



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE PORSELEN
İZOLATÖR HASARLARININ TESPİTİ

Emine DERE

YÜKSEK LİSANS

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim
Dalı

Mayıs-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Emine DERE tarafından hazırlanan “Görüntü İşleme ile Porselen İzolatör Hasarlarının Tespiti” adlı tez çalışması 08/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mücahid BARSTUGAN

.....

Danışman

Doç.Dr. Bahadır AKBAL

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇEVİK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Emine DERE

Tarih: . .2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE PORSELEN İZOLATÖR HASARLARININ TESPİTİ

Emine DERE

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Bahadır Akbal

2023, 82 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Bahadır Akbal
Dr. Öğr. Üyesi Mücahid BARSTUGAN
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇEVİK**

İzolatör üzerinde oluşan kırık ve çatlaklar istenmeyen enerji kesintileri ile büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Bunların önüne geçebilmek için izolatör yüzeyinde bulunan kırık ve çatlakların kısa sürede tespit edilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında kırık veya çatlak bir izolatörün görüntüsü kullanılarak hasar tespiti yapılmıştır. Elde edilen görüntüye MATLAB programı üzerinde görüntü işleme yöntemleri uygulanmış ve sınıflandırma yöntemleri ile de arızalı izolatörler tespit edilmiştir. İzolatör üzerindeki hasarın belirginleştirilerek tespit edilmesi amaçlandığından istenilen aşamaya gelinene kadar görüntü üzerinde bazı işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Öncelikle düşük seviyeli görüntü işleme adımları ile ihtiyaca göre görüntü üzerindeki gereksiz gürültüler temizlenmiş ve görüntüye netlik kazandırılmıştır. Daha sonra görüntü üzerindeki renk dağılımının eşitlenmesi için histogram eşitleme işlemi uygulanmıştır. Histogram eşitlemesinin akabinde görüntü en uygun eşik değerinde eşiklenerek ikili moda çevrilmiştir. Gereksiz beyaz noktaların temizlenmesi ve hasarlı kısımların belirginleşmesi için son olarak morfolojik işlemler uygulanıp görüntü istenilen noktaya getirilerek izolatör üzerindeki hasarlar belirginleştirilmiştir.

Görüntü işleme sonucu elde edilen verilerden bir veri seti oluşturulup destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak Python üzerinde görüntü sınıflandırma yapılmış, böylece hasarlı ve hasarsız izolatör tespiti gerçekleştirilmiştir. Toplamda 348 adet veri ile sınıflandırma yöntemlerinin eğitim ve test işlemleri yapılmıştır. Çalışma sonunda sınıflandırma yöntemleri karşılaştırılmış, destek vektör makinelerinden %66, yapay sinir ağlarından %60 ve derin öğrenmeden %74 oranlarında test doğruluk oranı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, destek vektör makineleri, görüntü işleme, görüntü ön işleme, izolatör, izolatör hasarları, MATLAB, Python, yapay sinir ağları

ABSTRACT

MS THESIS

DETECTION OF PORCELAIN INSULATOR DAMAGES BY IMAGE PROCESSING

Emine DERE

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical-Electronic Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bahadır Akbal
2023, 82 Pages**

Jury

**Assoc.Prof. Dr. Bahadır Akbal
Assist.Prof.Dr. Mücahid BARSTUGAN
Assist.Prof.Dr. Hasan Hüseyin ÇEVİK**

Fractures and cracks on the insulator cause undesired energy interruptions and great economic losses. In order to prevent these, the fractures and cracks on the insulator surface must be detected in a short time. In this thesis, damage detection was made using the image of a broken or cracked insulator. Image processing methods were applied on the obtained image on the MATLAB program and defective insulators were determined by classification methods. Since it is aimed to detect the damage on the insulator by clarification, some operations must be applied on the image until the desired stage is reached. First of all, with low-level image processing steps, unnecessary noises on the image were cleaned according to the needs and the image was given clarity. Then, histogram equalization process was applied to equalize the color distribution on the image. After the histogram equalization, the image was converted to binary mode by thresholding at the most appropriate threshold value. Finally, morphological operations were applied to clear the unnecessary white spots and clarified the damaged parts, and the image was brought to the desired point and the damages on the insulator were clarified.

A data set was created from the data obtained as a result of image processing, and image classification was performed on Python using support vector machines, artificial neural networks and deep learning methods, so that damaged and undamaged isolators were detected. Training and testing of classification methods were carried out with a total of 348 pieces of data. At the end of the study, classification methods were compared, and test accuracy rates of 66% from support vector machines, 60% from artificial neural networks and 74% from deep learning were obtained.

Keywords: Deep learning, image preprocessing, image processing, isolator, isolator damages, MATLAB, neural networks, Python, support vector machines

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında beni bilgi ve tecrübesiyle yönlendiren, yardımlarını esirgmeden her konuda anlayış gösteren danışman hocam Doç. Dr. Bahadır AKBAL'a, destekleri için başta Elfatek Elektronik yönetim kurulu üyesi olan Dr. Süleyman CANAN'a ve tüm Elfatek ailesine ve tez çalışma konum ile ilgili tecrübelerini bana aktarmaktan çekinmeyen mesai arkadaşım Rukiye ÖZDEMİR TEKİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Her daim yanımda yer alan ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme, yoğun çalışmalarım nedeniyle gösterdikleri sonsuz ilgi, anlayış ve bana verdikleri muazzam güç ve destekleri için sevgili eşim Esat DERE ve biricik kızım Bahar DERE'ye çok teşekkür ederim.

Emine DERE
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Hedefleri	2
1.2. Tezin Aşamaları	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. İzolatörler, İzolatör Arıza Sebepleri ve Tespitleri	7
2.2. Görüntü İşleme, Yapay Sinir Ağları, Derin Öğrenme	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	37
3.1. Düşük Seviyeli Görüntü işleme	37
3.1.1. Görüntüyü Elde Etme	38
3.1.2. Görüntü Ön İşleme.....	38
3.2. Orta Seviyeli Görüntü işleme	41
3.2.1. Kenar Belirleme	42
3.2.2. Eşikleme.....	44
3.2.3. Morfolojik İşlem	45
3.2.4. Histogram Eşitleme.....	48
3.3. Yüksek Seviyeli Görüntü işleme	49
3.3.1. Destek Vektör Makineleri.....	51
3.3.2. Yapay Sinir Ağları	53
3.3.3. Derin Öğrenme	56
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	59
4.1. Görüntü İşleme	59
4.2. Sınıflandırma	63
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
5.1. Sonuçlar	67
5.2. Öneriler	68
KAYNAKLAR	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

CSM	: Charge Simulation Method (Şarj Simülasyon Yöntemi)
FEM	: Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodunu)
ABC	: Asymptotic Boundary Condition (Asimptotik Sınır Koşulu)
VHF	: Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)
SNR	: Signal to Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
GIS	: GasInsulated Substation (Gaz İzoleli Trafo Merkezi)
SF ₆	: Kükürt Hekzaflorür
PD	: Partial Discharge (Kısmi deşarj)
UHF	: Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans)
CT	: Computed Tomography (Bilgisayarlı Tomografi)
FEMM	: Finite Element Method Magnetics (Sonlu Elemanlar Yöntemi Temelli)
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ESA	: Evrişimsel Sinir Ağları
DVM	: Destek Vektör Makineleri
CNN	: Convolutional Neural Networks (Konvolüsyonel Sinir Ağları)

1. GİRİŞ

İzolatörler, enerji nakil hatları, şalt sahaları ve dağıtım merkezlerinde bulunan iletkenleri bağılandıkları yerden toprağa karşı yalıtın ve taşıyan malzemelerdir. İzolatör içerisindeki bir delinme veya izolatörün yüzeyinden toprağa kaçak meydana gelmesi izolatörün işlevini yerine getirmemesi anlamına gelmektedir. Bunun önüne geçebilmek için de izolatörün temel özelliklerinden biri olan elektriksel dayanımının iyi olması gerekmektedir. Bir diğer olması gereken özellik ise mekaniksel dayanıklılıktır. İzolatörler iletkenleri taşıyabilecek düzeyde olmalıdır. Ayrıca iletken ağırlıklarına ek olarak kar, buz ve rüzgardan kaynaklanacak ekstra yükler de hesaba katılmalıdır. Tüm bunlara ek olarak izolatörler yüzeyinde toz ve kir barındırmayacak şekilde imal edilmelidir. Oluşabilecek kir ve toz; yağmur suları veya rüzgarla kendi kendini kolayca temizleyebilmelidir. Aksi takdirde yüzeyde oluşacak herhangi bir birikinti kaçak akımlara neden olarak önce izolatörlere daha sonra da enerji nakil hattına zarar verecektir (Akalp, O. ve arkadaşları, 2016).

İzolatörler çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Yapıldıkları malzemenin cinsine, taşınan iletkenin gerilimine, yapılaş tiplerine ve kullanım yerlerine göre dört ayrı sınıflandırma yapmak mümkündür. Şekil 1.1'deki gibi porselen, cam, silikon (kompozit) ve epoksi reçineli olmak üzere yapıldıkları malzemeye göre izolatörler dört sınıfa ayrılır. Anma gerilimi 1000V'a kadar olan izolatörler alçak gerilim izolatörleri, anma gerilimi 1 kV üzeri olan izolatörler yüksek gerilim izolatörleri olarak adlandırılmaktadırlar. Mesnet, zincir ve geçit izolatörleri olmak üzere yapılaş tipine göre üç çeşit izolatör varken kullanıldıkları yerlere göre izolatör çeşitleri ise dahili ve harici tip olmak üzere iki çeşittir.



Şekil 1.1. Porselen izolatör

İzolatörlerin görevi olan izolasyon ve taşıma yükümlülüklerini yerine getirebilmesi için mekanik ve elektriksel dayanımlarının yüksek olması gerekmektedir. Kirli, nemli, kimyasal gaz ve toza maruz kalmış izolatörlerin yanı sıra çatlak veya kırık izolatörlerin de dayanım seviyesi düşmektedir. İzolatörler bu sebeple zarar görür ve hasarlı izolatörler belli bir süre sonra iletim hattında ciddi sorunlara neden olur. Termik genişleme neticesinde ısı değişiminden kaynaklı izolatör fiziki açıdan zarar görebilirken izolatör yüzeyinde biriken kirlerden kaynaklı oluşan arklar ve kaçak akımlar da izolatörü tahrip eder. Dışarıdan gelebilecek herhangi bir darbe izolatörün kırılmasına ya da çatlmasına yol açabilir. Güneşin ultraviyole ışınları da izolatörü olumsuz etkiler. Aynı zamanda aşırı voltaj, yıldırım çarpması, ağaç teması ve kuş istilasası gibi dış etkenler de yine izolatöre hasar veren etkenler arasındadır. Tüm bu sebeplerden kaynaklı izolatörler darbeye maruz kalarak dağılabilir, çatlayabilir, kırılabilir. Dağılmış bir izolatörün gözle kontrol edilerek tespit edilmesi çatlama bir izolatöre nispeten daha kolaydır. Kırık bir izolatörün tespitinin gözle kontrol edilerek bulunması oldukça zor olduğu için çeşitli alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Bu izolatörler buldukları noktalarda arklara sebep oldukları için bu arkları tespit edebilecek çeşitli cihazlar üretilmiştir.

Fiziksel ve mekanik dayanımı düşen izolatörler zaman içerisinde çeşitli olumsuz sonuçlara sebebiyet vermektedir. Kullanılacağı enerji nakil hattına uygun dielektrik dayanımı olan izolatörün hasarlanması sonucunda bu dielektrik dayanımı düşerek izolatör hattaki gerilimi kaldıramaz duruma gelir. Normal koşullarda hattaki gerilime dayanabilen izolatör, hasarı sebebiyle hat gerilimine dayanamaz. Ayrıca çeşitli sebeplerden dolayı izolatör yüzeyinde meydana gelen küçük hasarlar kısmi deşarjlara neden olur. Oluşan bu kısmi deşarjlar anlık olarak bir sorun teşkil etmese de zamanla kısa devreye yol açarak yüksek gerilim hatlarında ciddi sorunlara sebep olabilir. Hasarlı izolatörlerin yol açabileceği kısmi deşarjlar, yıldırıma karşı düşen dayanım, kaçak akımlar, kısa devreler enerji nakil hatlarının işlevini sekteye uğratarak istenmeyen enerji kesintilerine sebep olmaktadır. Oluşan bu enerji kesintileri de büyük ekonomik kayıpları beraberinde getirmektedir. Tüm bu sebepler izolatör hasarlarının en kısa sürede tespit edilmesinin önemini göstermektedir.

1.1. Tezin Hedefleri

Bu tezde havai hat porselen izolatörlerin yüzeyinde bulunan hasarların görüntü işleme ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. Elektrik hattında bulunan izolatör hasarlarının

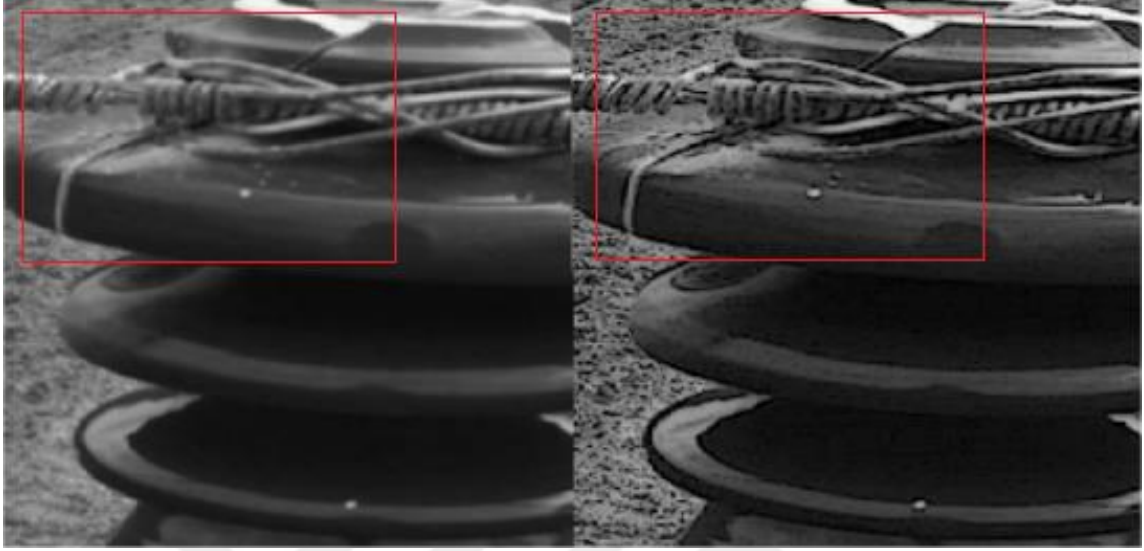
tespit edilmesinin nakil hattına çıkararak göz ile yapılması hem güvenlik hem de zaman açısından olumsuzluk yaratacağı için nakil hattında bulunan izolatörlerden drone aracılığıyla görüntü alınmalıdır. Kaggle (<https://www.kaggle.com/>) sitesinden temin edilen içeriğinde havai hat izolatörleri bulunan ‘Insulator Defect Detection’ isimli veri setine görüntü işleme teknikleri uygulanarak izolatör yüzeyindeki hasarların sistem tarafından tespit edilmesi sağlanmıştır. Verimli bir sistem geliştirebilmek için görüntü işleme tekniklerinin adım adım uygulanması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda MATLAB programlama dili kullanılarak ihtiyaç dahilinde birçok görüntü işleme yöntemi görüntü üzerine tek tek uygulanmıştır.



Şekil 1.2. Görüntü işleme ile hastalık teşhisi

Görüntü işleme insan gözünün kolaylıkla algılayamayacağı veya gözden kaçırabileceği durumlar karşında birçok alanda uygulama olanağı bulmuştur. Güvenlik sistemleri, Şekil 1.2’de görüldüğü üzere sağlık hizmetleri, askeri, endüstri, görüntü iyileştirme ve cisim tanıma gibi konularda kendine yer edinmiştir. Görüntü işleme uygulamaları görüntüyü belirginleştirme, filtreleme, keskinleştirme, iyileştirme ile görüntünün daha doğru analizlerinin sunulmasını sağlamaktadır. Şekil 1.3’te gri seviyeye çekilen porselen izolatör görüntüsü keskinleştirme filtresi ile daha net bir hale getirilerek üzerindeki çatlak daha da belirginleştirilmiştir. İzolatör yüzey hasarlarının insan tarafından kolayca fark edilememesi durumunda görüntü işleme teknikleri ile kırık ve

çatlakların belirginleştirilmesi sağlanmıştır. Böylelikle gözden kaçabilecek olan bir porselen izolatör çatlağı görüntü işleme tarafından yakalanarak enerji nakil hattında gerçekleşebilecek olası bir tahribatın önüne geçmeyi hedeflemiştir.

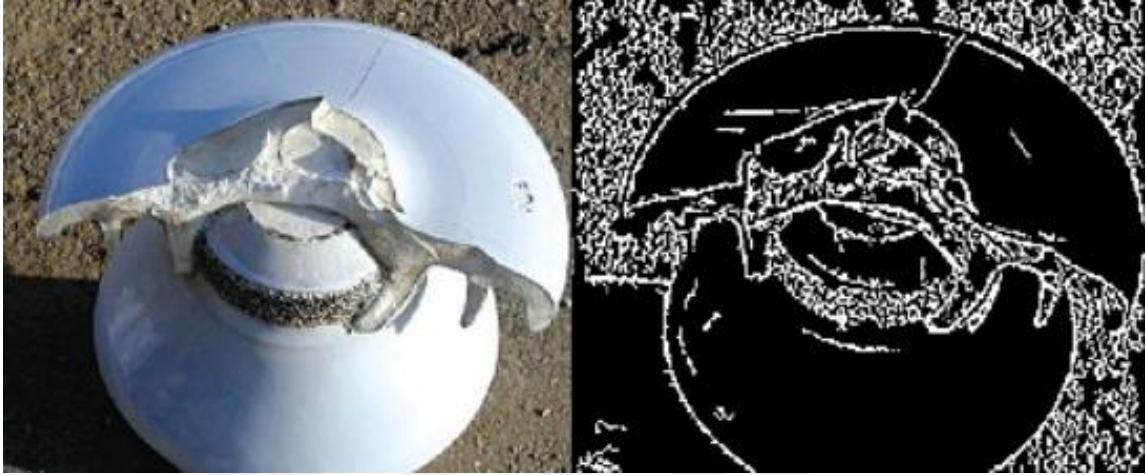


Şekil 1.3. Keskinleştirme filtresi (Aslan, Y., 2020)

Hedeflenen hasar tespit işleminin gerçekleştirilmesi için ilk önce hasarlı izolatöre ait görüntünün elde edilmesi gerekmektedir. Enerji nakil hatlarının yüksekliğinden ve insan güvenliği için büyük riskler taşımamasından kaynaklı havai hat izolatörlerine drone yardımı ile ulaşmak en mantıklı çözümdür. Ayrıca hasar tespiti yapılacak olan porselen izolatör görüntüsünün optimum düzeyde alınması gerekmektedir. Yapılan çalışma için bu şartlara uygun yüzlerce görüntüye ihtiyaç duyulmasından kaynaklı gerekli olan veri seti <https://www.kaggle.com/> sitesinden temin edilmiştir. Görüntünün kalitesine göre görüntü üzerinde netleştirme veya ihtiyaca göre bulanıklaştırma yapılmıştır. Daha sonraki görüntü işleme tekniklerinin istenilen düzeyde çıkması için bulanıklaştırmanın yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu sayede görüntü üzerindeki istenmeyen gürültüler sönmülmüş ve gereksiz detaylar minimize edilmiştir. Görüntünün ikili seviyeye çekilmesi için eşikleme işlemi uygulanarak görüntü morfolojik işleme hazır hale getirilmiştir. Tüm bu işlemler neticesinde görüntü üzerindeki belirginleşmesi istenilen bölge ortaya çıkarılmıştır.

Çeşitli sebeplerden dolayı bir süre çalıştıktan sonra izolatör üzerinde oluşan kir ve çatlaklar nedeniyle izolatör direnci düşer ve izolatör yalıtma özelliğini kaybederek arızalanabilir. Tek tek izolatör üzerindeki voltajın ve direncin ölçülmesi, izolatör

üzerindeki çatlakların doğrudan gözlemlenmesi zor yöntemler olduğu için bu tez çalışmasında görüntü işleme yöntemleri kullanılarak görüntünün asıl dikkat edilmesi gereken kısımlarının belirginleştirilmesi sağlanarak hedef izolator üzerindeki hasarın görüntü sınıflandırma metotları ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. Şekil 1.4'te görüldüğü gibi izolator üzerindeki ince çatlak görüntü işleme sonucunda belirgin hale getirilmiştir.



Şekil 1.4. Görüntü işleme sonucu (<https://www.inmr.com/bad-things-can-happen-to-insulators>)

1.2. Tezin Aşamaları

Tezin giriş bölümünde izolatörler ile ilgili genel bir bilgilendirme yapılarak çeşitlerinden, öneminden, hasarlanma sebepleri ve sonuçlarından bahsedilmiştir. Porselen izolator hasarının belirginleştirilmesinde kullanılacak olan görüntü işleme tekniklerine ve görüntü sınıflandırma metotları ile hasar tespitinin yapılmasına değinilmiştir.

Kaynak araştırması kısmında izolator, izolator arıza sebepleri ve tespitleri ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve tezin hedefi doğrultusunda gerekli çıkarımlar yapılmıştır. Ayrıca görüntü işleme, yapay sinir ağları ve derin öğrenme ile alakalı yazılan makale ve tezlerin özetleri sunulmuştur.

Materyal ve Yöntem bölümünde düşük seviyeli görüntü işleme kapsamındaki aşamalar gerçekleştirilmiştir. Görüntünün elde edilmesinden sonra görüntüyü gri seviyeye çekme, gürültü giderme, görüntü keskinleştirme gibi filtreler kullanılarak görüntü üzerindeki ön işlemlere değinilmiştir.

Ön işleme sonrası görüntü üzerine uygulanması gereken orta seviyeli görüntü işleme tekniklerinden bahsedilmiştir. Çeşitli kenar belirleme yöntemlerinden en uygun

olanı seçilerek izolatörler üzerine uygulanmıştır. Daha sonra görüntü üzerindeki renklerin dengeli dağılımı için histogram eşitleme işlemi uygulanmıştır. Görüntü binary seviyeye çekilip en uygun morfolojik işlem uygulanarak görüntü üzerindeki hasar belirginleştirilmiştir.

İzolatör üzerindeki hasarlar görüntü işleme yöntemleri ile belirginleştirildikten sonra görüntü sınıflandırma metotları ile hasar tespitinin yapılabilmesi için yöntemlere uygun veri setleri oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setleri Python dili kullanılarak destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve derin öğrenme ile eğitime tabi tutulup izolatörler hasarlı ve hasarsız olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Havai hat üzerinde bulunan hasarlı izolatör ön işleme adımlarından geçerek kenar belirleme, histogram eşitleme, eşikleme, morfolojik işlem gibi bir takım orta seviyeli görüntü işleme tekniklerine maruz bırakılmıştır. Orta seviyeli görüntü işleme sonucunda izolatör üzerindeki istenilen bölge ortaya çıkarılarak hasar tespitine uygun hale getirilmiştir. Daha sonra elde edilen görüntülerden veri seti oluşturulup sırasıyla destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve derin öğrenme ile sınıflandırılıp her eğitimin başarı yüzdesi elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara dayanarak destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak elde edilen test doğruluk yüzdeleri karşılaştırılıp gerekli görülen çıkarımlar yapılarak önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. İzolatörler, İzolatör Arıza Sebepleri ve Tespitleri

Hava hatlarında kullanılan iletkenlerin direklere tespiti ile taşınması ve yalıtımı izolatörler aracılığıyla yapılmaktadır. Enerji nakil hatlarında kullanılan izolatörler aşırı voltaj, yıldırım, toz, yağmur, sis, kar, tuz, soğuk ve sıcak hava gibi sebeplerden doğal yaşlanmaya maruz kalmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı bir süre çalıştıktan sonra izolatör üzerinde oluşan kir ve çatlaklar nedeniyle izolatör direnci düşer ve izolatör yalıtma özelliğini kaybederek arızalanabilir. Tek tek izolatör üzerindeki voltajın ve direncin ölçülmesi, izolatör üzerindeki çatlakların doğrudan gözlemlenmesi izolatör arıza tespitlerinden bazılarıdır. Bu şekilde arıza tespiti için destek kulelerine çıkılarak her bir izolatör için ayrı bir bağlantı yapılır veya her bir izolatör ayrı ayrı gözlemlenir. Bu yöntemlerin tehlikeli ve zaman alıcı olmasından dolayı yeni yöntemler üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu konuda literatürde genel olarak yapılmış olan çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Enerji nakil hatlarının güvenli bir şekilde çalışması için nakil hattında bulunan izolatörlerin sorunsuz bir şekilde çalışması önem arz etmektedir. Bu sebeple S. Birlasekaran ve H.J. Li (2000) enerji nakil hatlarındaki arızalı izolatörlerin tespiti üzerine bir çalışma yapmıştır. Enerji nakil hattında bulunan izolatörler üzerinde meydana gelen atlamaların tespit edilmesi ve izolatör çatlaklarının gözlemlenerek belirlenmesi zaman alan bir yöntemdir. Bu makalede arızalı izolatör tespiti için esasen geniş bir sistemi basite indirgeyen bir sayısal analiz yöntemi olan Sonlu Elemanlar Metodu ve Asimptotik Sınır Koşulları kullanılmıştır. Bu sayede sağlam izolatör etrafındaki elektrik alanının, arızalı izolatör etrafındakine nazaran oldukça farklı olduğu ortaya konulmuştur. Elektrik alanı bileşenleri arasındaki oranın arızalı izolatörü belirlemek için ne kadar önemli olduğu vurgulanmıştır. Yüksek gerilim laboratuvarında yerden 6 metre yüksekliğe asılan altılı zincir izolatöre 100 kV'a kadar gerilim uygulanarak izolatörün 0,18 metre uzağına yerleştirilen Pockles alan sensörü ile yapılan elektrik alan ölçümü, analizi deneysel olarak doğrulanmıştır. Deneysel çalışmanın yanı sıra 1998 yılında Li Chengrong ve arkadaşlarının “İzolatör Korona Darbe Akımı Tespiti ile Arızalı İzolatör Dizilerinin Belirlenmesi” çalışmasını referans alarak Şarj Simülasyon Yöntemi (Charge Simulation Method-CSM) ile izolatörün porselen kısımlarını ihmal ederek elektrik alanını hesaplamışlardır. Ancak izolatör yüzeyindeki porselen alanın ihmal edilmesi

hesaplamalardaki doğruluğu azaltmıştır. Bu sebeple izolatörlerin karmaşık sınırları ve şekilleri göz önüne alınarak Sonlu Elemanlar Metodunu (Finite Element Method-FEM) kullanmışlardır. İzolatör sınırlarının karmaşıklığından kaynaklı karşılaşılan ilk zorluklar; hesaplama süresi ve ihtiyaç duyulan bilgisayar belleği olmuştur. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için Sonlu Elemanlar Metodunun (FEM) yeni bir tekniği olan Asimptotik Sınır Koşulu (Asymptotic Boundary Condition-ABC) hesaplara dahil edilmiştir. Asimptotik Sınır Koşulunun (ABC) temel ilkesine göre izolatör etrafında dikdörtgen bir sınır benimsenerek denklemler türetilmiştir. Hesaplamalar bu denklemlere göre yapılmıştır. Karşılaşılan diğer bir zorluk ise zincir izolatörler arasında bulunan metalik kısımlar üzerindeki kayan elektrotlardır. Kayan elektrotların potansiyellerini belirlemek için de ayrı bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma ile kayan elektrot potansiyeli işlenebilir hale getirilmiştir. Çalışmalarının sonunda zincir izolatörün her katmanındaki gerilim ve elektrik alanını gösteren bir tablo ile ölçüm ve hesaplama sonucu buldukları değerleri karşılaştırmışlardır. Ölçülen ve hesaplanan değerlerin sonuçlarının uyum içerisinde olduklarını gözlemlemişlerdir. Ayrıca elektrik potansiyelinin zincir izolatör üzerindeki genel dağılımı şekillerle gösterilerek arızalı izolatörün olduğu kısımdaki eş potansiyel çizgi dağılımı ile sağlam izolatör hizasındaki dağılımın farkı açıkça vurgulanmıştır. Zincir izolatörde bulunan her bir izolatörün belirli bir noktası baz alınarak bu noktalarındaki elektrik alan kuvvetleri grafiğe aktarılmıştır. İzolatörlerin hepsinin sağlıklı olduğu durum ve zincir izolatörde bulunan bir izolatörün arızalı olduğu durum grafiğe yansıtılmıştır. Grafikte hangi izolatörün arızalı olduğu açıkça görülmüştür. Bu yöntem ile çalışan bir güç hattındaki arızalı izolatörlerin hızlı ve güvenli bir şekilde tespit edilebileceği kanıtlanmıştır.

K. L. Wong (2004) seramik izolatörlerdeki çatlakları ve kusurları, 30 MHz ila 300 MHz arasındaki radyo dalgalarını kullanarak tespit etmiştir. Uygulanan bu yöntem çok yüksek frekans (Very High Frequency-VHF) metodu olarak adlandırılmaktadır. Test numunesi olarak iç çatlakları olan ve kırıkları olan izolatörler kullanmıştır. Islak ve kuru koşullar altında yüksek gerilim izolatörlerine uygulanan yapay kirlilik test standardı olan IEC-507 standardı kapsamında test örneklerine farklı yapay koşullar uygulamıştır. Elektrik-elektronik mühendisliğinin hemen hemen her alanında gerekli olan, ileri düzey çalışmaların matematiksel temelini oluşturan ardışık sinyal işleme tekniği, zaman alanındaki bir sinyalin anlaşılmasını kolaylaştırmak için frekans alanına dönüştüren bir fourier dönüşümü tipi olan ayrık fourier dönüşümü ve integral boyut ile ifade edilemeyen kompleks yapı ve şekillerin niceliksel olarak tanımlanmasını sağlayan bir matematiksel

metodu olan fraktal analizi gibi analiz yöntemlerini kullanarak dijital faaliyet alanı tarafından elde edilen çok yüksek frekans sinyalinin işlenebileceğini ve analiz edilebileceğini belirtmiştir. Çalışmasında, fraktal analizin seramik izolatörlerde bulunan yaygın arıza durumlarının tespit edilmesi için etkili olabileceğini göstermiştir. Seramik izolatörlerin fiziksel durumlarını izlemek için çok yüksek frekans yönteminin kullanılmasını net bir şekilde desteklemiştir. İletken hat üzerinden geçen elektrik sağlıklı bir izolatör üzerinden geçmez. İletken ile izolatör arasında oluşan küçük miktardaki elektrik akışına kısmi deşarj denir. Kısmi deşarj izolatörde oluşacak olan kısa devrenin ve arızaların habercisidir. Enerji nakil hattında oluşabilecek arızaların önceden engellenmesi için kısmi deşarj izleme üzerine birçok çalışma yapıp sistem geliştirilmiştir. 30 MHz'den 300 MHz'e kadar olan çok yüksek frekans veya 301 MHz'den 3 GHz'e kadar olan ultra yüksek frekans bandındaki elektromanyetik darbeleri tespit etmek için çeşitli kısmi deşarj sistemleri geliştirilmiştir. Oluşturulan bu iki sistem kendi arasında karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre sinyal gücünün gürültü gücüne oranı olan sinyal gürültü oranının (Signal to Noise Ratio-SNR) ultra yüksek frekans bandında çok yüksek frekans bandına oranla daha fazla olduğu çalışmalarla kanıtlanmıştır. Bununla birlikte uzun mesafe ölçümlerinden edinilen sonuçlara göre ultra yüksek frekans bandındaki sinyallerin çok yüksek frekans bandındaki sinyallere göre daha fazla zayıflamaya maruz kaldıklarını göstermiştir. Geleneksel kısmi deşarj ölçümlerini kapsayan IEC 60270 standardına göre çok yüksek frekans veya ultra yüksek frekans yöntemi daha yeni bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir. Ayrıca bu iki sistem arasında karşılaştırma yapmak için çeşitli çalışmaların mevcut olduğundan bahsetmiştir. Örneğin U. Schichler ve arkadaşı (2000) çalışmalarında ultra yüksek frekans yöntemini kullanarak gaz izoleli trafo merkezlerindeki (Gas Insulated Substation - GIS) çeşitli kusurların tespit edilebileceğini ve ultra yüksek frekansın kısmi deşarj ölçüm duyarlılığının IEC 60270'te belirtilen standartlara eşit veya daha yüksek olduğunu göstermiştir. Başka bir çalışmada R. Kurrer ve arkadaşı (1998) hareketli parçacık ve keskin çıkıntı gibi simüle edilmiş kusurları kullanarak gaz yalıtımlı trafo merkezlerinde UHF yönteminin duyarlılığını incelemiştir. Ultra yüksek frekans yöntemini bir güç transformatörünün kısmi deşarj aktivitesini izlemek için de kullanmıştır.

İzolatör yapımında kullanılan hammaddeler ve çevresel etkenler izolatör faaliyetini ve dayanımını etkileyen faktörlerdir. Engin Çetin ve arkadaşları (2004) çalışmalarında izolatörlerin sağlıklı bir şekilde çalışmasını bozan çevresel faktörleri ve porselen izolatör yapımında kullanılan hammaddeleri incelemiştir. Elektrik tesislerinin

sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için iyi bir izolasyon sisteminin kurulumu gerekli görülmektedir. Bu kurulum içinde kaliteli izolatörler şarttır. İyi bir izolasyon için izolatörün malzemesi, hava ve çevre koşulları önemli faktörler arasındadır. Bu çalışmada porselen izolatörlerin görevlerini sağlıklı bir şekilde yerine getirebilmesi için önemli olan bu faktörlerin detaylarına inilmiştir. Porselen izolatörlerin yapısına geçmeden önce izolatörlerin faz iletkenini veya barayı; elektrik direği, pano gibi sistemlerden izole etmek için kullanıldığından bahsetmiştir. Cam, porselen, epoksi gibi malzemelerden üretilip kullanıldığı yerlere göre; gergi, taşıyıcı, mesnet, zincir, durdurucu gibi çeşitlerinin olduğunu belirtmiştir. Porselen bir izolatörün gövde içindeki mesnet yuvası, izolatör direncini artırmak için yapılmış etek şeklindeki siperi, düzgün ve parlak bir yüzey sağlayan porselen sır ile kaplı dış gövdesi bir görselle açıklanmıştır. Porselen izolatörlerin kaolin, kuvars ve feldispat karışımından elde edildiği belirtilerek pişirilme sıcaklığı ve sır kaplama şekli ile ilgili de bilgi verilmiştir. İzolatörler elektrik devrelerinde akımın güvenli bir şekilde akışını düzenlemek ve sistemi iletken kısımdan izole etmek için kullanılmaktadır. Bu amaçla izolatörün direncinin yüksek olması, bir malzemenin yalıtkan olarak elektriksel gücünün ölçüsü olan dielektrik dayanımının yüksek olması, yüksek gerilimde ve yüksek frekansta önemli sayılabilecek bir ısıl kaynak gibi davranan kayıp faktörünün düşük olması ve mekaniksel dayanımının yüksek olması gerektiği vurgulanmıştır. Porselen izolatörlerin yüksek sıcaklığa, deformasyona, çevresel etkenlere karşı yüksek direnç göstermesi ve dielektrik dayanımlarının yüksek olması nedeniyle sıklıkla kullanıldıklarına değinmiştir. Ayrıca dielektrik dayanımının ne kadar iyi olduğunu gösteren bir tablo paylaşmıştır. Porseleni oluşturan kaolin, kuvars ve feldispatın içeriklerinden bahsetmiştir. Bu ilkel maddelerin karıştırılarak porselen izolatörü meydana getirebilmek için hangi aşamalardan geçtiğini açıklamıştır. İzolatörün sır maddesinin bileşenlerinden ve izolatöre nasıl tatbik edildiğinden bahsederek bu sır sayesinde izolatör yüzeyinin kayganlaştırıldığı belirtilmiştir. Sırlama işlemi sayesinde izolatör üzerindeki kirlenmenin engellendiğine ve bu işlemin iyi yapılmaması durumunda izolatör yüzeyinde çatlaklar oluşabileceğine bu yüzden de izolatör delinmelerine ve arklara neden olabileceğine değinmiştir. Fırınlama aşamasında gerekli şartların sağlanmaması durumunda, izolatörlerin ani sıcaklık değişimlerine dayanamayıp çatlayabilecekleri de belirtilmiştir. İzolatörlerin yüksek gerilimlere dayanabilmesi için iyi malzemelerden üretilmiş olmaları gerektiğine ve boyuna kalınlıklarının da istenilen seviyede olması gerektiğine dair bilgiler vermişlerdir. Yüksek gerilim hatlarında bulunan izolatörlerin mekaniksel, enerji nakil hatlarında bulunan izolatörlerin ise elektriksel olarak

zorlandıklarını belirtmiştir (Dengiz, 1991). Porselen izolatörler üzerinde baca emisyonları, toz gibi çevresel etkilerden kaynaklı kir birikimi olmaktadır. Bu birikimler zamanla yoğunlaşarak iletken bir yol görevi görmektedir. Bu sebeple kirlilik yoğunluğuna ve hattan geçen gerilim büyüklüğüne göre izolatör yüzeyinde oluşan sızıntı akımının fazlaşmasından bahsetmiştir (Cebeci ve Şenpınar, 2003).

Enerji ihtiyacının yoğun olduğu günümüz şartları altında temiz enerji üretimi ve enerji kayıplarının minimize edilmesi önem teşkil etmektedir. Elektrik iletim kayıplarını en aza indirmek için kendi tasarladığımız silikon izolatörlerin kullanımına öncelik verilmesi gerekmektedir. Bu konu üzerine odaklanan Mehmet Türkyurt (2010) Yüksek Gerilim Hatları için İzolatör Malzeme Üretimi ve Kalite Karakterizasyonu başlıklı tez çalışmasına Türkiye'deki enerji sektörlerinin genel yapısı ile başlamıştır. Bu kapsamda enerji iletim, dağıtım sistemleri ve bu sistemlerdeki kayıplardan bahsedilmiştir. Türkiye'deki dağıtım hatlarının uzunluklarına, trafo adet ve güçlerine ait çizelgeler paylaşılmıştır. Elektrik enerjisi dağıtımındaki kayıplar konusunda "American Public Power Association" tarafından kabul edilen kayıp oranları bir çizelge ile gösterilmiştir. Yüksek gerilim hatlarının genel özelliklerinin yanı sıra nakil hattında karşılaşılan arızalar ve kullanılan izolatörler hakkında bilgi verilmiştir. Yüksek gerilim hatlarının topraklama arızaları ve çevreye etkileri incelenmiştir. Alçak gerilim, orta gerilim ve çok yüksek gerilim hatlarında kullanılan izolatörlerden bahsedilmiştir. Yapıldığı malzeme cinsine ve kullanıldıkları yerlere göre izolatörler sınıflandırılmıştır. Uygulamada görülen porselen izolatörler ve genel yapıları şekille gösterilmiştir. İzolatörlerle ilgili terimsel açıklamalar yapıldıktan sonra izolatörlere suni ve tabii kirlenme testleri yapılmıştır. Temiz izolatörlere farklı gerilimler uygulayarak yüzey kaçak akımlarının değerlerini gösteren bir tablo oluşturulmuştur. Cam ve porselen gibi farklı malzemelerden yapılan izolatörler kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Silikon izolatör özelliklerinden bahsedilerek deneysel çalışmalar yapılmış ve sonuçları üzerinde durulmuştur. Zincir tipi cam izolatörler ve silikondan yapılmış izolatörlerin yapıları şekillerle detaylandırılmıştır. İzolatörlerin uygun yükseklikteki, ortam sıcaklığındaki, hava kirliliğindeki, buzlanmada ve daha başka türlü ortamlardaki çalışma koşulları bir tabloyla anlatılmış ayrıca standartlara ve yönetmeliklere de yer verilmiştir. Silikon izolatör tasarımı ve imalatında uygulanması gereken standartları içeren bir tablo paylaşılmıştır. Enerji nakil hatlarında oluşabilecek ark, kuş işgalleri ve yuvaları ile ilgili görseller paylaşılmıştır. Silikon izolatör çeşitlerine, teknik ve yapısal özelliklerine değinilmiştir. Delinmeye maruz kalmış silikon izolatör görsellerine yer verilmiştir. İzolatör çekirdeği, mahfazası, etekleri, metal tutturma

elemanları gibi gövdesel özelliklerinden bahsedilmiştir. İzolatör boyutları, toleransları ve renkleri ile ilgili bilgi verilerek tüm bu tasarım ve izolatör özellikleri için numuneler alınıp belli kabul kriterlerine göre genel kurallara uyularak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu numunelerin hangi kriterlere göre alınacağı tabloyla gösterilmiştir. Deneye tabi tutulan izolatörün teknik çizimi tez çalışmasında detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Kabul deneyleri dışında da incelemeler yapılarak deneyler yapılmıştır. Silikon izolatörlere göz ve boyut kontrolü, kilitleme sistemi kontrolü, spesifik mekanik yük testi, penetrasyon ve arayüz deneyi uygulanarak standartları ne kadar sağladığı gözlemlenmiştir.

Gaz yalıtımlı şalt cihazları (Gas Insulated Switchgears - GIS) yüksek güvenilirlikleri, emniyetleri ve alanı verimli kullanarak az yer kaplamaları sayesinde 1960'ların sonlarında SF₆ (kükürt hekzaflorür) gazı ile doldurulmuş ana trafo merkezi ekipmanı olarak daha çok tercih edilmeye başlamıştır. Kısmi deşarj (Partial Discharge - PD) teşhisi için gelişmiş bir yalıtım teşhis teknolojisi olarak ultra yüksek frekans (Ultra High Frequency - UHF) yöntemi geniş çapta kullanılmaktadır. Buradan yola çıkarak Shigemitsu Okabe ve arkadaşları (2014) UHF yöntemini kullanarak PD sinyalini algılamanın üç temel faktörü üzerine durmuşlardır. Bu üç temel faktörden ilki, PD sinyalinin GIS içindeki frekans spektrumudur. İkincisi, GIS tankının içindeki PD sinyalinin yayılma özellikleridir. Üçüncüsü ise, PD sinyalini ölçen sensörün algılama özellikleridir. Bu çalışmada UHF yöntemine dayalı teşhis tekniğinin daha da geliştirilmesi için PD sinyalinin ve yayılma özelliklerinin netleştirilerek ölçüm sisteminin iyileştirilmesi gerekliliğinin üzerinde durulmuştur. Kısmi deşarj olayı ve GIS içindeki yayılma özellikleri ile PD ölçüm sistemi doğrulama yöntemleri ve teşhis teknolojileri ile ilgili en son bulgular gözden geçirilerek tipik örnekler özetlenmiştir. PD olayı ile ilgili olarak 10 GHz'i aşan yüksek frekans bandına kadar olan ölçümler, PD akım dalga formunun yükselme süresinin, önceden bilinenden birkaç on pikosaniye kadar fazla olduğu netleştirildi. Epoksi izolatör içindeki mikro kusurlarda PD olması durumunda ise yükselme süresinin nanosaniyeler düzeyinde nispeten daha uzun olduğu çatlakların ise en kritik kusurlar olduğu belirtilmiştir. UHF yöntemini PD tanımlama, izleme teknolojisine PD akım dalga biçimi özelliklerini kullanarak yeni bir teknik getirmiştir. Bu sayede GIS iç yapılarının elektromanyetik dalga yayılımı üzerindeki etkisi açıklığa kavuşturularak daha gelişmiş bir PD tanı algoritması oluşturulmuştur. Hem tek bir UHF sensörü hem de bütün UHF ölçüm sistemi için daha az belirsiz ve basitleştirilmiş kalibrasyon ve doğrulama teknolojileri de önerilmiştir. GIS'in yalıtım anormalliklerini teşhis etmenin kısmi deşarjı tespit etmek için etkili bir hamle olduğuna değinilmiştir. Bu çalışma

özellikle UHF bandındaki PD sinyallerinin tespitini sağlayan UHF metodunun yüksek hassasiyetli tespit perspektifinden ve bir takım araştırma ve geliştirme çalışmalarından yaklaşım sunmaktadır (B. F. Hampton 1988). Bu başarılarla dayanarak, UHF yönteminin artık pratik olarak yaygın bir şekilde kullanılabilceğini savunarak UHF ölçüm sisteminin doğrulama yöntemini de standardize etmiştir. Bu yeni yöntemlerin ve gelecekte yapılacak olan daha ileri teknolojilerin UHF yöntemini daha verimli ve kullanışlı hale getirmesi beklenmektedir.

N. Cahit GENÇER (2015), yıldırım ve aşırı gerilimlerden yüksek gerilim tesislerinin korunması ile ilgili yapılmış araştırmaları, makaleleri, bildirimleri bir araya toplamıştır. Enerji nakil hatlarında meydana gelen elektrik çöküntülerinin ve kesintilerinin çoğunluğunun hava koşullarından kaynaklandığını araştırmalarla ortaya koymuştur. Yıldırım darbelerinin oluşturduğu akımların elektrik tesislerinde yüksek darbeli gerilimlere yol açtığından bahsetmiştir. Ağaç, baca paratoner gibi yıldırıma yakın yerlerde atmosferik hava iyonlaşma eşiğine ulaşarak akımlar oluşturur. Oluşan bu akımlar fırtına bulutu ile yer arasında bir iyonize kanal açarak toprak ile hava arasındaki enerjinin deşarj olmasını sağlar. Bu çalışmada oluşan yıldırım darbesi ile zaman ilişkisi bir grafikte gösterilmiş ve yıldırım akımına dayanım özelliklerinden bahsedilmiştir. Tüm yüksek gerilim ve transformator direklerinde koruma topraklaması olduğu ve bu sebeple ayrıca yıldırım için topraklamaya gerek olmadığı vurgulanmıştır. Direğin topraklama direncine bağlı olarak yıldırım düştüğünde direk üzerinde çok yüksek bir darbe gerilimi oluşur. Bu gerilim, yüksek gerilim izolatör darbe gerilimi olan 170 kV'tan büyük olursa geri atlama yaparak iletkenlere atlar ve izolatör hasarları meydana gelir. Bu gibi atlamaları önlemek için direklerin topraklama direncinin bu atlamayı önleyecek değere düşürülmesi gerektiği anlatılmıştır. Topraklayıcı üzerinden yıldırım akımının geçmesi ile meydana gelen darbe gerilimi, havai hatlarda kullanılan izolatörlerin atlama geriliminden düşük olması halinde izolatör üzerinden iletkenlere atlama olmayacağı iyice pekiştirilmiştir. Topraklayıcı düzenlenirken bu hususlara dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Havai hat direklerinde maksimum yayılma direncinin; havai hat izolasyonunun darbe gerilimi ve yıldırım akımının havai hat direğinden geçen tepe değerine göre nasıl hesaplanacağına değinilmiştir. Havai hat direklerindeki yıldırım akım şiddetleri ölçülerek kritik değerlere ulaşma sıklıklarının az olduğu tablo ile gösterilmiştir. Yıldırım akımlarının havai hat direklerinden geçen tepe değerlerinin çoğunlukla 20 kA olduğu ancak hesaplamalarda güvenlik seviyesini yüksek tutmak için 30 kA olarak kullanıldığı belirtilmiştir. Kuru, temiz ve hasarsız bir 36 kV'luk izolatörün yıldırım darbe gerilim dayanımının 170 kV

olduğundan bahsedilmiştir. Enerjili bir nakil hattındaki izolatörlerin zarar görmemesi için bu değerler kullanılarak direklerin topraklama dirençlerinin nasıl hesaplandığı anlatılmıştır. İzolatörlerin kirli, çatlak, nemli, kırık, kimyasal gaz ve tozlarla kaplı olması yıldırım darbelerine dayanıklılığını etkilemektedir. Bu çalışmada izolatörlerin çöl kirlenmesi, endüstriyel kirlenme ve deniz kirlenmesi gibi doğal kirlenme sebepleri irdelenmiştir. Bu kirlenmelerin hangi sebeplerden nasıl oluştukları detaylandırılmıştır. Denizden karaya doğru esen rüzgarlar izolatörlere tuzlu su taşıyarak izolatör üzerinde ince bir film oluşmasına neden olur ve izolatörler kirlenir. Karadan denize esen rüzgarlar ve güneş ışığı ise izolatörlerin kurummasını ve iyileşmesini sağlar. Bu şekilde izolatörlerin kirlenmesi kaçak akımlara sebebiyet vererek izolatörlerde kısa devre yaptırır ve istenmeyen elektrik kesintileri ve ekonomik kayıplara yol açar. İzolatör yüzeyindeki bu kaçak akımların atlama ihtimalini yükselteceği üzerine durulmuştur. Üzerlerinde farklı oranlarda nem bulunduran izolatörler ile atlama testi yapılmış ve sonuçları bir tablo ile paylaşılmıştır. Sanayinin gelişmesi ile oluşan kirlenmeler, termik santralden çıkan baca tozları, deniz suyu izolatörün en önemli görevi olan yalıtım özelliğini yitirmesine neden olur. Bu kirlenmelerin meydana getirebileceği atlamaların işletmelere çok büyük problemler oluşturabileceği üzerinde durulmuştur. Bu çalışmalar sonucunda izolatörlerin kirli, kırık, çatlak, çizik olması, nemli-ıslak ortamlara maruz kalması, hatalı imal edilmesi izolasyon seviyesini düşürerek küçük darbe gerilimlerinde bile atlamalara neden olabileceğini göstermiştir. Bu sebeple izolatörlerin temizlenmesi, kırık-çatlak-çizik olanların tespit edilmesi gerektiğinin önemi vurgulanmıştır. Bu bakım ve tespitlerle oluşabilecek izolatör hasarlarının önüne geçilerek kısa devre yapmaları engellenir ve uzun süreli elektrik kesintilerinin önüne geçilebilir.

Yüksek gerilim hatlarındaki kirli porselen izolatörler yüzeysel atlamalara neden olurlar ve bu da enerji iletim sistemlerinde görülen en önemli problemler arasındadır. Yüksek gerilim güç sistemlerinde en çok arıza görülen teçhizatlar izolatörler ve porselen dış yüzeye sahip şalt ekipmanlarıdır. Onur AKALP (2016) çalışmasında dış ortam etkilerinin bu teçhizatlar üzerindeki sonuçlarını kademe kademe inceleyerek arızalanma nedenleri üzerinde durmuştur. İzolatör üzerinde oluşan kirliliğin nemli ve yağışlı ortamlar altında izolatör yüzeyi üzerinde kaçak akımlara sebebiyet verdiğinden bahsedilmiştir. İzolatör yüzeyinde oluşan kısmi arkların tüm yüzeye yayılarak atlamalara neden olabileceği belirtilmiştir. Bu kirlenme atlamaları izolatör üzerinde deşarj oluşturur ve yüzey boyunca yayılarak izolatörleri deforme edip elektrik kesintilerine ve maddi kayıplara sebebiyet verir. Bu gibi arızalarının azaltılması için izolatörlerin ve yüksek

gerilim şalt ekipmanlarının silikon ile kaplanması ya da mevcut izolatörlerin tamamen silikon izolatörlerle değiştirilmesi gerektiği açıklanmıştır. Bu yöntemlerle yüzey kaçak akımlarının sönmelenmesi hedeflenmiştir. Makale içeriğinde yüksek gerilim tesislerinde arızalardan doğrudan etkilenen teçhizatlara ve hangileri olduklarına yer verilmiştir. Mekaniksel olarak enerjili devreyi taşıyan elektriksel olarak da iletkenlerin yalıtımını sağlayan izolatörlerin bu teçhizatların başında geldiği belirtilmiştir. Yük altında ya da arıza durumunda elektrik devrelerini açıp kapamayarak devreyi enerjisiz hale getiren kesicinin bahsi geçen teçhizatlardan bir diğeri olduğu belirtilmiştir ve görselle detaylandırılmıştır. Kesicinin dış yüzeyini çevreleyen porselen içerisinde kesici açma-kapama rotunun ve ünitesinin olduğu ve bu bölmenin inorganik, renksiz, kokusuz ve yanmaz bir sera gazı olan SF₆ ile dolu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca teçhizatlar başlığı altında ayırıcılar, akım trafoları, gerilim trafoları ve parafudrlar da detaylandırılmıştır. Yüksek gerilim hatlarında görülen dış sebep kaynaklı arızaların analizi yapılmıştır. Makalenin sonlarına doğru çalışmada belirtilen arızaların azaltılması için gerekli yöntemlerden bahsedilmiş ve bu yöntemler gerçek sistemler üzerinde irdelenmiştir. Son olarak bahsi geçen yöntemle ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Uzun mesafeli iletim hatlarının vazgeçilmezi olan zincir izolatörler yüksek voltajlı elektrik şebekesinin normal çalışması için hayati öneme sahiptir. Bu sebeple izolatörlerin yalıtım seviyelerinin önemi giderek daha fazla dikkat çeken bir konu haline gelmektedir. Zincir izolatörler arasında gizlenen yalıtım seviyesi düşmüş izolatörler tamir edilmezse elektrik şebekesinde ciddi felaketlere yol açabilir. Zincir izolatörler arasından bozulan izolatörlerin zamanında ayırt edilmesi büyük önem taşımaktadır (Miao, P. ve arkadaşları, 2014). Sıfır izolatörler üzerinde ciddi sayıda araştırma yapılmıştır ancak zincir izolatörlerin arasındaki hasarlı izolatörler üzerine çok yoğunlaşmamıştır. Xu Changfu ve arkadaşları (2017) çalışmalarında bozulan porselen izolatörlerin elektrik alanına etkisi ve 110kV'luk dağıtım hattındaki zincir izolatörlerin potansiyel dağılımı üzerinde çalışmışlardır. Hasarlı izolatör tespitinin temassız yapılması birçok açıdan önemli olduğu için zincir izolatör arasında bulunan bozuk izolatörün tespiti için elektrik alanı, bir sonlu elemanlar yöntemi olan COMSOL yazılımı ile analiz edilmiştir. Uzun süreli kullanımdan kaynaklı izolatör dizinlerinin mekaniğinin ve izolasyon seviyelerinin düşmesinden kaynaklı bozulan bu izolatörlerin iletim hatlarında izolatörü iyice tahrip edebilecek büyüklükte atlamalara ve elektrik kesintilerine neden olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada aynı kirlilik seviyesi altında bulunan farklı dirençlere ve farklı konumlara sahip izolatör dizinlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elektrik alan şiddetini ve

gerilim seviyesini belirleyen potansiyel dağılımları araştırılmıştır. Zincir izolatörlerin üç boyutlu modellemesi yapılarak simülasyon teorileri oluşturulmuştur. Teknik çizim programları kullanılarak test için kullanılan orijinal zincir izolatör boyutlarına göre izolatör, hat ve kule çizilmiştir (HUANG Chengcai ve arkadaşları, 2014). Oluşturulan üç boyutlu model COMSOL'a aktarılarak zincir izolatörde bulunan hatalı izolatörün potansiyel dağılımı ve elektrik alan yoğunluğu simüle edilmiştir. Her simülasyondan sonra aynı seviye kirle kaplanmış hatalı izolatörün konumu zincir izolatörde farklı konumlandırılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre: 1. Bozulmuş izolatörlerin porselen ve çelik ayağın birleşim noktasında elektrik alan çizgilerinin en şiddetli şekilde bozulduğu ve ana hat boyunca yayılarak eş potansiyel gibi görüldüğü gözlemlenmiştir. 2. Elektrik alan yoğunluğunun da aynı şekilde porselenin çelik ayakla temas ettiği yerde en ciddi şekilde bozulduğu ve yüksek voltaj kısmına yaklaştıkça bozulmanın ağırlaşacağı açığa çıkmıştır. 3. İzolatör dizinindeki bozulmuş kısım hariç normal izolatör dizinlerinin bozulmuş kısım ile karşılaştırılması sonucunda sağlam izolatörlerin her birinin voltajının bozulmuş dizinlerde yükseldiği ve bunun normal izolatörlerin yaşlanma hızını belli oranda arttırdığı ortaya çıkmıştır. Elde edilen istatistikler sonucunda çeşitli izolatörlerdeki bozulmaların tespit edilebilmesi için teorik destekler sağlanmıştır.

Temeli röntgen cihazlarına dayanan X ışını kullanılarak kesitsel bir görüntüleme sağlayan bilgisayarlı tomografinin (Computed Tomography - CT) üç boyutlu hale getirilmesi ile 3D-CT tekniği oluşturulmuştur. Genellikle otomotiv parçalarında, tıp ve diş hekimliğinde belirlenmesi gereken çatlak ve kusurların tespitinde kullanılan bu tekniği Seongho Jeon (2019) porselen izolatörler üzerine uygulamıştır. Porselen izolatöre uygulandığında sağlıklı ve kusurlu izolatörler karşılaştırılarak gözenek boyutları arasındaki farklar belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. İzolatörlerin kullanımlarından kaynaklı bozunma hızları incelenmiştir. Hammaddelerine göre izolatörlerden bahsedilmiştir. Silikon izolatörlerin hava koşullarına karşı dirençlerinin zayıf olmasından, hatalı izolatör tespitlerinin zor olmasından ve uzun vadeli güvenilirliklerinin doğrulanamamasından kaynaklı porselen izolatörler üzerine durulmuştur. Ayrıca porselen ve cam izolatörlerin mekanik özelliklerinin çok iyi olduğundan ve uzun süreli kullanımdan sonra bile performanslarını koruduklarından bahsedilmiştir. Havai iletim hatlarında kullanılan porselen izolatörlerin oranının bazı ülkelerde %99 olduğu belirtilerek 30 yılı aşkın süredir de kullanıldıkları belirtilmiştir. Avantajlarının yanında cam ve porselen izolatörlerin ağırlıklarından kaynaklı nakliye zorlukları ve fiziksel şoklara karşı dayanıksız oldukları üzerinde de durulmuştur. Yaşlanma nedeniyle bozulan

izolatörlerin tespit edilmesi için izolatörün kesilip kusur ve gözeneklerini doğrudan bulmak izolatöre zarar veren maliyetli bir yöntemdir. İzolatörleri tahrip etmeden basit ve maliyetsiz olarak bulmak için Seongho Jeon 3D-CT yöntemini kullanılmış ve yeni izolatör numuneleri alarak izolatörlerin hem iç kısım gözeneklerini hem de dış kısım yüzeylerini detaylı bir şekilde incelemiştir. İzolatör üzerindeki gerilimin fazla olduğu pim başındaki gözenek boyutları da ayrıca irdelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda yeni izolatörlerdeki gözenek boyutlarının yok denecek kadar küçük olduğu görülmüştür. Gözenek boyutlarına ve dağılımlarına göre izolatör üzerindeki bozunmanın hızı belirlenmiştir. İzolatörün hangi bölgelerinde daha çok gözenek olduğu belirlenerek hangi bölgedeki bozunmanın daha hızlı olduğu ortaya konulmuştur. İzolatör yaşlanmasının tahribatsız olarak yalıtım direncini ölçerek de değerlendirilebileceğinden bahsedilmiştir. Ancak porselen izolatörün yalıtım direncinin nem ve dış ortama göre değişeceği için (A. Cavallini, 2007) bu analiz bu çalışmada 3D-CT tekniği ile yapılmıştır. Bu tekniğin genel olarak birçok kısımdan oluşan otomobil motorundaki kusurları tespit etmek için kullanıldığı da belirtilmiştir (L. De Chiffre, 2014). İzolatörlerin iletim hattı kurulumdaki maliyetinin küçük olmasına rağmen iletim hattı bakım maliyetlerinin yarısını ve arıza sebeplerinin ise yarından fazlasını işgal ettiğinden bahsedilmiştir. Bu nedenle hattın güvenliğini belirlemenin ne kadar kritik olduğuna değinilmiştir. Dış mekanlarda kullanılan izolatörlerin uzun süreli kullanımlarda dış etkenlerden doğrudan etkilendiği göz önünde bulundurularak eskimiş izolatörlerin bakımının ve değiştirilmesinin ne kadar önemli olduğuna dikkat çekilmiştir (G.H. Vaillancourt,1994)(A. W. Bardeen,1956). Bu çalışma ile yaşlanmaya bağlı olarak meydana gelen deformasyon boyutları ve yayılımları belirlenmiş ve bu sayede izolatörlerin sağlıklı çalışma ömürleri hakkında fikir sahibi olunmuştur.

Yapılış tiplerine göre izolatörler mesnet, zincir ve geçit izolatörleri olarak üçe ayrılırlar. Mesnet izolatörler enerji nakil hatlarını ve aynı gerilim ve frekansta elektrik enerjisinin toplandığı ve dağıtıldığı üniteler olan baraları taşıyan ve bunların monte edilecekleri yerlerden izole edilmesini sağlayan izolatörlerdir. Kendi aralarında dahili ve harici olmak üzere ikiye ayrılırlar. Harici tip izolatörler enerji nakil hatları ve şalt sahaları gibi dış ortamlarda kullanılmaktadır. Orta gerilim enerji dağıtım hatlarında VHD (Porselen Mesnet İzolatörü) ve VKS tipi izolatörler kullanılmaktadır. Aynı zamanda kullanım durumlarına bağlı olarak pin, askı ve gergi olarak da sınıflandırılırlar. VHD pin tipi bir izolatör çeşididir. Havai hatlar üzerinden enerjinin taşındığı iletim ve dağıtım sistemlerinde karşılaşılan en kritik sorun iletkenlerin kısa devreye maruz kalmasıdır.

Bundan kaynaklı izolatörlerin işlevlerinden ve bu işlevlerin öneminden bahseden Yasin Aslan (2020) çalışmasında ülkemizde dağıtım sistemlerinde sıklıkla kullanılan 35 kV’luk gerilime kadar kullanılabilen bir orta gerilim mesnet izolatörü olan pin tipi VHD-35 üzerinde durmuştur ve sahada karşılaşılan kısmi deşarj arıza örneklerine yer vermiştir. Kısmi deşarj oluşumları tespit edilerek izolatör üzerindeki elektrik alan değişimleri analiz edilmiştir. VHD-35 izolatörlerindeki hava boşluklarının ve çatlakların kısmi deşarj oluşumu üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Mühendislik ve matematiksel modellerde çokça kullanılan bir sayısal analiz yöntemi olan sonlu elemanlar yöntemi temelli (Finite Element Method Magnetics – FEMM) yazılımlar kullanılarak VHD-35 sis tipi izolatörler için elektrik alan değişimlerini elde edecek kısmi deşarj analizleri simüle edilmiştir. Sis tipi izolatörler kaçak mesafeleri normal tip izolatörlere göre daha uzun olacak şekilde imal edilirler. İzolatör üzerindeki aynı merkezli farklı çaplı hava boşluklarının oluşturduğu elektrik alan dağılımını gösteren bir grafik de oluşturulmuştur. Hangi durumlarda izolatörlerde kısmi deşarjin oluşup oluşmayacağına dair araştırmalar yapılmıştır. İmalat esnasında izolatör içinde oluşan istenmeyen hava kabarcıklarının buna neden olup olmadığı irdelenmiştir. Bu hava boşluklarının çaplarının ve konumlarının elektrik alan değişimi üzerindeki etkileri üzerine durulmuştur. İzolatörlerin tahrip olması neticesinde oluşacak çatlaklara toz, su ve çamur gibi kirlerin dolmasının kısmi deşarj üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Diğer çalışmalarda rastlanmamış bir şekilde izolatör üzerindeki çatlak ve boşluklu yapılarından kaynaklı oluşan kısmi deşarj analiz örneğine yer verilmiştir. Sonuç olarak kısmi deşarja VHD-35 izolatör imalatı sırasında oluşabilecek hava boşluklarının değil de izolatör üzerindeki çatlakların içindeki sıvının neden olduğu kanısına varılmıştır. Hatta çatlak içindeki hava ve tozun da kısmi deşarja neden olmadığı asıl sebebin su ve çamur olduğu belirtilmiştir. Ayrıca izolatör içindeki boşluk çapının büyüklüğünün elektrik alan değerini etkilemediği ortaya çıkmıştır. İzolatörlerde kısmi deşarj olayının gerçekleşme sebebinin imalat hatasından çok sahada karşılaşılan sorunlardan kaynaklı olduğu belirtilmiştir.

2.2. Görüntü İşleme, Yapay Sinir Ağları, Derin Öğrenme

İzolatör yüzey hasarlarının insan tarafından kolayca fark edilememesi durumunda görüntü işleme teknikleri ile kırık ve çatlakların belirginleştirilmesi amaçlanmaktadır. Geniş bir kullanım yelpazesi olan görüntü işleme ile ilgili yapılan bazı ilgili çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Kızılkaya (2008) sayısal görüntü işleme üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Görme, görünüm ve görüntü terimlerini tanımlayarak sayısal görüntü işleme temellerine giriş yapmıştır. Görünümü temsil eden aydınlatma, yansıtma ve görüntü fonksiyonundan oluşan matematiksel denklemlere yer vermiştir. Elektro-manyetik spektrumda farklı dalga boylarına tekabül eden kırmızı, yeşil ve mavi rengin birleşimi ile renkli görüntülerin elde edilebileceği üzerine durmuştur. Görüntü içerisindeki detayların ayrıntılı bir şekilde fark edilebilme derecesi olan çözünürlüğün uzaysal ve gri seviye olmak üzere iki çeşidinin olduğundan bahsetmiştir. Uzaysal çözünürlüğün (alan hassaslığı) sayısal görüntüyü oluşturan piksel sayıları ile doğru orantılı olduğuna değinmiştir. Piksel sayısının azalmasıyla uzaysal çözünürlüğün düşeceğini açıklamıştır. Gri seviye çözünürlüğünün (parlaklık hassaslığı) görüntüde kullanılan gri seviye sayısı ile ilgili olduğunu belirtmiştir. Her bir pikselin 8 bit olduğu tam parlaklık değerinin 255 olup beyaza tekabül ettiği belirtilmiştir. İki boyutlu sayısal bir görüntünün N satır ve M sütundan oluşan bir matris gibi olmasından yola çıkarak satır ve sütunların kesiştiği noktaların bir piksele tekabül etmesi ile sayısal görüntülerin MATLAB'da görüntülenmesi üzerine örnekler vermiştir. Sayısal görüntü işlemedeki ilk adımın; sayısal kamera, tarayıcı, sayısal fotoğraf makinesi gibi yapılarla sayısal görüntü elde etme işlemi olduğu belirtilmiştir. Daha başarılı sonuçlar elde etmek için sayısal görüntüyü kullanmadan önce görüntü iyileştirme, onarma, sıkıştırma gibi bazı ön işlemlerin uygulanması gerektiği belirtilmiştir. Görüntünün elde edilmesi ve ön işleme tabi tutulması düşük seviyeli bir görüntü işleme olarak adlandırılmıştır. Ön işlem sonrası, görüntüdeki nesne ve arka planın, görüntü içindeki ilgilenilen bölgelerin birbirinden ayrıştırılması işlemi olan bölütlemeye geçilmiştir. Bölütleme (segmentation) sayesinde görüntüdeki nesne sınırları, şekli ve alanı gibi bilgiler üretilir. Bölütleme işleminden sonra görüntüdeki ilgili bölümü ön plana çıkarmak için görüntü gösterimi ve tanımlama işlemleri gerçekleştirilir. Kızılkaya, bölütleme, gösterim (simgeleme) ve tanımlama aşamalarının bulunduğu grubu orta seviyeli görüntü işleme olarak adlandırmıştır. Görüntü işleme son olan yüksek seviyeli görüntü işleme grubunun tanıma ve yorumlama adımlarından oluştuğu belirtilmiştir. Yapay zekâ, örüntü tanıma gibi çeşitli karar verme mekanizmaları ile görüntüdeki nesnelere etiketlendirilerek sınıflandırılır. Askeri keşif, tıbbi teşhis, endüstriyel denetleme ve güvenlik uygulamaları gibi birçok alanda görüntü işleminin kullanılabilirliği üzerine durmuştur. Görüntü işleme üzerine yapılacak nokta, yerel ve bütünsel işlemlerin tümünün görüntüyü oluşturan gri seviye piksellerin üzerinde

olduğu ve nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır. Genel olarak sayısal görüntü işlemenin temel basamakları hakkında detaylı bir bilgilendirme yapmıştır.

Enes ÇELİK (2011) tez çalışmasına kişinin ölçülebilir biyolojik izlerinden olan avuç içi görüntüsünün özellikleri ve yapay zekâ uygulamaları ile giriş yapmıştır. Görüntü tanıma sistemi başlığı altında sürekli devam ve tekrar eden şekilleri tanıma teknolojisi ile avuç içi tanıma performansını belirlemiştir. Normalleştirme, görüntüleri bölümlere ayırmada kullanılan eşikleme, histogram, renk dağılımı düzgün olmayan görüntüleri iyileştirmek için histogram eşitleme, renk kavramı, geometrik dönüşüm, ani gri seviye değişimlerini tespit eden kenar belirleme ve morfolojik gibi görüntü işleme teknikleri üzerinde durmuştur. Zaman ve uzay ortamında kolaylıkla ayırt edilemeyen durumlar frekans ortamında daha kolay bir şekilde ayırt edilmektedir. Bu sebeple de dalgacık teorisi başlığı altında; x uzayındaki diferansiyel denklemlerin k uzayında lineer denklemler olarak ifade edilebilmesi için kullanılan Fourier dönüşümünden, zaman-frekans çözünürlüğü daha iyi olan dalgacık dönüşümünden, alçak-geçiren ve yüksek-geçiren filtre bandlarının uygulanması ile sağlanan haar dalgacık dönüşümünden, ölçüm serilerinin analizinde kullanılan sürekli dalgacık dönüşümünden, sürekli işaretin ayrık analizinin gerçekleştirilmesinde kullanılan ayrık dalgacık dönüşümünden ve hızlı dalgacık dönüşümlerinden bahsedilmiştir. Biyolojik sinir hücresinden başlayarak yapay sinir ağı konusuna giriş yapılmıştır. Yapay sinir hücresinin yapısında bulunan aktivasyon fonksiyonu ile girdi verileri üzerinde işlem yapılarak buna karşılık gelen net çıktı sonuçlarının elde edildiği üzerine durulmuştur. Yapay sinir ağlarının; ileri beslemeli tek katmanlı, ileri beslemeli çok katmanlı ve geri beslemeli olarak farklı yapılarda olduğundan bahsedilmiştir. Aynı zamanda yapay sinir ağlarında kullanılan öğrenme çeşitlerinden, istenilen dış verilere göre çalışan danışmanlı öğrenme ve herhangi bir beklenen çıktı bilgisi verilmeyen, parametreler arasındaki ilişkiyi sistemin kendi kendine öğrenmesi beklenen, gözetimsiz öğrenme olarak da bilinen danışmansız öğrenme hakkında da bilgi verilmiştir. Avuç içi veri tanıma sistemlerinde kullanılan avuç içi görüntüsü veri tabanları kullanılmış ve avuç içi görüntüsünden ilgi bölgesinin çıkartılması üzerinde durulmuştur. Literatürdeki önceki çalışmaların özetleri çıkarılmıştır. Girdi olarak verilen ölçülmüş verilerin kullanılması ile türetilen özniteliklerin çıkarılma aşamaları aktarılarak avuç içi tanıma uygulamasına başlanmıştır. Öznitelik çıkarımı ile büyük bir veri kümesini açıklamak için gereken kaynak miktarının azaltılması sağlanmıştır. Bilgisayarlı görü uygulamalarının iki temel aşamasından biri olan öznitelik çıkarımı tamamlandıktan sonra ikinci temel aşama olan sınıflandırma aşamasına

geçilmiştir. Yapay sinir ağındaki yapılması gereken eğitim ve test aşamaları deneysel olarak gerçekleştirilmiş sonuçlar sunulmuştur.

Kadir Sabancı ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışmada değişik boyutlarda patates kullanılarak görüntü işleme ve yapay sinir ağı ile patates sınıflandırma parametrelerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Böylelikle görüntü işleme ve yapay sinir ağı ile tarımsal ürünlerin pazarlanmasındaki en önemli etken olan kalite sağlanmıştır. Patatesin üretimdeki sırasından, ekim alanından, bünyesindeki içeriğinden, endüstrideki yerinden bahsedilerek önemi vurgulanmıştır. Görüntü işleme kullanım alanlarından da bahsettikten sonra deneysel çalışmaya geçiş yapılmıştır. 1.3 megapiksel CCD sensörlü bir Webcam yardımıyla alınan değişik ebattaki patates görüntüleri MATLAB yazılımı kullanılarak görüntü işleme algoritmalarına ve yapay sinir ağına tabi tutulmuştur. Görüntü işleme aşamalarında hız kazanmak ve hatasız sonuçlar elde etmek için siyah arka plan kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler yapılan çalışmada sunulmuştur. Patates fotoğraflarına ait gri seviye resim bilgileri elde edilerek filtreleme işlemi ile gürültü ve parazitler giderilmiştir. Değişik boyuttaki gri seviye patateslere ait histogram bilgileri elde edilip görüntü üzerindeki piksel değerleri grafiksel olarak ifade edilmiştir. Görüntü histogramı sayesinde görüntünün her bir noktasındaki pikseller tespit edilip bu piksellerin sayısının ne olduğu açığa çıkarılıp histogram eşitleme uygulanmıştır. Görüntüyü siyah beyaz resme çeviren Otsu metodu ve morfolojik işlemler kullanılarak dış yüzey ve şekil bozukluğu olan patatesler belirlenerek sınıflandırma dışında tutulmuştur. Bu sayede ezik, çürük, bereli ve üzerinde yumru olan patatesler ayırt edilerek başlangıçta tespit edilip sınıflandırma dışında tutulmuştur. Görüntü işleminin önemli işlemlerinden biri olan eşikleme işlemi uygulanarak görüntü üzerindeki piksel değerlerinin belirli bir değere göre atılması ve diğer değerlerin yerleştirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Otsu metodu kullanılarak belirlenen eşik değerinin altında kalan pikseller 0, üstünde kalan değerler ise 1 bilgisine çevrilmiştir. Binary resim bilgileri Logsig transfer fonksiyonu kullanılarak sistem tarafından eğitilmiştir. İkili resim bilgileri farklı nöron sayısına sahip giriş katmanı, bir veya daha fazla katmandan oluşan ara katman ve çıkış katmanından oluşan ileri beslemeli çok katmanlı geri yayılım yapay sinir ağı modeli ile sistem eğitilmiştir. Bunun için MATLAB yazılımının Yapay Sinir Ağı araç kutusu kullanılmıştır. Ara katman sayısı, ara katmanda bulunan nöron sayıları ve aktivasyon fonksiyonları deneme yanılma yöntemi ile tespit edilir. Sonuç olarak yapay sinir ağı yardımıyla görüntü işleme ile patates boyutları büyük, orta ve küçük olarak üç grupta sınıflandırılmıştır. Ayrıca kaliteli patates seçimi için şekli bozuk olan patatesler

tespit edilmiştir. Yürüyen bant ve bir kamera ile sistemin geliştirilerek tarımsal alanda gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir.

Çelikdemir tarafından yapılan çalışmada (2015) yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonlarda meydana gelen çatlakların görüntü işleme ile tespiti anlatılmıştır. Konu ile ilgili gerekli literatür çalışması yapılarak binaların yüksek sıcaklığa maruz kalmasıyla ortaya çıkabilecek hasarların tespitinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Beton üzerindeki çatlak boyutları MATLAB programı ile ölçülmüştür. Tez kapsamında görüntü işleme teknolojisi üzerinde durularak görüntüde sayısallaştırma işlemi üzerinde yoğunlaşmıştır. Dijital görüntünün yapısına, dijital görüntü işlemenin kullanım alanlarına ve görüntü işlemede kullanılan yöntemlere yer verilmiştir. Piksel, parlaklık, ayırıştırma, çözünürlük ve uzaysal frekanslar gibi temel görüntü işleme kavramları açıklanmıştır. Dijital görüntü işlemede görüntü formatları, yüksek sıcaklığa maruz kalan beton davranışları MATLAB bilgisayar programı ile açıklanmıştır. Niteliklendirme, eşikleme, histogram gibi dijital görüntü işleme adımları ve görüntü işleme teknikleri anlatılmıştır. Beton yapılarıdaki çatlakların MATLAB bilgisayar programı kullanılarak görüntü işleme teknikleri ile tespiti üzerine yoğunlaşmıştır. Dijital görüntü işlemedeki MATLAB uygulamalarına değinmiştir. Binary, gri düzeyli, indekslenmiş ve RGB gibi MATLAB'da bulunan görüntü çeşitleri irdelenmiştir. MATLAB'ta görüntü format dönüşümlerinin nasıl gerçekleştiği açıklanmıştır. Deneysel bir düzenek hazırlanarak farklı sıcaklıklara maruz kalmış betonlara ayrı ayrı görüntü işleme adımları uygulanmıştır. Beton numunelerinin ve deney düzeneğinin hazırlanması anlatılmıştır. Deneysel çalışma için 10 cm x 10 cm x 10 cm'lik kalıplar kullanılarak elde edilen beton blokları kalıplara döküldükten sonra 28 gün sulu ortamda bekletilip farklı sıcaklıktaki fırınlarda yakılmıştır. Beton üzerinde ne gibi sıcaklıkların oluşabileceğine ve beton üzerinde nasıl etki oluşturacağına değinmiştir. MATLAB ile incelenen çatlaklar mikroskop sonuçları ile karşılaştırılmış ayrıca beton dayanımı ile ilişkilendirilmiştir. Sıcaklığa maruz kalan beton numuneleri farklı uzaklıklardan JVC GC-PX100 Dijital Full HD Video Kamera + Fotoğraf Makinası ile farklı zoom ayarlarında çekilmiştir. 300°C sıcaklığa maruz kalmış beton numunesinin MATLAB uygulaması ile mikroskop çalışması gerçekleştirilerek karşılaştırılmıştır. 600 ve 900°C sıcaklıklar da aynı şekilde betonlara uygulanarak daha önce yapılan çalışmalar tekrarlanmıştır. Ayrıca 900°C sıcaklığa maruz bırakılan beton numune çalışması saatlik olarak detaylandırılmıştır. 0. saat, 12. Saat ve 24. saatte MATLAB uygulamaları ve mikroskop çalışmaları tekrarlanıp elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde farklı sıcaklıklara

maruz kalan beton numune yüzeylerinde oluşan çatlaklar incelenmiştir. Çatlak boyutları MATLAB bilgisayar programı ile ölçülerek maruz kalınan sıcaklık derecesine göre beton dayanım testleri gerçekleştirilmiştir.

Öztürk (2015) yaptığı çalışmada kalite kontrolü sağlamak için renksiz, düz ve buzlu cam hatalarını görüntü işleme ile tespit etmiştir. Camın günlük hayattaki kullanım genişliğine değinerek çalışmanın önemini vurgulamıştır. Camın genel yapısından bahsedilerek üzerinde oluşabilecek temel hatalara dikkat çekilmiştir. Konu üzerine detaylı literatür taraması yapılarak sisteme genel bir bakış sağlanmıştır. Yapısından kaynaklı üzerindeki hataların insan gözü ile ayırt edilmesi zor olduğu için makine gözü ile tespit ihtiyacı doğmuştur. Cam yüzeyinde oluşan çizikler, cam yüzeyinde veya içinde oluşmuş baloncuklar, cam çatlak ve kırıkları cam üzerinde görülebilecek temel hatalardır. Camın yansımalarından kaynaklı bu hataları tespit için yaşanacak zorluğu minimuma indirmek için cam içine ışık ışınları enjekte edilerek uygun bir görüntü elde edilmiştir. Bu sayede hataların olduğu yerlerdeki sert geçişler belirginleşmiştir. Görüntü elde edebilmek için kamera seçiminin öneminden bahsedilmiştir. CCD, CMOS görüntü sensörleri ve kameranın konumunun belirlenmesi ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Görüntü işleme ve doku analizi algoritmalarına çalışmada yer vermiştir. Gabor filtresi, dalgacık dönüşümü, kenar belirleme algoritmaları ve hücrel sinir ağları algoritmaları bu çalışmada denenilen algoritmalar arasındadır. Gradient, Laplacian tabanlı ve Canny kenar belirme algoritmalarından bahsetmiştir. Dalgacık dönüşümünün daha iyi anlaşılabilmesi için Fourier dönüşümü detaylı olarak anlatılmıştır. Sürekli, Ayrık ve İki Boyutlu Dalgacık Dönüşümünün varlığına değinilerek dalgacık ailesi detaylandırılmıştır. Gabor bankası ve hücrel sinir ağları ile yüzey analizi de ayrıntılarıyla anlatılarak cam hasar tespiti için denenmiştir. Özellik çıkarmadan önce görüntü üzerinde; ortam yansımalarının görüntüden çıkarılması, arka plan gürültülerinin çıkarılması, kamera yansımalarının görüntüden çıkarılması gibi iyileştirmeler yapılmıştır. Çalışma iki adet sağlam ve üzerinde çeşitli hasarların olduğu dokuz adet hasarlı cam üzerinde uygulanıp sonuçlar kullanıcıya, tasarlanan bir bilgisayar ara yüzü ile aktarılmıştır. Tasarlanan ara yüz sayesinde kullanıcı cam yüzeyi ilgili bilgilere, yüzeyde bulunan hata sayısına ve hata boyutlarına erişebilmiştir. Bu çalışma sayesinde kalite kontrolde yüksek ölçme ve değerlendirme başarısı sağlanarak üretim ile kalite arasındaki uyum sağlanmıştır. Ayrıca bu sistem; zamandan tasarruf, yapılan işleme anında müdahale edebilme olanağı, kolay üretim ve kontrol analizi, belirlenen hata tolerans oranlarında kalabilme olanağı ve sistem akışının bilgisayar ekranından kolayca takip edilebilmesini sağlamıştır. Sonuç olarak

sistemin, kirden ve tozdan bağımsız olarak üretimi aksatmayacak hızda ve ürün özelliklerine uygun biçimde cam kontrol düzeneğinin üretim bandı sonuna eklenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın geliştirilmesi için kamera görüntü sensörünün değiştirilebileceğini ve farklı dalga boylarında ışın kaynakları kullanarak mercek, otomobil camı gibi spesifik camların incelenebileceği de belirtilmiştir.

Tanyıldızı ve Okur (2016) insanlarda ortaya çıkan bazı hastalıkların gözdeki kan damarlarının yapısını bozması sebebiyle retina görüntülerindeki kan damarlarının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Retinadaki kan damarlarının belirginleştirilmesi için çeşitli yöntemler kullanan Tanyıldızı ve Okur, bu yapısal bozukluklar sayesinde diyabetik retinopati, glakom, damar sertliği, retinal alter tıkanıklığı gibi bazı hastalıkların erken teşhis edilebilmesini amaçlamıştır. Görüntünün kullanışlı bir şekilde işleme tabi tutulabilmesi için görüntü sayısallaştırılarak bilgisayar tarafından anlaşılabilir bir hale getirilmiştir. Sayısallaştırma sonrası görüntünün istenilen hale gelmesi için kullanılan OpenCV, SimpleCV gibi açık kütüphane ve araçların, yazılım dillerinin varlığından bahsetmişlerdir. Açık kaynak kodlu ve tamamen ücretsiz olan görüntü işleme kütüphanesi OpenCV kullanılarak retina görüntüsünden kan damarları ayrıştırılmış aynı zamanda bu işlem için kullanılan diğer yöntemlere de değinilmiştir. OpenCV kütüphanesinde bulunan filtreleme yöntemleri ve şekil bulma fonksiyonları ile kan damarlarının sınırları ortaya çıkarılmıştır. Kan damarlarının tespiti için ilk önce görüntü gri seviyeye çekilmiştir. Kan damarlarının arka plandan ayrılması, kümeleme işleminde daha kolay ayırt edilmesi için filtreme ve eşikleme gibi ön işlemlerden geçirilmiştir. Salt & pepper bozulması için ortanca filtreleme, Gauss filtreleme uygulanıp gürültüyü önlemek ve nesneyi belirlemek için eşikleme işlemi ile görüntü binary resme çevrilmiştir. Bu sayede belirlenen eşik değeri ile tüm pikseller sıfır ve bire dönüştürülmüştür. Görüntü ön işlemeye tabi tutulduktan sonra şekil hatlarının belirlenmesi için üç aşamadan oluşan bir yöntem uygulanmıştır. İlk aşamada aynı renk ve şiddete sahip bir sınır boyunca sürekli noktaların birleşmesi ile oluşan kontürlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. İkinci aşamada kontür alanları hesaplanmıştır. Üçüncü ve son aşamada ise belirli piksel sayısı altında kalan istenmeyen alanlar devre dışı bırakılıp tespit edilen kontürlerin üzeri çizilerek belirginleştirilmiştir. Böylelikle orijinal retina görüntüsü üzerindeki kan damarları net bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen görüntüler çalışmada paylaşılmıştır. Tasarladıkları form sayesinde çeşitli filtreler, kontür belirleme yöntemleri, farklı eşik değerleri gibi alternatiflerle görüntü üzerinde anlık değişiklikler yaparak daha net sonuçlar elde etmişlerdir. Şekil hatlarını belirleme fonksiyonları ve etkin bellek kullanımı

için anlık görüntü alma hızı yüksek olan OpenCV kütüphanesi aracı kullanılmıştır. Görüntü işlemenin sağladığı yararları ve tıp, güvenlik, kalite kontrol gibi birçok alandaki kullanımına değinmişlerdir. Erken teşhis sayesinde hastalık tedavilerine olanak sağlamayı amaçlamışlardır. Görüntü işleme teknolojisi kullanılarak erken teşhis ile insan ömrünün uzamasına dikkat çekilmiştir.

Serdar Solak ve Umut Altınışık (2017) tarafından yapılan çalışma görüntü işleme ve kümeleme teknikleri kullanılarak fındık meyvesinin tespit edilmesi ve sınıflandırılması üzerinedir. Görüntü işleme ve bilgisayarlı görme uygulamalarının yaygın kullanım alanlarından bahsetmişlerdir. Bilgisayarlı görmenin tarım alanındaki kullanımına ve kullanılan görüntü işleme yöntemlerine değinilmiştir. Çalışma; nesnelerin tespit edilmesi, özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Çalışmada farklı boyutlardaki fındık meyvesinin görüntüsü kullanılmıştır. Fındıklara ait görüntü 1.3 Megapiksel CMOS, 640 x 480 çözünürlükteki Logitech C110 USB kamera kullanılarak alındıktan sonra görüntü ön işleme teknikleri ile Ubuntu 12.04 işletim sistemine sahip bir bilgisayar üzerinde işlenmiştir. Ön işleme kapsamında görüntü üzerinde filtreleme, grileştirme, ikili resme çevirme işlemleri ve morfolojik işlemler gerçekleştirilmiştir. Filtreleme ile görüntüde yer alan gereksiz ayrıntılar azaltılmıştır. Filtreleme işleminden sonra renkli görüntü grileştirilmiştir. Daha sonra eşikleme işlemi ile sadece ilgili nesnenin bulunduğu alanlara ait bölümler kullanılmıştır. Bu sayede görüntü daha belirgin ve kolay işlenebilir hale getirilmiştir. Görüntü ön işleme teknikleri ile ilgilenilen nesneye ait özellik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Çeşitli nesne tanıma yöntemlerine değinilmiştir. İyi bir özellik çıkarımı sayesinde görüntüdeki fındık meyvesinin tespiti %100 başarı ile gerçekleştirilmiştir. Fındıkların görüntü düzlemi üzerinde kapladıkları alan verileri hesaplanarak fındıklar küçük, orta ve büyük olmak üzere üç sınıfa ayrılmış. Daha sonra orta tabanlı sınıflandırma ve K-means kümeleme yöntemleri kullanılarak deneysel çalışmaya devam edilmiştir. Fındık meyvesine ait veriler bilgi veri tabanına aktarılmıştır. Elde edilen veri tabanı kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme ve sınıflandırma aşamalarında OpenCv kütüphanesi ve Weka yazılımları kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen görüntüler aşama aşama sunulmuştur. K-means kümeleme yöntemi sayesinde aynı türden nesnelere benzerlik ve benzerlik oranlarına göre kümelenebilir. Yöntem 25 adet fındık üzerinde denenmiş ve %100 başarı oranı ile tespit gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada fındık meyveleri, hem ortalama tabanlı hem de K-means sınıflandırma yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçların %90 ile %100 arasında

birbirine benzerlik gösterdiği görülmüştür. Yapılan çalışma açık kaynak kodlu yazılımlarla lisans maliyeti olmadan gerçekleştirilmiştir. Yüksek performans ve düşük maliyetle geliştirilen bu yöntemin gömülü sistemlere uyumluluğundan da bahsedilmiştir. Ayrıca bu sistem ile farklı nesnelere üzerinde tespit ve sınıflandırma işlemlerinin gerçekleştirilebileceği de belirtilmiştir.

İnik ve Ülker (2017) tarafından yapılan çalışmada görüntü analizinde kullanılan derin öğrenme modelleri anlatılmıştır. Yapay zekâ, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Derin Öğrenmenin tarihsel gelişiminden bahsedilmiştir. Problem çözümünde elde ettiği yüksek doğruluk oranı sayesinde derin öğrenmenin görüntü analizinde, ses analizinde, kanser teşhislerinde ve daha birçok alanda kullanıldığına değinmiştir. Renksiz filmlerin renklendirilmesi, sessiz filmlerin seslendirilmesi gibi çeşitli çalışmalar üzerinde kullanılan Derin Öğrenmenin insan performansından daha iyi bir performans sergilediği yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur. İlk olarak nesne sınıflandırma için yapılan derin öğrenmenin son yıllarda popüler olduğundan ve bunun iki temel nedeninden bahsedilmiştir. İlki, artan veri yapısı ile Büyük Veri adında yeni bir alanın oluştuğu ve bu sayede makine öğreniminin kolaylaşması olarak belirtilmiştir. İkincisi ise Yapay Sinir Ağlarında gizli katmanların sunulmasıyla kullanılan bellek hafızası ve işlemci kapasitesinin artırılması olduğu gözler önüne serilmiştir. Gizli katman sayısının artması ile derinleşen ağı daha büyük belleklere sahip hızlı bilgisayarlara ihtiyaç duyması kullanılacak bellek hafızasının önemini vurgulamıştır. Bu sebeple derin ağların eğitimi için Central Processing Unit (CPU) yerine Graphic Processing Unit (GPU) kullanım amacını açıklığa kavuşturmuştur. Büyük veri ve GPU'ların geliştirilmesiyle en temel Derin Öğrenme modeli olan Evrimsel Sinir Ağlarının (ESA) tasarlandığından bahsetmiştir. YSA'ların gelişmiş hali olan ESA'ların görüntü sınıflandırma, nesne tanımlama gibi konularda başarılı bir şekilde uygulandığına değinilmiştir. Derin öğrenme ile ön işleme gerek duyulmadan ham verinin işlenebileceği üzerine durmuştur. ESA'lar hakkında detaylı bilgiler verilerek YSA ile aralarındaki farklara değinilmiştir. Evrimsel Sinir Ağı (ESA) mimarisini oluşturan ardarda yerleştirilmiş Konvolüsyon, ReLu, Havuzlama, DropOut, Tam Bağlantılı ve Sınıflandırma katmanlarını açıklamıştır. Giriş Katmanında veriler ağa ham olarak verilmiştir. Bu katmanda görüntü boyutu seçiminin eğitim ve test süresi üzerindeki etkisi anlatılmıştır. Dönüşüm katmanı olarak bilinen Konvolüsyon Katmanının belirli bir filtrenin tüm görüntü üzerinde dolaştırılması işlemini karşıladığı belirtilmiştir. Aktifleştirme katmanı olarak da bilinen ReLu Katmanının ağı daha hızlı öğrenmesini sağladığı açıklanmıştır. Havuzlama katmanı sayesinde giriş

boyutu azaltılarak bir sonraki ağ katmanına daha az hesaplama yükü oluşturulmuş ve ezberleme önlenmiştir. Tam bağlantı katmanı ile kendinden önceki tüm katmanlara bağlantı sağlanmıştır. DropOut sayesinde eğitim aşamasında her iterasyonda ağa ait bazı düğümlerin kaldırılarak ezberlemenin önüne geçildiği anlatılmıştır. Son olarak sınıflandırma katmanında sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. AlexNet, ZFNet, GoogLeNet, Microsoft ResNet ve R-CNN gibi temel derin öğrenme modellerine de değinilmiştir.

Atalay ve Çelik (2017) yaptıkları çalışmada büyük veri analizinde yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin kullanımını araştırmışlardır. Devletler, kurumlar ve şahıslarca toplanan pek çok verinin gerektiğinde kullanılarak anlamlı sonuçlar çıkarılabilecek bir yapıda değerlendirilmesinden bahsetmişlerdir. Metin ve web madenciliği olarak yapılan sosyal medya verilerinin işlenmesi kişiye özel görüş, düşünce ve faaliyetlerin analizi ile şekil değiştirerek fikir ve duygu analizine dönüşerek çeşitli sınıflandırmaların elde edilmesine değinilmiştir. Navie Bayes, maksimum entropi, destek vektör makinesi ve K-en yakın komşu algoritması gibi başlıca yöntemlerin kullanıldığı anlatılmıştır. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi hakkında temel teknikler hakkında bilgilendirme yapmışlardır. Bahsi geçen tekniklerin büyük verilerle yapılan uygulamaları örneklendirilmiştir. Yapay zekâ ile birlikte elektronik ticaret sitelerinde hedefe yönelik ürün önerilerinin sağlandığından, tüketici analizi satış optimizasyonunun sağlandığından bahsedilmiştir. Sosyal ağ kullanımının artması, sensör, barkod, karekod, RFID sistemleri gibi takip sistemlerinin, teknolojik gelişmelerin, iletişim teknolojilerinin ulaşılabilirliğinin artması pek çok iş kolunun elektronik ortama taşınması ile birlikte veri çeşidinde, miktarında ve toplanma hızında yaşanan ciddi artıştan bahsedilmiştir. Büyük veri analizi ile Twitter’da tweetlerin analizinin, Google aramalarında olası sonuç tahminlerinin, Apple’ın Siri ve Google’ın Google Now yazılımlarının bilgisayar ve sosyal medya analizlerinin yapıldığına değinilmiştir. Büyük verilerle yapılan kümeleme, sınıflandırma, yapay sinir ağları, veri madenciliği ve duygu analizi gibi çalışmalar anlatılmıştır.

Uçar’ın yaptığı çalışmada (2018) silindirik cisimlerin yüzeylerinde bulunan hataların görüntü işleme ile tespiti üzerine durulmuştur. Silindirik metal cisimler üzerinde oluşan hatalar ve biçimsel ölçümleri hakkında detaylı bilgilendirme yapılmıştır. Silindirik metal cisimlerin kullanım alanlarından bahsederek çalışmanın kapsamına dikkat çekmiştir. Üretim yapan firmalar arasındaki rekabetin arttığından ve kalitenin öneminden bahsetmiştir. Daha fazla kaliteli ürün için üretimin her aşamasının titizlikle yürütülmesi

gerektiği üzerine durmuştur. Yüz tanımada, fayans üzerindeki kırık ve çatlakların tespitinde, bitki yapraklarından hastalık tespitinde görüntü işlemenin yerine değinmiştir. Üretimde oluşan hataların görüntü işleme ile tespiti için iki yönde hareket sağlayan iki servo motorlu elektromekanik düzenekler tasarlanarak silindirik cisimlerin görüntüleri alınmıştır. Ölçme düzeneğini servo motor, sürücü, Programlanabilir Lojik Kontroler (PLC), telesentrik lens ve telesentrik aydınlatmadan oluşturmuştur. Cisimler silindirik oldukları için altmış derece aralıklarla altı sefer döndürülerek altı adet görüntü alınmıştır. Cisimler metal oldukları için kenarlarındaki hale oluşumlarını engellemek amacıyla tek yönlü ışığa yapan telesentrik arka plan aydınlatma ve telesentrik lens kullanılmıştır. 2048x1088 piksel çözünürlüğüne ve 2/3 sensör boyutuna sahip kameralar kullanılarak sabit ve yeterli aydınlatmaya sahip görüntüler elde edilmiştir. Görüntüler, ölçümlere uygun hale sokulmak için aşındırma, genişleme, açma ve kapama gibi morfolojik işlemlerden geçirilmiş, filtrelenmiş, kenar ve köşe noktaları tespit edilmiştir. Böylece görüntü önışlemleri tamamlanarak görüntülerin gereksiz ayrıntılardan ayrılarak daha iyi sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır. Görüntüler önışlemlerden sonra ölçümler yapılarak cismin kenar uzunlukları, açıları, eksen kaymaları, eğrilikleri ve kalibrasyon ile ilgili hata tespitleri tez kapsamında tasarlanan MATLAB programında kodlanmış yazılımlar ile tespit edilmiştir. Silindirik metal cisimler tek parçadan oluşacağı gibi birden fazla parçanın birleştirilmesiyle de oluşmaktadır. Birleşme esnasında parçaların aynı eksende olamamasının eksen kayması olarak adlandırıldığından bahsetmiştir. Eksen kayması görsellerle çalışmada detaylı olarak açıklanmıştır. Çalışma kapsamında konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalara da yer verilmiştir. Yapılan çalışma sayesinde hatasız ve kaliteli ürün üretimi ile zaman, malzeme ve enerji kaybı olmaksızın verimli bir üretim süreci sağlanmış olacaktır. Makinaların yorulmama, sürekli çalışma, uzun vadede maliyetsiz olması, kararlı çalışmaları gibi avantajlarından kaynaklı hata tespiti için insan yerine makine kullanımının tercih sebebi olduğuna değinmiştir. Çalışma kapsamında eksen kayma miktarı, cisim boyutlarına ait ölçümler, açı ölçümleri, eğrilik tespitleri insana ihtiyaç duymadan gerçekleştirilmiştir.

Han ve arkadaşları (2019) yüksek gerilim iletim hatlarının muayenesi için iletim hattına ait görüntülerden yararlanarak izolatörlerin arızalarını tespit etmek için yöntem geliştirmişlerdir. Yüksek gerilim iletim hatlarının denetiminin önemini vurgulayarak mevcut yöntemlerin doğruluğunun ve sağlamlığının eksikliğinden yakınmışlardır. Kullanılan yöntemler aracılığıyla zincir izolatör üzerindeki yalnızca bir hatanın algılanabileceğine çoklu hataların gözden kaçabileceğine değinmişlerdir. Yaptıkları

çalışma ile insansız hava aracı ile elde edilen havai hat izolatörlerini arka plandan sıyırarak tekli veya çoklu izolatör arızalarını tespit etmeyi amaçlamışlardır. İnsansız hava aracının havai hat izolatörlerine olan uzaklığının açısının izolatör boyutlarını değiştirdiğinden bahsetmişlerdir. Karmaşık arka planı izolatörden ayırmak ve çeşitli boyutlardaki izolatörleri tanımak için derin sinir ağlarından yararlanmışlardır. İlk olarak standart bir veri seti oluşturmak için çok sayıda izolatör barındıran havai hat görüntüsü toplayarak manuel olarak izolatörleri etiketlemişlerdir. İkinci olarak havai hatlarda bulunan zincir izolatörleri doğru tespit edebilmek için evrişimli sinir ağına başvurmuşlardır. Sonuç olarak da havai hatta bulunan zincir izolatörlerdeki tekli ve çoklu arızaları tespit edebilen bir yöntem önermişlerdir. Çok sayıda havai hat görüntüsü üzerinde yapılan deneysel sonuçlar doğrultusunda önerdikleri yöntemin mevcut izolatör arıza tespit yöntemlerinden daha etkin ve verimli olduğunu göstermişlerdir.

Güvenoğlu ve Bağırğan (2019) yaptıkları çalışmada Shearlet Dönüşümü ve görüntü işleme tekniklerini kullanarak kot kumaş üzerindeki çözgü kopuğu, atkı kopuğu, delik, yırtık ve leke gibi hataları tespit etmeye çalışmıştır. Literatürde 235 adet farklı hata türü ve oluşum sebebi olmasına rağmen çözgü ve atkı yönünde oluşan, kumaş doku yüzeyinde oluşan, kumaş kenarında oluşan hatalar olmak üzere dört ana hatadan bahsedilmiştir. Bu dört ana hata ayrı ayrı örneklendirilip görsellerle desteklenmiştir. Konu üzerine yapılan literatür çalışmalarında Fourier Dönüşümü, Gabor filtresi, Dalgacık dönüşümü gibi yöntemlerin yer aldığına değinmişlerdir. Ayrıca bazı çalışmalarda atkı, çözgü kopuğu ve yağ lekesi gibi hataların tespitinde öznelikleri çıkarılan görüntülerin eğitim ve test amaçlı yapay sinir ağları kullanılarak gerçekleştirildiğinden de bahsedilmiştir. Tekstil sektörünün ara mamul maddesi olan kumaş üzerindeki hataların çıkarılması için görüntü işleme tekniklerinden Shearlet dönüşümü özellik çıkarma yöntemi kullanılarak hata kontrolünün yapılmasını sağlayan bir düzenek oluşturmuşlardır. Oluşturulan düzenek; kamera, sevk silindiri, kontrol bandı ve LED aydınlatmadan meydana gelmektedir. Hazırlanan düzenek için yüksek çözünürlüklü, 1080p HD görüntü kalitesine sahip, 0.1 m ile 10 m arası otomatik odaklama ve saniyede otuz kare yakalama özelliklerine sahip bir kamera tercih etmişlerdir. Verileri işlemek için Intel Core i7 işlemci ve 12 GB Ram belleğe sahip bir bilgisayar kullanmışlardır. Sistem, motor sürücü kartı sayesinde manuel hız ayarına sahip tek bir motor üzerinden kontrol edilmiştir. Kumaştan alınan görüntüler MATLAB ortamında hazırlanmış Kumaş Hatası Tespit Yazılımı ile kontrol edilmiştir. Kumaş hatası tespit yazılımı ile kameradan alınan görüntüler gri seviyeye dönüştürülmüş, gürültü giderme ve iyileştirme işlemleri de

yapılarak ön işlemlerden geçirilmiştir. Görüntüleri çok yönlü çok ölçekli analiz edebilmesinden kaynaklı Shearlet dönüşüm metodu kullanmışlardır. Hasar tespiti için en hızlı ve en esnek sınıflandırıcılar arasında bulunan Yapay Sinir Ağları (YSA) sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. YSA eğitimi için MATLAB içerisinde bulunan Neural Network Toolbox kullanılmıştır. YSA eğitiminde ve hata sınıflandırmasında çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli uygun görülmüştür ve modelin diyagramı çalışmada sunulmuştur. YSA'ya sunulan 1120 adet hatalı kumaş görselinin %80 eğitim, %20'si test için kullanıştır. Eğitim ve testte kullanılan görüntülere ek olarak 400 adet hatalı kumaş görüntüsü eğitim sonrası yöntemin çalışmasını kontrol etmek için kullanılmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla çözümlü kaçığı, atkı kaçığı, delik ve leke şeklinde hatalar sınıflandırılmıştır. Kontrol işlemleri sonucunda %94.25 oranında bir başarı sağlanmıştır. Benzer örüntüye sahip kumaşlar kullanılarak yapılan bu çalışmada kararlı bir sistem oluşturulmuştur.

Daş ve arkadaşlarının (2019) yaptığı çalışmada derin öğrenme ile resim ve videolarda nesnelere tanınması ve takibi üzerine durulmuştur. Değişken bir ortamda nesne tanıma ve takibinin sabit bir ortama kıyasla daha zor olduğuna değinmişlerdir. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için son yıllarda yapılan yapay zekâ tabanlı sistemler kullanılarak daha hızlı ve kesin hedef tespitlerinin gerçekleştirildiğinden bahsetmişlerdir. Derin öğrenme ile karmaşık görüntü işleme problemlerinde başarılı bir şekilde sonuca ulaşıldığına değinilmiştir. Ayrıca yaptıkları literatür taraması sonuçlarına göre Kalman Filtresi ve Parçacık Filtresi gibi yöntemlerin nesne takibinde oldukça başarılı olduğundan söz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın başarı oranının literatürdeki çalışmaların başarı oranına kıyasla daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında derin öğrenme ile hareketli nesne tanıma ve takibi için Google'ın açık kaynak kodlu TensorFlow makine öğrenme kütüphanesini kullanmışlardır. Geliştirdikleri uygulamayı Python programlama dili kullanarak oluşturmuşlardır. Nesne takibi için Region Based Convolutional Networks kütüphanesinden Faster R-CNN modeli üzerine durmuşlardır. İlk önce object detection eğitilmiş hazır kütüphane kullanılarak görüntü üzerinde nesne algılama yapmışlardır. Daha sonra tespit etmek istedikleri nesneyi birçok açıdan fotoğraflandırarak test ve eğitim olarak iki ayrı dosyada tutmuşlardır. Modelin iyi bir şekilde eğitilmesi için veri seti bünyesinde bulunan resimlerin farklı ortamlarda, ışıklandırmalarda ve hatta bir kısımları kapatılmış şekilde çekilerek yüzlerce adet olmasına dikkat etmişlerdir. Elde edilen görüntüler tek tek LabelImg ile etiketlenip .xml dosyası şeklinde kayıt edilmiştir. Oluşturulan .xml dosyalarını .cvs dosyasına çevirdikten sonra tfrecords'ta oluşturarak

eğitim işlemini yapmışlardır. generate_tfrecord.py dosyasını herhangi bir metin editörü ile açılıp kaç tane sınıf varsa o kadar id bilgisi girmişlerdir. Yani her resme id atanmış ve her id'ye de sınıf ismi atanmıştır. Yeterli düzeyde eğitim gerçekleştirildikten sonra sistem istenilen nesneyi tanımayı başarmıştır. Faster R-CNN modelinde eğitim sonrası %98 başarı sağlanmıştır. Benzerlerine kıyasla daha yüksek bir başarı oranı yakalayabilen Faster R-CNN modelinin güçlü bir donanıma ihtiyaç duyduğu ve Single Shot Multibox Detactor (SSD)'ye göre daha yavaş olduğu belirtilmiştir. SSD'nin düşük donanımlı cihazlarda hızlı işlem yapma kabiliyetine rağmen çok isabetli modellemeler gerçekleştirilememesinden kaynaklı tercih edilmediği açıklanmıştır. Ancak hızlı nesne tespitinin önemli olduğu durumlarda kullanılmasının uygun olabileceği belirtilmiştir. Tercih edilen kütüphaneler ile durağan görüntülerde, video görüntülerinde ve webcam görüntülerinde nesne tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kütüphaneler arası karşılaştırmalar yapılarak güçlü ve zayıf yönler ortaya konulmuştur.

Çağıl ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2019) kontrol sisteminde hem hatayı hem de insan gücü maliyetini azaltmak için yapay zekâ seçeneklerinden olan Görüntü İşleme Yönteminin kullanılmasını uygun görmüşlerdir. Büyük çapta üretim yapan endüstriyel sistemlerde; çalışan kişinin tecrübesi, fiziksel ve ruhsal durumu düşünülerek görüntü işleme tabanlı kalite kontrolün ne kadar gerekli olduğuna değinilmiştir. Görüntü işleme sayesinde gerçek ortamdan alınan dijital görüntünün en küçük parçası olan piksel değeri çeşitli algoritmalarla istenilen şekle sokulmuştur. Beton üzerindeki çatlakların ve cam üretimindeki hataların görüntü işleme teknikleri ile tespit edildiği çalışmalardan da bahsedilmiştir. Çalışma Amcor Flexible fabrikasının ürettiği gıda ambalajlarındaki hataların tespiti üzerine yapılmıştır. Fabrikanın çalışma yapısından ve ambalajın geçtiği kademelerden bahsedilmiştir. Baskı makinesindeki ayarsızlık, boya, sinyal, silindirde meydana gelen vuruş ve bıçak izleri gibi olası hataların operatör tarafından gözden kaçırılabilmesine değinmişlerdir. Hatanın gözden kaçması ile bobinin geri kalan kısmının hatalı üretilmesinin firenin artmasına sebebiyet vereceği belirtilmiştir. Fire artışının, firmada güven ve maliyet kayıplarına sebep olacağı için Görüntü İşleme yöntemi ile kayıpların minimuma indirilmesi amaçlanmıştır. Çağıl ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmaya göre ambalaj yüzeyindeki hataların görüntü işleme ile tespitinde açık kaynak kodlu OpenCV 'Bilgisayarla Görü / Görme' Kütüphanesinin kullanımı zamandan kazanç sağlayarak sistemin performansını arttırmıştır. Boya, bıçak çizdiği, ayarsızlık ve parlama hatalarının bulunduğu bir veri tabanı oluşturularak Pycharm Platformunda Python Programlama Dilinde OpenCV Kütüphanesi desteği ile hata tespiti

gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ilk olarak maskeleye işlemini yapabilmek için görüntü HSV formatına çevrilmiştir. Maskeleye işleminde mavi olan arka plan beyaza, diğer tüm renkler siyaha dönüşmüştür. Daha sonra siyah pikseller sabit tutulup beyaz pikseller orijinal renklerine dönüştürülmüştür. Görüntüdeki istenmeyen gürültülerin giderilmesi ve kenar belirleme işleminin yapılabilmesi için görüntü gri seviyeye çevrilmiştir. Kenar algılama sonrasında da şablon eşleme ile benzerlik uygulaması yapılmıştır. Bu işlemler sayesinde gerçek görüntüdeki hatalar belirlenmiştir. Hatalı kısımlar sarı dörtgenler içine alınarak tespit edilmiştir. Üretim sisteminde oluşan hatalı ve kalitesiz ürünlerin zaman, malzeme ve enerji kaybına sebebiyet vereceği belirtilmiştir. Bu çalışma sayesinde ambalaj üzerindeki hataların firma çalışanları tarafından göz ile tespit edilmesi yerine Görüntü İşleme yöntemi ile tespit edilerek maliyet en aza indirilmiştir. Bu sayede kuruluşlar, artan rekabet ortamından kaynaklı fazla üretim yaparak tüketiciye kaliteli ürünler sunabilmektedir.

İnce ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan çalışmada sağlık alanında görüntü işleme ve analizi ile ilgili literatürdeki çalışmalar özetlenmiş, zorluklarından, tehdit ve örneklerinden bahsedilmiştir. Görüntü işleminin sağlıkta kullanılması ile sağlık hizmetlerinde maliyet süre ve iş gücü kaybı gibi olumsuz durumların ortadan kalkacağı üzerine durulmuştur. Sağlık hizmetlerinin ürettiği devasa, karışık ve çeşitli verilerin görüntü işleme yöntemleri ile analiz edilerek saklanan birçok bilgiyi açığa çıkarttığı belirtilmiştir. Ancak görüntü işleme konusunda istenilen seviyeye gelebilmek için daha fazla disiplinli çalışma sağlanarak hekimlere daha net karar verebilecek teşhis olanaklarının sunulacağı söylemiştir. Fotoğraf gibi mevcut görüntüleri değiştiren veya yorumlayan görüntü işleminin güvenlik sistemleri, tarım uygulamaları, mühendislik, tıp uygulamaları ve imalat uygulamaları gibi birçok sektörde kullanıldığına değinmiştir. Piksel, parlaklık, çözünürlük, histogram ve karşıtlık gibi temel görüntü işleme kavramlarından bahsetmiştir. Görüntü oluşumu, görüntünün optimize edilmesi, görüntünün yorumlanması için yapılan tüm işlemler ve tüm bu aşamaların sonucunda elde edilen görüntü verilerinin yönetimi olmak üzere görüntü işleminin dört aşamasının olduğu belirtilmiştir. Görüntü iyileştirme algoritmalarının da bu aşamaların öncesinde veya sonrasında uygulanabileceğini söylemiştir. Görüntü kirliliklerinin giderilmesi, detayların netleştirilmesi adına yapılan çalışmaları görüntü işleme yöntemleri başlığında toplamıştır. Görüntünün ayırt edilebilirliği olarak adlandırılan kontrast geliştirme, görüntüde oluşan gölgelerin düzeltilmesi için kullanılan gölge düzeltme, görüntüdeki kenarları belirginleştiren kesinleştirmenin bu yöntemlerden bazıları olduğunu

belirtmiştir. Görüntü işleme yöntemlerine de değinerek gelecekte ortaya çıkabilecek olası teknolojik değışimlerle ilgili önerilerde bulunmuştur. Sağlık sektöründe kullanılan nesnelere interneti, yapay zekâ gibi teknolojilerin getirdiğı değışikliklerle son yıllarda tıbbi cihaz patent başvurularındaki artıştan ve gelecekteki tıbbi cihaz kullanım oranının ciddi bir şekilde artacağından bahsedilmiştir. Özelleştirilebilen daha kapsamlı görüntü işleme teknolojilerine, daha verimli yaklaşımlara, yeni algoritmalara, hastalara özgü algoritmalara duyulan ihtiyacın, sağlık sektöründe görüntü işleme kullanımının zorlaşmasına sebebiyet verdiği belirtilmiştir. Görüntü işleme üzerine yapılan çalışmalara mühendislik, bilgisayar bilimi ve matematik dergilerinde sağlık ve tıp dergilerine nazaran daha çok yer verildiğı üzerine durulmuştur. Üstelik sağlık sektöründe görüntü işleme üzerine çok fazla çalışma olmasına rağmen bu sektörde çalışan personel eksikliği vurgulanmıştır. Sağlık hizmetlerinde yapılan çalışmalar bir tablo ile sunularak bu alanın önemi üzerine durulmuştur. Görüntü işleme üzerine literatürde çok fazla çalışma olmasına rağmen verimlilik artışının sağlanması için bu alanda yapılacak çalışmaların da hız kesmeden artırılması gerektiğine dikkat çekmiştir.

Abdulsamet Aktaş (2020) tarafından yapılan tez çalışmasında derin öğrenme yöntemleri ile görüntü işleme uygulamaları üzerinde durulmuştur. Literatür araştırması ile görüntü işleme ve dokunsal parke yüzeyi tespiti ile ilgili yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Derin öğrenmeden bahsetmeden önce yapay zekâ ile ilgili bir takım bilgilendirmeler yapılmıştır. Çalışmasında kullanacağı veri setini oluştururken veri çoğullama, temizleme ve etiketleme gibi teknikleri kullanarak veri setini normalize edip test ve eğitim sınıflarını belirlemiştir. Veri setinde kullanılan görüntüler GoPro Hero 7 aksiyon kamerası ve Sony HDR-X3000R-4K aksiyon kamerası kullanılarak Aktaş tarafından elde edilmiştir. Verilerin çoğullanması ve etiketlenmesi için Python programlama dili kullanılmıştır. Yapay sinir ağı modelinin eğitim ve test süreçleri NVIDIA GeForce GTX1080 Ti 11 GB ekran kartı üzerinde yapılmıştır. Model yaklaşık 160 saat boyunca eğitilmiştir. Etiketlediğı verinin etiket değeri ile eğitim sonrası sistem tarafından yapılan tahminin uyumsuzluğunu net bir şekilde görebilmek için karmaşıklık matrisinden yararlanılmıştır. Nesne tespit algoritmaları ilk önce nesnenin bulunma ihtimali olan yerlerini belirleyip ve belirlenen yerlerde evrişimsel sinir ağlarını ayrı ayrı çalıştırarak nesneyi tespit etmeye çalışmaktadır. Aktaş çalışmasında kullandığı You Only Look Once (YOLO) ağının nesne tespiti yapan diğer sistemlere nazaran tespit süresinin oldukça kısa olduğuna değinmiştir. YOLO ile görüntü üzerinde nesnelere nerede olduklarını tespit etmek için görüntüye sadece bir kere bakılmasının yeterli olacağı

belirtilmiştir. 19 evrimsel katman ve nesne tespiti için eklenmiş ekstra 11 katmanı bulunan derin ağ mimarisi olan darknet-19'u bünyesinde bulunduran YOLO-V2 tüm bunlara rağmen küçük nesnelere algılamakta sorun çıkarmaktadır. Bu sebepten dolayı YOLO ve YOLO-V2 ağları kullanılarak YOLO-V3 geliştirilmiştir. Tespit etme işlemini gerçekleştirirken ekstra katman kullanmasının YOLO-V3'ü yavaşlatmasına rağmen YOLO-V3 hem küçük hedefleri hem de büyük hedefleri tespit ettiği için tercih sebebi olmuştur. Katmanlar arası geçişlerde görüntü özelliklerinde kayıp yaşanmaması ve görüntü özellik bilgilerini daha etkili kullanması için geliştirilen DenseNet sistemi kullanılarak YOLO-V3- Dense algoritması ile çalışma daha iyi bir noktaya getirilmiştir. Böylelikle öznelik kaybı azaltılmış, öznelik kullanımı artırılmış ve daha iyi sonuçların alınması sağlanmıştır. CUDA kütüphanesinin 9. Versiyonu sistemi ekran kartı üzerinde çalıştırmak için kullanılmıştır. Görüntüler üzerinde yapılan işlemler için açık kaynak olarak kullanılan OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır. Aktaş yaptığı bu çalışması ile görme engelli kişilere yön bulmada yardımcı olan dokunsal parke yüzeylerinin tespit edilmesini amaçlamıştır. Bu sistemle görme engelliler ve yaşlılar dokunsal parke takibini rahatlıkla yapabilecektir.

Pişkin, Java ve Python örnekleriyle OpenCV ile görüntü işleme üzerine temel kavramların ve algoritmaların ele alındığı bir kitap oluşturmuştur. OpenCV sürümlerinden ve aralarındaki farklardan bahsetmiştir. Açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesi olan Open CV'nin; Core, HighGui, Imgproc, Imgcodecs ve Videoio bileşenlerinden oluştuğuna değinmiştir. OpenCV'ye alternatif olabilecek MATLAB, Halcon, OpenFrameworks, CIMG ve Fiji gibi programlama dillerinden ve yazılımlardan bahsederek görüntü işleme projesine en uygun olanın seçilmesi gerektiği üzerine durmuştur. Erişilebilecek kaynak çeşitliliği, neredeyse bütün programlama dillerinin desteklenmesi gibi sebeplerden dolayı OpenCV'nin tercih sebebi olduğuna değinmiştir. Web, mobil ve masa üstü projeleri geliştirebiliyor olmasından kaynaklı da Java'nın tercih edildiğinden bahsetmiştir. OpenCV kütüphanesini referans alarak farklı platformlarda kullanılabilmek için kendi fonksiyonlarını geliştiren EmguCV, JavaCV gibi çeşitli Wrapper'lerden bahsetmiştir. OpenCV ile Wrapper'lar arasındaki farklara dikkat çekerek EmguCV, JavaCV ve LiveCV Wrapper'ları detaylandırmıştır. OpenCV'yi kullanabilecek platform, geliştirme ortamlarından ve bunların tercih sebeplerinden bahsetmiştir. Windows ve Linux işletim sistemleri için OpenCV kurulumu detaylı olarak anlatılmıştır. Eclipse IDE, Netbeans IDE, Android Studio için OpenCV yapılandırmasından bahsedilmiştir. Dijital görüntü, piksel, Frame Per Second (FPS) gibi temel dijital görüntü

işleme kavramları açıklanmıştır. RGB, HSV, CMYK ve YUV gibi renk uzaylarına değinilmiştir. Dosya sisteminden, video aygıtlarından görüntü okuma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca OpenCV içerisinde yer alan imshow metodu ile Java'da resim görüntülemeyi detaylı bir şekilde anlatmıştır. Pişkin, yüz tanıma için birçok yöntem olduğundan ayrıca yüz tespit ve tanıma arasındaki farklardan bahsetmiştir. Geometrik yüz tanıma yönteminin tek başına yeterli olmayacağı üzerine durmuştur. OpenCV'nin barındırdığı Eigenfaces, Fisherfaces ve Local Binary Patterns Histograms (LBPH) yüz tanıma algoritmalarını ayrı ayrı detaylandırarak kodları ile birlikte örneklendirip yüz tanımının geldiği noktayı göstermiştir. İlk olarak, veri setinin oluşturulmasında elde edilen verilerin program tarafından okunabilmesi için Python scripti kullanarak CSV dosyasının oluşturulması anlatılmıştır. Kullanılacak en az iki adet yüz görüntüsü gri renk uzayına çekilerek algoritmaların eğitimi için kullanılmıştır. Daha sonra algoritmalar için hazırlanan veri setinden tüm görüntüler alınarak etiketlenmiştir. Etiketlenen görüntülerin eğitimi train() metodu ile tamamlanmıştır. Eğitim tamamlandıktan sonra bulunması istenilen görsel sisteme yüklenip veri setindekilerle eşleştirilerek etikete göre tanımlanmıştır. Genel olarak OpenCV ile görüntü işleme üzerine neredeyse her konuya değinilmiştir.

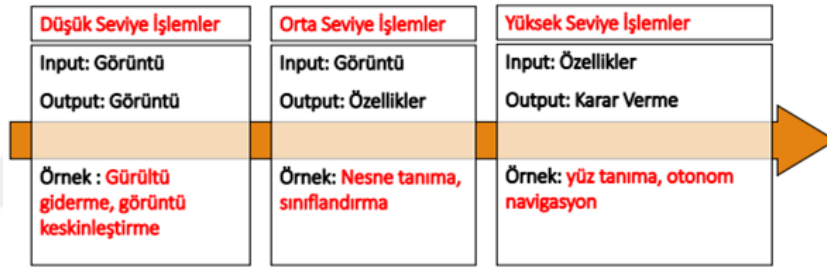
Özel ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada süspansiyon parçalarındaki çatlak tespiti derin öğrenme algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Derin öğrenme modellerinin tarihsel gelişiminden bahsederek Alexnet, ZFNet, GoogleNet, ResNet gibi mimarilerin ImageNet yarışmasındaki başarılarından söz etmişlerdir. Yapay sinir ağları ile nesne tespitini gerçekleştirebilmek için YOLO algoritması ve DarkNet modeli kullanılmıştır. Yüksek işleme hızından dolayı yüksek FPS (Frame Per Second) sağlayan YOLO (You Look Only Once) derin öğrenme algoritması ve Darknet modeli süspansiyon parçalarındaki çatlaklarda daha net tespitler elde etmeyi sağlamıştır. YOLO algoritmasının tanıma yetilerinden, hızından ve diğer ağ yapılarına göre daha iyi bir ağ yapısının olmasından kaynaklı tercih sebebi olduğuna değinmişlerdir. YOLO'nun sadece model boyutunu değiştirerek hız ve doğruluk arasında geçiş yapabildiğinden ve yeniden eğitim gerektirmediğinden bahsedilmiştir. Algoritmanın dört farklı versiyonu için denemeler yaparak sonuçları karşılaştırıp tespit doğruluğu en iyi ve en hızlı olan versiyonu belirlemişlerdir. OpenCV, NumPy, SciPy gibi Python kütüphaneleri kullanılarak tespit edilen deformasyon sayılarını belirlemişlerdir. Deformasyonlar için oluşturulan büyük veri setleri dört farklı algoritma versiyonu ile eğitilerek uygulamaya geçirilmiştir. Veri setini oluşturmak için önceden test edilmiş parçalarda oluşan

deformasyonlar, yeni test edilecek parçalarda oluşacak bütün deformasyonların görselleri ve videoları kullanılmıştır. Video ve resim verileri kaydedildikten sonra deformasyon bölgesinin koordinatlarını belirleyerek 'Broken' olarak etiketlemişlerdir. Veri formatı JPEG olarak güncellenip belirlenen koordinatlar YOLO algoritmasına uygun formata dönüştürülmüştür. Elde edilen verilerin %80'ini eğitim için %20'sini de test için kullanmışlardır. Normal koşullarda insan gözü ile tespit edilmeye çalışılan süspansiyon deformasyon ve çatlakları Python programlama dili ve Yapay Sinir Ağları ile zaman kaybı olmadan tespit edilmeye çalışılmıştır. Derin öğrenme ve yapay sinir ağları ile nesne tanıma algoritması geliştirerek süspansiyon parçalarından olan 'Salıncak' parçası üzerinde bulunan çatlak veya kırılmalar görüntü, video ve gerçek zamanlı olarak kamera üzerinden başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Kurulan sistem sayesinde parça üzerindeki deformasyonlar personel kontrolünde inisiyatif bırakılmadan kesin sonuçları yüzdelik tahmin ve görüntü üzerinden ekrana yansıtılmıştır. Ayrıca test edilen ürünlerde deformasyon ilerlemeden tespit gerçekleştirilerek sistem durdurulur. Yapılan çalışmanın en kritik dezavantajının eğitim esnasında donanımsal kaynaklı yetersizliklerin oluşabilmesi olduğu belirtilmiştir.

Karaduman ve arkadaşları (2022) katener sistemlerindeki izolator kusurlarının derin öğrenme ile tespit edilmesini hedeflemişlerdir. Elektrikli demiryolu hatlarındaki katener sistemlerin en önemli parçası olan izolatorlerde meydana gelen kırık ve yanmaların özellikle yüksek hızlı ray hatlarında güvenli çalışmayı engelleyerek ulaşımda kesintilere sebebiyet vermesinden bahsetmişlerdir. Katener sistemindeki izolatorleri arızalı ve sağlam olmak üzere iki sınıfa ayırarak hasar tespitini erken bir aşamada tamamlayıp katener sistemlerine en uygun zamanda müdahale ederek izolator kaynaklı kazaların önüne geçmeyi hedeflemişlerdir. Derin öğrenme tabanlı bir yöntem önererek 1100 adet görüntüden oluşan bir veri seti kullanmışlardır. Veri setinde bulunan görüntüleri test ve eğitim için kullanarak ResNet34 derin öğrenme mimarisinden yararlanmışlardır. Yapılan eğitimin sonucunda %95,7 oranında doğruluk, %99 oranında kesinlik ve %96,6 oranında duyarlılık ile sınıflandırılmıştır. Gerçekleştirdikleri çalışmanın sonucunda elde edilen değerler doğrultusunda katener sistemlerindeki izolator arıza tespitinin güvenilir bir şekilde yapılacağına kanaat getirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

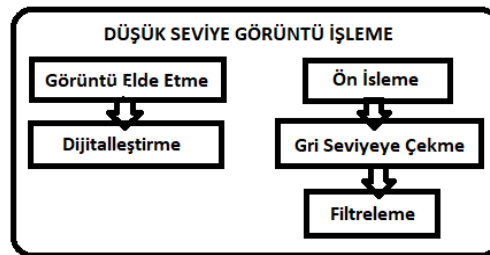
Tezin bu bölümünde düşük, orta ve yüksek seviyeli görüntü işleme yer verilmiştir. Düşük seviyeli görüntü işleme başlığı altında görüntünün elde edilmesinin yanı sıra gri seviyeye çevirme ve filtreleme gibi ön işleme teknikleri tanıtılmıştır. Orta seviyeli görüntü işleme başlığı altında ise kenar belirleme, eşikleme, morfolojik işlem ve histogram eşitleme teknikleri kullanılarak görüntü üzerinden çıkarım yapılmıştır. Bu tekniklerin MATLAB uygulamaları sonucunda elde edilen çıktılarına yer verilmiştir. Şekil 3.1’de görüntü işleme seviyeleri örnekleri ile birlikte gösterilmiştir. Yapılacak olan tez çalışmasında porselen izolator üzerindeki hasarların tespit edilmesi için yüksek seviyeli görüntü işleme başlığı altında destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve derin öğrenme ile görüntünün hasarlı veya hasarsız olduğuna Python programlama dili kullanılarak karar verilmiştir.



Şekil 0.1. Görüntü işleme seviyeleri

3.1. Düşük Seviyeli Görüntü İşleme

Düşük seviyeli görüntü işleme, görüntünün elde edilmesi ve ön işleme tabi tutulması ile iki temel aşamadan meydana gelmektedir. Şekil 3.2’de düşük seviyeli görüntü işleme adımları gösterilmiştir.



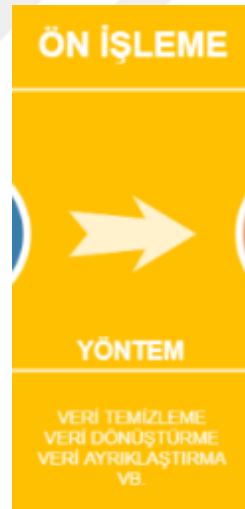
Şekil 0.2. Düşük seviye görüntü işleme adımları

3.1.1. Görüntüyü Elde Etme

Görüntü işleme için ilk adım, görüntünün kamera ile sayısal olarak elde edilmesidir. Yapılan tez çalışmasında havai hat izolatörlerine ulaşımın kolay olmaması nedeniyle drone sayesinde elde edilen porselen izolatörlerden oluşan ‘Insulator Defect Detection’ isimli veri seti <https://www.kaggle.com/> sitesinden temin edilerek görüntü işlemeye tabii tutulmak üzere kullanılmıştır.

3.1.2. Görüntü Ön İşleme

Sayısal görüntü, görüntü işleme uygulamalarına geçilmeden önce daha uygun bir duruma getirilmez. Görüntü iyileştirme, onarma ve sıkılaştırma gibi temel işlemler sayesinde görüntü işleme sonucu daha başarılı bir hale getirilir. Bu çalışmada elde edilen görüntüye gri seviyeye çekme ve filtreleme ön işlemleri uygulanmaktadır. Görüntü ön işlemedeki temel amacın veri temizleme, dönüştürme, ayrıştırma gibi yöntemler olduğu Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 0.3. Ön işleme yöntemleri

3.1.2.1. Gri Seviyeye Çekme

Renkli görüntülerde her bir renk 8 bit ile kodlanmaktadır. Renkli görüntüler R (kırmızı), G (yeşil) ve B (mavi)’den oluşan üç renk ile $3 \times 8 = 24$ bitlik veri olarak

görüntülenir. Böylelikle RGB görüntülerini oluşturan her bir piksel $(2^8) \times (2^8) \times (2^8) = 16.777.216$ farklı renkten oluşmaktadır. Gri seviyede olan görüntülerde ise siyah, beyaz ve gri tonlarındaki renkler bulunmaktadır. Siyah ve beyaz renk arasında kodlanan görüntülere ise gri ton (gray scale) görüntüleri adı verilmektedir.

Görüntü işleme uygulamalarında görüntüyü gri seviyeye çekme (dönüştürme) işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlem kırmızı, yeşil, mavi ve tonlarından oluşan görüntüyü siyah, beyaz ve gri tonlarına dönüştürür. Kısacası RGB renk uzayındaki görüntünün gri ölçekteki karşılığı elde edilir. Bu sayede elde edilen farklı görüntüler belli bir standarda kavuşmuş olur.



Şekil 0.4. Gri seviyeye çekme (Aslan, Y., 2020)

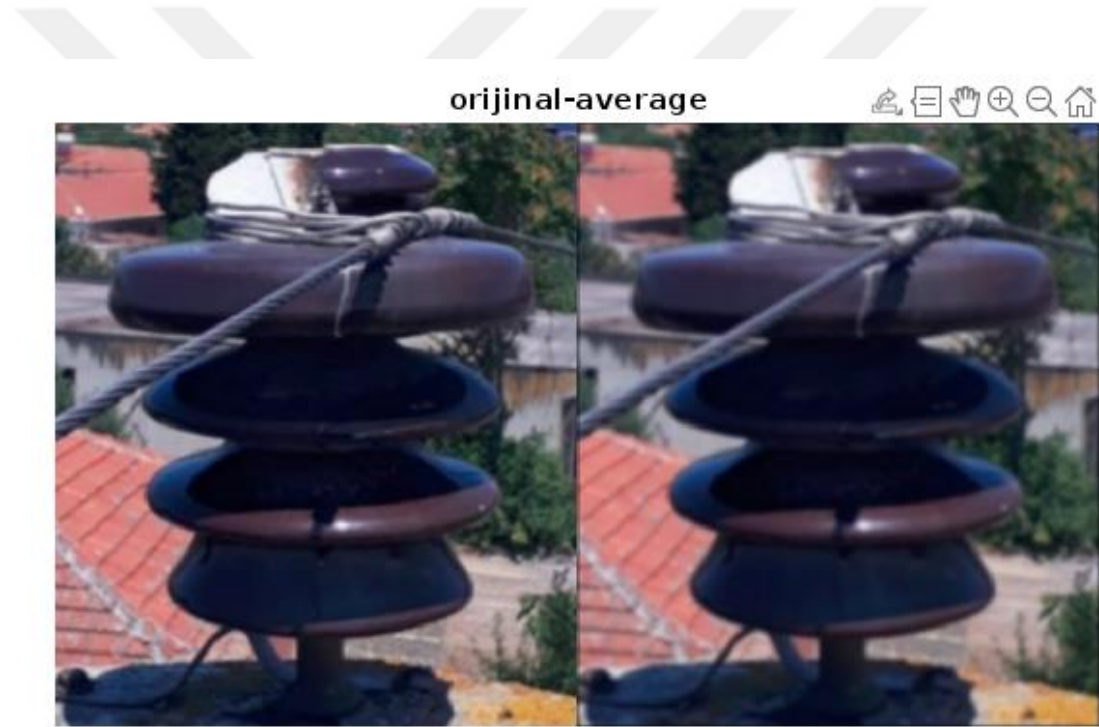
Şekil 3.4'te RGB görüntünün gri tona çekilmiş hali sunulmuştur. Gri tona çevirme, üzerinde işlem yapılacak olan neredeyse tüm görüntülere uygulanan bir görüntü ön işleme yöntemidir.

Bazı MATLAB komutlarında renkli görüntü üzerinde işleme yapılamaz. Bu sebeple görüntü işleme komutlarını hatasız bir şekilde kullanmak için MATLAB ortamında renkli bir görüntü 'rgb2gray' komutu ile gri seviyeye dönüştürülür.

3.1.2.2. Filtreleme

Görüntünün daha iyi bir hale getirilmesi amacıyla düşük seviye işlemlerde görüntüye filtreler uygulanır. Görüntü üzerine uygulanan filtreler sayesinde görüntü üzerindeki gürültüler giderilir, görüntü düzleşerek kenarlar iyileşir. Görüntüyü

yumuşatan yani gürültüyü gideren ve görüntüyü keskinleştirip kenar kuvvetlendiren olmak üzere temelde iki çeşit filtreleme işlemi bulunmaktadır. Yapılacak olan çalışmaya göre en uygun filtre seçilmelidir. Yumuşatma işlemleri için integral fonksiyonu kullanılır. Yumuşatma filtreleri görüntü üzerindeki gürültüleri azaltır ancak bunun sonucunda görüntüde bulanıklaşma meydana getirir. Bu filtre sayesinde görüntü üzerindeki küçük detaylar giderilir, eğri ve çizgiler arası boşluklar doldurulur. Yapılan tez çalışmasında izolatör üzerindeki çatlakların belirgin hale getirilmesi gerektiği için bu filtreleme yöntemi tercih edilmemiştir. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi MATLAB üzerinde bir yumuşatma filtresi olan Ortalama (Averaging) Filtresinin uygulandığı izolatör üzerindeki çatlağın daha belirsiz hale geldiği gözlemlenmiştir. Oysa yapılan tez çalışmasında izolatör üzerindeki çatlakların daha belirgin hale getirilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 0.5. Averaging yumuşatma filtresi uygulanmış izolatör (Aslan, Y. ve ark., 2020)

```
clc
clear all
close all
warning off
x=imread ('hasarli.png');
h=fspecial('average');
filtered_image=imfilter(x,h);
montage ({x,filtered_image})
title('orijinal-average');
```

Şekil 0.6. Averaging yumuşatma filtresi için MATLAB kodları

MATLAB üzerinde Averaging filtresinin gerçekleşmesi için Şekil 3.6'da belirtilen kodlar kullanılmıştır.

İzolatör üzerindeki çatlakların daha net bir şekilde görünmesi için görüntü üzerine keskinleşme filtrelerinden herhangi biri uygulanmalıdır. Bu sayede görüntü daha net bir hal alarak çatlak tespitinin kolaylaşması sağlanacaktır. Keskinleştirme filtrelerinde türev fonksiyonu kullanılarak görüntü üzerindeki kenarlar belirgin hale getirilir. Kalın kenarları 1. Türev, ince kenarları ise 2. Türev ortaya çıkarır. Tek boyutlu $f(x)$ fonksiyonunun birinci türevi;

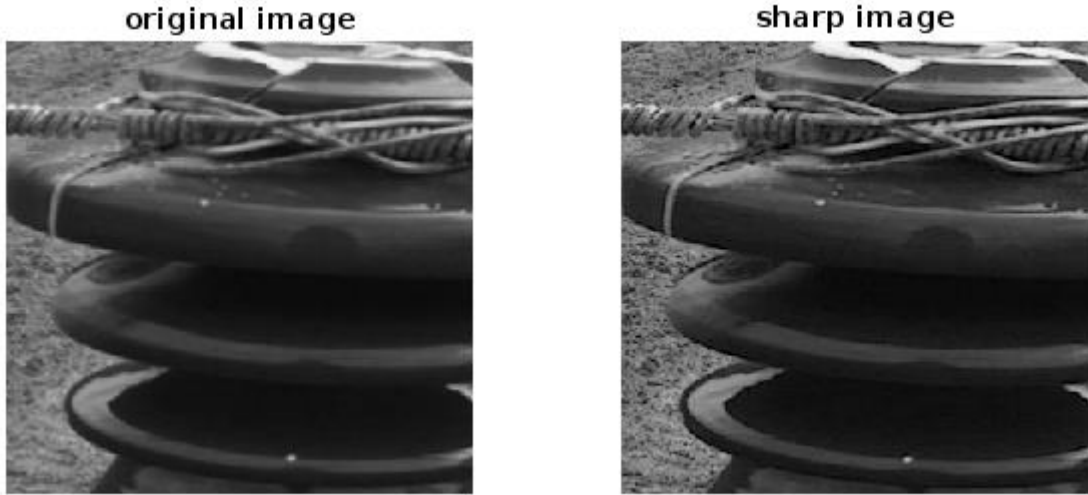
$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x + 1) - f(x) \quad (3.1)$$

Tek boyutlu bir $f(x)$ fonksiyonunun ikinci türevi;

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = f(x + 1) + f(x - 1) - 2f(x) \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir.

Şekil 3.7'de MATLAB üzerinde keskinleştirme filtresi uygulanmış izolatör görünmektedir.



Şekil 0.7. Keskinleştirme filtresi uygulanmış izolatör (Aslan, Y., 2020)

3.2. Orta Seviyeli Görüntü İşleme

Görüntü işlemenin ön hazırlık evresinde filtrelemeler sayesinde görüntü üzerindeki bulanıklık ve netlik üzerinde iyileştirmeler yapılarak düşük seviyeli görüntü işleme uygulamaları tamamlanmış olur. Orta düzeydeki görüntü işleme uygulamaları ile

de görüntü üzerindeki nesnelerin bölme ve tanıma işlemleri ile tanınması, tespit edilmesi işlemleri gerçekleştirilir. Orta seviye görüntü işleme sayesinde görüntü üzerindeki ilgili alan gözle görünür hale getirilerek belirginleştirilir ve bu sayede görüntü işleme gerçekleştirilmiş olur. İleri seviye görüntü işlemede ise tanımlanan nesnelerin yorumlanması yapılır. Bu çalışmada porselen izolatörler üzerindeki çatlak ve kırıkların tespiti için yüksek seviyeli görüntü işleme kapsamında destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve derin öğrenme ile izolatörler hasarlı ve hasarsız olarak sınıflandırılmıştır.

Düşük seviyeli işlemlerdeki amaç görüntü kalitesini artırmak olduğu için eğer görüntü kaliteli, yüksek çözünürlüklü cihazlarla elde edilmişse düşük seviyeli görüntü işleme adımları atlanarak direkt orta seviyeli görüntü işlemeye geçilebilir. Düşük seviye işlemlerinden olan görüntü iyileştirme ve onarmadan farklı olarak görüntü bölütleme sayesinde görüntü analizi yapılarak görüntü işleminin tanımlama aşamasına hazırlık yapılır. Orta seviyedeki işlemlerde kenar belirleme, eşikleme, morfolojik işlem ve histogram eşitleme sayesinde görüntü üzerindeki nesnelerin kenarları belirginleştirilir, görülmesi istenen ilgili kısımlar ortaya çıkarılır. Kenar ve ayrıntı belirleme işlemi gri seviyedeki görüntü üzerindeki süreksizliklere göre görüntü üzerindeki ani değişikliklere dayanarak görüntüyü bölmeleyip bölütleme işlemi yaparken eşikleme işlemi ise görüntü içerisindeki nesnelere arka plandan ayırarak görüntü benzerliklerini dikkate alıp bölge bölütlemesi yapmaktadır. Şekil 3.8'den de görüleceği gibi orta seviye görüntü işleme bölütleme (bölütleme) ve bunun sonucunda ilgili kısımların belirginleşmesi ile yapılacak olan çıkarım aşamalarından oluşmaktadır.



Şekil 0.8. Orta seviyeli görüntü işleme

3.2.1. Kenar Belirleme

Görüntünün gri seviye değerinin düşük olduğu alandan yüksek olduğu alana veya tam tersi yönde değişiklik gösterdiği yere kenar adı verilir. Görüntü işlemede ihtiyaca

göre çeşitli kenar belirleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler sayesinde görüntü üzerindeki nesnelerin kenar ve köşeleri ortaya çıkarılır. Çıkarılan kenar ve köşeler sayesinde nesne boyutları rahatlıkla ölçülür. Aynı zamanda kenarların belirginleştirilmesi ile nesne tipleri de belirlenebilir. Kenar tespiti sayesinde hedef bölgeler ve nesneler rahatlıkla tespit edilebilir. Kısacası kenar belirleme ile görüntü üzerindeki nesneler, arka planlar, ilgilenilen bölgeler birbirinden ayrıştırılabilir ve nesnelerin alanları ve sınırları tespit edilmiş olur.

Nesne tanıma problemlerinde kullanışlı olan kenar belirleme yöntemleri ile görüntü üzerindeki ani değişiklikler baz alınarak kenar ve köşeler belirlenir. Bir önceki adım olan filtreleme sayesinde kenarlardaki bulanıklıklar giderildiği için kenar belirleme teknikleri de daha verimli bir hale getirilir. Nesne tanıma problemlerinde kullanışlı olan kenar belirleme yöntemi görüntü işlemede temel bir öneme sahiptir.

Kenar belirlemede kullanılan Sobel, Canny, Laplacian of Gaussian (log) gibi pek çok teknik kullanılmaktadır. Bazı yöntemler mevcut görüntüde direkt eşikleme yaparken bazıları yapmamaktadır. Bundan dolayı eşikleme yapmayan kenar belirleme işlemleri sonrasında görüntüye eşikleme uygulama gereksinimi ortaya çıkabilmektedir. Aynı şekilde bazı yöntemler RGB görüntülere uygulanabilirken bazıları sadece gri seviyeye çekilmiş görüntüler üzerinde uygulanabilmektedir. Şekil 3.9'da gri seviyeye çekilmiş bir izolator üzerine uygulanmış Canny yönteminin MATLAB çıktısı gösterilmiştir. Bu yöntem sonucunda görüntü otomatik olarak eşiklemeye uğramıştır.



Şekil 0.9. Canny kenar belirleme yöntemi uygulanmış izolator (Aslan, Y. ve ark., 2020)

3.2.2. Eşikleme

Eşikleme işlemi görüntünün özelliklerini daha net bir şekilde ortaya çıkarmak için kullanılan temel bir orta seviye görüntü işleme tekniğidir. Nesne algılamada sıklıkla kullanılan en basit bölütleme yöntemlerinden biri eşiklemedir. Görüntü içerisindeki benzer nesnelere aynı gri seviyede olma eğiliminde oldukları için nesnelere belirlemek kolaylaşmaktadır. Üç katmandan oluşan RGB görüntüler gri seviyeye çekilerek tek katmanlı görüntüler elde edilir. Gri seviyedeki tek katmanlı bu görüntülerde nesnelere arası geçişler, arka plandan bağımsız nesnelere farklı piksel değerlerine sahip olduğu için belirlenecek olan bir eşik değere göre görüntü ikili seviyeye dönüştürülür. Tek renk katmanından oluşan gri seviyeli görüntülerin yanı sıra üç katmandan oluşan RGB görüntüler için de eşikleme işlemi uygulanabilir. Gri seviye görüntüler için sadece bir adet eşik değeri belirlenirken renkli görüntüler için RGB bileşenlerinin her bir katmanı için üç ayrı eşik değeri belirlenir. Uygun eşik değeri görüntüden görüntüye değişeceği için farklı yollarla tespit edilir. Görüntüyü istenilen duruma getirebilmek için eşik değeri deneme yanılma yöntemi ile belirlenebileceği gibi Histogramlar sayesinde nesne tespiti için eşik seçimi kolaylıkla belirlenebilir. Belirlenen eşik değerinin altında kalan pikseller siyah renge üstünde kalan pikseller ise beyaz renklere çevrilir (Çelikdemir, M. 2015). Eşikleme işlemi sonucunda görüntü sadece siyah ve beyaz renklerden oluşacak şekilde ikili seviyeye çekilmiş olur.

Eşikleme işlemi sayesinde görüntü içerisindeki beyaz bölgede bulunan siyah izler ve aynı şekilde siyah bölgede bulunan beyaz izler kolaylıkla tespit edilebilir. Yapılan tez çalışmasında izolatör üzerindeki çatlakları tespit edebilmek için bu teknik kullanılmıştır. İzolatör üzerindeki kırık veya çatlak, izolatör yüzeyindeki gri seviyede keskin değişikliklere sebebiyet vereceği için eşikleme sonrasında yüzeyde bulunan hasar daha belirgin hale getirilmiştir. MATLAB üzerinden yapılan uygulamada eşikleme işlemi öncesinde görüntünün gri seviyede olması gerekmektedir. Şekil 3.10'da çatlak izolatöre öncelikle Laplacian of Gaussian kenar belirleme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem MATLAB uygulamasında 'fspecial' komutu ile gerçekleştirilmiştir. Renkli olan görüntü 'fspecial' komutu ile gri seviyeye çevrilerek kenarlar ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra eşikleme sayesinde kenarları belirlenen görüntü ikili görüntüye dönüştürülmüş ve çatlak daha belirgin hale getirilmiştir.



Şekil 0.10. Gri seviye izolatör görüntüsüne eşikleme işlemi uygulaması (Aslan, Y. ve ark., 2020)

3.2.3. Morfolojik İşlem

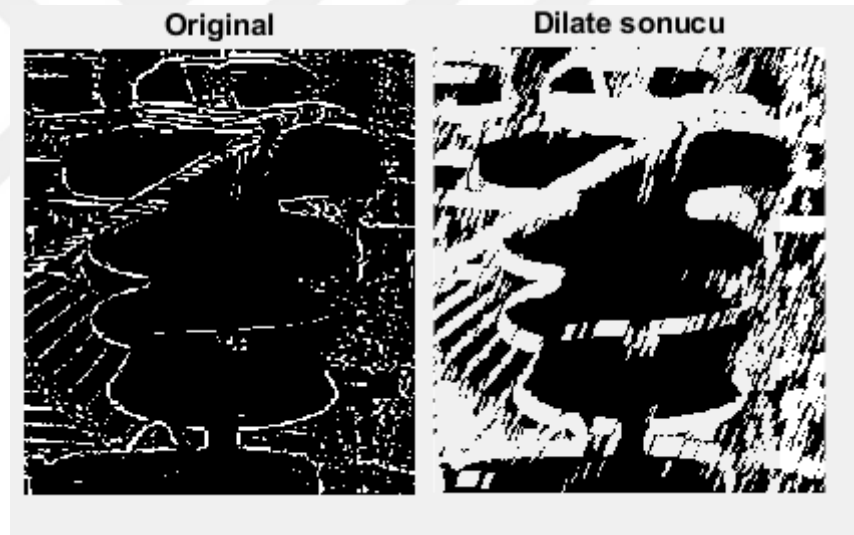
Biçim bilimi olarak bilinen morfoloji, biyolojide canlıların şekil ve yapıları ile ilgilenen, matematikte ise imgelerin sınırlarını, iskelet yapılarını çıkaran, gürültü giderme, bölütleme gibi uygulamalarda kullanılan bir araçtır. Görüntü üzerindeki ilgili alana odaklanarak istenilen bilgilerin elde edilmesinde morfolojik işlemler öznelik çıkarma aşaması olarak yapılmaktadır. Görüntü üzerindeki her piksel, çevresindeki diğer piksel değerlerine göre morfolojik işlemler sayesinde ayarlanabilir. Gri seviye görüntüler üzerinde uygulanabileceği gibi genellikle ikili görüntüler üzerinde uygulanmaktadır. Yayma (genişletme) ve aşındırma olmak üzere kullanılan iki temel morfolojik işlem Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 0.11. Morfolojik işlemler

3.2.3.1. Genişletme (Dilation) İşlemi

Görüntüleri şekillerine göre işleyen morfolojik görüntü işlemenin genişletme özelliği ile görüntü üzerinde genişletme yapılır. Temel bir morfolojik işlem olan yayma (dilation) sayesinde görüntü üzerinde ele alınan bölgenin sınırları genişletilir. Yapılan tez çalışmasında izolatör üzerindeki belli belirsiz kırık ve çatlakları tespit etmek için yayma işlemi uygulanarak kırık, çatlak yüzeyinin genişletilmesi amaçlanmıştır. Yapılan MATLAB uygulamasında genişletme işlemi için görüntünün ikili seviyede olması gerektiği için daha önce üzerinde log kenar belirleme ve eşikleme işlemi yapılmış olan görsel kullanılmıştır. şekil 3.12’de morfolojik işlemlerden olan genişletme işleminin uygulanmış olduğu izolatöre ait görsel sunulmuştur. İzolatör üzerindeki hasarların daha belirgin hale gelmesi sağlanmıştır.

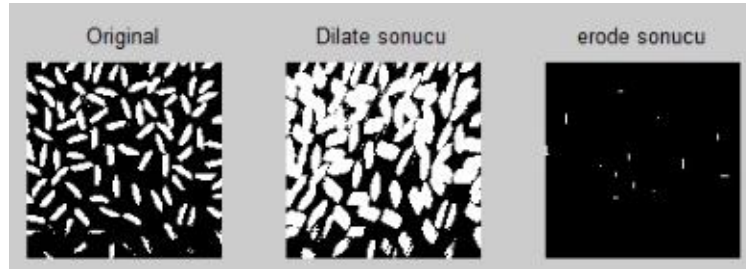


şekil 0.12. İkili görüntü üzerine genişletme işleminin uygulanması (Aslan, Y. ve ark., 2020)

3.2.3.1. Aşındırma (Erosion) İşlemi

Güçlü bir görüntü işleme analizi olan morfolojik görüntü işleme tekniklerinden olan aşındırma işleme ile görüntü üzerindeki nesnelere aşındırma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem sayesinde görüntüde bulunan istenmeyen gürültüler aşındırılarak temizlenmiş

olur. Aşındırma işlemi sonucunda ilgili yerler tamamen ortadan kaldırılabileceği gibi sadece sönümlenerek de çeşitli seviyelerde uygulanabilir.



Şekil 0.13. Genişletme ve aşındırma işleminin uygulaması

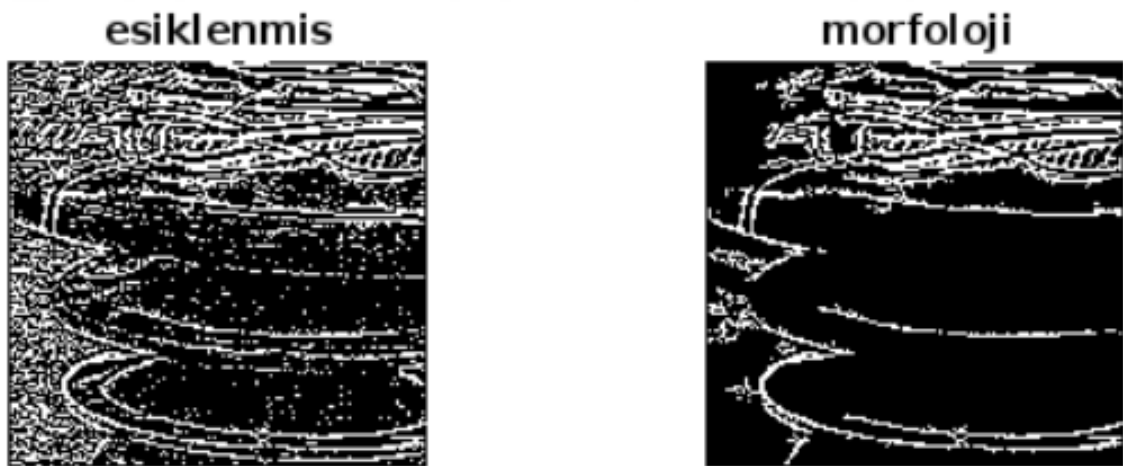
Şekil 3.13'te görüldüğü gibi pirinç tanelerinden oluşan bir görsel önce ikili moda dönüştürülmüş daha sonra da ikili moddaki görüntü üzerine hem genişletme işlemi hem de aşındırma işlemi uygulanmıştır. Genişletme işlemi sayesinde pirinçlerin boyutları artırılarak daha belirgin bir hale gelirken aşındırma işlemi neticesinde pirinçler neredeyse yok edilmiştir. MATLAB uygulamasında aşındırma komutlarındaki parametrelerde değişiklik yapılarak pirinçler tamamen de ortandan kaldırılabilir.

Aşındırma işlemi ikili moda dönüştürülen görüntü üzerinde inceltme veya küçültme gerçekleştirdiği için genişletme işleminin tersi olarak görüntüde bulunan kusurların kaybolmasına neden olur. Yapılan tez çalışmasında izolatör yüzeyinde bulunan çatlakların belirginleşmesi istendiği için aşındırma işlemi çatlakların kaybolmasına sebebiyet verir. Eşikleme yapılmış çatlak bir izolatör üzerine aşındırma işleme uygulandıktan sonra oluşan görsel Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Ancak aşındırma işlemi uygulanırken uygun parametre değerleri seçilip görüntü üzerindeki gereksiz kısımların ortadan kaldırılması sağlanabilir.



Şekil 0.14. Eşikleme yapılmış görüntüye aşındırma işleminin uygulaması (Aslan, Y. ve ark., 2020)

Eğer sayısal bir görüntüye genişletme ve aşındırma işlemi ardışık olarak uygulanırsa görüntüde açma işlemi meydana gelmektedir. Açma işleminde birbirine yakın iki nesne görüntüde fazla değişime sebebiyet vermeden ayrılmış olurlar. Açmanın tersi olarak sayısal görüntü üzerinde aşındırma ve genişletme işleminin ardışık uygulanmasıyla da kapama işlemi meydana gelmektedir. Dolayısıyla birbirine yakın iki nesne görüntüde fazla değişiklik yapılmadan birbirine bağlanmış olur. Eşikleme sonucu izolator üzerinde oluşan gereksiz gürültüler 'bwareopen' MATLAB komutu aracılığıyla deneme yanılma yöntemi ile tespit edilen uygun parametre ile kullanılarak Şekil 3.15.teki gibi aşındırılmıştır.

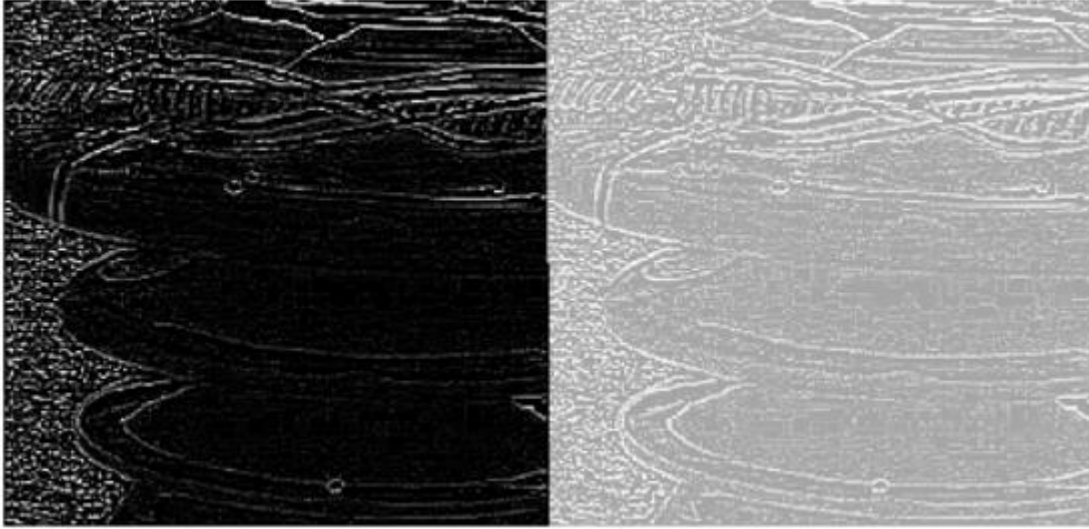


Şekil 0.15. Eşikleme sonucu oluşan gürültülerin morfoloji ile yok edilmesi (Aslan, Y., 2020)

3.2.4. Histogram Eşitleme

Bir görüntü üzerindeki renk değerlerinin belli yerlerde kümelenmiş olmasından kaynaklanan bozuk renk dağılımını dengelemek için histogram eşitleme kullanılır. Renk değerleri düzgün dağılımlı olmayan görüntüler için kullanılabilir bir görüntü iyileştirme yöntemidir.

Görüntü üzerinde kenar belirledikten sonra dengesiz renk dağılımını düzeltmek için histeq() MATLAB fonksiyonu kullanılarak Şekil 3.16.daki gibi görüntü uygun bir renk dağılımına kavuşturulmuştur.



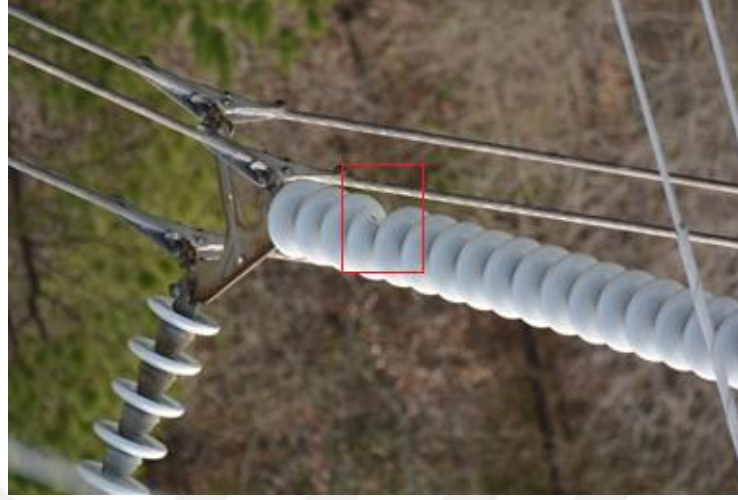
Şekil 0.16. Histogram eşitleme (Aslan, Y., 2020)

3.3. Yüksek Seviyeli Görüntü İşleme

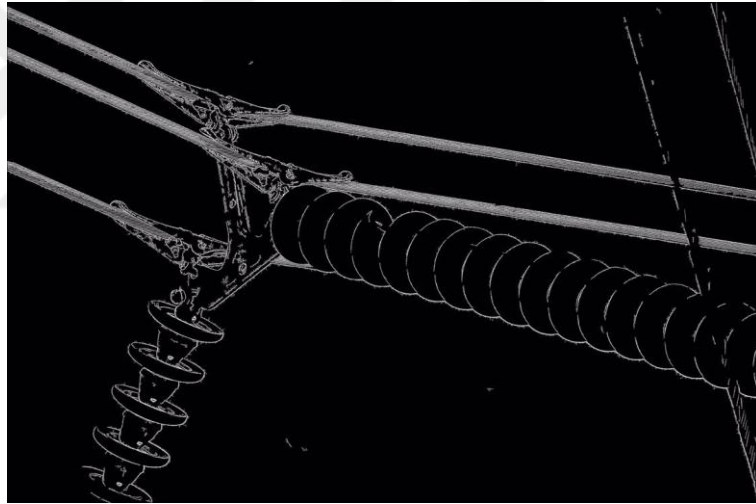
İnsan düşünce yapısını, karar verme yetisini ve yorumlamasını modellemek amacıyla ilk defa McCulloch-Pitts tarafından insan sinir sisteminden esinlenerek beyin fonksiyonlarının işleyişini hesaplayan bir model ortaya atılmıştır (McCulloch, W. S. ve Pitts, W., 1943). Daha sonraki dönemlerde Perceptron, Adaptive linear element gibi modeller ortaya konulsa da oluşturulan doğrusal modellerin XOR gibi doğrusal olmayan problemleri çözmemesi yapay sinir ağlarına olan ilgiyi azaltmıştır (Minsky, 1969). 1980'lerde paralel dağıtık işlem olarak tekrardan ortaya çıkan sinir ağı araştırmaları derin öğrenme temellerini atarak yapay sinir ağlarını eğitmek için geri yayılım algoritmasını başarıyla kullanılmıştır (İnik, Ö. ve Ülker, E., 2017). 2006 yılında derin sinir ağlarının açgözlü katmanlı ön eğitim yöntemleri ile etkili bir şekilde eğitileceğini gösteren Geoffrey Hinton, birçok başka derin ağların eğitimine katkıda bulunmuştur (Hinton, Osindero ve ark., 2006). Yapay zekânın geçmişten günümüze yolculuğu bu şekilde gerçekleşmiştir.

Bu tez çalışmasında düşük seviyeli ve orta seviyeli görüntü işleme adımları ile görüntü istenilen düzeye getirilmiş gereksiz arka plandan sıyrılıp dikkat çekmesi gereken yerler belirginleştirilmiştir. Orijinal hali Şekil 3.17'de gösterilen görüntünün bu işlemler sonucunda elde edilen görüntüsü Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Bu seviyeye getirilen görüntü yüksek seviyeli görüntü işleme safhasında artık yorumlanabilir. Yüksek seviyeli

görüntü işleme ile yapay zekâ algoritmaları gibi çeşitli karar verme mekanizmaları ile görüntü sınıflandırılabilir (Kızılkaya, A., 2008).



Şekil 0.17. Porselen havai hat izolatörü



Şekil 0.18. Görüntü işleme sonucu elde edilen porselen havai hat izolatörü

Sınıflandırma yapılabilmesi için görüntülerin sınıflandırma kategorisine göre etiketlenmesi gerekmektedir. Kullanılacak yöntemlere göre veri setinde bulunan tüm görüntülerin tek tek etiketlenmesi gerekebileceği gibi sadece kategorilerine göre klasörlenmesi de yeterli olabilmektedir. Etiketleme sonucunda istenilen kategoriye göre görüntü sınıflandırması yapılabilmektedir.

Bu tez çalışması sonucunda görüntü işleme ile arka planı temizlenmiş, gereksiz ayrıntılardan arındırılarak dikkat edilmesi gereken kısımları belirginleştirilmiş izolatörlerden oluşan veri setindeki hasarlı ve hasarsız izolatörler sınıflandırılmıştır.

Bunun için hasarlı ve hasarsız olmak üzere iki ayrı klasör oluşturulması gerekmektedir. Kullanılacak yöntemlere göre test ve geçeleme için de ekstra klasöre ihtiyaç duyulabilmektedir. Planlanan sınıflandırmanın yapılabilmesi için Destek Vektör Makineleri, Yapay Sinir Ağları ve Derin Öğrenme yöntemlerinin kullanılması uygun görülmüştür. Her bir yöntem için ayrı ayrı Python programlama dilinde kodlar yazılarak gerekli sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemler için hazırlanması gereken uygun klasörler Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 0.1. Sınıflandırma için gerekli olan klasörler

	Eğitim		Test		Geçerleme	
	Hasarlı	Hasarsız	Hasarlı	Hasarsız	Hasarlı	Hasarsız
Destek Vektör Makineleri	Gerekli	Gerekli	Gereksiz	Gereksiz	Gereksiz	Gereksiz
Yapay Sinir Ağları	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
Derin Öğrenme	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli

İzolatörlerin hasarlı ve hasarsız olarak sınıflandırılabilmesi için yüksek seviyeli görüntü işleme yöntemlerine başvurulmalıdır. Bu yöntemlerin uygulanabilmesi için MATLAB ya da Python programlama dilleri arasında bir tercih yapılmıştır. Gerek kullanım kolaylığı gerek erişilebilir kaynağın fazla olması gerek veri bilimi, yapay zekâ gibi konularda sıkça kullanılan kütüphaneler barındırmasından kaynaklı sınıflandırma için Python programlama dili üzerinden çalışmaya devam edilmiştir. Tümüleşik bir Python dağıtımı olan Anaconda ücretsiz olarak indirilerek içinde barındırdığı Jupyter ve Spyder gibi araçlarla kolaylıkla kullanılabilir.

3.3.1. Destek Vektör Makineleri

Görüntüyü oluşturan her bir pikselin tüm banttaki değerlerinin diğer pikseller ile karşılaştırılarak belirlenen sınıflara göre benzer piksellerin belirlenmesi işlemine görüntü

sınıflandırma denir. Destek vektör makineleri bir düzlem üzerine yerleştirilmiş noktaları ayırmak için bir doğru çizen gözetimli öğrenme yöntemlerinden biridir.

Doğrusal olarak ayrılabilen iki sınıflı problemlerde eğitim için $i=1, \dots, k$ olduğu kabul edilerek k sayıda veriden oluşan eğitim verisinin $\{x_i, y_i\}$ eşitsizlikleri denklem (3.3) ve (3.4)'te gösterilmiştir.

$$y = +1 \text{ için } w \cdot x_i + b \geq +1 \quad (3.3)$$

$$y = -1 \text{ için } w \cdot x_i + b \leq -1 \quad (3.4)$$

Bu denklemlerde $x \in R^N$ olup N -boyutlu uzayı, $y \in \{-1, +1\}$ şeklinde sınıf etiketlerini, w ağırlık vektörünü ve son olarak da b eğilim değerini ifade etmektedir. (Osuna E.E. ve ark., 1997)

Bu çalışmada bir makine öğrenme algoritması olan Destek Vektör Makinelerinin (DVM) kernel fonksiyonu kullanılarak sınıflandırma performansından yararlanılmıştır. Kernel fonksiyonu sayesinde normalde doğrusal olarak ayrılamayan sınıflar doğrusal ayrılarak daha başarılı sonuçlar elde edilir. Kernel fonksiyonun kullanımı için matematiksel ifadesindeki bazı parametreler uygun değerlere ayarlanmalıdır (Kavzoğlu, T. ve Çölkesen, İ., 2010).

$$K(x_i, x_j) = \varphi(x) \times \varphi(x_j) \quad (3.5)$$

Destek vektör makineleri denklem (3.5)'te ifade edilen bir kernel fonksiyonu sayesinde verilerin yüksek boyutta doğrusal olarak ayrılmasına olanak sağlar. Sonuç olarak kernel fonksiyonu aracılığıyla doğrusal olarak ayrılamayan iki sınıflı bir problem çözülebilir. Bu çalışmada destek vektör makinelerinde kullanılan temel kernel fonksiyonlarından polinom ve radyal tabanlı fonksiyon kerneli kullanılmıştır.

Parametresi, polinom derecesi (d) olan polinom kernelinin matematiksel ifadesi denklem (3.6)'da gösterilmektedir.

$$K(x, y) = ((x \cdot y) + 1)^d \quad (3.6)$$

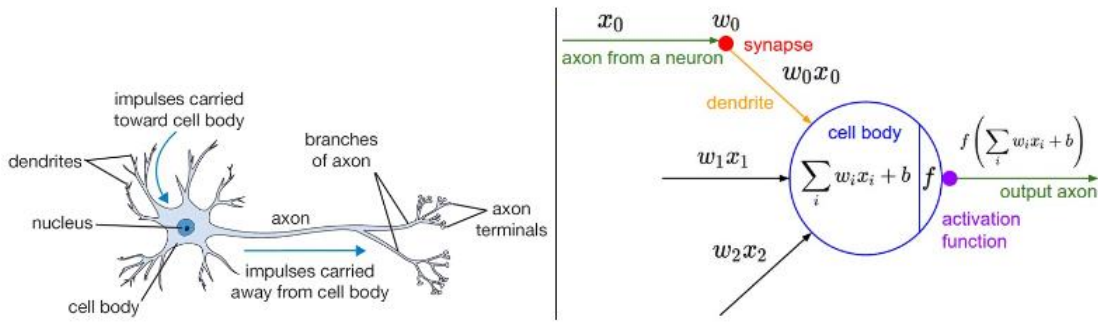
Parametresi, kernel boyutu (γ) olan radyal tabanlı fonksiyon kernelinin matematiksel ifadesi denklem (3.7)'de gösterilmektedir.

$$K(x, y) = e^{-\gamma \|x - x_i\|^2} \quad (3.7)$$

Kernel fonksiyonuna özgü parametrelerin yanında tüm destek vektör makineleri için yanlış sınıflandırma hatalarının minimum hale getirilmesini kontrol eden düzenleme parametresi olan C deneme yöntemi ile belirlenmiştir (Cortes, C. ve Vapnik, V., 1995).

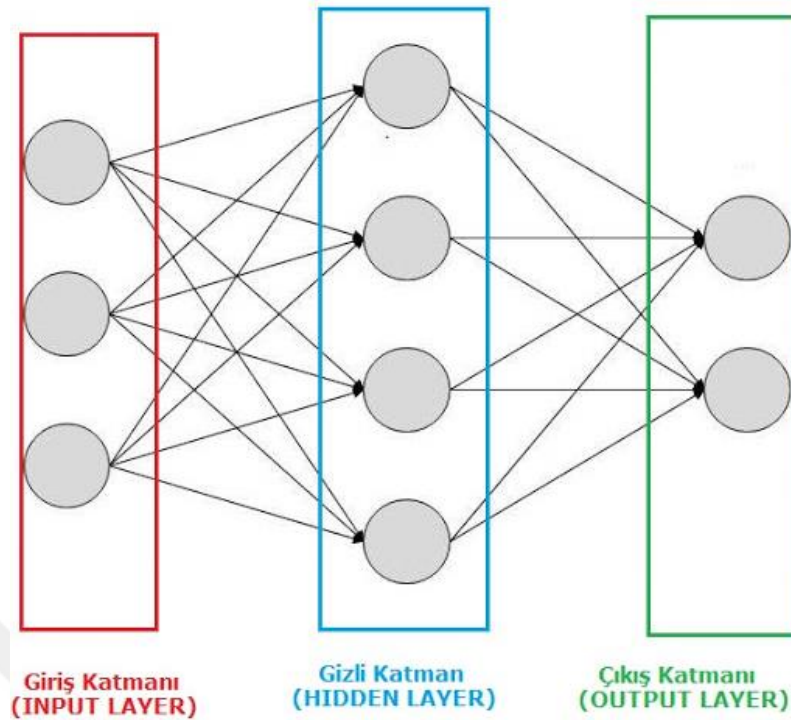
3.3.2. Yapay Sinir Ağları

Nöron olarak isimlendirilen sinir hücresi, sinir sisteminin temel fonksiyonel bir birimidir. Kısa uzantıları dentrit, uzun uzantıları akson olan nöronlar sinir sistemini oluşturan hücrelerdir. Şekil 3.19'da matematiksel modeli verilen biyolojik sinir hücresinden esinlenerek giriş, nöronlar arasındaki bağlantı ile ilişkili olan ağırlık (w), toplama işlemi, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış olmak üzere beş kısımdan oluşan yapay sinir hücresi geliştirilmiştir (Aktaş, A., 2020). Dış dünyadan alınan bilgiler giriş olarak yapay sinir hücresine iletilir. Girişlerin yapay sinir hücresi üzerindeki etkisini belirleyen katsayılar ağırlıklardır. Yapay sinir hücresine gelen girişin hesaplanması toplama işlemi ile gerçekleştirilir. Aktivasyon fonksiyonu ise yapay sinir ağında çıkış genliğini istenilen şekilde sınırlar. Son olarak çıkış sonucu dış dünyaya gönderir (Çelik, E., 2011).



Şekil 3.19. Nöron ve matematiksel modeli

Yapay sinir ağları biyolojik sinir sistemimizin çalışma şeklini taklit eden bir bilgi işlem teknolojisidir. Bilgiler arasında ilişki kurarak model seçimi ve sınıflandırması, işlev tahmini, en uygun değeri bulma ve veri sınıflandırması gibi işlevlerde başarı sağlarlar. Şekil 3.20'de gösterildiği gibi Giriş Katmanı, Ara (Gizli) Katman ve Çıkış Katmanı olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır (Sağiroğlu, Ş., 2012).



Şekil 3.20. Yapay sinir ağının yapısı

İnsan beyninden esinlenerek geliştirilen yapay sinir ağları, olayları öğrenerek benzer olay karşısında mantıklı kararlar verip temel işlevi olan bilgisayar öğrenmesini sağlamaktadır. Geleneksel programlarda bilgiler veri tabanlarında veya dosyalarda belli bir düzende tutulurken yapay sinir ağlarında ağın tamamına yayılarak ağ bağlantılarında saklanır. Bu sayede nöronlardan bazılarının işlevini kaybetmesi ağın çalışmasını engellememektedir. Bu da programlama dilinin göz ardı edilemeyecek bir hata toleransına sahip olduğunu göstermektedir.

Yapay sinir ağları örneklerden öğrenme becerisine sahiptir. Kendisine sunulan örnekleri kullanarak olayın girdi ve çıktı arasındaki ilişkisini öğrenmeyi hedeflemektedir. Çizelge 3.2’de gösterildiği gibi yapay sinir ağlarında danışmanlı, danışmansız ve pekiştirmeli öğrenme olmak üzere üç yaklaşım bulunmaktadır. En fazla kullanılan öğrenme metodu danışmanlı öğrenmedir. Danışmanlı öğrenmede ağa giriş ve çıkış bilgileri verilerek önce ağ eğitilmelidir. Danışmansız öğrenme metodunda ise ağa sunulan girdiler arasındaki ilişkilere bakılarak bir bağlantı düzenlenir. Bu bağlantıya göre ağırlıklar sınıflandırma yaparak öğrenme işlemini tamamlar. Danışmansız öğrenme günümüzde sınırlı kullanılmakla birlikte gelecekte bilgisayarların insan yardımı olmadan öğrenebileceklerinin göstergesidir. Pekiştirmeli öğrenme ile danışman yerine elde edilen çıktının verilen girişe karşılık iyi veya kötü olarak değerlendirmesini sağlayan bir kriter

kullanılmaktadır (Atalay, M., Çelik, E., 2017). Yapılan tez çalışmasında danışmanlı öğrenme metodu ile hasarlı ve hasarsız izolatörler ağa tanıtılarak ağın eğitilmesi sağlanmıştır.

Çizelge 0.2. Yapay sinir ağlarında öğrenme çeşitleri

Öğrenme Çeşidi	Özellikleri
Danışmanlı Öğrenme	Girdi ve çıktı değerleri ağa sunulur.
Danışmansız Öğrenme	Girdiler arasındaki ilişkiye bakılır.
Pekiştirmeli Öğrenme	Girdi ve çıktı arasındaki kritere göre değerlendirir.

Yapay sinir ağları ağın yapısına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Ataseven, B., 2013). İleri beslemeli ağlar da kendi içerisinde tek katmanlı ve çok katmanlı olarak sınıflandırılmaktadır. Tek katmanlı yapay sinir ağları doğrusal sistem çözümlerinde kullanılan sadece girdi ve çıktı katmanlarından oluşan bir modeldir. Şekil 3.21’de görülen değeri daima 1 olan eşik girdisi ağın çıktısının 0 olmasını engeller. Ağın çıktısı denklem (3.8) gösterildiği gibi w_i ile ağırlıklandırılmış x_i girdileri ile φ eşik değerinin toplamı sonucu elde edilir (Arı, A. Ve Berberler M. E., 2017).

$$\zeta = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + \varphi) \quad (3.8)$$

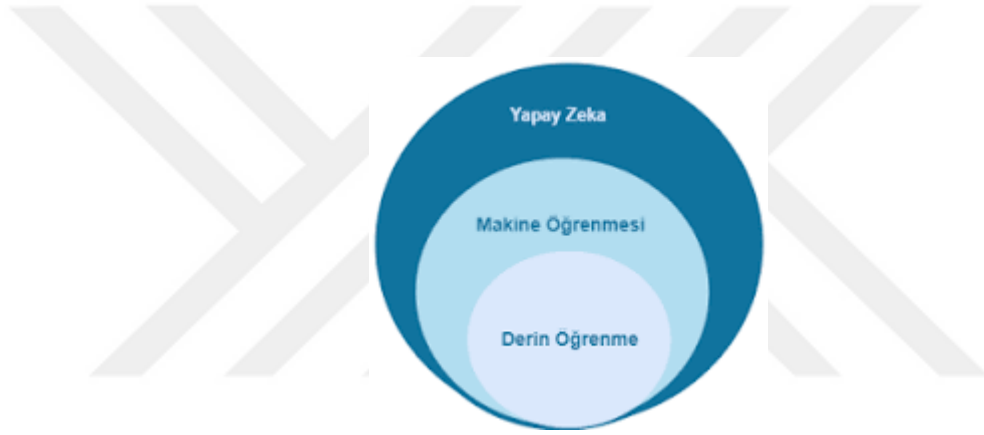


Şekil 3.21. Tek katmanlı yapay sinir ağı modeli

Çok katmanlı ağlar farklı nöron sayılarına sahip giriş katmanı, bir veya daha fazla katmandan oluşan gizli katmanlar ve çıkış katmanından oluşan bir yapıya sahiptir (Sabancı, K. ve ark., 2012). Çok katmanlı yapay sinir ağları doğrusal olmayan sistem çözümlerinde iyi sonuçlar üretirken tek katmanlı yapay sinir ağları genel olarak doğrusal olarak ayrılabilen sınıflandırma problemlerinde kullanılır. Genellikle danışmansız öğrenme kurallarının uygulandığı geri beslemeli ağ mimarilerinde bir sinirin çıkışı diğer her bir sinirin girişine bağlıdır (Aba, F., 2014). Bu çalışmada ileri beslemeli çok katmanlı ağ yapısı kullanılmıştır.

3.3.3. Derin Öğrenme

Makinelerin bir işi insanlar gibi çözmesini sağlayan tekniklere yapay zekâ denilmektedir. Yapay zekânın bir alt kümesi olan makine öğrenimi ile bilgisayarların programlanmadan örnekler aracılığıyla öğrenebilmesi sağlanmıştır. Yapay sinir ağları canlıların beyninde yer alan sinir ağlarının modellenmesi ile oluşturulmuş bir makine öğrenme metodudur. Yapay sinir ağları bir makine öğrenim metodu olan derin öğrenmenin de temellerini oluşturmaktadır. Yapay zekânın bu gelişimi Şekil 3.22. ile görselleştirilmiştir. Makine öğreniminin alt dalları olan yapay sinir ağları ve derin öğrenme ile görüntü işlemek mümkündür.



Şekil 3.22. Yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme gelişim sıralaması

Derin öğrenme, en az bir adet yapay sinir ağının (YSA) kullanıldığı ve benzeri birçok makine öğrenme algoritması ile bilgisayarda var olan verilerden yeni verilerin elde edilmesidir. Açık kaynak kodlu yazılım kütüphanelerinin bulunmasından kaynaklı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. En çok kullanılan araçlardan biri olan TensorFlow, makine öğrenimi ve derin sinir ağları uygulamalarını devam ettirmek için Google Beyin ekibi tarafından geliştirilmiştir (Daş, R. ve ark., 2019). TensorFlow, algılama, keşfetme, sınıflama, anlama ve öngörü uygulamalarında kullanılan açık kaynak kodlu yapay zekâ ve makine öğrenmesi kütüphanesidir. TensorFlow veri akış grafikleri kullanarak modeller oluşturur, çok katmanlı ve geniş ölçekli yapay sinir ağları oluşturmak için yazılımcılara olanak tanır (Tokui S. ve ark., 2015). Derin öğrenme algoritmalarının görüntü işlemede kullanılması karmaşık görüntü işleme problemlerinin kolayca çözüme kavuşmasını sağlamıştır.

Bu tez çalışmasında görüntü işlemede sıklıkla kullanılan ve girdi olarak görselleri alan CNN (Convolutional Neural Networks) derin öğrenme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma görsellerdeki özellikleri yakalayıp onları sınıflandırmaktadır. CNN sonucunda çıkış boyutunda azalma meydana gelir. Giriş matrisinin ($n \times n$), ağırlık matrisinin ($f \times f$) olması durumunda çıkış matrisi ile giriş matrisi arasında boyut farkının olmaması isteniyorsa denklem (3.9) uygulanmalıdır (Kızrak, M. A. ve Bolat, B., 2018).

$$\left[\frac{n+2p-f}{s} + 1 \right] \times \left[\frac{n+2p-f}{s} + 1 \right] \quad (3.9)$$

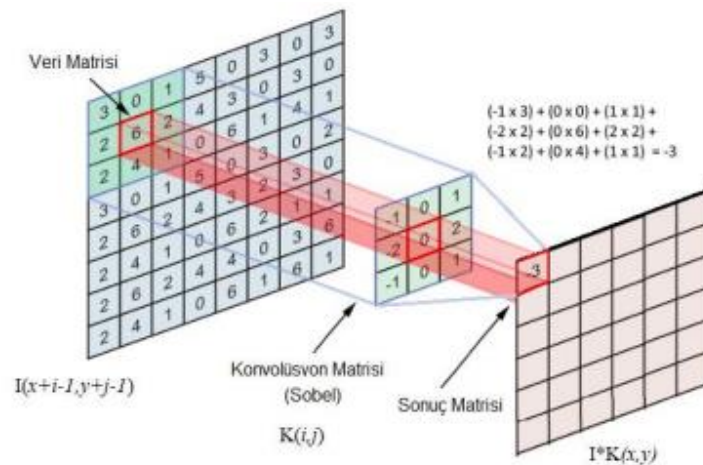
Denklem (3.10) ile değeri belirlenen 'p' eklenen pikseli ifade etmektedir.

$$p = (f - 1)/2 \quad (3.10)$$

Çizelge 0.3. CNN katmanları

CNN Katmanları	İşlevleri
Evrişimli Katman	Görüntüye filtre uygulayarak özellik çıkarır.
Pooling Katmanı	Sinir ağının doğru karar vermesi için ağırlık sayısını azaltır.
Tamamen Bağlantılı Katman	Öğrenme işlemi için süreç bu katmanda başlar.

CNN genel itibari ile Çizelge 3.3'te görüldüğü gibi evrişimli, pooling ve tamamen bağlantılı olmak üzere üç temel katmandan oluşmaktadır. Her katman ayrı bir amaç doğrultusunda sindirilen veri üzerinde bir görev gerçekleştirerek öğrenimini tamamlar. Algoritmaya yüklenen görsellerin özellikleri CNN'nin ana yapı taşı olan evrişimli katmanda belirlenir. Şekil 3.23'de görselleştirilen evrişimli katmanda matematiksel olarak denklem (3.11) uygulanır.



Şekil 3.23. Evrişimli katman

$$(I * K)_{xy} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w K_{ij} \cdot I_{x+i-1,y+j-1} \quad (3.11)$$

Bu işlem sonucunda $(x+i-1),(y+j-1)$ boyutlu I matrisi üzerine (i,j) boyutlu K filtresi uygulanarak (x,y) boyutlu $I*K$ veri matrisi elde edilir (Metlek, S. ve Çetiner, H., 2021).

Ağ içindeki parametreleri ve hesaplama sayısını azaltmak için pooling katmanına ihtiyaç duyulur. Pooling katmanı sayesinde ağdaki uyumsuzluk kontrol edilmiş olur. CNN'nin son ve en önemli katmanı olan tamamen bağlantılı katmanı sayesinde sinir ağı yoluyla öğrenme işlemi gerçekleştirilmiş olur.



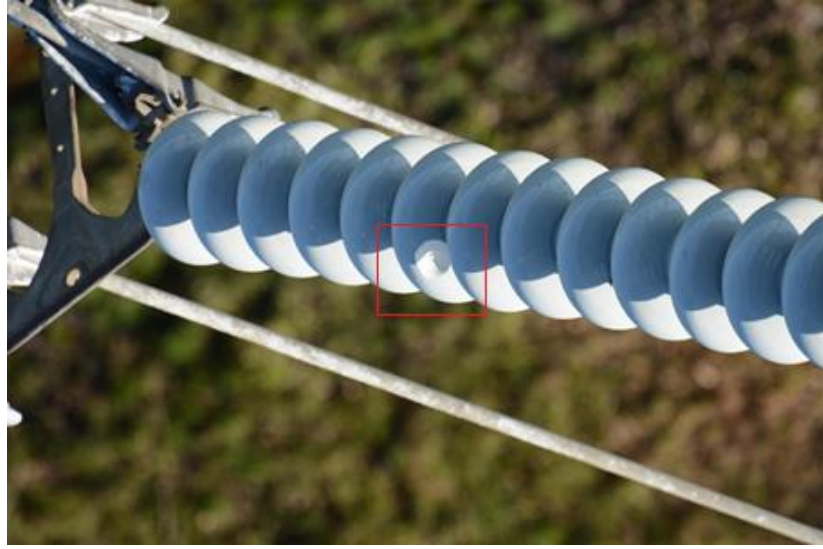
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Görüntü İşleme

Sağlıklı bir enerji nakil hattının sağlanması için gerekli olan şartlardan biri de sorunsuz izolatörlerdir. İletkenin direk ile temasında izolasyon sağlayan izolatörler hasarlandığı zaman yalıtım da sekteye uğrayacağı için izolatörlerin hasar tespiti önem teşkil etmektedir. Aksi takdirde hasarı zamanında tespit edilemeyen izolatörler enerji nakil hattının tamamen durmasına sebebiyet verebilir. Hasarlı izolatörleri tespit etmek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlere göre nakil hattına çıkılmış veya uzaktan çeşitli cihazlarla tespit edilmeye çalışılmıştır. Uzaktan tespit için nakil hattında enerji olması gerekirken diğer birçok yöntem de enerji nakil hattına çıkmayı gerektirdiği için görüntü işleme ile tespit üzerine yoğunlaşmaya başlanmıştır. Bu tez çalışmasında drone ile elde edilen havai hat porselen izolatörlerin hasarları tespit edilmeye çalışılmıştır. Tezde kullanılan görüntüler Kaggle sitesinden temin edilmiştir. Görüntünün verimli bir şekilde sınıflandırma algoritmalarına uygulanabilmesi için öncesinde Şekil 4.24'te belirtilen çeşitli görüntü işleme tekniklerinin kullanılması uygun görülmüştür. Orijinal görüntü Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Görüntü üzerinde bir standart sağlamak için ön işleme olarak ilk önce görüntü gri seviyeye çekilmiştir. Bu sayede ileride kullanılacak yöntemlerin uygulanabilir olması için gri görüntüye ihtiyaç duyulması durumuna bir ön hazırlık yapılmış olunur.



Şekil 4.24. Görüntü işleme adımları



Şekil 4.25. Orijinal porselen izolatör

Görüntü işlemenin nihai sonucunun daha iyi olabilmesi için işlenecek olan görüntülere uygun filtreler uygulanmıştır. Yumuşatma filtresi neticesinde hasarlar bulanıklaşmış gibi görünse de nihai sonuçta gereksiz gürültüleri sönmülediği için hasarlı kısmın belirginleşmesine büyük katkı sağlamıştır. Şekil 4.26'da 'Average' filtresi uygulanmış görüntü gösterilmiştir.

Average



Şekil 4.26. Yumuşatma filtresi uygulanan izolatör

Görselin kenarlarını belirginleştirip sonraki adımlara kolaylık sağlamak için log kenar belirleme ön işlemesi uygulanarak Şekil 4.27'deki görüntü elde edilmiştir.

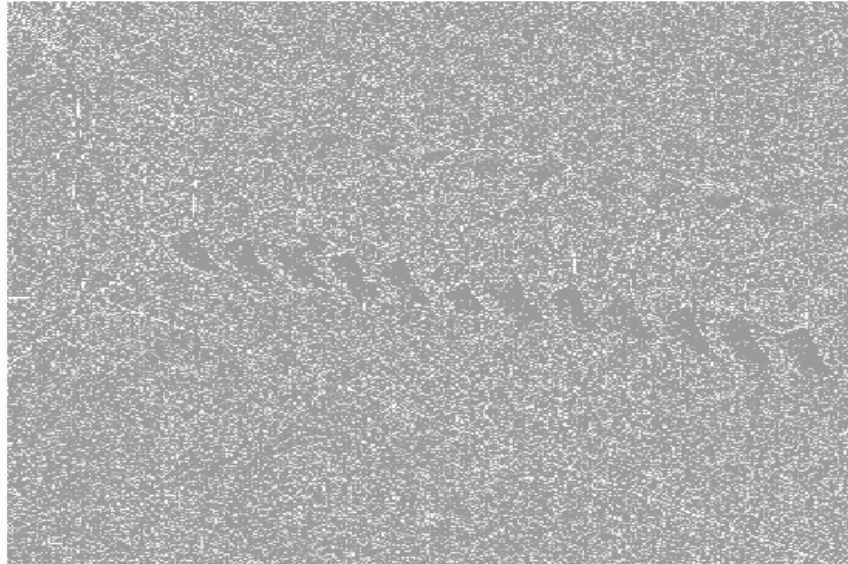
log



Şekil 4.27. 'Log' kenar belirleme işlemi sonrası izolatör

Oluşan görüntüde eşit bir renk dağılımı sağlamak için histogram eşitleme ile görsel açılmıştır. Histogram sonucu elde edilen görsel Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

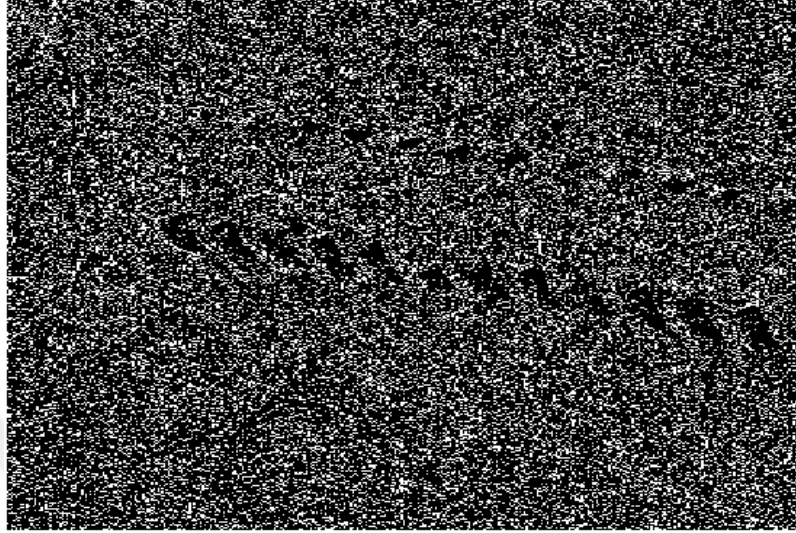
esitlenmiş



Şekil 4.28. Histogram eşitleme işlemi sonrası izolatör

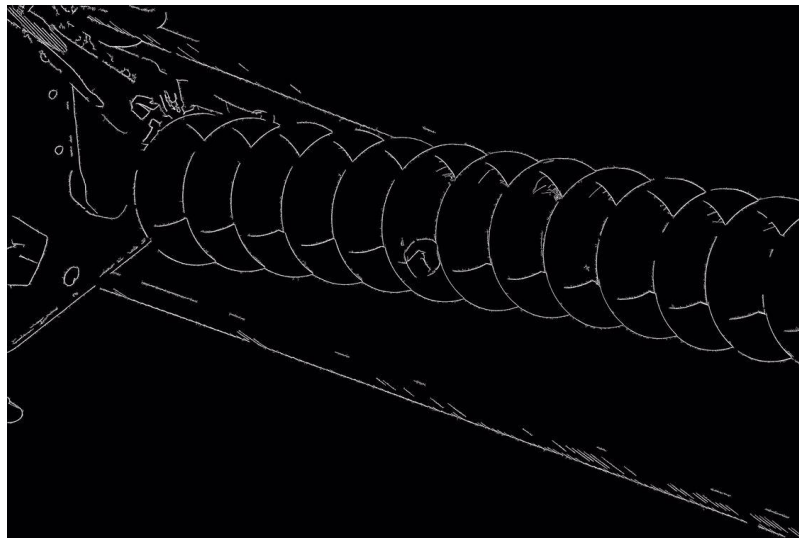
Görsel için en uygun eşik değeri MATLAB komutu ile belirlendikten sonra görsel ikili seviyeye çekilmiştir. Eşiklenmiş görsel Şekil 4.29'da gösterilmiştir.

esiklenmiş



Şekil 4.29. Binary seviyeye çekilmiş izolatör

Bu işlem neticesinde oluşan gereksiz gürültülerin temizlenmesi için morfolojik görüntü işleme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Deneme yanılma yöntemi ile tespit edilen en uygun parametre doğrultusunda uygulanan morfolojik işlemler neticesinde görüntü Şekil 4.30'daki haline kavuşmuştur. Her görüntü için farklı bir parametre ayarı yapılması gerektiği için bu görüntü işleme adımı veri setine döngü şeklinde uygulanamayıp tek tek uygulanmıştır.



Şekil 4.30. Morfolojik işlem sonucu elde edilen izolatör

4.2. Sınıflandırma

Kaggle sitesinden temin edilen havai hat porselen izolatörlere uygulanan görüntü işleme sonucunda elde edilen sağlıklı görseller ile yeni bir veri seti hazırlanmıştır. Hazırlanan veri seti temelde hasarlı ve hasarsız izolatörler olmak üzere iki ayrı klasöre ayrılmıştır. Destek Vektör Makineleri, Yapay Sinir Ağları ve Derin Öğrenme yöntemleri ile aynı veri seti ayrı ayrı eğitilerek sonuçta elde edilen ağız izolatörleri hasarlı ve hasarsız olmak üzere iki sınıfa ayırması beklenmiştir. Python programlama dili kullanılarak yapılan eğitim sonucundaki üç ayrı yöntem için de üç ayrı doğruluk yüzdesi elde edilmiştir.

Destek vektör makinesi aracılığı ile yapılacak olan sınıflandırma işlemi için hasarlı ve hasarsız olmak üzere toplamda 348 adet veri kullanılmıştır. Bu veri setinin 174 adeti hasarlı porselen izolatör görüntüsünden oluşurken 174 adeti ise hasarsız porselen izolatör görüntüsünden oluşmaktadır. Görüntü işleme sonucu elde edilen 752x1128 boyutundaki verilerin destek vektör makinesi ile eğitiminin zaman almasından kaynaklı olarak veriler Python programlama dili ile 224*224 boyutuna getirilmiştir. Bu çalışmada veri setinin %20'si test olarak ayrılmıştır. Test seti eğitime dahil edilmeden eğitimin sonucunda oluşan model ile yapılacak tahminde kullanılmıştır. Şekil 4.31'de Destek Vektör Makineleri kullanılarak elde edilen test doğruluk oranı gösterilmiştir.

```
In [41]: from sklearn.metrics import accuracy_score

In [42]: y_pred=model.predict(x_test)
...: print("The predicted Data is :")
...: print(y_pred)
...: print("The actual data is:")
...: print(np.array(y_test))
...: print(f"The model is {accuracy_score(y_pred,y_test)*100}% accurate")
The predicted Data is :
[0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0
 0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 1 1 1]
The actual data is:
[0 0 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0
 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1]
The model is 66.66666666666666% accurate
```

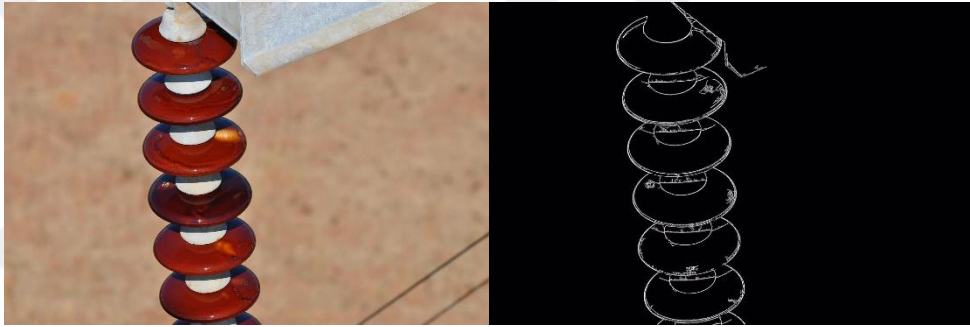
Şekil 4.31. DVM test doğruluk sonucu

Destek vektör makinelerinde test için ayrılan Şekil 4.32'de gösterilen hasarlı görsel eğitim sonucunda sağlam olarak tahmin edilirken Şekil 4.33'deki atlama sonucu

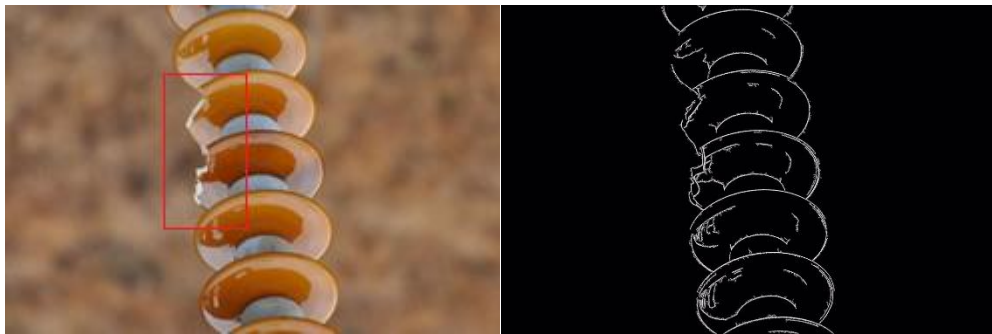
hasar alan izolatör görseli ise hasarlı olarak doğru tahmin edilmiştir. Destek vektör makineleri eğitimi sonucunda doğru tahmin edilen görsellerden iki tanesi de Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te gösterilmiştir. Hasarsız olmasına rağmen hasarlı olarak yanlış tahmin edilen görsel de Şekil 4.36'da paylaşılmıştır.



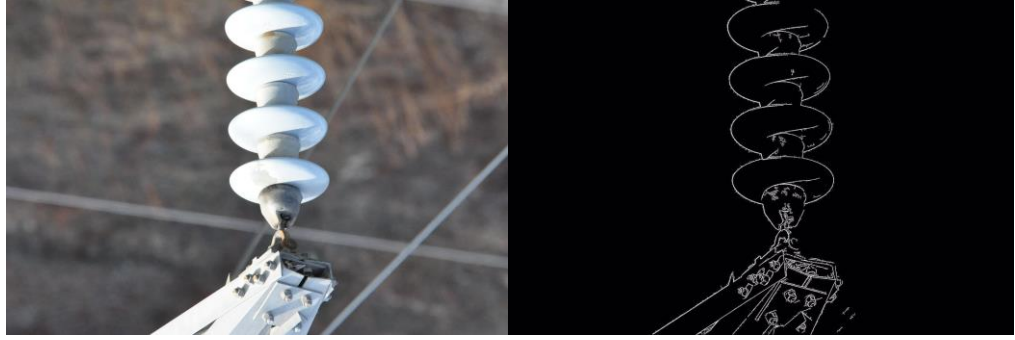
Şekil 4.32. Hasarlı olmasına rağmen hasarsız olarak tahmin edilen veri



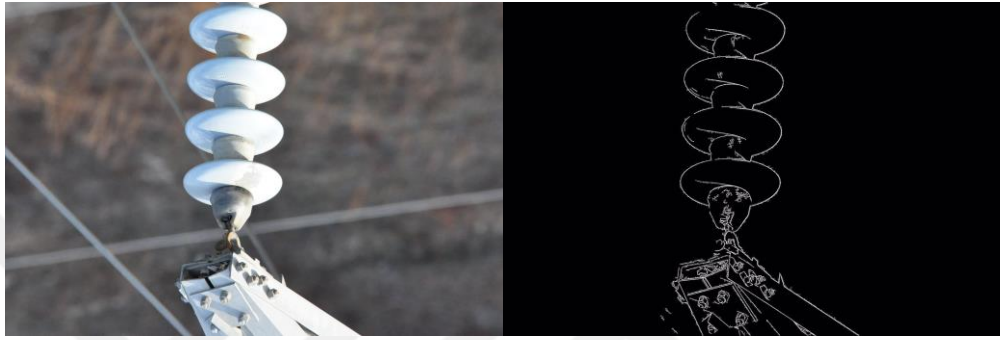
Şekil 4.33. Atlama sonucu hasarlı olduğu doğru tahmin edilen veri



Şekil 4.34. Hasarlı olduğu doğru olarak tahmin edilen veri



Şekil 4.35. Hasarsız olduğu doğru olarak tahmin edilen veri



Şekil 4.36. Hasarsız olmasına rağmen hasarlı olarak tahmin edilen veri

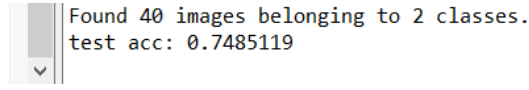
Eğitime başlamadan önce hasarlı ve hasarsız olmak üzere izolatörler ayrı olarak klasörleştirilmiştir. Veri setinin %20'si geçerleme ve test için ayrılmıştır. Toplamda 348 adet veri kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağı eğitimi için gerekli Python kütüphaneleri indirilerek veri setinde bulunan tüm görseller 224x224 olarak yeniden boyutlandırılmıştır. 20 iterasyonluk bir eğitim sonucunda test doğruluk oranı %60 olarak elde edildiği Şekil 4.37'de gösterilmiştir.

```
20/20 [=====] - 0s 648us/sample - loss: 0.8097 - accuracy: 0.6000
test loss, test acc: [0.8097089529037476, 0.6]
```

Şekil 4.37. YSA test doğruluk sonucu

Python programlama dili aracılığıyla derin öğrenme uygulayabilmek için 348 adet veriden oluşan veri seti eğitim, test ve geçerleme olmak üzere üçe ayrılmıştır. Veri setinin %20'si test ve geçerleme için kullanılmıştır. Oluşturulan üç klasörün her birinde izolatörler hasarlı ve hasarsız olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Son olarak Derin Öğrenme yöntemlerinden olan CNN sonucu 20 iterasyon ile eğitilen ağın test doğruluk oranı Şekil

4.38’de gösterilmiştir. Kullanılan ağı yapısında evrişimsel sinir ağı modeli olan VGG16 kullanılmıştır.



Şekil 4.38. Derin Öğrenme test doğruluk sonucu

Sonuçta 348 adet veri barındıran aynı veri seti kullanılarak DVM, YSA ve Derin Öğrenme yöntemleri ile gerçekleştirilen eğitim sonucunda elde edilen test doğruluk oranları Çizelge 4.4.te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Test doğruluk sonuçları

Sınıflandırma Yöntemi	DVM	YSA	Derin Öğrenme
Test Doğruluk Oranı	%66	%60	%74

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında arızalı ve arızalı olmayan izolatörlere görüntü işleme tekniklerinden olan gri seviyeye çekme, filtreleme, kenar belirleme, histogram eşitleme, eşikleme, morfolojik işlem uygulanmış ve görüntü sınıflandırma yöntemleri ile de arızalı ve arızalı olmayan izolatörler sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma yöntemleri için de DVM, YSA ve Derin Öğrenme yöntemleri kullanılmıştır. Bu teknik ve yöntemler ile ilgili detaylı kaynak araştırması yapılmış, sözü geçen teknikler ve yöntemler tanıtılarak elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

Görüntü işleme neticesinde bir görüntü üzerindeki gereksiz ayrıntılar elenir, görüntü kalitesi yapılacak olan işlem doğrultusunda istenilen konuma getirilir. Tez kapsamında yapılan görüntü işleme çalışması sonucunda izolatör üzerindeki hasarları belirginleştirmek için uygulanan keskinleştirme filtresinin görüntü işlemenin son safhasında gereksiz ayrıntıları ortaya çıkararak asıl kısmın görülmesini engellediği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun neticesinde keskinleştirme yerine yumuşatma filtresi kullanılarak gereksiz ayrıntılardan kurtulup görüntünün ilgili yerlerinin ön plana çıkarılması sağlanmıştır.

Kullanılan görüntü işleme teknikleri sonucunda elde edilen yeni görseller ile oluşturulan veri seti sınıflandırma algoritmalarında kullanılmak için hasarlı ve hasarsız olmak üzere ikiye ayrılmıştır. DVM algoritmasını gerçekleştiren Python kodu ağa verilen veri setinden %20 oranında test verisi ayırarak eğitimini tamamlamış ve sonuç olarak %66 başarı elde etmiştir. YSA ve Derin Öğrenme için test ve geçerleme olmak üzere iki ayrı klasör daha oluşturulmuştur. Eğitim sonucunda sırasıyla %60 ve %74 oranında başarı elde edilmiştir. Literatürde, laboratuvar ortamında yapılan benzer çalışmalar yapılmış ve yüksek test doğruluk oranları da elde edilmiştir. Ancak bu tez çalışmasında kullanılan veri setinin gerçek saha görüntülerinden oluşmasından dolayı elde edilen doğruluk oranları daha gerçekçidir.

Kaggle sitesinden elde edilen porselen havai hat izolatör görsel boyutlarının büyük olmasından kaynaklı olarak görüntü işleme sürecinde sorunlarla karşılaşmıştır. Çalışmada kullanılacak tüm görseller Yeniden Boyutlandırma sitesinde işlenebilecek boyuta getirilmiştir. Elde edilen yeni boyutlu görseller MATLAB aracılığı ile sorunsuz bir şekilde işlenmiştir. Sınıflandırma algoritmalarında görüntü boyutlarından kaynaklı tekrardan sorun çıkması doğrultusunda eğitim için kullanılacak tüm görseller Python'da

yazılan kodla 224x224 boyutuna çekilmiştir. DVM, YSA ve Derin öğrenme algoritmalarında aynı boyuttaki görseller kullanılmıştır.

5.2. Öneriler

Tez çalışmasında kullanılan MATLAB komutları her görsel için parametre değişikliği gerektirdiği için kısa sürede daha fazla veriye işleme yapılamamıştır. Tüm görüntüleri kapsayacak bir görüntü işleme komutu sistemin daha hızlı çalışmasını olanak tanıyacaktır. Bu sayede çok daha fazla görüntü üzerinde işlem yapılabilecek ve sınıflandırma algoritmalarında kullanmak için oluşturulan veri seti daha fazla görsel barındıracaktır. Daha fazla görselin bulunduğu bir veri seti de ağa daha fazla veri sunduğu için eğitimin daha verimli geçmesini sağlayarak eğitim sonucunda test doğruluk oranının artmasını neden olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aslan, Y., Sis, S. A. ve Eker, M. K., 2021, Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan Sis Tipi VHD35 Pin İzolatörün Sonlu Elemanlar Yöntemi Temelli Kısmi Deşarj Analizi, *Politeknik Dergisi*, 24(4):1499-1510.
- Aslan, Y., 2020, VHD-35 İzolatörde Kısmi Deşarj Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- İnce, Ö., Şenel, İ. K. ve Yılmaz, F. 2020, Image Processing and Analysis in Health: Advantages, Challenges, Threats and Examples, *Arc Health Sci Res*, 7 (1), 66-74.
- Qi, Y., Mu, S., Wang, J. ve Wang, L. 2021, Intelligent Recognition of Transmission Line Inspection Image Based on Deep Learning, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1757 012056.
- Atalay, M. ve Çelik, E., 2017, Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt.9 Sayı.22 - Aralık (s.155-172).
- Ozan, C., 2012, İyileştirilmiş Pekiştirmeli Öğrenme Yöntemi ve Dinamik Yükleme ile Kentiçi Ulaşım Ağlarının Tasarımı, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Denizli.
- Öztemel, E., 2012, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul
- Şen, Z., 2004, Yapay Sinir Ağları İlkeleri, İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul.
- Özel, M., Baysal, S. ve Sahin, M., 2021, Derin Öğrenme Algoritması ile Dinamik Test Süresince Süspansiyon Parçalarında Çatlak Tespiti, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 1-5.
- Daş, R., Polat, B. ve Tuna, G., 2019, Derin Öğrenme ile Resim ve Videolarda Nesnelere Tanınması ve Takibi, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 31(2), 571-581.
- Demir, Ö., 2006, MATLAB Gereçleri ile Görüntü İşleme Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çağıl, G., Okcu, F. ve Güngör, N., 2019, Ambalaj Yüzeyindeki Hataların Görüntü İşleme Tekniği ile Tespiti, *Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi*, 2(3), 37-45.
- İnik, Ö. ve Ülker, E., 2017, Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, Cilt/Volume : 6 Sayı/Number: 3, Sayı/Pages: 85-104.
- Güvenoğlu, E. ve Bağırhan, M., 2019, Shearlet Dönüşümü ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Kot Kumaşlar Üzerinde Gerçek Zamanlı Hata Tespiti, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(3); 491-502.

- Şengür, A., Türkoğlu, İ. ve İnce, M., 2008, Endoskopik Görüntülerin Değerlendirilmesinde Görüntü İşleme Temelli Akıllı Bir Karar Destek Sistemi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(1); 33-42.
- Aba, F., 2014, Görüntü İşleme ve Yapay Sinir Ağları Kullanarak Mineral Tanıma, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Aktaş, A., 2020, Derin Öğrenme Yöntemleri ile Görüntü İşleme Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Solak, S. ve Altınışık, U., 2017, Görüntü İşleme Teknikleri ve Kümeleme Yöntemleri Kullanılarak Fındık Meyvesinin Tespit ve Sınıflandırılması, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (1), 56-65.
- Sabancı, K., Aydın, C. ve Ünlerşen, M., 2012, Görüntü İşleme ve Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Patates Sınıflandırma Parametrelerinin Belirlenmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (2,Ek:A), 59-62.
- Çelik, E., 2011, Görüntü İşlemeye Dayalı Avuç İçi İzinin Yapay Sinir Ağı ile Tanınması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kızılkaya, A., 2008, EEM 740 Sayısal Görüntü İşleme, Pamukkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Denizli.
- Tanyıldızı, E. ve Okur, S., 2016, Retina Görüntülerindeki Kan Damarlarının Belirlenmesi, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 28 (2), 15-22.
- Pişkin, M. Opencv ile Görüntü İşleme.
- Öztürk, Ş., 2015, Cam Üretim Hatalarının Görüntü İşleme Tabanlı Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Uçar, K., 2018, Silindirik Cisimlerin Görüntü İşleme ile Hata Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çelikkemir, M., 2015, Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Betonlarda Meydana Gelen Çatlakların Görüntü İşleme Tekniği ile Tespit Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Gökkaya, H., 2020, Derin Öğrenme Teknikleri ile Anomali İçeren Metal Somunların Hata Tespit ve Sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Cebeci, M. ve Şenpınar, A., 2003, Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Sızıntı Akımlarına Dayalı Bir Görüntü ve Uyarı Cihazının Tasarımı, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 183-191.
- Dengiz, H. H., 1991, Enerji Hatları Mühendisliği, Kardeş Kitapevi Yayınları.

- Gençer, N. C., 2015, Yıldırım ve Aşırı Gerilimlerin Yüksek Gerilim Hatlarına Etkileri-Direklerin Topraklama Direnci ile izolatörlerin Atlama Gerilimi İlişkisi-Parafudrlar-Transformatör Eklatörlerinin Etkin(!)liği, *Tmmob Emo Ankara Şubesi Haber Bülteni*.
- Chen, S., Su, C., Kuang, Z., Ouyang, Y. ve Gong, X., 2021, Insulator Fault Detection in Aerial Images Based on the Mixed-Grouped Fire Single-Shot Multibox Detector, *Journal of Imaging Science and Technology*, 65(3).
- Yan, B., Chen, Q., Ye, R. ve Zhou, X., 2019, Insulator Detection and Recognition of Explosion Based on Convolutional Neural Networks, *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, 17(2).
- Tudevdagva, U., Battseren, B., Hardt, W. ve Troshina, G. V., 2018, Image Processing Based Insulator Fault Detection Method, *2018 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2018 - Proceedings*.
- Changfu, X., Chengbo, H., Jiayuan, X., Yunpeng, L., Kaiyuan, Z. ve Shaotong, P., 2017, Influence of Deteriorated Porcelain Insulator on Electric Field and Potential Distribution of Insulators Strings in 110kV Transmission Lines, *2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities, ICSGSC 2017*.
- Miao, P. ve Xu, Z., 2014, Summary of the Transmission Line Insulator Leakage Current Characteristics Extraction, *Gaoya Dianqi/High Voltage Apparatus*, 50(8).
- Bardeen, A. W. ve Sheadel, J. M., 1956, Corrosion as It Affects Insulator and Conductor Hardware, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part III: Power Apparatus and Systems*, 75(3).
- Vaillancourt, G. H., Bellerive, J. P., St-Jean, M. ve Jean, C., 1994, New Live Line Tester for Porcelain Suspension Insulators on High-Voltage Power Lines, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 9(1).
- De Chiffre, L., Carmignato, S., Kruth, J. P., Schmitt, R. ve Weckenmann, A., 2014, Industrial Applications of Computed Tomography, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 63(2).
- Cavallini, A., Chandrasekar, S., Montanari, G. C. ve Puletti, F., 2007, Inferring Ceramic Insulator Pollution by an Innovative Approach Resorting to PD detection, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 14(1).
- Hampton, B. F. ve Meats, R. J., 1988, Diagnostic Measurements at UHF in Gas Insulated Substations, *IEE Proceedings C: Generation Transmission and Distribution*, 135(2).
- Kurrer, R. ve Feser, K., 1998, The Application of Ultra-High-Frequency Partial Discharge Measurements to Gas-Insulated Substations, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 13(3).

- Schichler, U. ve Gorablenkow, J., 2000, Experience with UHF PD Detection in GIS Substations, *Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, 1.
- Li, C. R., Shi, Q., Cheng, Y. C., Lin, G. ve Xingquan, H., 1998, Identifying Faulty Insulator Strings by Detecting Insulator Corona Pulse Current, *POWERCON 1998 - 1998 International Conference on Power System Technology*, Proceedings, 1.
- Okabe, S., Ueta, G., Hama, H., Ito, T., Hikita, M. ve Okubo, H., 2014, New Aspects of UHF PD Diagnostics on Gas-Insulated Systems. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 21(5).
- Jeon, S., Kim, T., Lee, Y. J., Yi, J., Choi, I. H. ve Son, J. A., 2019, Porcelain Suspension Insulator for OHTL: A Comparative Study of New and Used Insulators Using 3D-CT, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 26(5).
- Wong, K. L., 2004, Application of Very-High-Frequency (VHF) Method to Ceramic Insulators, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 11(6).
- Birlasekaran, S. ve Li, H. J., 2000, Detection of Faulty Insulators on Power Transmission Line, *2000 IEEE Power Engineering Society, Conference Proceedings*, 4.
- Akalp, O., Kaya, İ. ve Efe, S. B., 2016, Yüksek Gerilim Teçhizatlarında Dış Etken Kaynaklı Arızaların Analizi ve Azaltılması, *Mühendislik Dergisi*, 7(1), 51-62.
- Çetin, E., Özer, L. ve Çetin, N. M., 2004, Porselen İzolatörlerde İzolasyon Problemleri, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2), 287-292.
- Türkyurt, M., 2010, Yüksek Gerilim Hatları için İzolatör Malzeme Üretimi ve Kalite Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Li, Y. ve Huang, C., 2014, Aging Diagnosis of Silicone Rubber Composite Insulator Based on Conduction Current Test, *2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*.
- Çayiroğlu, İ., Görüntü İşleme Ders Notları, Karabük Üniversitesi.
- Samtaş, G. ve Gülesin, M., 2011, Sayısal Görüntü İşleme ve Farklı Alanlardaki Uygulamaları, *Electronic Journal of Vocational Colleges*.
- Küpeli, C. ve Bulut, F., 2020, Görüntüdeki Tuz Biber ve Gauss Gürültülerine Karşı Filtrelerin Performans Analizleri, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3/2: 211-239.
- Karakuş, M. ve Bulut, F., 2010, Görüntü İyileştirme Ve Onarma Teknikleri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Yıldız, G. ve Yıldız, D., 2018, Morfolojik İşlemler ve Kenar Algılama Yöntemler Vasiyasıyla Beyin Tümör Yeri Tespiti ve Tümör Alan Hesabının Yapılması,

International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 2(2): 39-42.

Kızılkaya, A., 2008, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Atalı, G., Özkan, S. S. ve Karayel D., 2016, Morfolojik Görüntü İşleme Tekniği ile Yapay Sinir Ağlarında Görüntü Tahribat Analizi, *Apjes IV-I*, 01-07.

Kavzoğlu, T. ve Çölkesen, İ., 2010, Destek Vektör Makineleri ile Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılmasında Kernel Fonksiyonlarının Etkilerinin İncelenmesi, *Harita Dergisi*, 144.

Campbell, J.B., 1996, Introduction to Remote Sensing, *Guilford Press*, New York.

Ataseven, B., 2013, Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Öneri, 10 (39), 101-115.

Kaggle [online], <https://www.kaggle.com/> [Ziyaret Tarihi: 22 Aralık 2022].

Inmr [online], <https://www.inmr.com/bad-things-can-happen-to-insulators> [Ziyaret Tarihi: 20 Ekim 2022].

Yeniden Boyutlandırma! [online], <https://www.resizenow.com/tr> [Ziyaret Tarihi: 4 Ocak 2023].

Cortes, C. ve Vapnik, V., 1995, Support-Vector Network, *Machine Learning*, 20(3): 273–297.

McCulloch, W. S. ve Pitts, W., 1943, A Logical Calculus of The Ideas Immanent in Nervous Activity, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4): 115–133.

Minsky, M. L. a. P., S. A., 1969, Perceptrons, *MIT Press*, Cambridge, 15.

Hinton, G. E., S. Osindero ve Y.-W. Teh, 2006, A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets, *Neural computation*, 18(7): 1527–1554.

Tokui S., Oono K., Hido S. ve Clayton J., 2015, A Next-Generation Open Source Framework for Deep Learning, *In Proceedings of workshop on machine learning systems (LearningSys) in the twenty-ninth annual conference on neural information processing systems (NIPS)*, vol. 5, 2015, pp. 1–6.

Osuna, E.E., Freund, R., Girosi, F., 1997, Support Vector Machines: Training and Applications, *Massachusetts Institute of Technology and Artificial Intelligence Laboratory*, Massachusetts, A.I. Memo No. 1602, C.B.C.L. Paper No. 144.

Sağiroğlu, Ş., 2012, Identifying Three Linear Systems Using Only Single Neural Model, *Journal of Polytechnic*, 15(4), 191-198.

- Arı, A., Berberler, M. E., 2017, Yapay Sinir Ağları ile Tahmin ve Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Arayüz Tasarımı, *Acta Infologica*, 1 (2)
- Kızrak, M. A. ve Bolat B., 2018, Derin Öğrenme ile Kalabalık Analizi Üzerine Detaylı Bir Araştırma, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 11(3).
- Metlek, S. ve Çetiner, H., 2021, Matlab Ortamında Derin Öğrenme Uygulamaları, İksad Yayınevi, Ankara.
- Karaduman, G., Akın, E., Binay, B. ve Dilekli, M., 2022, Katener Sistemlerindeki İzolatör Kusurlarının Derin Öğrenme ile Tespiti, *Demiryolu Mühendisliği*, 16(185-195).
- Han, J., Yang, Z., Zhang, Q., Chen, C., Li, H., Lai, S., Hu, G., Xu, C., Xu, H., Wang, D. ve Chen, R., 2019, A Method of Insulator Faults Detection in Aerial Images for High-Voltage Transmission Lines Inspection, *Applied Sciences*, 9.

