkezleri arasında faz iletken kablolarına ek olarak koruma teli de bulunmaktadır. Bazı enerji iletim hatlarında diğer koruma iletkenlerinden farklı olarak, alüminyum tüp içerisinde fiber optik lifler bulunmaktadır. Bu özel koruma iletkenleri Optik Fiberli Toprak Teli (OFTT) - Optical Ground Wire (OPGW) kablo olarak adlandırılmaktadır. OPGW; geleneksel işlevi olan yıldırım ve kısa devre akımlarından enerji iletim hattını korumakla birlikte, içerisinde bulunan fiber optik liflerle iletişimin teminini ve veri aktarımını sağlar. Literatürde, bu kablolar üzerinde çalışılmış fiber optik sensör

örnekleri mevcuttur. [10]'da yazarlar XLPE yalıtkanlı yüksek gerilim kablolarında meydana gelen sıcaklık ve gerginliğe bağlı değişimlerin tespit edilmesini amaçlamıştır. Bu kapsamda, optik fiberli dağıtık algılama prensibi kullanılmıştır, ayrıca algılayıcı fiberin Young modülü ve Shear modülünden yararlanılmıştır. Habti, Abhijit, Sriharsha, Carvelli ve Bonamy (2022)'de yaptıkları çalışmalarda iletken içindeki gerilimi ve sıcaklığı izleyecek FOS'ların yerleşimini kavramsallaştırmak amacıyla tek bir faz üzerinde bir takım sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir [11].

Literatürde fiber optik sensörler kullanılarak farklı amaçlar için makine öğrenimi ve derin öğrenme konularında çalışmalar da mevcuttur. [12]'de simülasyonları ve gerçek sistem uygulamasını kullanan klasik makine öğrenimi algoritmalarıyla yeterli algılama doğruluğu elde etmenin mümkün olup olmadığı araştırılmış ve ardından, klasik makine öğrenimi ile derin öğrenme yaklaşımını karşılaştırarak her iki yaklaşımın avantaj ve dezavantajları analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda her iki yaklaşımla da kabul edilebilir performans elde edilebilse de, ön sonuçlar derin öğrenmenin daha umut verici bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Aktaş, Akgün, Demircin ve Büyükaydın (2017)'de dağıtık akustik tabanlı sensörler kullanarak sinyal işleme ve tehdit sınıflandırma yöntemleri ile varlık korumaya yönelik çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda tehdit algılama işlemi, OTDR ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin tehdit algılama yeteneğini geliştirmek için güçlü bir sinyal ön işleme yöntemi ile gürültüyü azaltmak amaçlanmıştır [13]. Bu yöntem, doğrudan algılama tabanlı sistemlerle sınırlı değildir ve herhangi bir OTDR sistemine de uygulanabilir. Çeşitli tehdit türlerini tanımlamak için yeni bir derin öğrenme tabanlı tehdit sınıflandırma yöntemi sunulmuştur. Sunulan bu yöntemde, gerçek sensör verileriyle eğitilmiş derin bir CNN algoritması kullanılmıştır. Diğer bir çalışmada [14], DAS sistemi ve derin öğrenme tabanlı tehdit sınıflandırma yaklaşımı sunulmuştur. Söz konusu sinyal sınıflandırılmadan önce gürültü azaltma ve sinyal iyileştirme algoritmaları uygulanmıştır. Bu yöntemler uygulanarak yer altında bulunan fiber optik üzerinden 40 km mesafeye kadar testler yapılarak fiber optik hattına 10 metre mesafeye kadar olan yürüme, koşma, kazma ve kürek ile toprak kazma gibi farklı faaliyetlerin sınıflandırılabilirdiği gösterilmiştir.

Son dönemde, literatürde DAS sistemlerinde tehdit sınıflandırma algoritmaları için spektrum görüntülerinin girdi olarak kullanılması yaygınlaşmıştır. [15]'te yazarlar DAS sistemleri için bir tehdit sınıflandırma yöntemi önermiştir. Yöntem, SNR bağımlı

bir veri oluşturmaya kapsar. Bu sayede, çekiç vuruşu, kazma ile kazma ve kürekle kazma gibi üç farklı hareketi olaylarından oluşan veri seti sınıflandırma algoritmasında kullanılmak üzere çeşitlendirilmiştir. Bu tehditleri tanımlamak için iki farklı derin öğrenme algoritması Evrişimli Sinir Ağları (ESA) - Convolutional Neural Network (CNN) ve Tam Bağlantılı Yapay Ağ - Fully Connected Neural Networks (FCNN) kullanılmıştır. Sonuç olarak her iki sınıflandırma yöntemi karşılaştırılarak FCNN yönteminin sınıflandırma başarısının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. [16]'da DAS sistemleri için uçtan uca yüksek doğrulukla sinyalleri algılama ve bu sinyalleri tanımlama yöntemi önerilmiştir. Sinyal, belirli özelliklerine göre bölümlere ayrılmış ve bunun kısa zamanlı Fourier dönüşümüyle oluşturulan iki boyutlu görüntüsü sırasıyla tek boyutlu evrişimli sinir ağı ve iki boyutlu evrişimli sinir ağında veri seti olarak kullanılmıştır. Bu yöntemler kullanılarak yapılan görüntü sınıflandırmada %98,54 doğruluk oranı tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada [17], DAS sistemleri tarafından tespit edilen sinyallerin zaman-frekans özelliklerinin analizi ve bu sinyallerin sınıflandırılması için CNN kullanılmıştır. Öncelikle sinyallerin zaman-frekans özelliklerini geliştirmek ve bu sinyallerin spektrogramlara dönüştürülmesi için kısa zamanlı fourier dönüşümü kullanılmıştır. Daha sonra bu sinyallerin sınıflandırmasında daha verimli ve evrensel bir yöntem olan CNN ile sınıflandırma yapıldığında başarı oranının %90'ın üzerinde olduğu kanıtlanmıştır. [18]'de genel olarak DAS sistemlerinde olay sınıflandırması için en uygun yöntemlerden birinin CNN olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmada ise, toplanan bilgileri artırmak ve evrişimli sinir ağlarının gücünü üst düzeye çıkarmak için daha kapsamlı bir yöntem olan Faz Yığınli CNN (IP-CNN) yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde, eğitim veri seti boyutunu daha da artırmak için veri büyütme çalışması gerçekleştirilerek, sınıflandırma doğruluğunda %88,2'lik bir oran elde edilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, DAS sistemleri birçok alanda yaygın olarak kullanılsa da ülkemizde bulunan enerji iletim hatlarında kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır. Buna ek olarak, Enerji iletim hatlarını taşıyan direklerde meydana gelecek problemlerin (hırsızlık, yıkılma, darbe vs.) makine veya derin öğrenme teknikleri sınıflandırılması ile ilgili çalışılmış herhangi bir çalışma literatürde bulunmamaktadır.

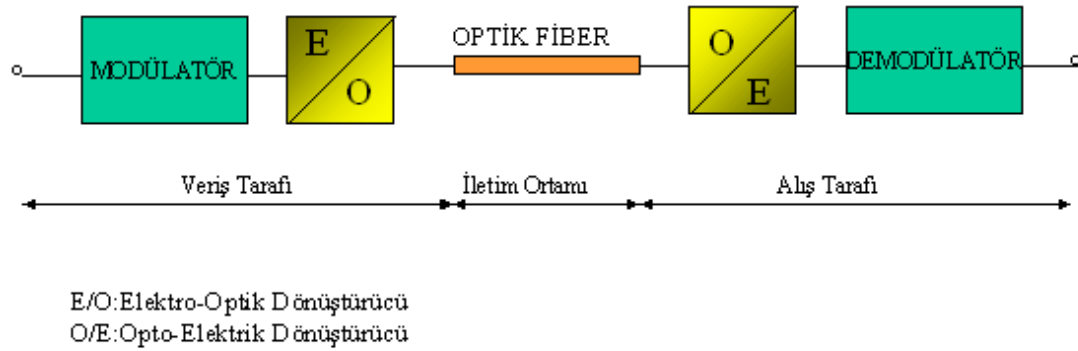
Bu tezde, fiber optik tabanlı DAS sistemleri kullanılarak enerji iletim hatlarında ve bu hatları taşıyan direklerde meydana gelen fiziksel değişimlerin tespiti görüntü

sınıflandırma algoritması ile gerçekleştirilecektir. Bu kapsamda, sınıflandırma algoritması için bir derin öğrenme yöntemi önerilmektedir. Bu amaç çerçevesinde, tezin hedefleri aşağıda yer almaktadır:

- DAS sistemlerinin enerji iletim hatlarında verimli şekilde kullanılması
- Elektrik iletim hatlarında meydana gelen değişimlerin sensörlerle tespit edilerek veri seti oluşturulması
- Veri setinin derin öğrenme algoritması ile yüksek doğrulukla tespiti ve sınıflandırması
- Önerilen tespit algoritması ile enerji iletim hatlarında meydana gelecek maddi ve manevi kayıplara karşı önlem alınabilmesi

1.1. Fiber Optik Haberleşme

Fiber optik haberleşme teknolojisi ışığın bir noktadan başka bir noktaya gönderimini sağlamaktadır. Optik haberleşmenin esas prensibi, bir sinyali optik fiber içerisinde uzakta bulunan alıcılara iletmektir. Elektriksel sinyal, önce verici tarafında optik sinyale daha sonra alıcı tarafında tekrar elektriksel sinyale dönüştürülür [19]. Şekil 1.2’de fiber optik haberleşme yapısının gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.2. Fiber optik haberleşme yapısı

Fiber optik haberleşmenin bakır, radyo link gibi diğer iletişim metotlarına göre avantajları vardır. Bu avantajlar aşağıda listelenmiştir [20].

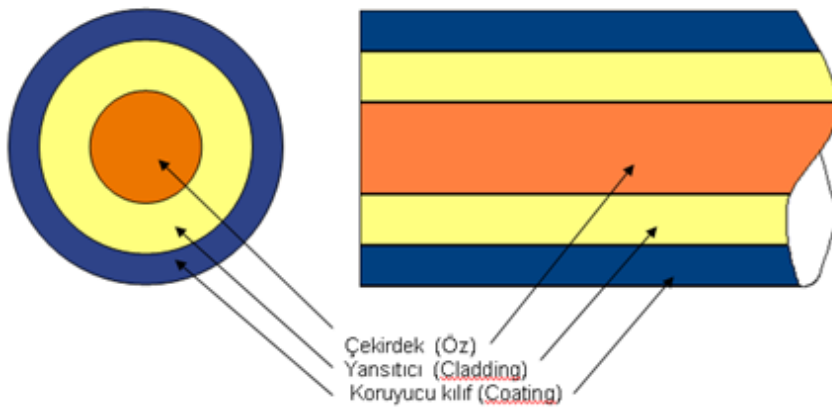
- Yüksek hız ve daha uzak mesafelere iletişim sağlar.
- Elektromanyetik faktörlerden etkilenmezler. Fiber optiğin elektrik iletkenliğı olmadığı için RF parazitlerinden etkilenmezler.
- Fiber optik sistemler, diğér iletişim sistemlerine göre daha fazla kapasite sağlar.
- Fiber optik kablo daha hafif ve küçüktür. Bu nedenle sınırlı alanlarda yüksek kapasiteli fiber optik kablo kullanılabilir.
- Optik fiberler esnek ve güvenilirdir ancak titreşime karşı hassastır.
- Optik fiberler için çalışma sıcaklıkları değışken olmakla birlikte genel olarak bu sıcaklık -40 °C ile +80 °C arası kabul edilmektedir.

Optik sistemlerde ışık iletişimini etkileyen 3 temel faktör vardır:

- ✓ Kayıp
- ✓ Bant genişliğı
- ✓ Dağılma (Dispersiyon)

1.2. Fiber Optik Tasarımı

Optik fiber çok ince, etrafı yansıtıcı kılıf ile çevrili bir cam maddeden oluşmaktadır. Cam çubuk 2 bölümdür; iç kısmı çekirdek, dışı kısım yansıtıcı kılıftır. Işık, çekirdek ile yansıtıcı kılıf arasında çarparak fiberde ilerler. Fiberin dış kısmı ise koruyucu kılıf ile kaplıdır. Çekirdek ile yansıtıcı kılıf fiberin yapısına göre değışkenlik gösterir. Şekil 1.3'te fiber optik kablo iç yapısının gösterimi verilmektedir.

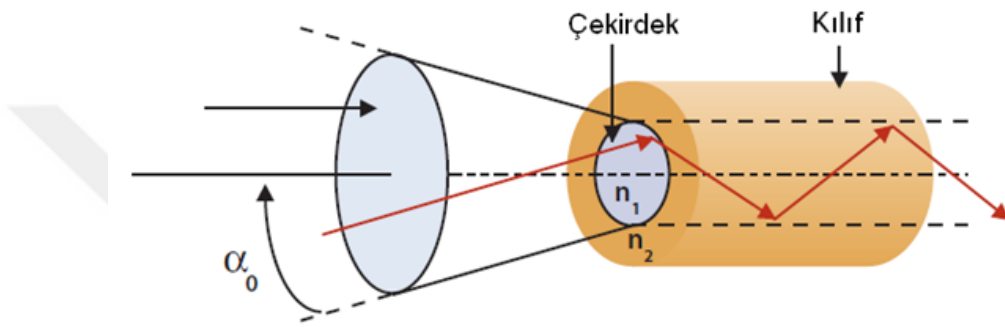


Şekil 1.3. Fiber optik kablo iç yapısı [51]

Fiber Optik haberleşme ilkesine göre, ışık ışını fibere küçük bir α açısı ile giriş yapar. Fiber optik kablonun (maksimum kabul edilen değer) öz içerisine ışığı alabilme yeteneği sayısal açıklığı (Numerical Aperture (NA)) tarafından belirlenir [21].

$$NA = \sin \alpha_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.1.)$$

α_0 maksimum (yansıma ile kırılma arasındaki sınır değer) kabul açısı, n_1 çekirdek kırılma indisi, n_2 yansıtıcı kılıf kırılma indisidir. Şekil 1.4'te fiber optik kablo içerisinde ışık iletiminin gösterimi verilmektedir.



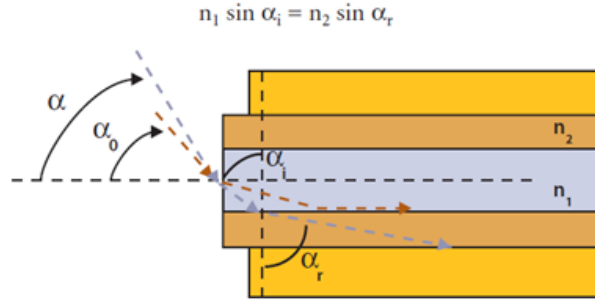
Şekil 1.4. Fiber optik kablo içerisinde ışık ışını iletimi [51]

1.2.1. Işığın Yayılması

Fiber optik kablo içerisinde ışığın yayılması Snell yasasına göre açıklanabilir. Işığın bir bölümü fiberin tam kabul konisi içerisine giriş yaptıktan sonra fiber optik aracılığıyla yönlendirilir. Fiber optik haberleşmenin çalışma prensibi temel optik kurallara dayanmaktadır. Bir ışın huzmesi az yoğun bir ortamdan daha yoğun bir ortama geçiş yaparken, geliş açısına bağlı olarak yansımaya (tam yansıma) ya da kırılarak ortam dışına çıkması durumuna ışığın yayılması denir. Bu durum optik haberleşmeyi negatif anlamda etkileyen bir durumdur [22].

1.2.1.1. Kırılma

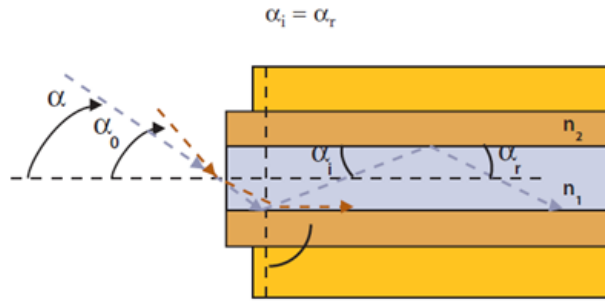
Kırılma, iki farklı iletişim ortamı (kırılma indisleri farklı) arasındaki yüzeyde ışık ışınının bükülmesidir. Işık farklı indisli ortamlarda kırılmaya uğrar. $\alpha > \alpha_0$ ise ışın tam olarak kırılır ve çekirdek ortamına geçiş yapamaz [23]. Şekil 1.5'te ışığın kırılmasının gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.5. Işığın kırılması [51]

1.2.1.2. Yansıma

Yansıma, iki farklı iletişim ortamı (kırılma indisleri farklı) arasındaki yüzeyde ışık ışınının yönünün değişmesidir [21]. Bu durumda, ışık ışını bulunduğu ortama geri döner. $\alpha < \alpha_0$ ise ışın yansır ve çekirdek içinde kalır. Şekil 1.6'da ışığın yansıması gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.6. Işığın yansıması [51]

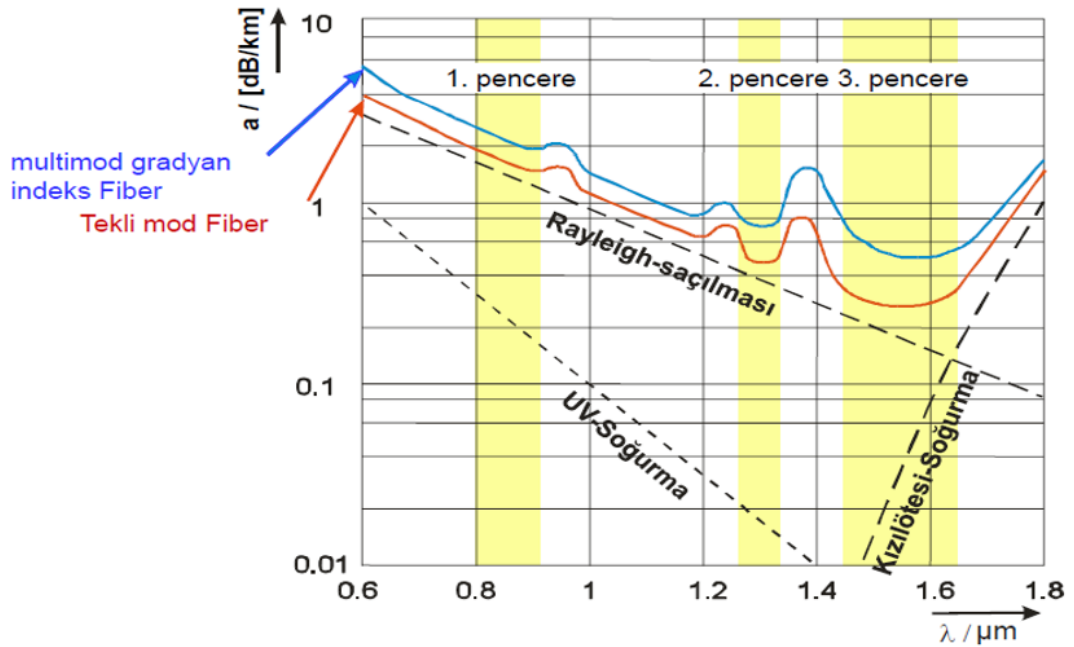
Işık ışınları farklı açılarla fibere giriş yapar ve farklı yol izlerler. Çekirdeğin merkezine çok küçük açıyla giren ışık ışınları fiberin merkezinde nispeten doğrusal yol alır. Çekirdeğin merkezine yüksek geliş açısıyla giriş yapan ya da çekirdek merkezinin dış kenarına yakın giren ışık ışınları fiber içerisinde daha az doğrusal ve daha uzun bir yol alır ve fiberin sonuna erişimi daha yavaş olur. Verilen bir geliş açısı ve bir giriş noktası sonucu oluşan her yol, bir modun ortaya çıkmasına neden olur. Modlar fiber boyunca hareket ederken her biri belli bir seviyede güç kaybeder. Sonuç olarak farklı yayılma modları veya ışığın farklı yolları nedeniyle ışık ışınları farklı mesafeler kat eder ve ışınlar fiberin sonuna farklı zamanlarda ulaşır.

Fiber Optiğin içerisindeki ışığın hızı, ortamın kırılma indisine göre belirlenir. Işığın boşluktaki hızının iletişim ortamındaki hızına oranı olan kırılma indisinin (n) birimi yoktur. Kırılma indisi daha büyük olan ortamda ışığın hızı daha yavaş olacaktır.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.2.)$$

n kırılma indisi, c ışık hızı ve V yoğunluğu camın cinsine göre değişen ışığın bir fiberdeki hızıdır. Bant genişliği, fiber optiğin iletebileceği frekans aralığının genişliği olarak tanımlanır. Bant genişliği, bir kanalın verilen bir mesafede fiber boyunca taşıyabileceği maksimum veri kapasitesini belirler. Bant genişliği MHz.km birimiyle ifade edilir.

Haberleşme sistemlerinde en önemli sorunlarından birisi de sinyalin/işaretin, bilginin zayıflamasıdır. Optik iletişim sistemlerinde daha sağlıklı haberleşmenin sağlanması için zayıflamanın minimum olduğu fiziksel dalga boyları (pencereler) tasarlanmıştır. Bunlar uygun çalışma pencereleri olarak tanımlanabilir [24]. Şekil 1.7’de fiber optik iletişimde kullanılan dalga boylarına ait zayıflamalar gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Fiber optik iletişimde dalga boyuna göre zayıflama

Çizelge 1.1. Optik iletişimde kullanılan dalga boyları

Çalışma Penceresi (nm)	Dalga Boyu
1.pencere = 800-900	850 nm
2.pencere = 1250-1350	1310 nm
3.pencere = 1500-1650	1550 nm

Bu dalga boylarından 1310 nm ve 1550 nm yaygın olarak kullanılmaktadır. 1310 nm’de 0,36-0,40 db/km (birim uzunluk başına desibel), 1550 nm’de 0,15-0,22 dB/km zayıflama görülür.

Fiber Optik, ışığın iletiildiği yola göre sınıflandırılır. Fiber tipi çekirdeğin ve yansıtıcının kalınlığına göre değişkenlik gösterir. Bunlar çok modlu fiber ve tek modlu fiber olarak iki genel gruba ayrılabilir. Çok modlu fiberlerin çekirdeklerinin geniş olması nedeniyle ışık ışını, fiber optik boyunca farklı modlarda ilerleyebilir. Bunun nedeni; çok modlu fiberlerin mod dağılmalarına karşı çok hassas olmalarıdır. Daha ucuz vericiler kullanılabilmesi ve vericiler ile diğer fiberlerin bağlantısının kolay olması çok modlu fiberlerin önemli avantajlarındandır. Düşük bant genişliği ve yüksek kayıplar nedeniyle uzun mesafelerde tercih edilmezler. Genel olarak, bir 50/125 µm çapındaki dereceli indisli çok modlu fiber ITU-T G.651 standardı ile tanımlanır. Çok modlu uygulamalarda bant genişliği ihtiyacının artmasıyla, Gigabit Ethernet ve 10 GigE kapsayan, üç farklı ISO kategorisi belirlenmiştir [25].

Çizelge 1.2. ISO standartlarına göre fiber özellikleri

Standart	Özellik	Dalga boyu	Uygulamalar
ITU-T G.651 ISO/IEC 11801:2002(OM1)	Dereceli indisli fiber	850nm ve 1300nm	Erişim ağlarında veri iletişimi
ITU-T G.651 ISO/IEC 11801:2002(OM2)	Dereceli indisli fiber	850nm ve 1300nm	Erişim ağlarında görüntü ve veri iletişimi
ITU-T G.651 ISO/IEC 11801:2002(OM3)	Lazeri iyileştirilmiş dereceli indisli fiber: Max 50/125 µm	Optimize edilmiş 850nm	Yerel erişim ağlarında GigE ve 10 GigE seviyesinde iletişim (max 300 m)

Bant genişliği ve kayıplar açısından tek modlu fiberlerin performansı çok modlu fiberlerin performansına göre daha yüksektir. Tek modlu fiberin çekirdek çapı daha küçüktür. Işığın yayılmasını tek moda sınırlayarak mod dağılmalarını tamamen engeller. Tek modlu fiberler, mod dağılmalarını engelleyecek bileşenler (kompansatör) kullanılarak, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s ve üzeri hızlarda uzak mesafelere veri gönderimini sağlar. Sistemin taşıma kapasitesi, fibere birbirinden farklı dalga boylarında çoklu sinyaller (WDM- Wavelength-division multiplexing) gönderilerek daha fazla artırılabilir. Tek modlu fiberler genellikle daha pahalı ışık kaynağına ve sistemlere ihtiyaç duyar.

Ayrıca, bu tip fiberlere ek yapılması çok modlu fiberlere göre daha zordur. Ancak, her durumda daha yüksek performans ya da daha uzun mesafelerde iletişim sağlamak için en iyi çözüm tek modlu fiberdir. Tek modlu fiberlerin çekirdek çapları 8-12 µm, yansıtıcı çapı ise 125 µm'dir. Tipik çekirdek kaplama açısı 8.5 derecedir. Tek modlu fiberin kırılma indisi genel olarak 1.465'tir [26].

Tek modlu fiberlerin farklı tipleri vardır. Bu fiberler zayıflama aralığı, kromatik dağılma (CD: Chromatic Dispersion) ve PMD (Polarization Mode Dispersion) kat sayılarına göre sınıflandırılır. ITU-T standartları ile bu sınıflandırma düzenlenir.

Çizelge 1.3. ITU-T standartlarını göre G.652 fiber özellikleri

G.652 tipi fiber özellikleri	Karakteristik	Dalga boyu kapsamı(nm)
G.652.A	Max PMD: 0.5ps/√km	1310-1550 (0 ve C Bantları)
G.652.B	1625 nm'de zayıflama max. değer Max PMD:0,2ps/√km	1310-1550-1625 (0 ve C+L bantları)
G.652.C	1383 nm'de zayıflama max. değer Max PMD:0,5ps/√km	0-C bantları
G.652.D	1310-1625 nm'de zayıflama max. değer Max PMD:0,2ps/√km	0-L bantları

Çizelge 1.4. ITU-T standartlarını göre G.653 fiber özellikleri

G.653 DSF tipi fiber özellikleri	Karakteristik	Dalga boyu kapsamı(nm)
G.653.A	1550 nm'de sıfır kromatik dispersyon ve max zayıflama 0,35 dB/km Max PMD: 0.5ps/√km	1550
G.653.B	1550 nm'de sıfır kromatik dispersyon ve max zayıflama 0,35 dB/km Max PMD: 0.2ps/√km	1550

Çizelge 1.5. ITU-T standartlarını göre G.655 fiber özellikleri

G.655 NZDSF tipi fiber özellikleri	Karakteristik	Dalga boyu kapsamı(nm)
G.655.A	1550 nm'de sıfır kromatik dispersyon ve max zayıflama 0,35 dB/km Max PMD: 0.5ps/√km	1310-1550 (0 ve C Bantları)
G.655.B	1625 nm'de zayıflama max. değer Max PMD:0,2ps/√km	1310-1550-1625 (0 ve C+L bantları)
G.655.C	1383 nm'de zayıflama max. değer Max PMD:0,5ps/√km	0-C bantları

Genel olarak çok modlu fiber ile tek modlu fiber aşağıdaki gibi karşılaştırılabilir.

Çizelge 1.6. Çok modlu ve tek modlu fiber karşılaştırması

Parametre	Çok modlu fiber	Tek modlu fiber
Fiber maliyeti	Pahalı	Daha ucuz
Transmisyon cihazları	Daha ucuz(LED)	Pahalı (lazer diyot)
Zayıflama	Yüksek	Düşük
Dalga boyları	850 nm-1300 nm	1260 nm-1640 nm
Mesafe	Lokal ağlar(<2 km)	Daha uzun mesafelerde (>200 km)
Bant genişliği	Sınırlı (kısa mesafelerde 10Gb/s)	Sınırsız sayılabilir (DWDM sistemleri için >1 Tb/s)

Fiber optik, ışık transferinde üç temel öge kullanır. Bunlar; alıcı, verici ve sinyalin alıcıdan vericiye geçmesini sağlayan ortamdır. Optik fiberde iletişim sağlanırken

sistem içerisinde zayıflama, yayılma ve saçılmalara sebep olur.

1.2.2. Zayıflama

Zayıflama, ışık ışınlarının iletildiği ortamın mesafesine bağlı olarak sinyal gücünün azalmasıdır. Fiber optik sistemlerde zayıflama genellikle dB/km cinsinden ifade edilir. Optik fiberlerde , yüksek bant genişliğinin yanı sıra düşük zayıflamanın da olmasından dolayı diğer birçok iletim ortamından daha yüksek bir performans sunulmaktadır. Düşük zayıflama özelliği sayesinde uzun mesafelerde yükseltici ve tekrarlayıcılara daha az ihtiyaç duyulmaktadır. Yükseltici ve tekrarlayıcı sayısının az olması da sinyallerin kalitesi ve güvenliğini artırırken maliyet olarak da büyük avantaj sağlamaktadır [27].

Fiber optik sinyal iletilirken, kullanılan dalga boyunun özelliğine göre de sinyaldeki zayıflamalar farklılık göstermektedir. Standart tek modlu bir fiber hattında gerçekleşen zayıflama, 1300 nm dalga boyunda ortalama olarak 0.35 dB/km iken, 1550 nm dalga boyunda daha da azalarak 0.25 dB/km seviyelerine düşmektedir. Böylelikle 1550 nm dalga boyu kullanılarak iletimi sağlanan sinyaller ortalama 100 km'den daha uzağa yükselteçlere gerek kalmadan iletilebilir.

Fiber optik haberleşmede kullanılan dalga boylarında zayıflamanın en fazla olduğu aralıklar 730-950 nm ve 1250-1380 nm bölgeleridir. Fiber Optik iletişimde bu dalga boylarında çalışmak performans düşüklüğüne neden olur.

Fiber optik haberleşme sistemlerinde en çok dikkat edilmesi gereken konuların başında iletim kayıpları gelmektedir. Fiber hattındaki kayıplar, ışık gücünde bir azalmaya sebep olarak sistemin bant genişliği, bilgi iletim hızı, verimliliği ve kapasitesinin de azalmasına neden olmaktadır. Fiber Optik içerisinde iletimi sağlanan ışık sinyalinin enerjisi, farklı nedenlerle kayba uğrar. Fiber optik iletişimde başlıca iki ana kayıp vardır. Bunlardan biri ışığın soğrulması diğeri de saçınımıdır.

1.2.2.1. Soğurma Kaybı

Işık enerjisi optik fiberin içerisinde ilerlerken bu enerjinin bir kısmı ısı ve kimyasal enerji gibi diğer enerji formlarına dönüşür, bu da iletilen ışığın gücünün azalmasına neden olur. Optik fiberdeki soğurma kaybı, bakır kablolarda yaşanan güç kaybı ile benzerlik göstermektedir. Optik fiberin saf ve pürüzsüz olmamasından dolayı çekirdeğinde ve kılıfında bulunan farklı metaller (kobalt, bakır, krom vb.) veya su

iyonları gibi yabancı maddeler ışığın soğrulmasına neden olur. Daha az kayıp gerçekleşmesi için bu maddelerin fiber optik kablo üretilirken en az seviyede olması gerekmektedir. Fiber Optik iletişimde soğurma kayıplarına 3 faktör sebep olur [28].

Morötesi Soğurma:

Morötesi soğurma, fiber optik kablo üretilirken cam malzemede bulunan valans elektronları nedeniyle meydana gelmektedir. Işık, valans elektronlarını iyonize ederek iletkenlik oluşturur. Oluşan bu iyonizasyon nedeniyle toplam ışık alanında bir kayıp oluşur ve bu sebeple fiberin iletişimde kayıplar ortaya çıkmaktadır.

Kızılaltı Soğurma:

Fiber optik kabloda bulunan cam çekirdek moleküllerinin atomları tarafından soğurulan ışık fotonları kızılaltı soğurmaya neden olur. Soğurulan bu fotonlar, birbirinden bağımsız rastgele mekanik titreşimlere dönüştürülür.

İyon Rezonans Soğurması:

Optik Fiberin imalat sürecinde camın içerisinde su molekülleri sıkışıp kalmaktadır. Bu su molekülleri OH^- iyonlarını oluşturmaktadır. Bu iyonların oluşturduğu soğurmaya demir, bakır ve krom molekülleri de neden olur.

1.2.2.2. Malzeme ve Rayleigh Saçınım Kaybı

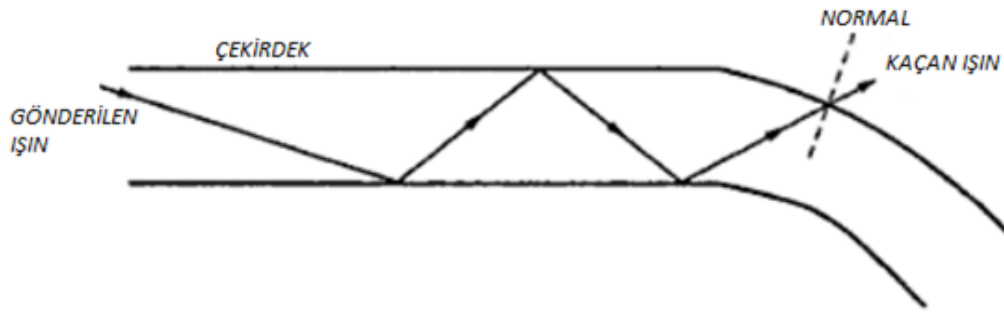
Fiber optik kablonun üretim aşamasında, cam malzeme belirli aşamalardan geçerek çok ufak çaplı uzun fiberlere dönüştürülür. Bu işlem gerçekleştirilirken cam, plastik haldedir (sıvı ya da katı halde değil). Bu aşamada cama uygulanan kuvvet nedeniyle, soğuyan camda gözle görülemeyecek kadar küçük düzensizlik ve pütürlerin oluşmasına neden olur; bu düzensizlikler optik fiberde kalıcı olarak oluşur. Işık ışınları, fiberde ilerlerken bu düzensizliklerden birine ya da toz veya hava içinde bulunan moleküllere çarparsa kırınım meydana gelir. Kırınım, iletilen ışığın fiber içerisinde birçok farklı yönde dağılmasına veya saçılmasına neden olmaktadır. Kırınım yapan ışığın bir kısmı fiber hat içerisinde ilettime devam ederken, bir kısmı da doğrultusundan dışarı doğru hareket ederek kaçar. Kaçan bu ışık ışınları, ışığın gücünde bir kayba neden olur. Bu kayba Rayleigh saçınım kaybı denir. Rayleigh saçınımları genellikle fiber çekirdeğindeki kusurlardan, kalıntılardan, cam atomlarından ve optik fiberin çekirdek yüzeyinin pürüzsüz olmayışından kaynaklanmaktadır [29].

1.2.3. Optik Ek Kayıpları

Bir fiber optik hat için, pasif bileşenlerin etkileri ve ek kayıpları fiberin yapısından gelen kayıplara eklenerek toplam kayıp bulunur. Ek kaybı, kullanılan bir dalga boyunda ölçülen fiberin giriş sinyalinin çıkış sinyaline oranı olarak tanımlanır. Genellikle dB cinsinden ifade edilir [30].

1.2.4. Bükülme

Optik fiberdeki sinyaller, hat üzerinde bulunan keskin bükülme ve eğrilikler yüzünden kayıplara maruz kalırlar. Fiberin çekirdeği bükülürse normal eksen de bükülmeye uğrayacaktır. Bu eksene gelen ışın optik fiberin çekirdeğinden uzaklaşacaktır. Söz konusu sinyalin dalga boyu arttıkça bükülmelere karşı hassasiyeti de artacaktır. Şekil 1.8’de fiber optik kablo bükülümünün gösterimi verilmektedir [21].



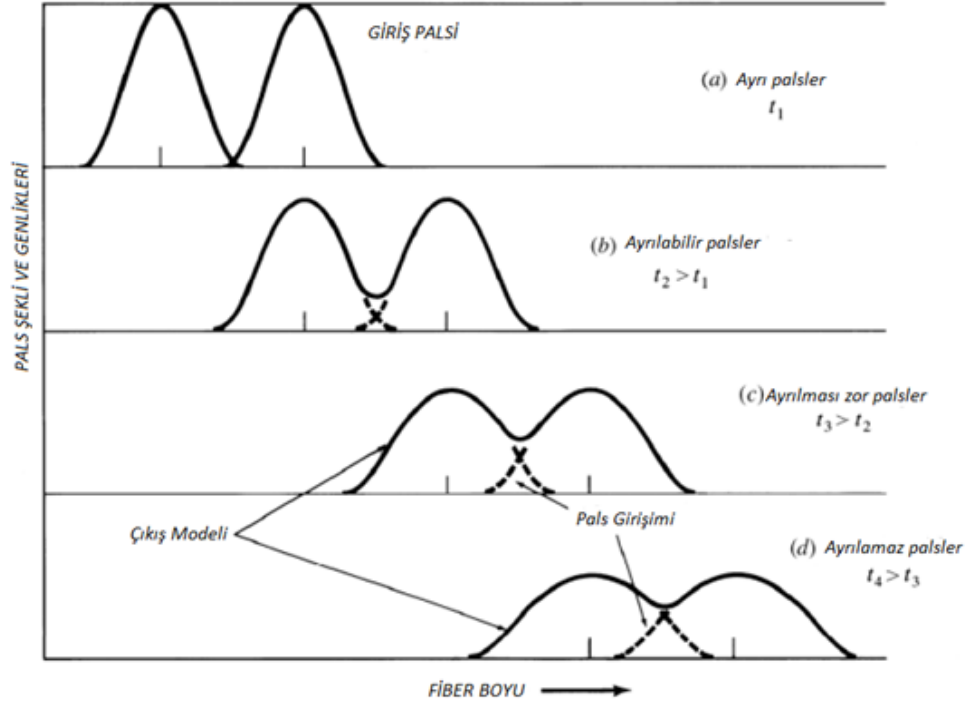
Şekil 1.8. Fiber optik kablo bükülümü

Bükülme kayıpları iki şekildedir. Bunlar mikro ve makro bükülme kayıplarıdır. Mikro bükülme kayıpları; çok küçük ve çıplak gözle görülemeyen çarpıklıklardan kaynaklanmaktadır. Bu çarpıklıklara esneme, darbe ve ısı neden olmaktadır. Makro bükülme kayıpları; büyük ve çıplak gözle gözlemlenebilen bükülmelerden kaynaklanmaktadır. Bu bükülmeler kalıcı bir hasara yol açmadı ise, bükülmelerin düzeltilmesi ile söz konusu kayıplar ortadan kaldırılabilir.

1.2.5. Yayılma

Yayılma (dispersion), fiber optik hat boyunca hem analog hem de sayısal iletim sistemlerinde sinyalde bozulmaya neden olur. Sayısal modülasyon içeren bir optik fiber iletim sisteminde fiberde oluşan yayılma mekanizmaları, ışık darbeleri iletim hattı boyunca ilerlerken, darbelerin genişlemesine neden olur. Bunun sonucunda her

darbe genişleyerek yanındaki darbeyle üst üste biner ve maksimum genlik seviyesi giriş sinyali seviyesine göre azalır [31]. Bu sebeple de alıcı tarafında darbeler ayırt edilemez bir hal alır. Şekil 1.9'da fiber optik ışık yayılım şekilleri verilmektedir.



Şekil 1.9. Fiber optik ışık yayılım şekilleri [32]

1.2.6. Optik Geri Dönüş Kaybı

Optik geri dönüş kaybı (Optical Reflection Loss/RL), optik fiber hattının tamamından kaynağa geri yansıyan toplam birikmiş ışık gücünü gösterir. Bu ışık gücü, optik fiberin yapısı nedeniyle geri saçılan ışık ile tüm ekler ve sonlandırmalardan yansıyan ışığı içerir. ORL birimi dB cinsinden ifade edilir ve optik fibere verilen gücün yansıyan güce logaritmik oranı olarak tanımlanır [33].

$$10 \log \frac{P_e}{P_r} (\geq 0) \quad (1.3.)$$

P_e verilen güç ve P_r yansıyan güçtür.

ORL değerinin yüksek seviyede olması iletim sistemlerinin performansını düşürür. ORL değeri arttıkça yansıyan ışığın gücü de azalır ve bu nedenle yansımanın etkisi küçülür. ORL değeri çok yüksek ise (düşük dB değeri), ışık lazer diyotun boşluğunda yankı yaparak kararsızlığa neden olur. Yüksek ORL değeri sonucunda ortaya çıkan birkaç farklı etki vardır.

- Verici tarafında gürültünün artması; analog sistemlerde, optik sinyal gürültü oranını (OSNR) azaltır ve sayısal iletim sistemlerinde bit hata oranını (BER) artırır.
- Işık kaynağındaki parazitlerin artışı; lazerin merkezi dalga boyunu ve çıkış gücünü değiştirir.
- Verici hasarları daha sık meydana gelir.

1.2.7. Saçılma

Işık dalgaları fiber optik hat boyunca ilerlerken, bir fotonun kendisinden daha düşük enerjili bir fotona esnek olmayan saçılmasından dolayı meydana gelmektedir. Saçılma türleri ikiye ayrılmaktadır: Doğrusal saçılmalar ve doğrusal olmayan saçılmalar. Doğrusal saçılmalar; Rayleigh ve Mie saçılmalarıdır. Doğrusal olmayan saçılmalar ise; Brillouin ve Raman saçılmalarıdır.

1.2.7.1. Rayleigh Saçılması

Rayleigh saçılımı, fiber optik iletim sistemi içerisinde ilerleyen ışığın, kendi dalga boyundan daha ufak tanecikler tarafından saçılmasını ifade eder. Rayleigh ismi, İngiliz fizikçi Lord Rayleigh'ten gelmektedir. Rayleigh saçılmaların etkisi kullanılarak hem gerinim hem de sıcaklık gözlemlenebilir. Fiberin üretimi sırasında düzensizliklerden, pürüzlerden ve homojen olmayan yapılar nedeniyle meydana gelen Rayleigh saçılması fiber optik iletim sistemlerindeki kaybın büyük bir kısmını oluşturmaktadır [3].

1.2.7.2. Raman Saçılması

Raman Saçılması, kısa dalga boyundaki sinyalden uzun dalga boyundaki sinyale güç transferi yapıldığı zaman ortaya çıkan etkiye denmektedir. Raman saçılması, fiber optik hat içerisinde titreşim molekülleri (optik fotonlar) ve ışık sinyallerinin etkileşiminin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Işık daha sonra tüm yönlere dağılır. İki sinyal arasındaki dalga boyu farkı yaklaşık olarak 100nm (örneğin; 1550 nm ile 1650 nm arasında) olduğunda maksimum Raman saçılma etkisi gözlemlenir [5].

1.2.7.3. Brillouin Saçılması

Brillouin Saçılması, güç kaybına neden olan bir geri saçılma şeklidir. Işık dalgaları yüksek güç sinyalleri ile fiberin kırılma indisindeki periyodik değişimlere neden olur. Yalnızca birkaç kanal iletildiği zaman Brillouin Saçılması etkisi oluşur [4].

1.3. Optical Time-Domain Reflectometers (OTDR)

OTDR temel çalışma prensibi olarak fiber optik hatlarda bulunan kablolarda, fiber ek kayıplarını, optik fiber hattın uzunluğunu veya varsa fiber optik kablolardaki kopukluğu belirleyerek optik fiberli kabloyu karakterize edip bir analiz raporu sunmaya yarayan teknolojidir. OTDR, optik fiberli kablounun özelliklerini belirleyebilmek için temel olarak Rayleigh saçılmasını kullanır. OTDR cihazının çıkışından sisteme gönderilen fotonların bir kısmı geri döner. Fiber hatta ilerleyen ışık hat boyunca Rayleigh saçılımı ile her yöne lineer saçılmalar yaşar ve bu geri dönen ışığın sadece belli bir kısmı ışık kaynağına geri dönebilir. Bu geri dönen ışık OTDR yardımıyla analiz edilerek optik fiberli hattın durumu incelenebilmektedir [5].

Fiber optiğin zayıflama derecesini hattın ölçümü sırasında kaynağına geri yansıyan sinyalin durumu belirlemektedir. Ölçüm yapılan menzile, bant genişliği, sorgulama periyodu vb. kriterler OTDR cihazının kalitesini belirleyen hususlar olarak tanımlanmaktadır. Rayleigh saçılma yoğunluğu, dalga boyunun (λ) dördüncü kuvveti ile ters orantılı esnek bir saçılma türüdür. Bu sebeple optik fiber içerisinde ilerleyen ışık ile aynı frekansta meydana gelmektedir. Rayleigh saçılmasında 1550 nm dalga boyunda tahmini olarak 0,18 dB/km değerinde fiber zayıflaması meydana gelmektedir.

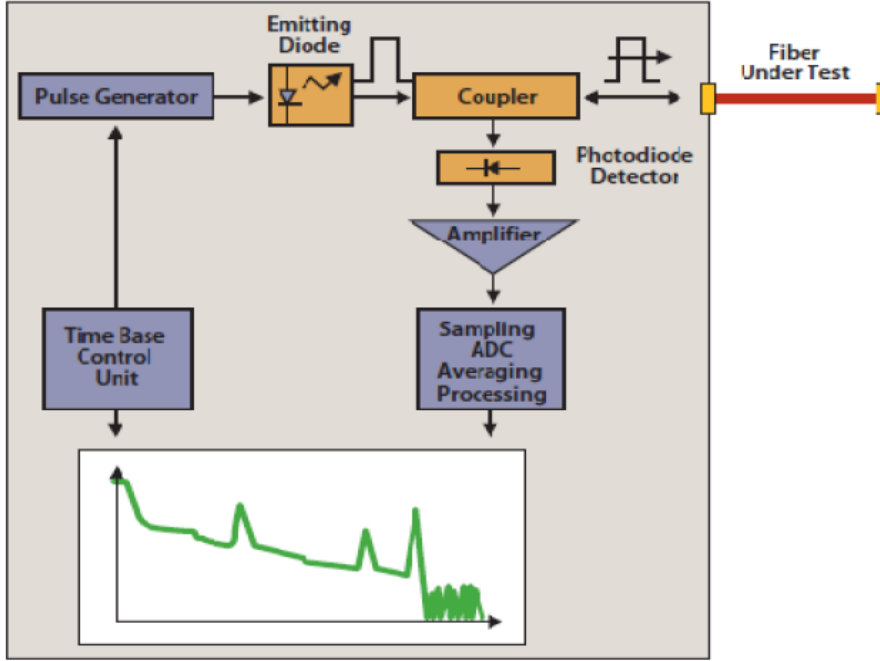
OTDR ölçümünde ölçüm bilgisinin gönderildiği konum da önem arz etmektedir. OTDR yöntemi ile ölçüm yapıldığında, saçılmanın gerçekleştiği nokta belirlenebilir. Denklem (1.4) ışığın optik fiberli hatta kat ettiği mesafeyi belirtmektedir. Optik fiber içerisinde ilerleyen ışığın yayılma zamanı t ise, ışığın aldığı yol;

$$d = \frac{ct}{2n} \quad (1.4.)$$

formülü ile bulunabilir. Burada c ışığın boşluktaki hızı ve n fiberin kırılma indisidir.

OTDR teknolojisi teknik olarak incelendiğinde, ışık enerjisini bir lazer diyot ve darbe jeneratörü aracılığıyla optik fibere gönderir. Geri yansıyan ışık enerjisi iletilen ışık

enerjisinden ayrılarak foto diyota iletilir. İletilen bu sinyal elektriksel değerlere dönüştürüldükten sonra örneklendirilip, güçlendirilerek ekranda gösterilir. Şekil 1.10’da OTDR teknolojisinin çalışma prensibi verilmiştir.



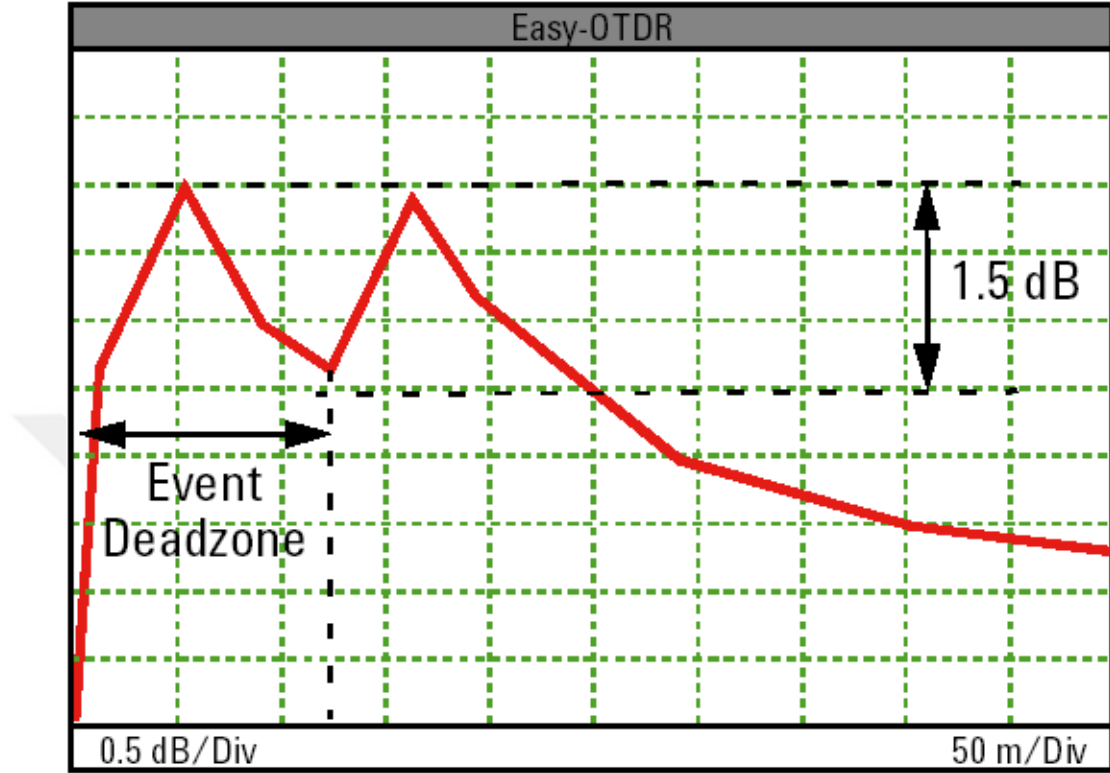
Şekil 1.10. OTDR teknolojisinin çalışma prensibi şematik gösterimi [34].

OTDR’ın çalışma performansını etkileyen bazı özellikler vardır. Bu özellikler ölçüm için kullanılan OTDR cihazının marka veya modeline göre farklılıklar göstermektedir. Başlıca özellikler şu şekildedir:

Güç aralığı: OTDR’ın herhangi bir fiberli hattın ölçülebilecek maksimum uzunluğunun belirleyen özelliktir. Güç aralığı ne kadar artarsa sinyal gürültü oranı da artış göstererek daha doğru olay yeri belirlenmesine yardımcı olur.

Ölü bölge: OTDR ile gerçekleştirilen ölçümlerde geri yansıma yapan sinyaller fiber içerisinde iletilen sinyallere göre çok daha küçüktür. Geri yansıyan sinyali alan foto diyot, sadece belirli bir aralıktaki sinyalleri alabilecek şekilde tasarlanmıştır. Şiddetli bir yansıma gerçekleştiğinde, foto diyota gelen sinyal geri yansıyan sinyalden (backscatter signal) çok daha güçlü olabilir. Bu sinyalin çok güçlü olması durumunda diyot doyum (saturasyon - saturation) noktasına ulaşır. Foto diyotun saturasyondan çıkması için belirli bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Bu süre boyunca OTDR net bir ölçüm yapamaz ve ölçülmesi istenen fiber hattın uzunluğu belirlenemez. Ölçüm sonuçlarını gösteren grafikte bu süre boyunca oluşan bölgeye ölü bölge denmektedir. Ölü bölge olayı çeşitli durumlarda da oluşabilmektedir. Fiber hatta gerçekleşen iki olay

arasındaki mesafe foto diyotun saturasyondan çıkması için gereken süreyi karşılayacak kadar değilse OTDR bu olayları birbirinden ayıramaz ve ölü olay bölgesi (Event Dead Zone – EDZ) oluşur. Şekil 1.11’de ölü olay bölgesi gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.11. Ölü olay bölgesi [51]

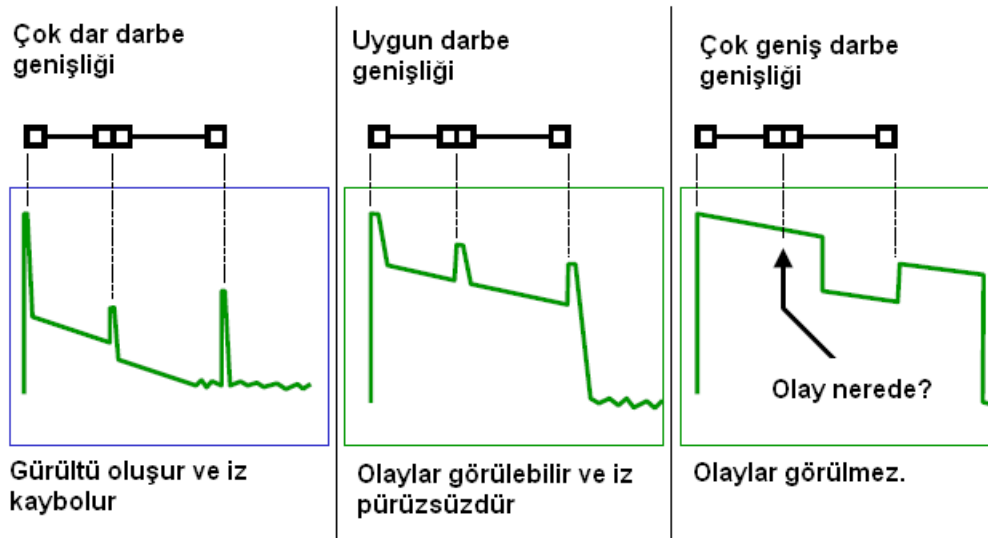
OTDR ölçümlerinde bazı parametreler büyük önem arz etmektedir. Bunlar; dalga boyu, darbe genişliği, ölçüm mesafesi ve ortalama zamandır.

1.3.1. Dalga Boyu

Herhangi bir optik haberleşme sisteminde, optik sistemin davranışı ile bu sistemin iletişimde kullanılan dalga boyu arasında doğrudan doğruya bir ilişki vardır. Fiber Optik sistemler, farklı dalga boylarında birbirinden farklı kayıp değerleri gösterir. Ayrıca, fiber optik kabloların ek yapılan noktalarında meydana gelen ek kayıpları da farklılık göstermektedir. Bu sebeple ölçüm sırasında, bu farklılıkların ölçümün doğruluğuna etki etmemesi için sistemin iletişimi sırasında kullanılan dalga boyunun seçilmesi önemli bir husustur. Genellikle çok modlu (multi-mode) sistemlerde 850 nm ve 1300 nm dalga boyları, tek modlu (single-mode) sistemlerde 1310 nm ve 1550 nm dalga boyları kullanılmaktadır.

1.3.2. Darbe Genişliği

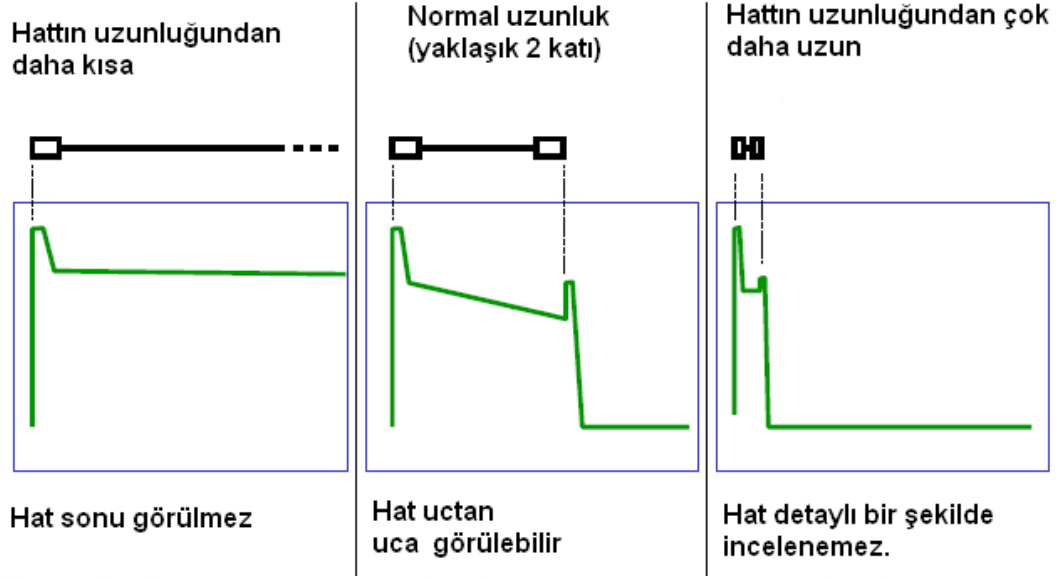
OTDR sisteminin darbe genişliğinin süresi ile fibere gönderilen ışık miktarı doğru orantılıdır. Darbe genişliği arttıkça, ölçüm sırasında fibere içerisinde iletilen sinyalin enerjisi de artmaktadır. Darbe genişliği, optik fiberin içerisine iletilen ışık darbesinin genişliğidir. Optik fiberde meydana gelen olayları birbirinden ayırt etmek için mesafe çözünürlüğü kullanılır. Kısa darbeler mesafe çözünürlüğünü iyileştirir ancak güç aralığının daha kısa olmasına sebep olur. Bu durum uzun mesafelerde istenmeyen bir durumdur. Uzun mesafelerde ölçüm yapılabilmesi için güç aralığının daha yüksek olması dolayısıyla darbe genişliğinin uzun olması gerekmektedir. Bu durum daha düşük çözünürlükte bir ölçüm yapılması anlamına gelmektedir. Sağlıklı bir ölçüm yapılabilmesi için yüksek çözünürlüğe ve güç aralığına uygun bir darbe genişliği seçilmesi gereklidir [35]. Şekil 1.12’de darbe genişliğinin ölçüm sonuçlarına etkisi gösterilmektedir.



Şekil 1.12. Darbe genişliğinin ölçüm sonucuna etkisi [51]

1.3.3. Ölçüm Mesafesi

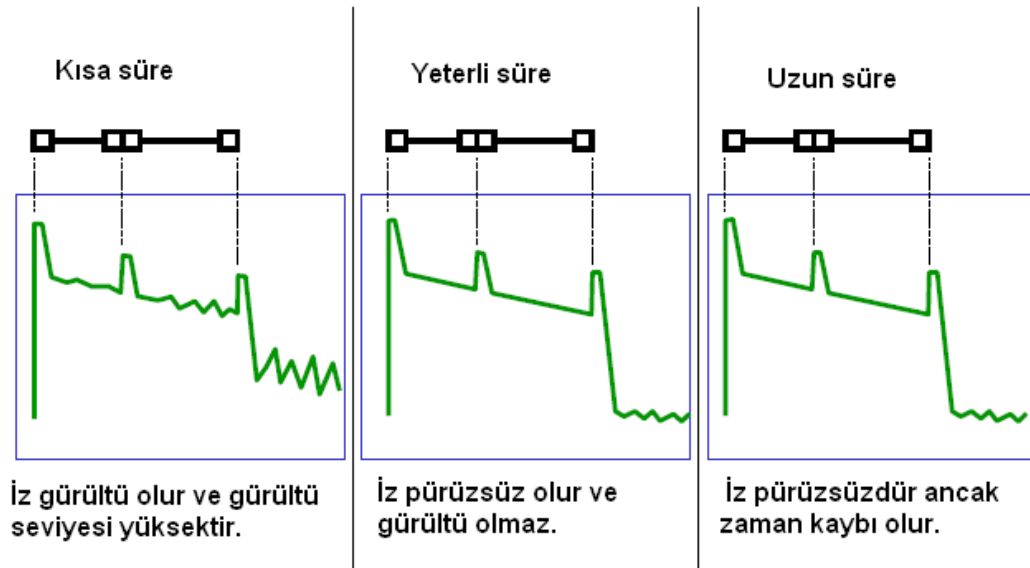
OTDR sisteminin veri örneklerini doğru olarak tespit edebildiği maksimum mesafe OTDR’ın ölçüm mesafesidir. Daha uzun bir menzile ölçülmek istenildiğinde OTDR optik fibere daha fazla darbe gönderecektir. Ölçümlerde genel olarak ölçüm mesafesi hat uzunluğundan daha uzun bir mesafe olacak şekilde ayarlanır. Eğer ölçüm mesafesi hat uzunluğundan daha kısa olursa OTDR hattı uçtan uca ölçemeyeceği için optik fiberin doğru bir analizi yapılamaz. Şekil 1.13’te ölçüm mesafesinin ölçüm sonuçlarına etkisi gösterilmektedir.



Şekil 1.13. Ölçüm mesafesinin ölçüm sonucuna etkisi [51]

1.3.4. Ortalama Zaman

OTDR sistemi ile yapılan ölçümlerde ölçümün süresi önemli bir kriterdir. OTDR ile ölçüm yapılırken, sistemin fiber optik hattın aldığı sinyalleri analiz etmesi için yeterli süre belirlenmelidir. Bu süre hattın uzunluğuna bağlı olarak değişkenlik göstermelidir. Söz konusu sürenin ihtiyaç duyulan süreden daha kısa olması durumunda optik fiberli hatta düzgün şekilde tarama yapılamaz ve kabul edilen seviyeden daha fazla gürültü oluşmasına neden olur. Daha uzun ölçüm zamanı optik fiberli hattaki gürültüyü azaltarak hatta meydana gelen olayların daha sağlıklı bir şekilde tespit edilmesine imkân sağlar. Şekil 1.14'te ölçüm süresinin ölçüm sonuçlarına etkisi gösterilmektedir.



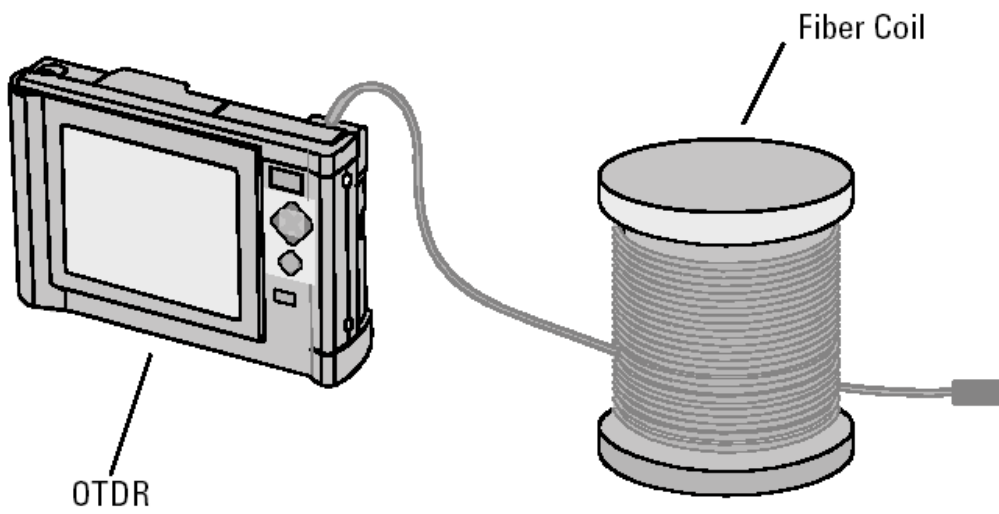
Şekil 1.14. Ölçüm süresinin ölçüm sonucuna etkisi [51]

1.4. OTDR Cihazını Fibere Bağlama

Ölçüm yapılacak fiber optik sistemin ucu, OTDR sistemine 3 farklı şekilde bağlanabilmektedir.

1.4.1. Doğrudan Bağlantı

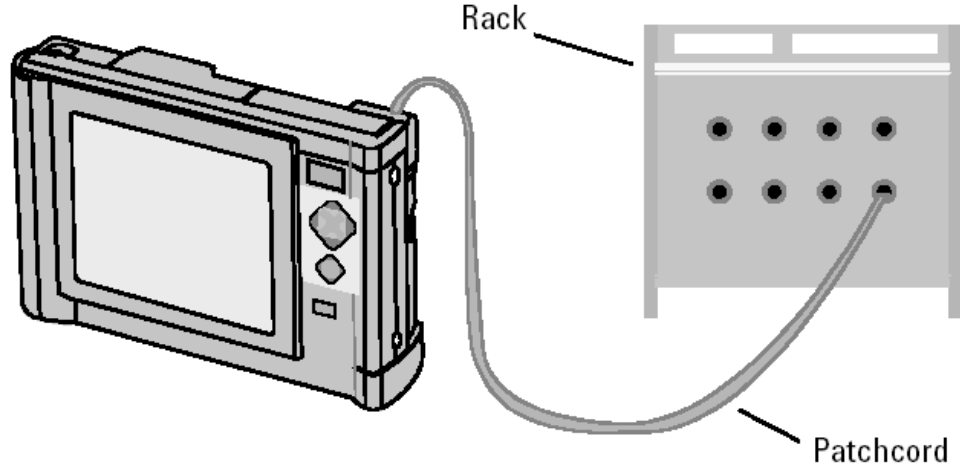
Değişebilir konnektör ara yüzleri ile bağlantı yapılmaktadır. Fiber ya da kablo bu konnektörlere sahipse doğrudan bağlantı yapılabilir. Şekil 1.15'te fiberin doğrudan bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 1.15. Fiberin doğrudan bağlantısı [52]

1.4.2. Patchcord (Her iki ucu konnektörlü) ile Bağlantı

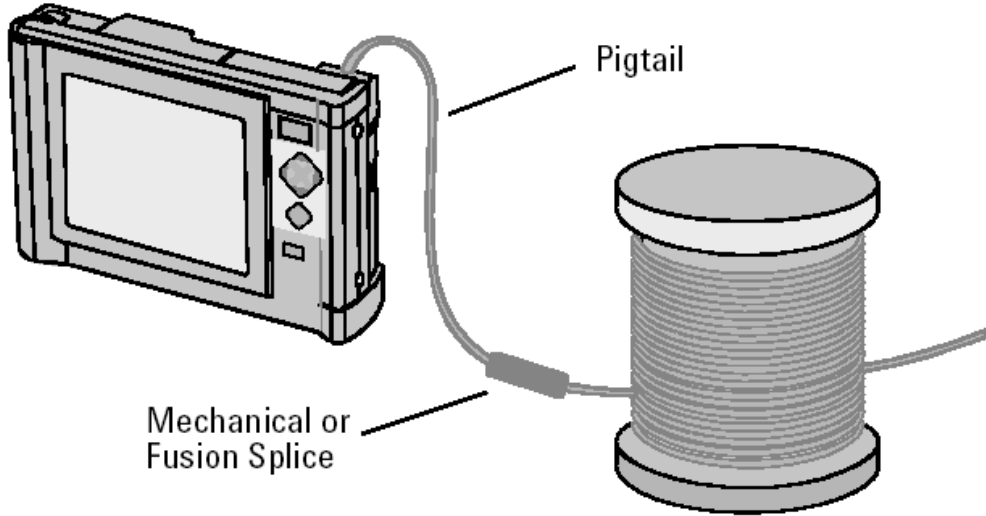
Herhangi bir optik fiberli iletim sistemindeki bir hatta ölçüm yapılmak istenildiğinde, söz konusu hattın terminal bağlantısı rack'e monte edilmiş halde ise bu bağlantı şekli uygulanmalıdır. Şekil 1.16'da patchcord ile bağlantı gösterilmektedir.



Şekil 1.16. Patchcord ile bağlantı [52]

1.4.3. Çıplak Uçlu Pigtail Bağlantısı

Ölçüm yapılacak optik fiberde konnektör bağlantısı yok ise, çıplak fiber pigtaili ve basit mekanik ek kullanılır. Şekil 1.17’de çıplak uçlu pigtail bağlantı gösterilmektedir.



Şekil 1.17. Çıplak uçlu pigtail bağlantı [52]

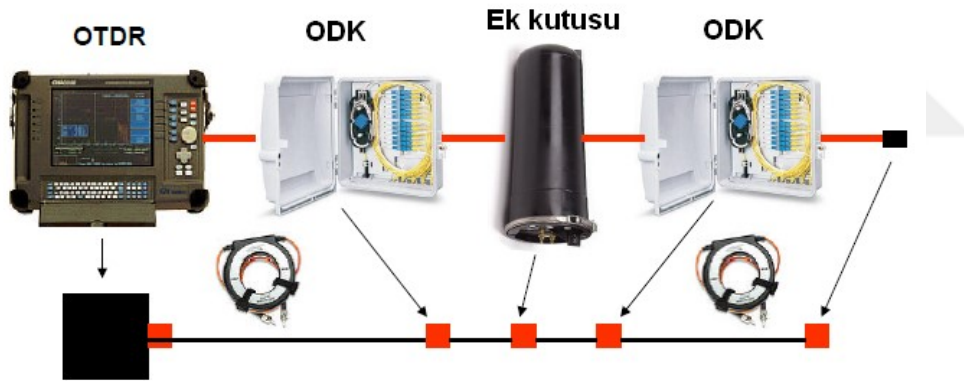
1.5. OTDR ile Zayıflama Ölçümü

OTDR ile ölçüm yapılmadan önce fiber kablonun özellikleri, optik fiberli hattın genel durumu ve iletişim sisteminde kullanılan dalga boyunun bilinmesi önem arz etmektedir. Ayrıca optik fiberli hat üzerinde bulunan ek noktalarının da bilinmesi ölçüm yapılırken analiz işlemlerini kolaylaştırır. OTDR ile tek taraflı ölçüm yapılacağı zaman optik fiberli hattın karşı ucunun boşta olması gerekmektedir. Eğer ölçüm

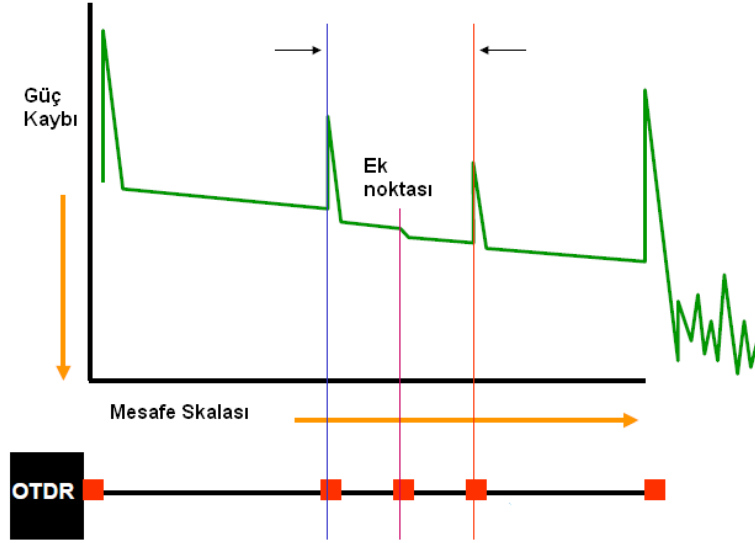
yapıldığı sırada hattın sonundaki ucun bir sistem bağlantısı varsa, OTDR da bir ışık kaynağı olduğu için bu sistemin alışındaki bağlantıda hasar oluşmasına neden olabilir [51].

Daha iyi bir ölçüm elde edebilmek için OTDR üzerinde fiber uzunluk parametrelerini ayarlamak gerekir. Daha sonra ölçüm sırasında kullanılacak dalga boyu, darbe genişliği parametreleri de girilerek ölçüm işlemi başlatılır. Günümüzde bazı OTDR cihazlarında söz konusu parametreler otomatik olarak da ayarlanabilmektedir [23].

Optik fiberli hattın toplam zayıflaması ölçülecekse tek yönden ölçüm yapılarak doğru sonuçlar elde edilebilir. Fakat ek yapılan noktadaki kayıplar veya noktasal zayıflamaların doğru olarak tespit edilmesi için iki yönlü ölçüm yapılması gerekmektedir. Optik fiber üzerindeki herhangi bir noktada oluşan ek kaybı, tek yönlü ek kayıplarının aritmetik ortalamasıdır. Şekil 1.18’de OTDR ile gerçekleştirilen ek kayıplarının ölçümü verilmektedir. Şekil 1.19’da OTDR ile ölçümde ek noktasının grafiğe yansımaları verilmektedir.



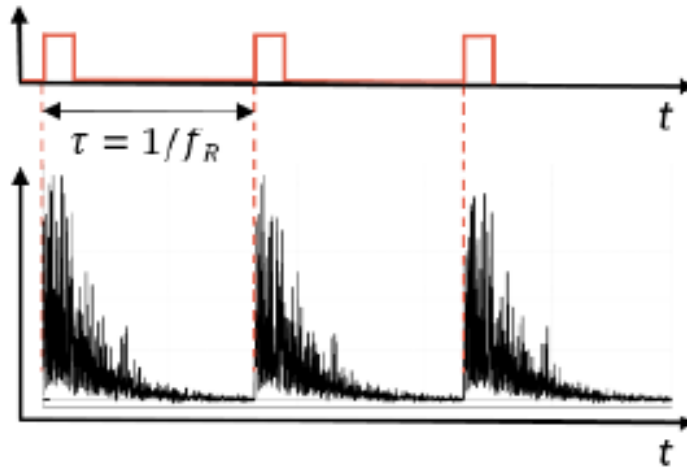
Şekil 1.18. OTDR ile ek kayıplarının ölçümü [51]



Şekil 1.19. OTDR ile ölçümde ek noktasının grafiğe yansımaları [51]

1.6. Faz-duyarlı Optik Zaman Alan Reflektometrisi (ϕ -OTDR)

Faz-duyarlı OTDR'nin (ϕ -OTDR) standart OTDR'a göre en temel farklılığı evre uyuma sahip ışık kaynağı kullanması ve çok noktalı girişimleri sonuç olarak verebilen bir teknoloji olmasıdır. ϕ -OTDR teknolojisi ile ölçüm yapabilen cihazların optik fiber hat boyunca meydana gelen faz değişimlerini algılayarak ölçüm yapabilmesi bu cihazları öne çıkaran en önemli özelliktir. Optik fiberli hatta ölçüm yapılırken çevresel faktörlerden dolayı herhangi bir etki olur ve ışığın fazı değişerek etkinin olduğu yerden geri dönmesi sinyalin şiddetini değiştirmektedir. Ardışık iki ϕ -OTDR sonucunun farkının alınması ile meydana gelen olay tespit edilebilmektedir [4]. Şekil 1.20'de optik darbelerle eşzamanlı ardışık ϕ -OTDR izleri verilmektedir.



Şekil 1.20. Optik darbelerle eşzamanlı ardışık ϕ -OTDR izleri [4]

2. MATERİYAL ve METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Veri Setinin Oluşturulması

Bu çalışmada kullanılan veriler Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'ye (TEİAŞ) ait enerji iletim hatlarından bazılarında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. TEİAŞ 34,5 kV, 154 kV, 380 kV ve 420 kV olmak üzere yüksek gerilim hatları ile elektriğin üretim ve dağıtım arasındaki taşımacılığını yapan sorumlu kurumdur. Söz konusu hatların birçoğunda toprak teli içinden fiber lifler geçirilerek devreye alınmıştır. Bu tellerin bulunduğu hatlara OPGW'li hat adı verilmektedir. TEİAŞ'a ait hatların uzunlukları trafo merkezlerinin lokasyonu, üretim santrallerinin lokasyonuna göre değişiklik göstermektedir. Söz konusu hatlar şehir içlerinde çok kısa iken (1-2 km), şehirlerarası hatlarda çok uzun mesafelere de (200-250 km) ulaşmaktadır. Bu hatların taşınabilmesi için çok büyük direkler dikilerek, hatlar bu direklerin üzerine konumlandırılarak enerji iletimi gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden enerji iletim hatlarını taşıyan direkler hayati önem arz etmektedir. Bu direklerde meydana gelen herhangi bir hasar ya da ufak bir hırsızlık olayında hasar gören direklerden birinin yıkılması durumunda domino etkisi yaratarak birçok direğin yıkılmasına ve enerji iletiminin kesilmesine neden olabilir. Özellikle yüksek gerilim hatlarında bir kesinti meydana gelmesi maddi ve manevi büyük kayıplara neden olabilmektedir. Bu enerji iletim hatlarının sağlıklı kalabilmesi için farklı çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada DAS sistemi kullanılarak hatlarda ve direklerde meydana gelecek hırsızlık gibi olayların farklı senaryolar ile gerçekleştirilen deneyler ile bu senaryoların sınıflandırılması işlemleri yapılmaktadır. Şekil 2.1'de çalışmalar sırasında kullanılan DAS sistemine ait görsel verilmektedir.

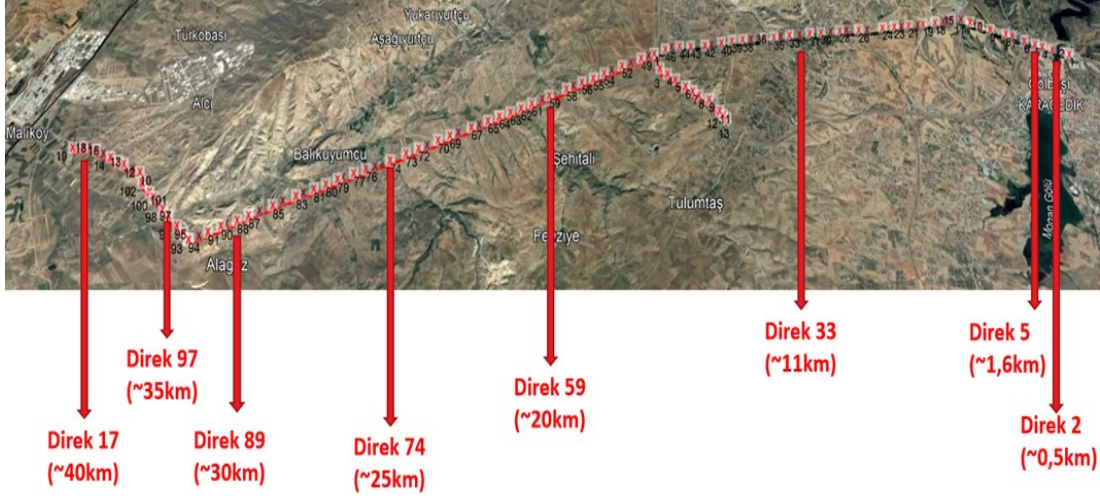


Şekil 2.1. DAS sistemi

Öncelikle Türkiye’de üretilen bir DAS sisteminin TEİAŞ’a ait Yük Tevzi Merkezinde kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bu merkeze farklı yönlerden gelen OPGW’li enerji iletim hatlarındaki fiberlerin sonlandırıldıkları noktada fiber bağlantısı yapılmıştır. Fiberlerin bağlantısı yapıldıktan sonra bu merkezde DAS sisteminin yönetimini sağlayan bir bilgisayar da bu noktaya kurulmuştur. Daha sonra uzman ekip tarafından DAS sistemi ölçüm yapmaya hazır hale getirilmiştir. Merkez tarafında gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra öncelikle ölçüm yapılacak olan optik fiberli hattın gereksinim duyulan parametreleri DAS sistemine girilmiştir. Bu parametreler;

- Hattın fiber optik kablo karakteristik özellikleri
- Hat üzerinde hangi modda ölçüm yapılacağı (Singlemode/Multimode)
- Ölçüm yapılırken kullanılacak olan dalga boyu
- Ölçümü yapılacak hattın menzili

İhtiyaç duyulan parametreler girildikten sonra ilk aşama olarak ölçümü yapılacak olan hattın doğal durumunun yaklaşık olarak 2 saatlik testi başlatılmıştır. Bu testin süresi tamamlandıktan sonra bir ekip kurularak sahaya çıkılması ve fiberli hat üzerinde farklı senaryoların test edilmesi kararlaştırılmıştır. Şekil 2.2’de test yapılan hatlardan birine ait direklerin bilgileri verilmektedir.



Şekil 2.2. 154 kV Gölbaşı yüksek gerilim hattı

2.1.2. Veri Toplama Prosedürü

Cihazlardan elde edilen verilere ilişkin veri toplama prosedürleri aşağıda verilmektedir.

- Cihaz konfigürasyonu alınması gerekmektedir. (Örnekleme sayısı, kanal Sayısı gibi değişken olan tüm parametreler burada kayıt altına alınmalıdır.)
- Aktivitenin oluşturulacağı bölgenin çevresel özellikleri kayıt altına alınmalıdır.(Çevresindeki etki edebilecek faktörler - otoyola yakınlık, etrafındaki yapılar vb. - 360 derece fotoğraf ile desteklenebilir.)
- Kayıt başlatılır.
- 10 dakika boyunca aktivitesiz (Aktivite gerçekleştirilecek ekibin de hareketsiz olması, araçları var ise çalışır durumda olmaması önerilir) olması beklenir.
10. dakika sonrasında aktivite gerçekleştirilir. (Çekiçle direğe vurma, hırsızlık senaryosu, kesici aletle kesme senaryosu gibi.)
- Anlık aktiviteler (Çekiçle vurma, kesici alet vb.) için her bir tekrar arasında en az 45 saniyelik ara verilmesi gerekmektedir.
- Aktivite tekrarları bittikten sonra 10 dk boyunca aktivitesiz (Aktiviteyi gerçekleştirilecek ekibin de hareketsiz olması, araçları var ise çalışır durumda olmaması önerilir) olması beklenir.
- Kayıt sonlandırılır.
- Kayıt uzunluğunun 1 saatten az olması önerilir.

j) Alınan kayıt dosyası örnek olarak aşağıdaki gibi isimlendirilmesi önerilir:

<Tarih_Saat_Kanal_Sayısı_AktiviteTipi>.xyz

Örnek: <20240618_1569_NoCh_X_Cekic>.xyz

Aktivitelerin gerçekleştirilmesinde sahada karşılaşılabilecek durumun aynısı uygulanmalıdır. Örneğin; hırsızlık kaydı için, direğe yaklaşma anından itibaren tüm aksiyon gerçeğe yakın tatbik edilmelidir. Cihazın frekans tepkisini ölçmek ve ortam ses kaydı için, aktivitenin yapılacağı direktten yaklaşık 1.5 m öteye sabitlenmiş omni polaritede (360 derece) mikrofon ile kayıt cihazı eklenmesi önerilir. Bu sayede normal ses ve sistemin aldığı ses karşılaştırması yapılarak cihazın tepkisi ölçülebilir. Senkronizasyon için kayıt başlatıldıktan sonra ve “d” adımıdan önce direk ve mikrofon arasına geçilip yüksek sesle 1 kere alkış yapılması gerekmektedir. Kurulan saha ekibi, hat üzerinde önceden belirlenen direklerin bulunduğu konuma giderek yukarıdaki test prosedürlerine uygun adımlarla test aşamalarını tamamlamışlardır. Şekil 2.3’te enerji taşıyan direkte el ile sökme işlemi sırasındaki görsel verilmektedir.



Şekil 2.3. Enerji taşıyan direkte el ile sökme işlemi

Saha testleri için direklere sırasıyla elle sökme, makine ile sökme ve çekiç ile vurma gibi denemelerde bulunulmuştur. Burada gerçekleşen testlerdeki durumlar merkezde bulunan ve DAS sistemini kontrol eden kapasitesi büyük bir cihaz tarafından kayıt

altına alınmıştır. Kayıt altına alınan bu ham veriler daha sonra işlenmek üzere hazır hale getirilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. K-Means Kümeleme

Kümeleme, verilerin belirli kümeler altında toplanarak, birbirine benzeyen nesnelerin bir araya gelmesini sağlayan bir yöntemdir. Nesne sayısı ve özellik sayısı ne kadar fazlaysa bu nesneleri kümeleme yöntemi ile ayırt etmek de o kadar zorlaşmaktadır. Kümeleme analizi bilim, spor, güvenlik ve tarım gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kümeleme, veriler hakkında belirgin bir özelliğin seçilip, belirli analiz yöntemleri ile birbirinden ayırt edilerek gruplandırma tekniklerinden biridir. Örneğin; bilgisayarımızda komedi türüne ait filmlerin aynı klasörün içindeyken, korku-gerilim türü filmlerin farklı klasörün içinde bulunması kümeleme yöntemine basit bir örnektir. Literatürde, sadeliği ve işlevselliği nedeniyle en çok uygulanan kümeleme yöntemlerinden biri de K-Means algoritmasıdır.

K-Means kümeleme algoritması denetimsiz bir öğrenme algoritmasıdır. Herhangi bir veri setindeki birbirine benzer örnekleri belirli sayıda farklı kümelere ayırmak için kullanılan bir yöntemdir. “k” sayısı kadar olan kümelerin birbirine minimum benzerlikte olması ve aynı küme içerisinde olan verilerin birbirine maksimum benzerlikte olması k-means algoritmasının istenilen ve beklenen en büyük özelliğidir [36].

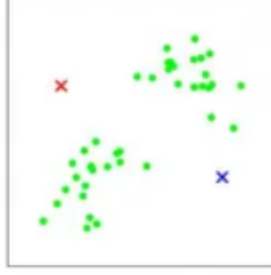
2.2.1.1. K-Means Algoritmasının Uygulanması

- **Küme Merkezi Başlatma**

Belirlenen k sayısı kadar veri seti içerisinde rasgele noktalar seçilir. “k” sayısı kadar küme oluşturulacağı belirlenmiş olur. Şekil 2.4’te herhangi bir veri seti verilmektedir. Şekil 2.5’te veri seti üzerinde oluşturulacak küme sayısı kadar nokta işaretlenmiştir.



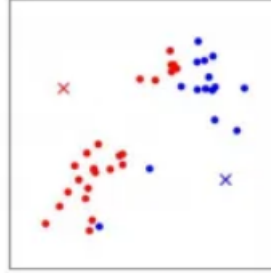
Şekil 2.4. Veri seti [50]



Şekil 2.5. Veri seti üzerinde seçilen noktalar [50]

- **Veri Noktalarını Kümelere Atama**

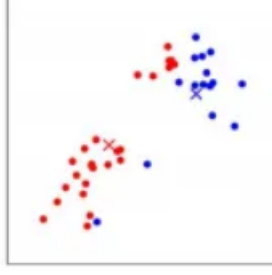
Yakınlık-uzaklık durumuna göre her noktayı k sayısı kadar belirlenmiş olan kümelere atama yapılır. Şekil 2.6'da data seti üzerinde seçilen noktalara yakınlık durumlarına göre nesnelerin renklerle ayrılmış hali gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Veri noktalarının kümelere ayrılması [50]

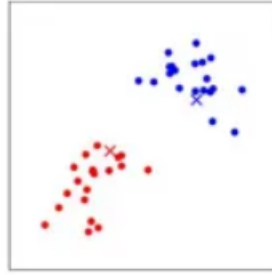
- **Küme Merkezlerini Yeniden Hesaplama**

Küme merkezleri yeniden hesaplandıktan sonra mesafe durumuna göre bütün noktalar kendine yakın kümeye tekrar atanır. Şekil 2.7'de renklerle birbirinden ayrılan nesnelerin küme merkezlerinin tekrar hesaplanması gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Küme merkezlerinin tekrar hesaplanması [50]

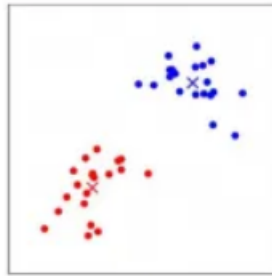
Şekil 2.8’de yeniden hesaplanan küme merkezlerine göre nesnelerin tekrardan dağıtılmış hali gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Nesnelerin küme merkezlerine göre tekrar paylaşımı [50]

- **Yeniden Atama ve Güncelleme**

Küme merkezleri yeniden Kümelerde herhangi bir değişiklik olmayana kadar bu durum devam eder. 2.ve 3. adımlar tekrar edilir. Şekil 2.9’da yeniden atama ve güncellemelerden sonra nesnelerin kümelemesinde herhangi bir değişimin olmadığı durum gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Nesnelerin kümelemesinin kesinleşmiş durumu [50]

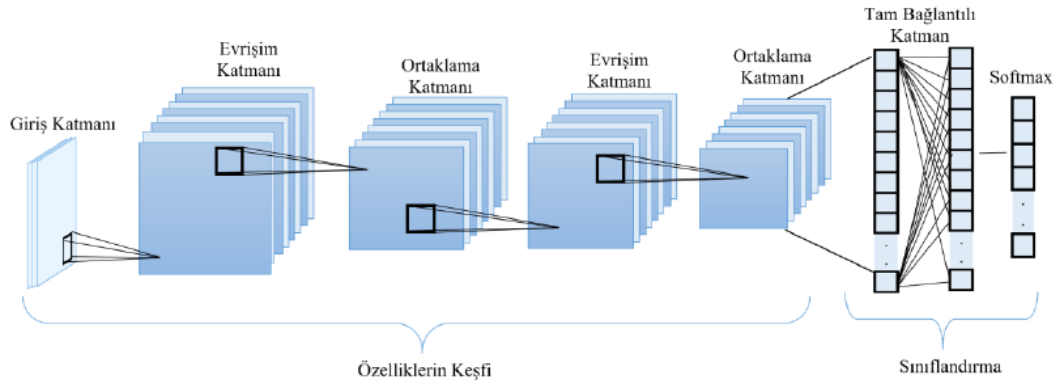
Büyük verileri çok hızlı ve doğru şekilde kümeleyebilmesi k-means algoritmasının en belirgin özelliklerinden iken; k-means algoritmasının en büyük dezavantajlarından biri ise küme sayısının önceden belirlenmesidir [37].

2.2.2. Evrişimli Sinir Ağları

Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Network - CNN), derin öğrenmenin temelini oluşturan bir mimaridir. CNN çok fazla sayıda sinir ağı katmanı bulundurduğundan özellikle görüntü sınıflandırma, video tanıma, nesne belirleme gibi birçok alanda sınıflandırma ve analiz yaparak çeşitli problemler için çözümler sunmaktadır.

CNN, büyük boyutlu görüntüler için çok sayıda parametreye çözüm oluşturabilmesinden dolayı diğer sinir ağları modellerine göre öne çıkmaktadır. Düşük boyutlu görüntülerde ileri beslemeli sinir ağları çözüm oluşturabiliyorken, yüksek çözünürlüklü yani büyük boyutlu görüntüler için bu model çözüm oluşturamamaktadır. Bu sebeple günümüzde yapılan video ve görüntü uygulamaları içeren çalışmalarda uygun CNN mimarileri kullanılmaktadır [38].

CNN, konvolüsyonel katman, pooling katmanı ve tam bağlantı (Fully Connected) katmanı olmak üzere 3 ana katmandan meydana gelmektedir. Konvolüsyonel ve pooling katmanları CNN'in öğrenmesini sağlarken, tam bağlantı katmanı sınıflandırma yapılmasını sağlamaktadır [39]. Şekil 2.10'da CNN mimarisinin temel yapısında bulunan katmanlar gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Evrişimli sinir ağları mimarisinin temel yapısı [53]

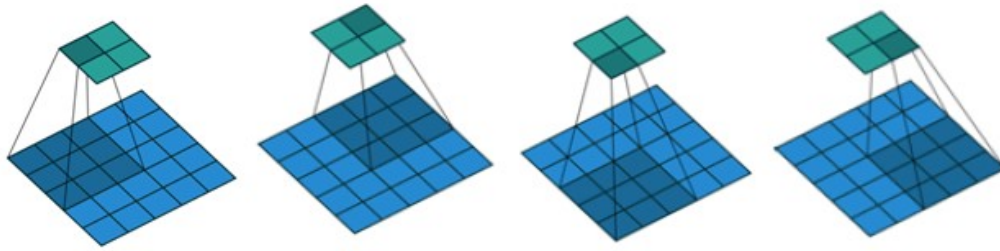
2.2.3. Giriş Katmanı

CNN mimarisinin ilk katmanı giriş katmanından meydana gelmektedir. Veriler bu katmana işlenmeden yani ham şekilde gelmektedir. Oluşturulacak modeldeki başarı yüzdesi için bu katmandaki veri boyutu büyük önem arz etmektedir. Görüntü boyutu yüksek seçildiğinde model yüksek belleğe ihtiyaç duyar ve eğitim ve test sürelerinin

uzamasına neden olur. Görüntü boyutu düşük seçildiğinde ise bellek ihtiyacı azalır ve eğitim süreleri azalır ancak oluşturulacak ağın performansı da daha düşük olabilir. Bu sebeplerle, yapılması düşünülen görüntü analizinde maliyet, ağ derinliği ve oluşturulacak ağın başarısı için en uygun giriş görüntü boyutu seçilmelidir.

2.2.4. Evrişim Katmanı

Evrişim katmanı, CNN mimarilerinin temelini oluşturan katmandır. Aynı zamanda bu katman dönüşüm katmanı olarak da adlandırılmaktadır. Modelde verilerin özelliklerinin öğrenilmesini sağlayan katman evrişim katmanıdır. Filtreler, giriş katmanından gelen görüntülere evrişim işlemini uygulayarak çıkış verisini oluştururlar. Yüksek ve düşük seviyeli filtreler ile özellik haritası ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple filtreler katmanlı mimarilerde büyük önem taşımaktadırlar. Şekil 2.11’de evrişim katmanında filtrelerin kullanıldığı adımlar gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Evrişim katmanı adımları [40]

3x3 boyutlu filtrenin görüntü üzerinde farklı kısımlara kaydırılarak 2x2 boyutlu bir özellik haritasının oluşumu gösterilmektedir. Şekil 2.12’de konvolüsyon katmanında kullanılan girdi ve filtre matris örnekleri verilmektedir.

1	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	0	1	1	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0

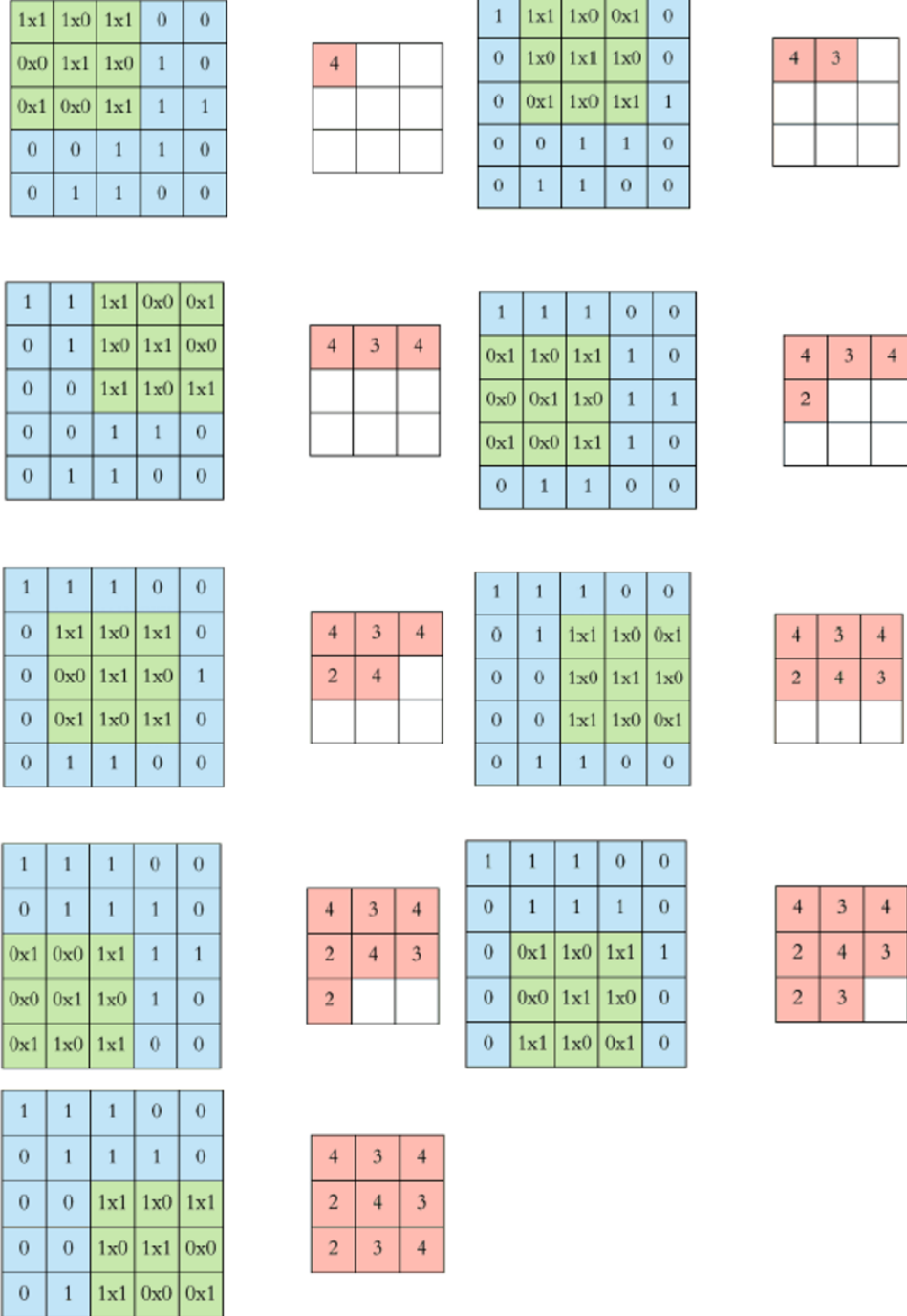
(a)

1	0	1
0	1	0
1	0	1

(b)

Şekil 2.12. (a) Girdi matrisi, (b) Filtre matrisi

Şekil 2.13'te 3x3 boyutundaki filtrenin 5x5 boyutunda görüntü matrisi üzerinde kaydırılarak oluşturulan konvolüsyon sonucunda 3x3 boyutunda özellik haritası elde edilmektedir.



Şekil 2.13. Konvolüsyon örneği [42]

2.2.5. Ortaklama Katmanı

Ortaklama (Pooling) işlemi, evrişim işlemindeki gibi filtre matrisinin görüntü matrisi üzerinde kaydırılması ile gerçekleşmektedir. Bu katman özellik haritalarının boyutu küçültülerek ve özellikleri belirgin hale getirerek evrişimsel sinir ağlarında büyük önem taşımaktadır. Filtreler görüntü üzerinde belirli oranlarda kaydırılarak görüntünün maksimum piksel değerlerini ve bu değerlerin ortalamasını alarak işlemi gerçekleştirmektedir.

Ortaklama katmanı sonucunda azalan boyut nedeniyle bazı bilgi kayıpları ortaya çıkar. Bu durum olumsuz olarak görünse de, bu bilgi kayıplarından dolayı bir sonraki katman için daha ufak hesap yükü oluşmasına neden olur. Ortaklama katmanı genel olarak konvolüsyonel katmanlar arasında kullanılmaktadır. Bu katmanın en önemli işlevi, özellik haritasının boyutunu küçülterek bir sonraki adımlarda hesap yükünü azaltmaktır.

2.2.6. Tam Bağlantılı Katman

CNN mimarisinde tam bağlantılı katman adedi değişiklik gösterebilmektedir. Evrişimli sinir ağları modelinin kompleks yapısından dolayı bu katmanda kullanılacak parametre sayısı ve çıkış değeri de kişi tarafından uygun değerler olarak seçilmelidir. Bir önceki katmandan gelen tüm nöronlar tam bağlantı katmanındaki her bir nörona direk olarak bağlanır. Bu katmandan sonraki softmax katmanında ise çıktılar için olasılık değerleri elde edilir.

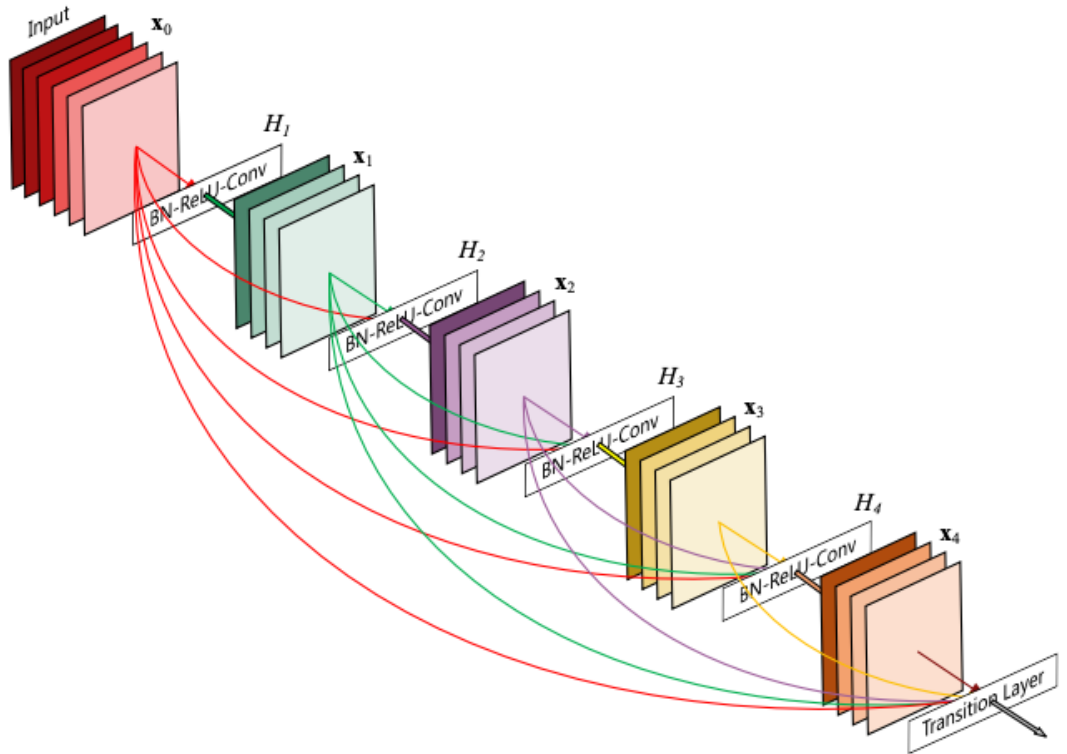
2.2.7. Sınıflandırma Katmanı

Tam bağlantılı katmandan sonra gelen bu katmanda sınıflandırma işlemleri gerçekleşmektedir. Bu katmanda kaç nesne sınıflandırılacak ise katmanın çıkış değeri de odur. Örnek olarak 5 nesneye sınıflandırma işlemi yapacaksak katmanın çıkış değeri de 5 olmalıdır.

CNN mimarisinin bu katmanında birbirinden farklı sınıflandırıcılar kullanılabilmektedir. Ancak genellikle bu mimaride softmax kullanılmaktadır. Bu katmanda her bir nesne sınıfı için $[0,1]$ aralığında çıkış oluşturulmaktadır. Sınıflandırılması yapılan nesne hangi çıkışta en yüksek değere ulaşmışsa o sınıfa eklenmektedir.

2.3. DenseNet169 Mimarisi

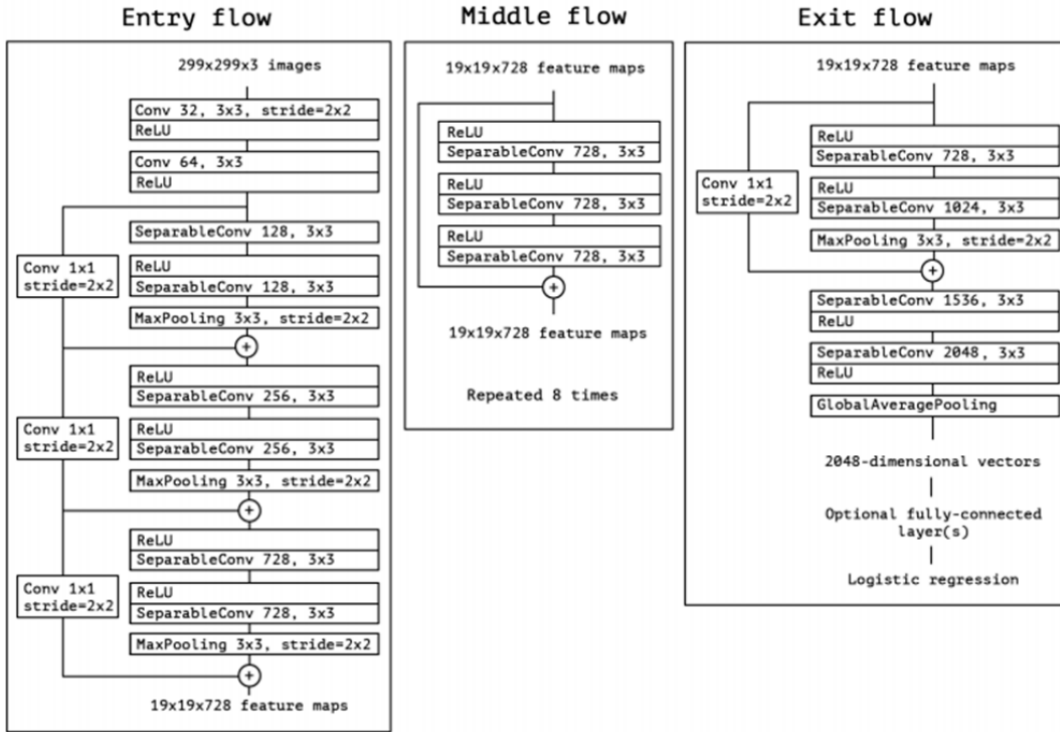
DenseNet (Densely Connected Network) modelinde her bir katman kendisinden sonraki bütün katmanlara ayrı ayrı bağlanmaktadır. CNN mimarisinde bulunan bu modele katmanlar arası bu yoğun bağlantılardan dolayı DenseNet yoğun bağlı ağlar denilmektedir. DenseNet169 modeli de görüntü sınıflandırma işlemini yapabilmeyi sağlayan bir DenseNet model çeşididir. DenseNet169 modelinin diğer modellere göre en gelişmiş özellikleri modelin boyutu ve sınıflandırmadaki doğruluk oranıdır. Diğer DenseNet modelleri ortalama 31 MB boyutunda iken DenseNet169 modelinde bu boyut 55 MB seviyelerine ulaşabilmektedir. DenseNet169 modeli evrişim katmanı, yoğun ve geçiş katmanı ile havuzlama katmanlarından oluşmaktadır. DenseNet169 mimarisi, görüntü sınıflandırma, nesneleri tanımlama ve görüntüleri anlamlandırma gibi çeşitli birçok uygulamada kullanılabilen esnek bir mimari yapıya sahip olduğu için günümüz teknolojisinde çokça tercih edilen bir mimaridir [41]. Şekil 2.14'te DenseNet169 mimarisinin blok yapısı verilmektedir.



Şekil 2.14. DenseNet169 ağı mimarisi blok yapısı [54]

2.4. Xception Mimarisi

Xception mimarisi VGG mimarisi ile benzer özellikler göstermektedir. Xception mimarisi Inception mimarisinden türetilerek 2017 yılında Keras kütüphanesinin ortaya çıkışının öncüsü olan Francois Chollet tarafından tanıtılmıştır. Xception mimarisi literatürde Extreme Inception (Aşırı Inception) ismiyle de anılmaktadır [42]. Xception mimarisinin Inception model türlerinden (V1, V2 ve V3) farkı evrişim çıkış kanalında tekrar bir evrişim işlemi uygulanması ve derinlikle ayrılabilir evrişim (modified depthwise convolution) modelidir. Ancak Inception V1 modelinin parametre sayısı ile aynıdır. Şekil 2.15'te Xception mimarisinin şematik gösterimi verilmektedir [43].

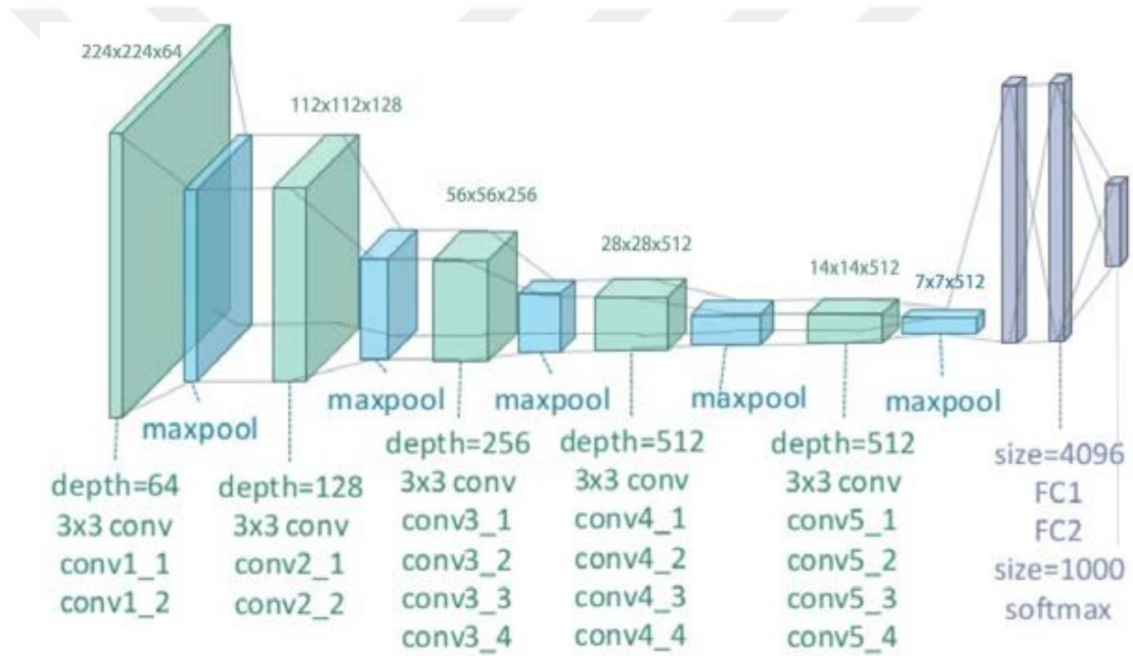


Şekil 2.15. Xception mimari yapısı [55]

Modelde işlenecek olan veriler öncelikle giriş akışından (Entry flow) daha sonra orta akıştan (Middle flow) ve modelin sonunda çıkış akışından (Exit flow) geçiş sağlar. Modelin tüm katmanları normalleştirme sürecinden geçer. Xception mimarisi algoritma verilerini ayrı ayrı inceler ve 1x1 evrişim gerçekleştirerek ilerler. Bu şekilde yapılan evrişim işlemleri veri seti eğitiminin daha az hesap karmaşıklığına sahip olması amacı ile gerçekleştirilir. Ayrıca algoritma performansını artırmak amacı ile artık (residual) bağlantısı olan ve özellik çıkartma işlemlerini gerçekleştiren 36 adet evrişim katmanı kullanılmaktadır [44].

2.5. VGG-19 Mimarisi

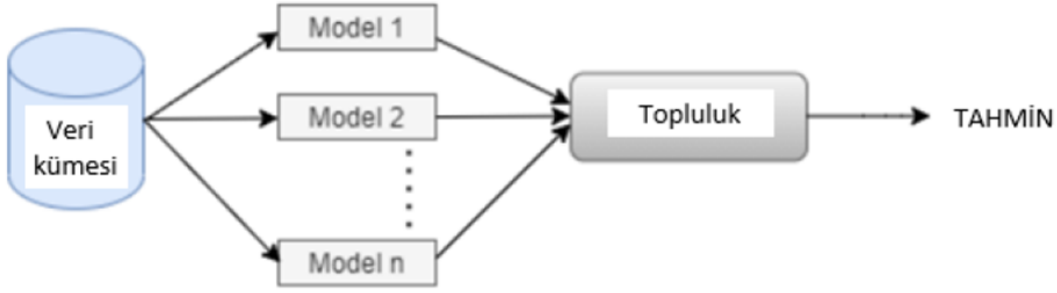
VGG-19, 2014 yılında Oxford Üniversitesinde yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilen derin evrişimli bir sinir ağı mimarisidir. Adında bulunan 19 sayısı; 16 konvolüsyon katmanı (convolutional layers), 3 adet (fully connected layer) tam bağlantı katmanı, 5 adet (max-pooling layers) maksimum havuzlama katmanı ve 1 adet softmax katmanından gelmektedir. VGG-19 modeli toplamda 138 milyon parametreden meydana gelmektedir. VGG-19 mimarisi derinlemesine bir ağı sahip olduğundan bu mimaride kullanılan filtreler parametre adedini azaltmak için kullanılmaktadır. Şekil 2.16'da VGG-19 mimarisinin katmanlarının gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.16. VGG-19 modelinin ağ mimarisinin gösterimi (conv, evrişim anlamına gelir; FC, tamamen bağlı anlamına gelir.) [45]

2.6. Topluluk Öğrenmesi

Ensemble Learning (Topluluk Öğrenmesi), tek bir model ile yapılan sınıflandırmanın doğruluk oranını daha yükseğe çekmek için, yani yeni bir sınıflandırma oluşturabilmek için farklı modellerin birlikte aynı öğrenme tekniklerini kullanabilen bir mimaridir. Şekil 2.17'de Topluluk öğrenmesinin çalışma prensibi şematik olarak gösterilmektedir [46].

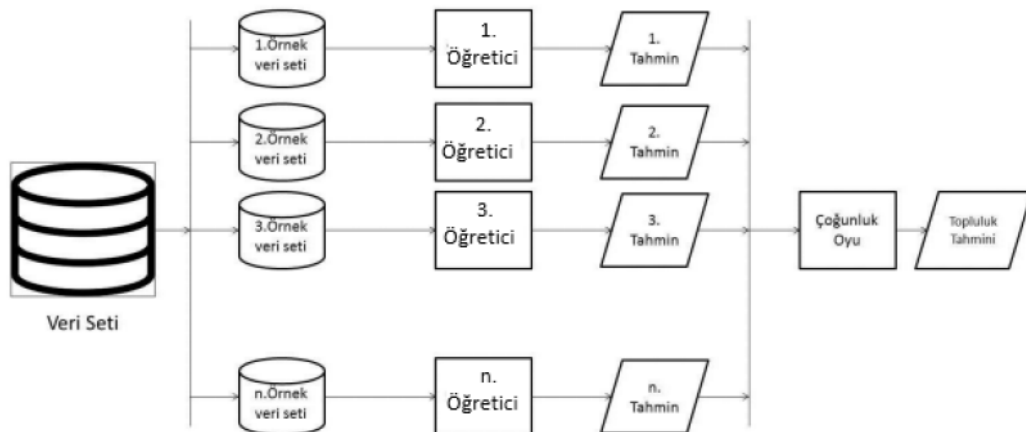


Şekil 2.17. Topluluk öğrenmesi çalışma prensibi [46]

Topluluk öğrenmesi için birçok farklı teknik yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler, sınıflandırma işlemini gerçekleştirecek algoritmaların doğruluk oranını yükseltmek için tasarlanmıştır. Bunlar başlıca şu yöntemlerdir.

2.6.1. Torbalama

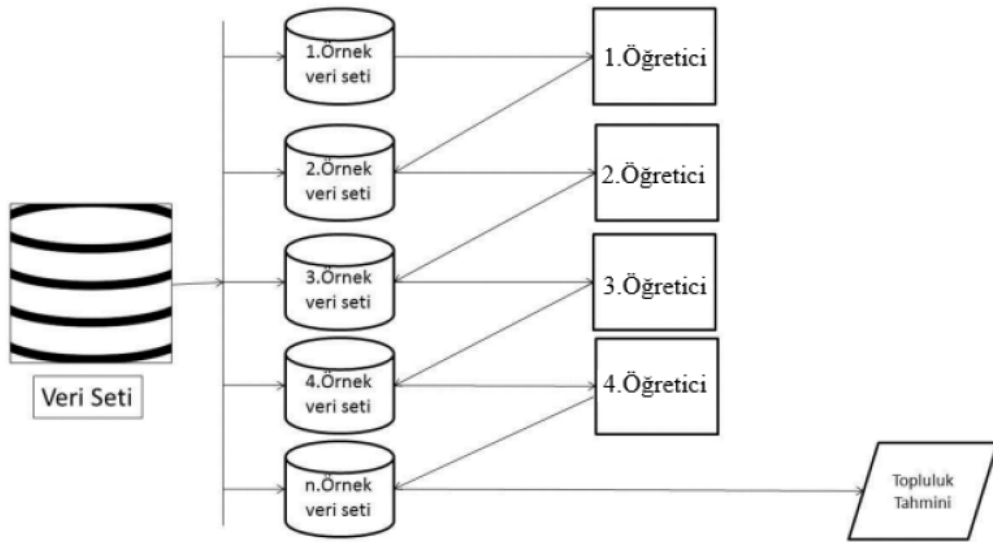
Daha yüksek doğrulukla bir sınıflandırma elde edebilmek için farklı eğitim setlerinin sınıflandırmalarının bir araya getirilmesi yöntemidir. Tek eğitim seti kullanıldığında bu veri setinin boyutu artırılarak modelin tahmin gücü arttırılamaz. Fakat eğitim setinden ek veriler üretilerek oluşturulan alt örneklemeler ile tahmin değişkeni sayısı azaltılarak tahminin geçerliliği arttırılabilmektedir. Torbalama (Bagging) yönteminde modeller birbirinden bağımsız ve paralel olarak çalışmaktadırlar. Ortaya çıkan sonuç tüm modellerden gelen sınıflandırmanın birleştirilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.18’de Bagging yönteminin çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Bagging yöntemi [46]

2.6.2. Yükseltme

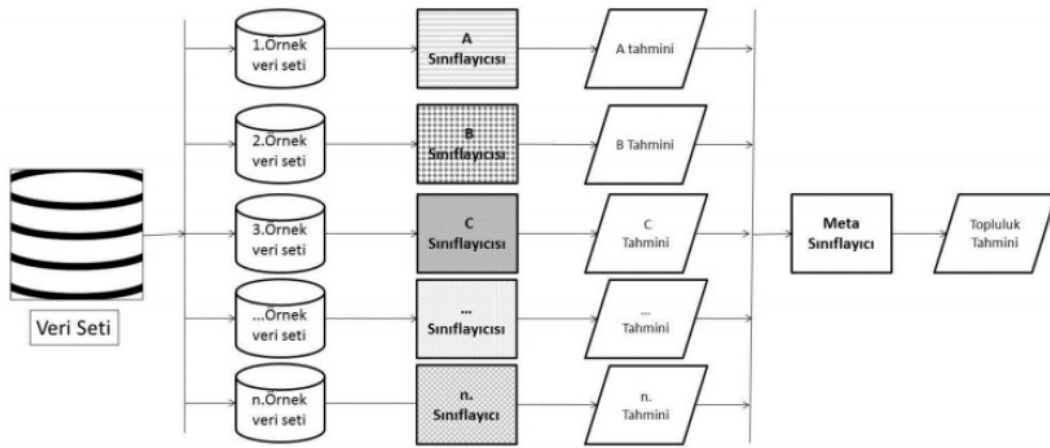
Yükseltme (Boosting) yöntemi danışmanlı öğrenme yapan bir algoritma çeşididir. Boosting yönteminde alt örnekleme işlemi rasgele değil, belirli bir öğrenme tekniği uygulayarak modele katkısı az olan veya çok olan sınıflayıcı ve değişkenler belirlenmektedir. İlk alt örnekleme de her bir gözlem eşit olarak dağıtılmışken sonraki alt örnekleme de modele katkısı az olan sınıflandırıcı ve değişkenlere daha fazla ağırlık vermektedir. Burada istenilen bir önceki örnekleme göre modelin tahmin gücünü daha iyi seviyeye çıkarmaktır. En güçlü tahmin modelini elde edene kadar bu süreç döngü halinde devam etmektedir. Şekil 2.19'da Boosting yönteminin çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.19. Boosting yöntemi [46]

2.6.3. Yığma

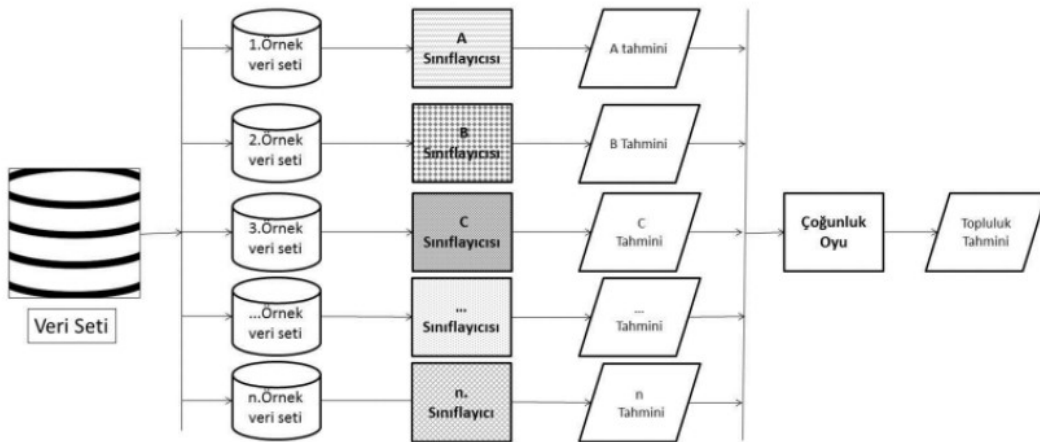
Yığma (Stacking) yöntemi birçok modelden elde edilen tahminleri kullanan bir topluluk öğrenme modelidir. Bu yöntem, farklı sınıflayıcılardan ortaya çıkan tahminlerin meta sınıflayıcıda bir araya gelerek tahmin yüzdesi daha yüksek bir model oluşmaktadır. Stacking yönteminde ana iki aşama vardır. İlk aşamada farklı tür sınıflandırıcılar aynı eğitim veri setinden tahminler yapmaktadır. İkinci aşamada ise ilk aşamadan gelen tahminler meta sınıflandırıcıda bir araya gelerek stacking yönteminin çıktı tahmini ortaya çıkmaktadır. Meta sınıflayıcı sayesinde topluluk öğrenme de daha yüksek yüzdeli tahminler elde edilebilmektedir. Şekil 2.20'de Stacking yöntemi çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.20. Stacking yöntemi [46]

2.6.4. Oylama

Oylama (voting) yöntemi birçok uygulamada sınıflandırma problemlerinin önüne geçmek için kullanılmaktadır. Bu yöntemde her bir sınıflayıcının bir tahmini bulunmaktadır. Modelde bulunan sınıflayıcıların çoğunluğu tahminlerdeki kararlardan birini kabul etmesi durumunda söz konusu tahmin modelin topluluk kararı olmaktadır. Bu tekniğe çoğunluk oyu yöntemi denilmektedir. Çoğunluk oyu yönteminde sınıflayıcıların yarısından çoğu tahminlerinde ortak karar alamaz ise topluluk tahmini ortaya çıkamayabilir. Topluluk tahmini ortaya çıkmayan durumlar için oy çokluğu yöntemi uygulanmalıdır. Oy çokluğu yönteminde tahminlerin yarısından çoğunda karar alınma zorunluğu aranmaz iken sadece hangi tahmin üzerinde daha fazla sınıflayıcının kararı alınırsa bu tahmin topluluk tahmini olarak geçerli olmaktadır. Şekil 2.21’de Voting yöntemi çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.21. Voting (Oylama) yöntemi [46]

2.6.5. Ortalama

Sınıflandırma yapılırken ortaya çıkacak sorunları gidermek ve bu olasılıkların tahminini yapmak için kullanılmaktadır.

2.6.6. Ağırlıklı Ortalama

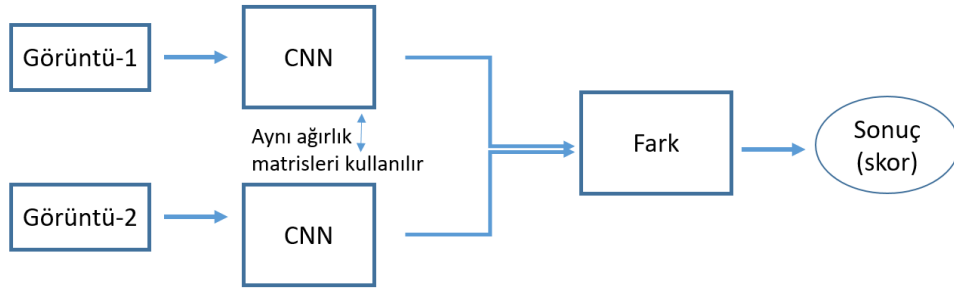
Bu yöntemde bulunan modellerden, tahmin için hangi modelin daha çok önem arz ettiğini belirleyerek o modele belirlenen önem seviyesinde ağırlık vermektedir.

2.6.7. Harmanlama

Yığılma ile benzer bir yöntem izlemektedir. Eğitim seti tarafından belirlenen doğrulama ile tahmin yapabilmektedir. Bu yöntemler, sınıflandırma işlemini gerçekleştirecek algoritmaların doğruluk oranını yükseltmek için tasarlanmışlardır. Topluluk öğrenmesi yönteminde bir adet üstün performanslı modeli öğrenmektense, fazla sayıda düşük performanslı düşük performanslı modeli eğiterek yüksek doğrulukta üst model elde edilmektedir. Bu durum üst modeli elde etmek için düşük performanslı modeller tarafından ortaya çıkan tahminleri birleştirerek öğrenmeye yarayan bir metottur [47]. Topluluk öğrenme modellerinde hatayı en aza indirerek performansı yükseltmek için eğitimde kullanılan değişkenlerin sayısı ve çeşitliliği artırılmalıdır.

2.7. Siyam Sinir Ağları

Siyam sinir ağları (Siamese Neural Network), iki veya daha fazla aynı yapıdaki sinir ağlarının paralel bir şekilde birlikte kullanılarak girdileri birbirleri ile karşılaştırmak için kullanılan bir sinir ağ modelidir. Siyam sinir ağlarının en önemli özelliği paralel ağların aynı ağırlıkları kullanmasıdır. Modelin sonucunda girdilerin benzerlikleri bir skor ile elde edilerek matematiksel olarak yorumlanır. Bu skor değer 0 ve 1 arasında değerler alarak benzerliği ifade etmektedir [48-49]. Şekil 2.22’de örnek bir siyam model gösterilmektedir.



Şekil 2.22. Siyam sinir ağı yapısı

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

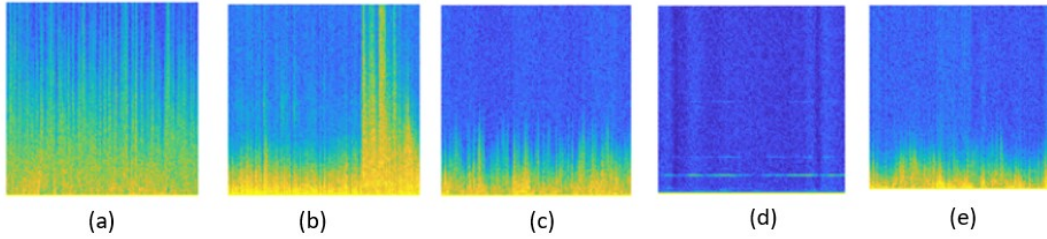
Bu bölümde, Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'ye (TEİAŞ) ait enerji iletim hatlarından bazılarında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler kullanılarak geliştirilen bir derin öğrenme modeli detayları ve sonuçları sunulmaktadır. Günlük hayatta karşılaşılması muhtemel problemler senaryolara yansıtılarak veri toplama prosedürü belirlenmiştir. Ölçümler sahada el ile sökme, çekiç ile vurma ve makine ile sökme senaryoları esas alınarak planlanan aktivitelerin gerçekleştirilmesiyle kaydedilmiştir. İlk aşamada kaydedilen veriler k-means algoritması ile gruplandırılarak senaryoları sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada istenilen seviyede başarı yakalanamamıştır. Daha sonra, aksiyon sınıflandırma problemi için bir derin öğrenme algoritması olan CNN modeli esas alınmıştır. Sınıflandırma algoritması, farklı CNN modellerinden olan VGG19, Xception ve DenseNet169 kullanılarak geliştirilen bir topluluk öğrenmesi modeli ile geliştirilmiştir. Topluluk öğrenmesi modeli ile sınıflandırmada yüksek seviyede başarı oranları elde edilmiştir.

3.1. K-means ile Elde Edilen Sonuçlar

En yaygın kümeleme yöntemlerinden biri olan k-means metodu birbirine benzer verilerin gruplandırılması olarak tanımlanmaktadır. Gruplandırma yapılırken kaç adet küme kullanılacağıнын önceden belirlenmesi kritik önem taşımaktadır. Kümeleme işlemi yapılırken bir optimizasyon söz konusu olduğu için küme merkezini bulmak da ayrıca önemlidir. Bütün gruplandırma işlemi bulunan bu küme merkezi baz alınarak yapılmaktadır. Sonuç olarak, birbirine yakın konumda bulunan veriler aynı gruba dâhil edilerek kümeleme işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada enerji iletim hatları ve bu hatları taşıyan direklerde gerçekleştirilen el ile sökme, makine ile sökme ve çekiç ile vurma senaryoları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu senaryolar DAS sistemleri kullanılarak ham verilerden spektrogram görüntüleri elde edilmiştir. Her bir senaryo için ayrı ayrı gerçekleştirilen kümeleme işlemlerinin örnekleri aşağıda verilmektedir.

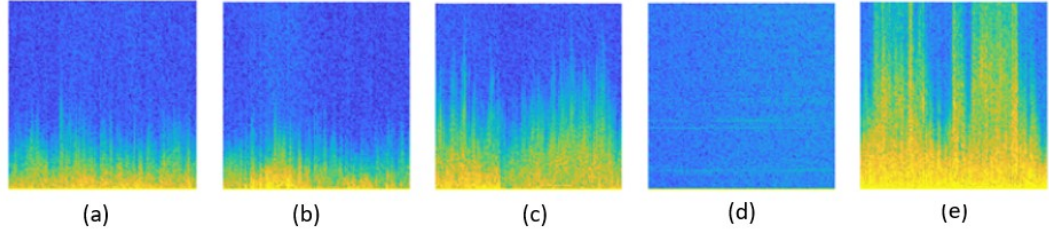
Veri setindeki aksiyonun yoğunluğuna göre dağılımı görmek için küme sayısı 5 olarak seçilmiştir.

Şekil 3.1’de el ile sökme senaryosuna ait DAS sistemleri ile gerçekleştirilen ölçümler neticesinde elde edilen görüntülerin 5’li kümeleme işlemi için sonuçlar verilmektedir. Bu sonuçlara göre (a)’da senaryonun gerçekleştiği yani el ile sökme işleminin yapıldığı elektrik direğinin bulunduğu lokasyona en yakın mesafedeki görüntülerden oluşan kümeye ait bir örnek verilmektedir. (d)’de ise el ile sökme işleminin yapıldığı elektrik direğinin bulunduğu lokasyondan en uzak mesafede olan yerlerden (aktivitenin en az hissedildiği) elde edilen görüntülerden oluşan kümeye ait bir örnek verilmektedir. Diğer kümeler ise bu aktivitelerin en yoğun hissedildiği (a) ve en az hissedildiği (d) kümeler arasında kalan görüntülerden meydana gelmektedir.



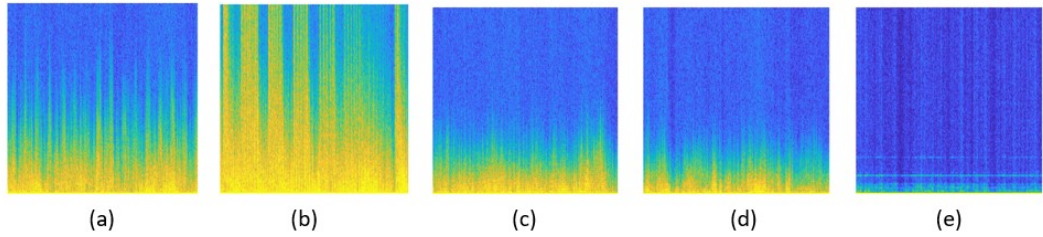
Şekil 3.1. El ile sökme (a) Küme 1 (b) Küme 2 (c) Küme 3 (d) Küme 4 (e) Küme 5

Şekil 3.2’de makine ile sökme senaryosuna ait DAS sistemleri ile gerçekleştirilen ölçümler neticesinde elde edilen görüntülerin 5’li kümeleme işlemi için sonuçlar verilmektedir. Bu sonuçlara göre (e)’de senaryonun gerçekleştiği yani makine ile sökme işleminin yapıldığı elektrik direğinin bulunduğu lokasyona en yakın mesafedeki görüntülerden oluşan kümeye ait bir örnek verilmektedir. (d)’de ise makine ile sökme işleminin yapıldığı elektrik direğinin bulunduğu lokasyondan en uzak mesafede olan yerlerden (aktivitenin en az hissedildiği) elde edilen görüntülerden oluşan kümeye ait bir örnek verilmektedir. Diğer kümeler ise bu aktivitelerin en yoğun hissedildiği (e) ve en az hissedildiği (d) kümeler arasında kalan görüntülerden meydana gelmektedir.



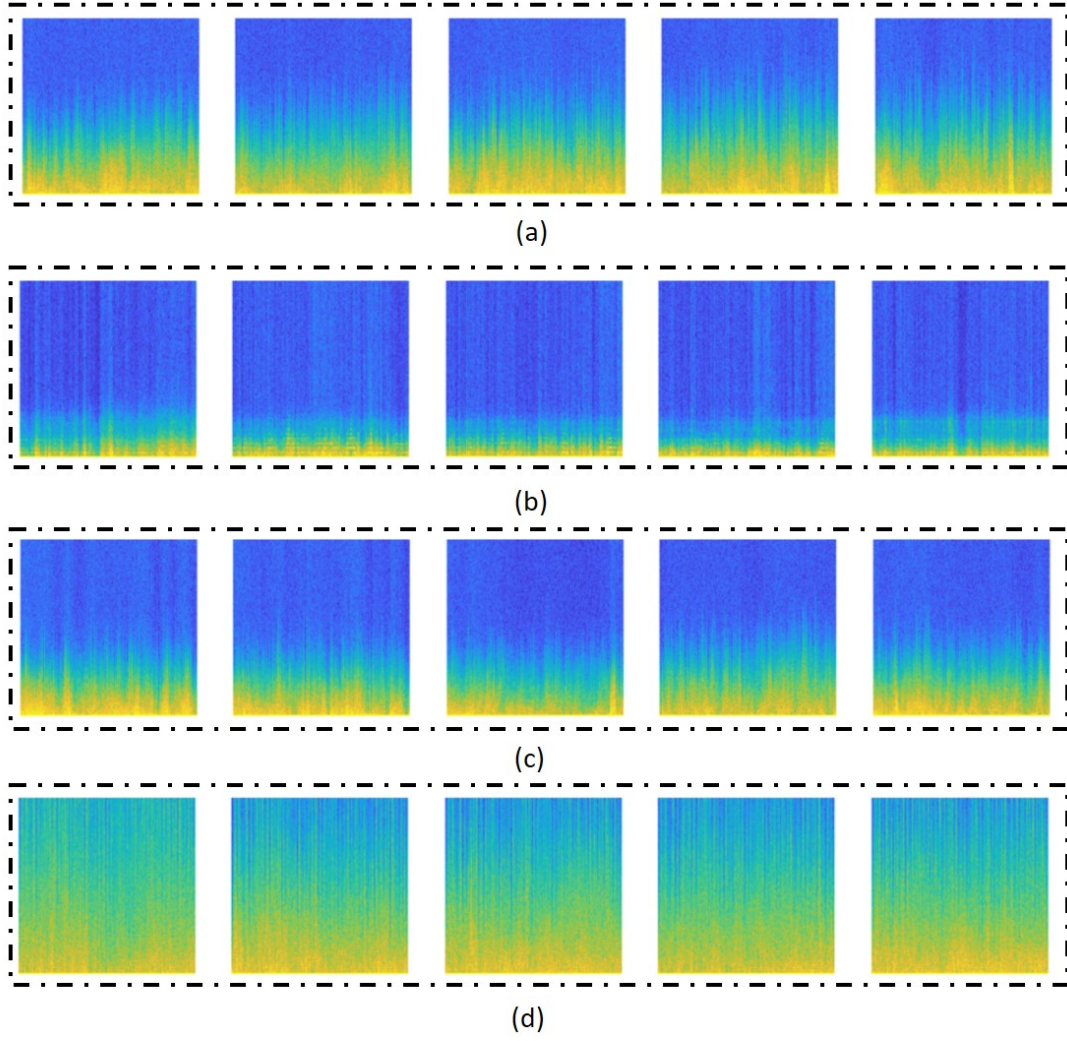
Şekil 3.2. Makine ile sökme (a) Küme 1 (b) Küme 2 (c) Küme 3 (d) Küme 4 (e) Küme 5

Şekil 3.3'te çekiç ile vurma senaryosuna ait DAS sistemleri ile gerçekleştirilen ölçümler neticesinde elde edilen görüntülerin 5'li kümeleme işlemi için sonuçlar verilmektedir. Bu sonuçlara göre (b)'de senaryonun gerçekleştiği yani çekiç ile vurma işleminin yapıldığı elektrik direğinin bulunduğu lokasyona en yakın mesafedeki görüntülerden oluşan kümeye ait bir örnek verilmektedir. (e)'de ise çekiç ile vurma işleminin yapıldığı elektrik direğinin bulunduğu lokasyondan en uzak mesafede olan yerlerden (aktivitenin en az hissedildiği) elde edilen görüntülerden oluşan kümeye ait bir örnek verilmektedir. Diğer kümeler ise bu aktivitelerin en yoğun hissedildiği (b) ve en az hissedildiği (e) kümeler arasında kalan görüntülerden meydana gelmektedir.



Şekil 3.3. Çekiç ile vurma (a) Küme 1 (b) Küme 2 (c) Küme 3 (d) Küme 4 (e) Küme 5

El ile sökme, makine ile sökme ve çekiç ile vurma senaryoları tek veri seti olacak şekilde düzenlenerek k-means algoritması tekrar uygulanmıştır. Bu şekilde senaryoların birbirine göre farkı gözlenmesi hedeflenmektedir. Mevcut senaryolara ek olarak, her bir senaryoda gerçekleşen ölçümler sırasında hiçbir aktivitenin olmadığı durumlar da göze alınarak k-means algoritması için küme sayısı 4 olarak seçilmiştir. Toplamda küme 1 için 1621, küme 2 için 1424, küme 3 için 2981, küme 4 için 267 adet görüntü yer almaktadır. Şekil 3.4'te her bir kümeleme için 5 adet görüntü örnek olarak verilmektedir.



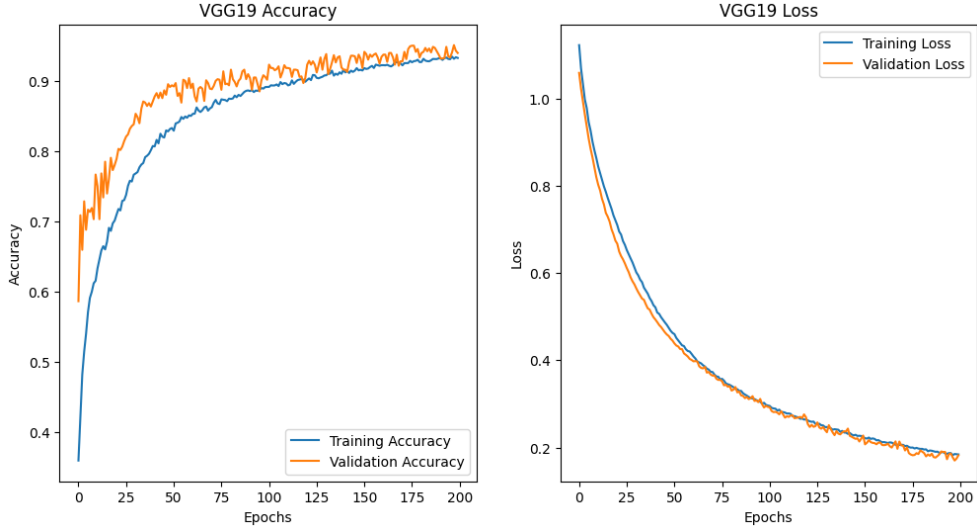
Şekil 3.4. K-Means Kümeleme Sonuçları (a) Çekiç ile vurma (b) Aktivite yok (c) El ile sökme (d) Makine ile sökme

Kümeleme sonuçlarına genel olarak bakıldığında aynı grupta yer alan görüntülerin birbirlerine benzerliği gözle görülebilir şekildedir. Bu çalışmada sunulan ön bulgular gelecekte planlanan sınıflandırma çalışmaları için ilham vericidir.

3.2. VGG19 ile Elde Edilen Sonuçlar

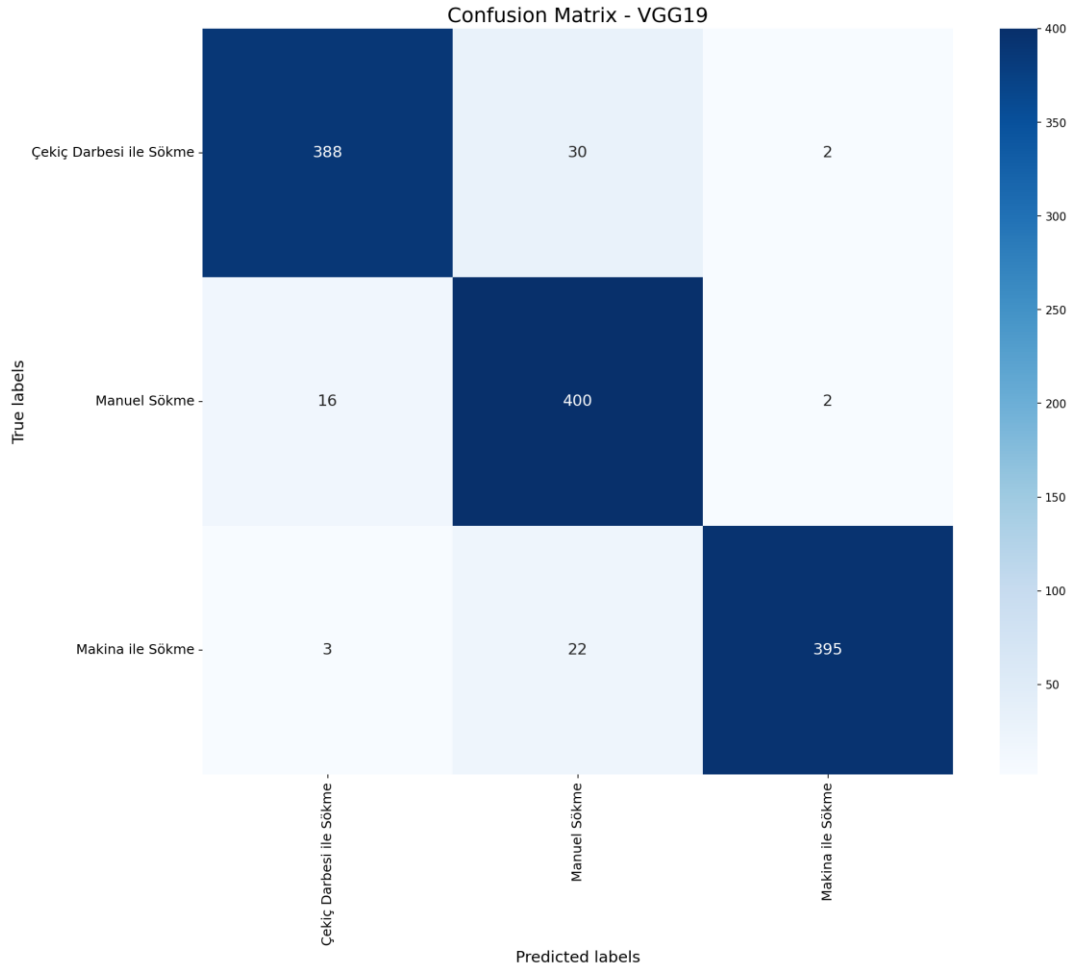
VGG19 modeli için el ile sökme, çekiç ile vurma, makine ile sökme senaryolarının görüntüleri ile eğitilen modelin 200 dönem (epoch) boyunca doğruluk (accuracy) değerlerinin grafik hali Şekil 3.5'te verilmektedir. Eğitim (training) ve validasyon (validation) doğruluk eğrilerinin uyum içinde birlikte artış göstermesi aşırı öğrenme (overfitting) probleminin en aza indirgendiğinin bir göstergesidir. Ancak validation doğruluğu dönem sayısı boyunca daha çok iniş çıkış durumu yaşayarak doğrusal olmayan bir yol izlemiştir. Şekil 3.5'te VGG19 eğitim sonuç grafikleri verilmektedir.

Sonuç grafikleri incelendiğinde 50 dönem sayısından itibaren doğruluk oranları hem eğitim hem de validasyon için %80'in üzerine çıkarken, 200 dönem sayısında %90 üzeri bir başarı göstermiştir.



Şekil 3.5. VGG19 eğitim sonuç grafikleri

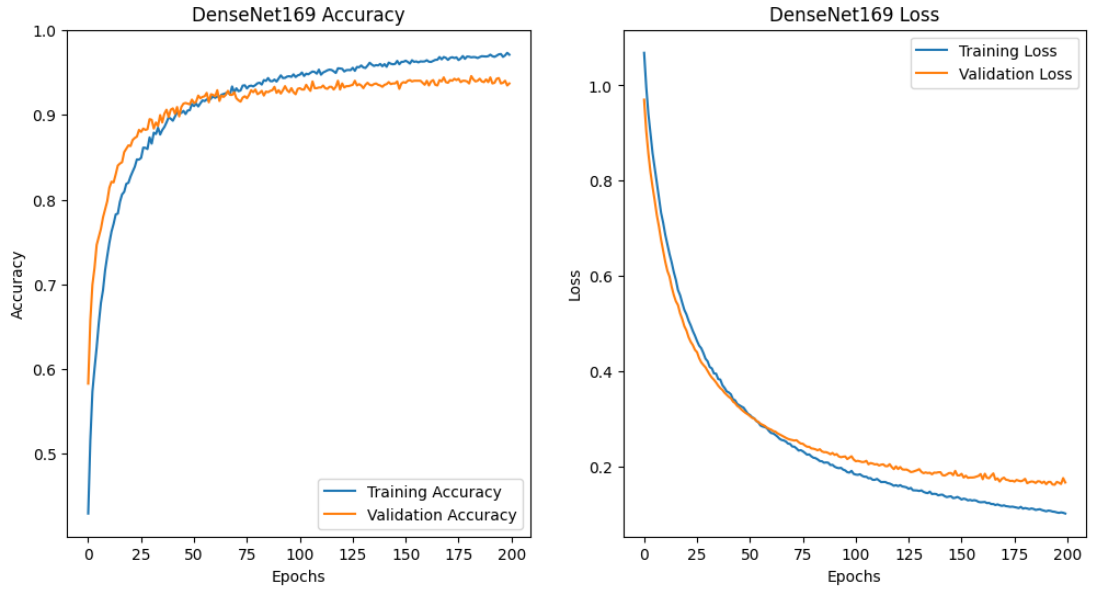
Şekil 3.6’da VGG19 modeli için oluşturulan karışıklık matrisi sonucu verilmektedir. Sonuçlara göre en çok karışıklığa yol açan durumlar; çekiç ile vurmanın el ile sökme olarak tahmin edilmesi ve makine ile sökmenin, el ile sökme olarak tahmin edilmesi olarak gözlemlenir.



Şekil 3.6. VGG19 karışıklık matrisi

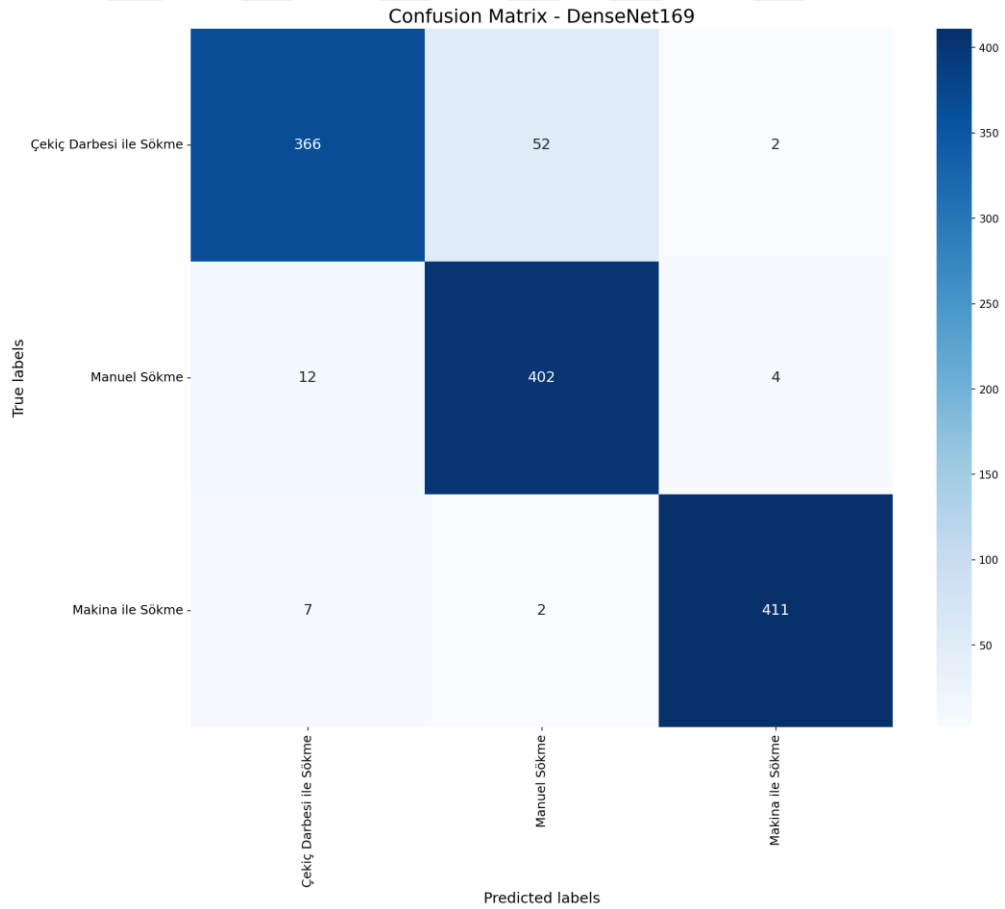
3.3. DenseNet169 ile Elde Edilen Sonuçlar

DenseNet169 modeli için el ile sökme, çekiç ile vurma, makine ile sökme senaryolarının görüntüleri ile eğitilen modelin 200 dönem epoch boyunca doğruluk değerlerinin grafik hali Şekil 3.7’de verilmektedir. Training ve validation doğruluk eğrilerinden VGG19 modeline göre daha fazla aşırı öğrenme probleminin ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Sonuç grafikleri incelendiğinde 50 dönem sayısından itibaren doğruluk oranları hem eğitim hem de validasyon için %90’ın üzerine çıkarken, 200 dönem sayısına yaklaştıkça başarı oranı artış göstermiştir.



Şekil 3.7. DenseNet169 eğitim sonuç grafikleri

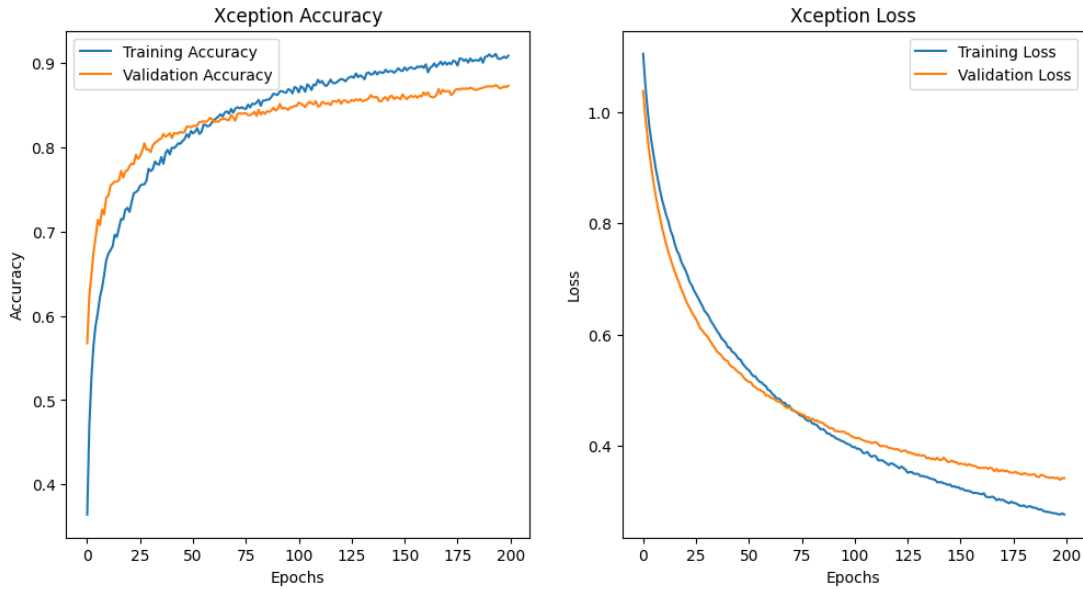
Şekil 3.8’de DenseNet169 modeli için oluşturulan karışıklık matrisi sonucu verilmektedir. Sonuçlara göre en çok karışıklığa yol açan durumlar; çekiç ile vurmanın el ile sökme olarak tahmin edilmesi olarak tahmin edilmesi olarak gözlemlenir.



Şekil 3.8. DenseNet169 karışıklık matrisi

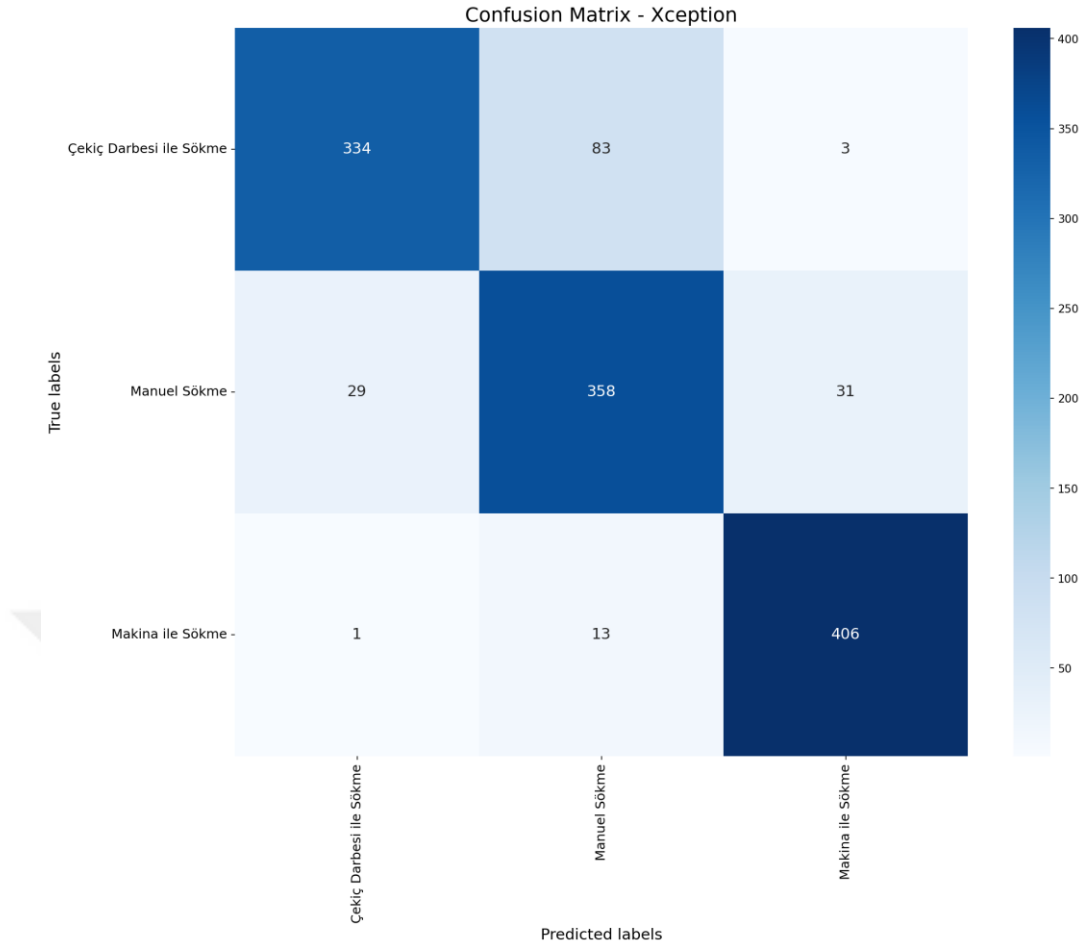
3.4. Xception ile Elde Edilen Sonuçlar

Xception modeli için el ile sökme, çekiç ile vurma, makine ile sökme senaryolarının görüntüleri ile eğitilen modelin 200 dönem epoch boyunca doğruluk değerlerinin grafik hali Şekil 3.9’da verilmektedir. Training ve validation doğruluk eğrilerinden DenseNet169 modeline göre daha fazla aşırı öğrenme probleminin ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Şekil 3.9’da Xception eğitim sonuç grafikleri verilmektedir. Sonuç grafikleri incelendiğinde 50 dönem sayısından itibaren doğruluk oranları hem eğitim hem de validasyon için %80’in üzerine çıkarken, 200 dönem sayısına yaklaştıkça başarı oranı artış göstermiştir.



Şekil 3.9. Xception eğitim sonuç grafikleri

Şekil 3.10’da Xception modeli için oluşturulan karışıklık matrisi sonucu verilmektedir. Sonuçlara göre en çok karışıklığa yol açan durumlar; çekiç ile vurmanın el ile sökme olarak tahmin edilmesi, el ile sökmenin çekiç ile vurma ve el ile sökmenin makine ile sökme olarak tahmin edilmesi olarak gözlemlenir.



Şekil 3.10. Xception karışıklık matrisi

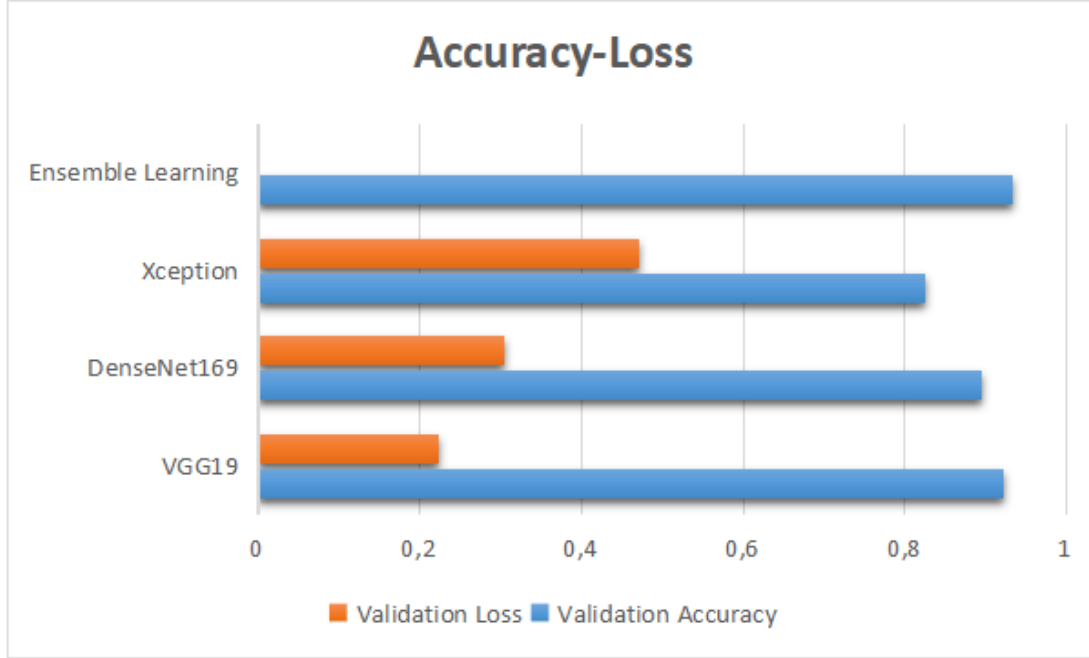
3.5. Topluluk Öğrenmesi ile Elde Edilen Sonuçlar

El ile sökme, çekiş ile vurma ve makine ile sökme senaryolarından elde edilen verilerin DenseNet169, Xception, VGG19 derin öğrenme metotları ile sınıflandırma aşamalarından sonra topluluk öğrenmesi metodu uygulanmıştır. Topluluk öğrenme metodunun diğer yöntemlerle karşılaştırılması literatürde kabul görmüş metrik sonuçları ile Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Metotların metrik değerleri

Method	Accuracy	Precision	Recall	F1 Score
DenseNet169	0.894	0.910	0.894	0.902
Xception	0.825	0.854	0.825	0.835
VGG19	0.921	0.932	0.921	0.926
Ensemble	0.934	0.943	0.934	0.938

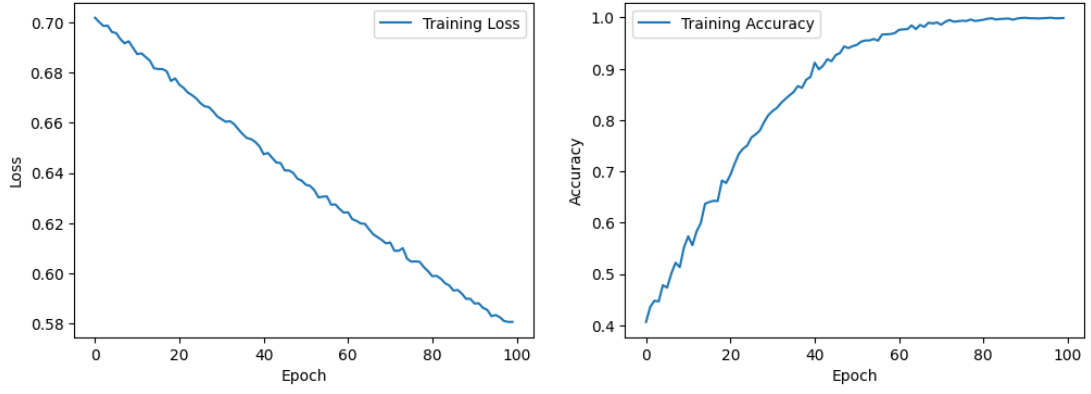
Metrik sonuçlarına ek olarak, DenseNet169, Xception, VGG19 ve topluluk öğrenmesi sınıflandırma doğruluk oranları grafiksel olarak Şekil 3.11’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, en yüksek sınıflandırma başarısının topluluk öğrenmesi olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.11. Metotların karşılaştırılması

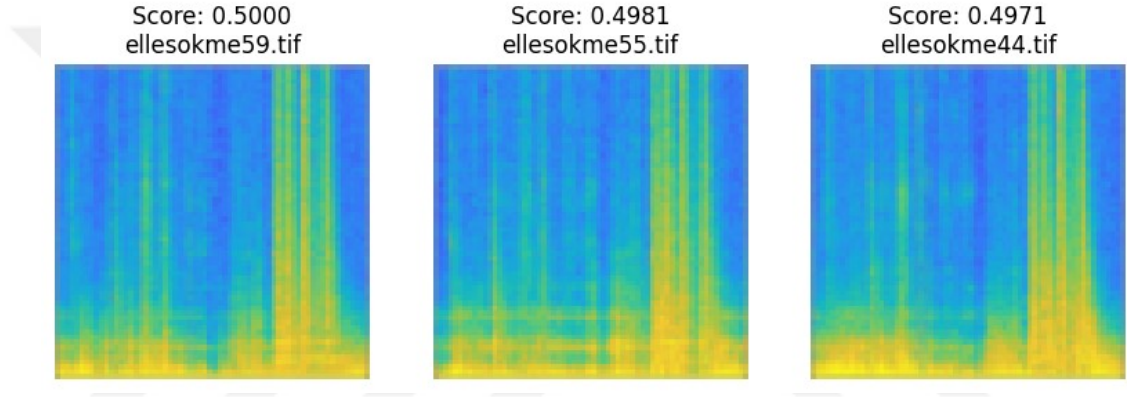
3.6. Siyam Sinir Ağı ile Elde Edilen Sonuçlar

Enerji iletim hatlarında yaşanan aksiyonların hattın hangi kısmında gerçekleştiğini tespit etmeye yönelik çalışmaların sonuçları da veriler ile sunulmaktadır. Hat boyunca elde edilen veriler kullanılarak aksiyonların hangi kanallarda (lokasyon) yoğunlaştığının tespiti yapılır. Yani, bu yoğun bölge içerisinde aksiyonun gerçekleştiği kanal bulunması için bir skor elde edilir. El ile sökme için eğitilen modelin 100 dönem sayısına göre doğruluk değerleri Şekil 3.12’de verilmektedir.



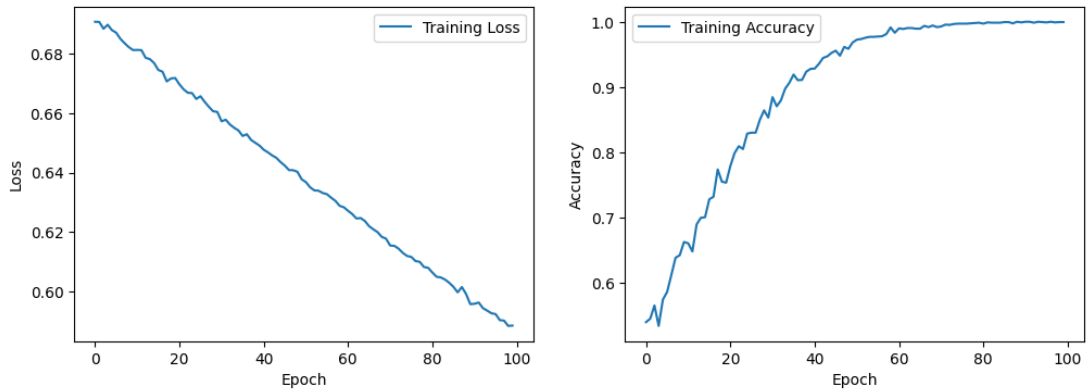
Şekil 3.12. Siyam - El ile sökme

Şekil 3.13’de el ile sökme için elde edilen benzerlik skor sonuçları verilmektedir.



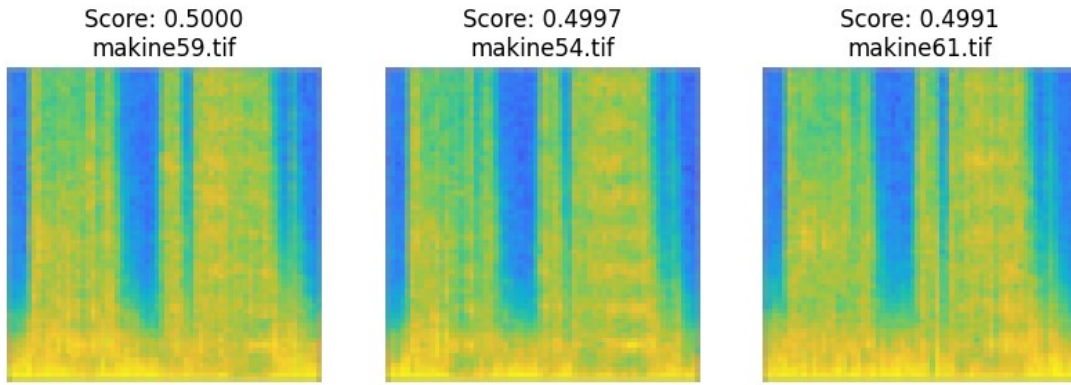
Şekil 3.13. Siyam - El ile sökme skor

Makine ile sökme için eğitilen modelin 100 dönem sayısına göre doğruluk değerleri Şekil 3.14’te verilmektedir.



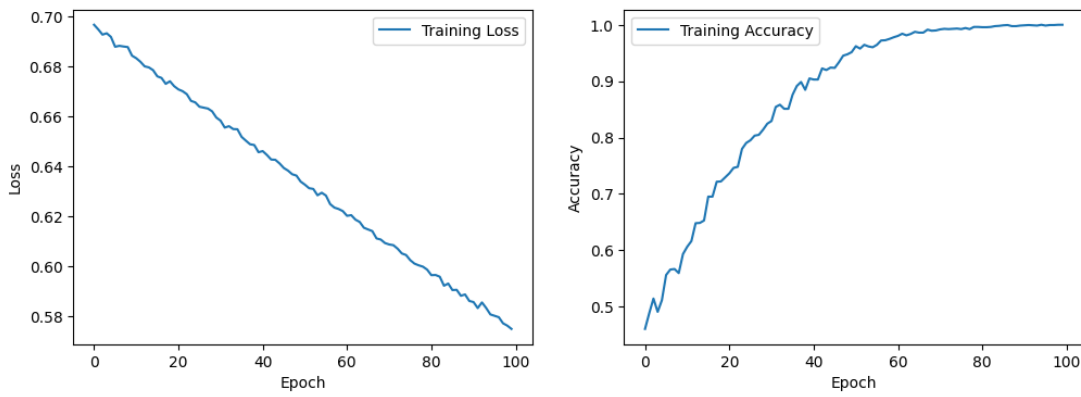
Şekil 3.14. Siyam - Makine ile sökme

Şekil 3.15'te makine ile sökme için elde edilen sonuçlar verilmektedir.



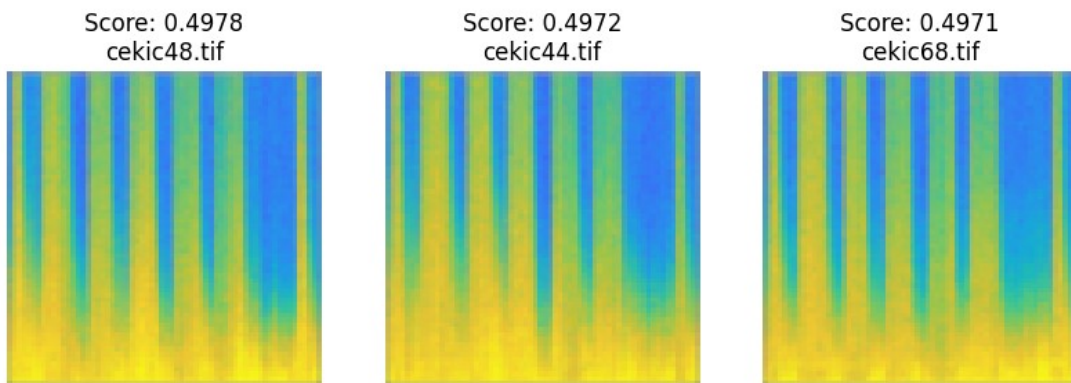
Şekil 3.15. Siyam - Makine ile sökme skor

Çekiç ile vurma için eğitilen modelin 100 dönem sayısına göre doğruluk değerleri Şekil 3.16'te verilmektedir.



Şekil 3.16. Siyam – Çekiç ile vurma

Şekil 3.17'da çekiç ile vurma için elde edilen sonuçlar verilmektedir.



Şekil 3.17. Siyam – Çekiç ile vurma skor

4. SONUÇ

Bu tez çalışmasında OTDR tekniğine dayanan DAS sistemleri ile yüksek gerilim enerji hatları ve bu hatları taşıyan direklerde meydana gelen hırsızlık, darbe vb. olumsuzluklara karşı bu durumların ve yerlerinin hem konumsal hem de enerji iletim hattını taşıyan direk noktası olarak tespiti ile sınıflandırılmasına ilişkin çalışma ele alınmaktadır. Bazı yüksek gerilim hatlarının içinde fiber optik kablo bulunduğundan bu çalışmanın yapıldığı yüksek gerilim hatları OPGW'li hatlardan oluşacak şekilde seçilmektedir. Seçilen bu enerji iletim hatları ve bu hatları taşıyan direklerde sahaya gönderilen ekipler tarafından el ile sökme, makine ile sökme ve çekiç ile vurma senaryoları gerçekleştirilmiştir. Enerji iletim hatlarını taşıyan direklerde gerçekleştirilen bu senaryolar sensörlerden alınan bilgiler kayıt edilerek DAS sistemi ile bir veri seti haline getirilmiş ve depolanmıştır. Daha sonra elde edilen bu veri setleri matlab yazılımı kullanılarak, her bir senaryo için ayrı ayrı görüntüler haline getirilmiştir. Görüntüler enerji iletim hattının başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar olan mesafe boyunca her 10 metreye bir görüntü olacak şekilde oluşmaktadır. Ancak uzun mesafeye sahip hatlarda bu ölçümler 40 – 50 km'den sonra başarılı sonuç vermemektedir. Gerçekleştirilen senaryolar ile oluşturulan görüntüler üzerinde öncelikle k-means algoritması uygulanarak aktivitelerin konumsal tespiti ve kümelendirilme işlemleri yapılmaktadır. Daha sonra derin öğrenme yöntemleri olan DenseNet169, VGG-19, Xception ve topluluk öğrenmesi teknikleri uygulanmaktadır. Uygulanan bu teknikler ile öncelikle darbenin gerçekleştiği noktaya en yakın mesafedeki görüntü tespit edilerek fiziksel aksiyonun gerçekleştiği en yakın lokasyon tespit edilmektedir. Daha sonra uygulanan sınıflandırma algoritmaları ile enerji iletim hattında meydana gelen olumsuz durumun el ile sökme, makine ile sökme ve çekiç ile vurmadan hangisi olduğuna yönelik ayrı ayrı sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma doğruluk oranları DenseNet169 için %89, VGG-19 için %92, Xception için %83 ve topluluk öğrenmesi için %93 olarak gözlemlenmektedir. Bu sonuçlara göre en yüksek sınıflandırma doğruluğu topluluk öğrenmesi algoritmasıdır. Sonuç olarak bu tezde elde edilen sonuçlar gelecekte

yapılacak olan çalışmalar için umut vericidir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda veri seti ve tehdit çeşitliliği arttırılarak bu tez geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Gözgöz, U., Gül, E., Karaman, İ., Özkan, H., & Kılıç, N. (2020). Dağılık Fiber Optik Sensörler ile Efektif Alanın Rayleigh Saçılmasına Etkisinin OptiSystem Programı Kullanılarak İncelenmesi. In Conference: 3rd International Conference on Data Science and Applications (ICONDATA'20).
- [2] Doğan, T. (2022). Boru hatları güvenliğinde dağılık akustik algılama sisteminin teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi (Master's thesis, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [3] Uyar, F. (2018). Development and characterization of a direct detection fiber optic distributed acoustic sensor (Master's thesis, Bilkent Üniversitesi (Turkey)).
- [4] Uyar, F., Kartaloğlu, T., Özdür, İ., & Özbay, E. Fiber Optik Dağılık Sensör Teknolojisi: Prensipler ve Örnek Sistemler Fiber Optic Distributed Sensing Technology: Principles and Sample Systems.
- [5] King, J., Smith, D., Richards, K., Timson, P., Epworth, R., & Wright, S. (1987). Development of a coherent OTDR instrument. *Journal of Lightwave Technology*, 5(4), 616-624.
- [6] Erhan, G. Ü. L., GÖZGÖZ, U., KARAMAN, İ., ÖZKAN, H. İ., & KILIÇ, N. B. Dağılık Fiber Optik Sensörler ile Sıcaklık Algılamasının OptiSystem Programı Kullanılarak Gerçekleştirilmesi.
- [7] Yücel, M., Torun, M., Öztürk, N. F., & Göktaş, H. H. (2017, May). Brillouin scattering based fiber optic strain sensor. In 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- [8] Yücel, M., Göktaş, H. H., & Öztürk, N. F. (2014, April). The fiber optical sensing based on Brillouin scattering. In 2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 838-841). IEEE.
- [9] Yücel, M., Gündüz, A. E., Göktaş, H. H., & Öztürk, N. F. (2016, May). Using single-mode fiber as temperature sensor. In 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU) (pp. 461-464). IEEE.
- [10] Günday, A., KARLIK, S., & YILMAZ, G. (2014). OPTİK FİBERLİ DAĞINIK ALGILAMANIN YÜKSEK GERİLİM KABLOLARINDAKİ KULLANIMINDA SICAKLIK VE GERGİNLİK OLUŞUMLARININ YOUNG VE SHEAR MODÜLLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3).

- [11] Drissi-Habti, M., Abhijit, N., Sriharsha, M., Carvelli, V., & Bonamy, P. J. (2022). Concept of placement of fiber-optic sensor in smart energy transport cable under tensile loading. *Sensors*, 22(7), 2444.
- [12] Bublin, M. (2021). Event detection for distributed acoustic sensing: Combining knowledge-based, classical machine learning, and deep learning approaches. *Sensors*, 21(22), 7527.
- [13] Aktas, M., Akgun, T., Demircin, M. U., & Buyukaydin, D. (2017, April). Deep learning based multi-threat classification for phase-OTDR fiber optic distributed acoustic sensing applications. In *Fiber Optic Sensors and Applications XIV* (Vol. 10208, pp. 75-92). SPIE.
- [14] Aktas, M., Akgun, T., Demircin, M. U., & Buyukaydin, D. (2017, May). Deep learning based threat classification in distributed acoustic sensing systems. In *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.
- [15] Uzundurukan, E., & Kara, A. (2020). Deep Learning Based Threat Classification for Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing Using SNR Dependent Data Generation. *Journal of Science, Technology and Engineering Research*, 1(2), 4-12.
- [16] Zhang, H., Gao, J., & Hong, B. (2022). Φ -OTDR signal identification method based on multimodal fusion. *Sensors*, 22(22), 8795.
- [17] Xu, C., Guan, J., Bao, M., Lu, J., & Ye, W. (2018). Pattern recognition based on time-frequency analysis and convolutional neural networks for vibrational events in ϕ -OTDR. *Optical Engineering*, 57(1), 016103-016103.
- [18] Wu, H., Zhou, B., Zhu, K., Shang, C., Tam, H. Y., & Lu, C. (2021). Pattern recognition in distributed fiber-optic acoustic sensor using an intensity and phase stacked convolutional neural network with data augmentation. *Optics express*, 29(3), 3269-3283.
- [19] Demir, Z. (2002). *Fiber Optik Kablo Teknolojisi Ve Askeri Uygulamalarda Kullanımı*.
- [20] KESEN, U., SARIKAŞ, A., & YAYLA, A. (2018). Fiber Optik Haberleşmenin Akıllı Ulaşım Sistemlerindeki Yeri. *Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı*, 183-195.
- [21] Polat, M. E. (2019). *Fiber optik kabloların kalite parametrelerinin belirlenmesi ve bu parametreler üzerine etki eden faktörlerin etki mekanizmalarının analizi* (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- [22] Boydak, S., & Yücel, M. (2017). Fiber Optik Kabloda Meydana Gelen Raman Saçılmasının Analizi. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 257-265.
- [23] Eser, E., & Uğurlu, M. (2017). Fiber Optik Kablolarda Hat Birleştirme Hataları ve Kayıplara Olan Etkileri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 55-65.

- [24] Yolcu, V., Yücel, M., & Aydın, D. (2023). Kazancı düzleştirilmiş fiber raman yükselteç modelinin ikili arama denklemli adaptif yapay arı kolonisi (İADAYAK) algoritması ile optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 39(1), 29-38.
- [25] Kaptan, H. (1995). Fiber optik haberleşme sistemi (Master's thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- [26] Şerbetçi, H., Navruz, İ., & Ari, F. (2022, May). Development of Fiber Optic Refractive Index Sensor Using Speckle Pattern Imaging. In 2022 30th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- [27] Salman, S. (1995). Optik fiberlerde zayıflama ve kayıplar.
- [28] Dolma, A., & Doğan, A. (2020, October). Loss and Dispersion Analysis of Fiber Optic Network Systems. In 2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- [29] Demir, P. (2020). Troposfer katmanındaki Rayleigh ve Mie saçılmaları kaynaklı zayıflamanın lazerli uydu haberleşme sistemlerinin performansına etkilerinin analizi (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- [30] Yilmaz, B., & Dolma, A. (2022, May). Analysis of the Effect of Loss and Dispersion on Light Pulse in Fiber Optic Networks. In 2022 30th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- [31] Cai, W., Liu, E., Feng, B., Liu, H., Wang, Z., Xiao, W., ... & Liu, J. (2016). Dispersion properties of a photonic quasi-crystal fiber with double cladding air holes. Optik, 127(10), 4438-4442.
- [32] Pavithra, P., Prakash, P., & Madhan, M. G. (2013). Analysis on Dispersion Compensation with DelayLine Filter (DLF) using 2x2 Coupler. In 5th National Conference on Signal Processing Communications & VLSI Design (NCSCV 13), 10th & 11th May.
- [33] Krischer, C. (1970). Optical measurements of ultrasonic attenuation and reflection losses in fused silica. The Journal of the Acoustical Society of America, 48(5B), 1086-1092.
- [34] Simatupang, J. W., & Pukhrambam, P. D. (2022). Efficient Fault Detection Algorithm in Fiber Optic Communication Systems. Jurnal Teknologi Informasi Indonesia (JTII), 7(2), 66-74.
- [35] Karlık, S. E. (2006). Optik fiberlerdeki polarizasyon mod dispersiyonu (PMD) olayının ortam koşullarına bağlılığının incelenmesi (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- [36] Likas, A., Vlassis, N., & Verbeek, J. J. (2003). The global k-means clustering algorithm. Pattern recognition, 36(2), 451-461.
- [37] Stanford CS221. (2013) Erişim Adresi: <https://stanford.edu/~cpiech/cs221/handouts/kmeans.html>

- [38] Gürgen, G. (2019). Derin öğrenme ile tekstil tipi tanım (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [39] İnik, Ö. (2019). Derin öğrenme kullanarak ovaryum follikülerinin sınıflandırılması.
- [40] Ünalı, I. (2020). Konvolüsyonel Sinir Ağları Modelleriyle Meme Kanseri Histopatolojik Görüntülerinin Sınıflandırılması
- [41] Chauhan, T., Palivela, H., & Tiwari, S. (2021). Optimization and fine-tuning of DenseNet model for classification of COVID-19 cases in medical imaging. International Journal of Information Management Data Insights, 1(2), 100020.
- [42] Farahmand, M. (2022). Bal peteğindeki hücrelerin tespit edilmesi için derin öğrenme yaklaşımlarının kullanılması.
- [43] Söylemez, Ö. F., & Ergen, B. (2020). Farklı Evrişimsel Sinir Ağı Mimarilerinin Yüz İfade Analizi Alanındaki Başarımlarının İncelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(1), 123-133.
- [44] Öner, M. R. (2023). Derin öğrenme algoritmaları kullanılarak dış ve orta kulak hastalıklarının tespit edilmesi (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).
- [45] Zheng, Y., Yang, C., & Merkulov, A. (2018, May). Breast cancer screening using convolutional neural network and follow-up digital mammography. In Computational Imaging III (Vol. 10669, p. 1066905). SPIE.
- [46] Prof. Dr. Mehmet Ali Cengiz, Makine Öğrenmesi (Ders Notu). <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/macengiz/133359/6.HAFTA.pdf>
- [47] Duman, H. S., & Başaraner, M. (2022). Şekil göstergeleri ve topluluk öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları ile bina detaylarının şekil karmaşıklık analizi. Geomatik, 7(3), 197-208.
- [48] Chicco, D. (2021). Siamese neural networks: An overview. Artificial neural networks, 73-94.
- [49] Serrano, N., & Bellogín, A. (2023). Siamese neural networks in recommendation. Neural Computing and Applications, 35(19), 13941-13953.
- [50] BTK Akademi (2024). K-Ortalamalı Kümeleme. <https://www.btkakademi.gov.tr/portal/course/player/deliver/makine-ogrenmesi-30123>
- [51] Anonim (2013). Optik Fiber ile Işık İletim İlkeleri. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, Ankara.
- [52] Optical Time Domain Reflectometer (Broşür). Agilent Technologies Deutschland GmbH, Germany.

- [53] İnik, Ö., Ceyhan, A., Balcıoğlu, E., & Ülker, E. (2019). A new method for automatic counting of ovarian follicles on whole slide histological images based on convolutional neural network. *Computers in biology and medicine*, 112, 103350.
- [54] Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 4700-4708).
- [55] Kaur, M., & Singh, D. (2021). Multi-modality medical image fusion technique using multi-objective differential evolution based deep neural networks. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(2), 2483-2493.





ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Samet Can ÇORUK

Doğum Tarihi

Yabancı Dil

Eğitim Durumu :

Lisans – Kırıkkale Üniversitesi 2015

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar : TEİAŞ (2017-....)

Yayınları : Samet Can ÇORUK, Mustafa Yasin ERTEN “A clustering framework for power transmission lines to prevent theft using DAS system” **5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences**