



**DEMİRYOLLARINDA RAY YÜZEYLERİ, MAKAS GEÇİŞLERİ VE HEMZEMİN
GEÇİTLERİN DURUM TEŞHİSİ İÇİN GÖRME TABANLI YÖNTEMLERİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Canan TAŞTİMUR

**Yüksek Lisans Tezi
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Erhan AKIN**

TEMMUZ-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİRYOLLARINDA RAY YÜZEYLERİ, MAKAS GEÇİŞLERİ VE HEMZEMİN
GEÇİTLERİN DURUM TEŞHİSİ İÇİN GÖRME TABANLI YÖNTEMLERİN
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Canan TAŞTİMUR

(141129107)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12.07.2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 31.07.2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan AKIN (Fırat Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. İlhan AYDIN (Fırat Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Burak YILMAZ (Konya Gıda ve
Tarım Ü.)

TEMMUZ-2017

ÖNSÖZ

Bu tezde demiryolu ray hattı ve ray bileşenleri temassız görüntü işleme teknikleriyle teşhis edilmeye çalışılmıştır. Demiryollarındaki makas geçişlerinin ve hemzemin geçitlerin tespiti için görüntü işleme tabanlı bir takım algoritmalar bu tez çalışması kapsamında geliştirilmiştir. Ray yüzeyinde meydana gelen bozulmalar erken tespit edilerek demiryollarındaki kazaların önlenmesi amaçlanmıştır. Bu tez kapsamında çalışmalarımın devamlılığı açısından maddi olarak ÖYP (Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı) ödeneğinden destek alınmıştır. Bu tez çalışmasında, demiryolları ray yüzeyinin izlenmesi, makas geçişlerinin ve hemzemin geçitlerin tespit edilmesi, temassız izleme sistemlerine göre alternatif yöntemler sunulmuştur. Yapılan çalışmaların demiryolu ray bileşenlerinin incelenmesi konusunda ilgili olanlar için faydalı olmasını diliyorum. Tez çalışması kapsamında beni yönlendiren ve yardımlarıyla bana yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erhan AKIN' a, akademik çalışmalarım konusunda yardımlarıyla beni akademik hayata hazırlayan ve tez çalışmalarımda fazlasıyla emeği geçen hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE' ye ve destekleriyle her daim yanımda olan Ailem' e teşekkür ederim.

TEŞEKKÜR

Bu tezde geliştirilen yöntemler 114E202 nolu TÜBİTAK 1001 araştırma projesi ve FÜBAP-MF.17.10 nolu Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri(BAP) projesi ile desteklenmiştir.

Canan TAŞTİMUR
ELAĞ - 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XIII
SİMGELER LİSTESİ	XIV
KISALTMALAR LİSTESİ	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Arıza Teşhisinin Genel Çatısı	2
1.1.1. Demiryolu Hattıyla İlgili Terimler	3
1.2. Literatür Özeti	6
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı	15
1.4. Tezin Yapısı	16
2. RAY HATTI BİLEŞENLERİ VE OLASI ARIZA TURLERİ.....	18
2.1. Ray Hattı Bileşenleri	19
2.1.1. Raylar	19
2.1.2. Balast ve Travers	20
2.1.3. Bağlantı Elemanları	22
2.1.4. Makas Geçişleri	23
2.1.4.1.Basit Makas Geçişİ	23
2.1.4.2.Birleşik Makas Geçişİ	25
2.1.4.3.İngiliz Makas Geçişİ	25

2.1.4.4.Çapraz Takımı Makas Geçişi	26
2.1.4.5.Kruvazman Makas Geçişi	26
2.1.4.6.S Makas Geçişi	27
2.1.5. Hemzemin Geçitler	27
2.2. Olası Arıza Türleri	28
2.2.1. Kırışma Arızası	28
2.2.2. Haddeleme Temas Yorgunluğu Arızası	29
2.2.3. Kabuklanma Arızası	29
2.2.4. Çökme Arızası	30
2.2.5. Tekerlek Yanıkları Arızası.....	30
2.2.6. Hepçek Arızası.....	31
2.2.7. Ray Kırıkları Arızası.....	31
3. GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE RAY ARIZALARININ TESPİTİ İÇİN	
ÖNERİLEN YÖNTEM	33
3.1. Giriş	33
3.2. Ray Arızasının Tespiti Yönteminde Kullanılan Teknikler	34
3.2.1. Kenar Çıkarım Yöntemleri	34
3.2.1.1.Roberts Kenar Çıkarım Algoritması	36
3.2.1.2. Sobel Kenar Çıkarım Algoritması	37
3.2.1.3. Canny Kenar Çıkarım Algoritması	39
3.2.1.4. Prewitt Kenar Çıkarım Algoritması	41
3.2.2. Hough Dönüşümü	42
3.2.3. Matematiksel Morfolojik Operatörler.....	44
3.2.3.1. Morfolojik Aşınma Operatörü	45
3.2.3.2. Morfolojik Genişletme Operatörü	46

3.2.3.3. Morfolojik Açma ve Kapama Operatörleri	46
3.2.3.4. Morfolojik Darbe ve Vuruş Dönüşümü	47
3.2.3.5. Morfolojik İnceltme ve Kalınlaştırma Operatörleri	48
3.2.3.6. Morfolojik İskeletleştirme Operatörü	49
3.2.3.7. Morfolojik Köprüleme Operatörü	50
3.2.3.8. Morfolojik Doldurma Operatörü.....	50
3.2.4. Filtreleme Teknikleri	51
3.2.4.1. Average Filtreleme	51
3.2.4.2. Median Filtreleme.....	52
3.2.4.3. Gaussian Düşük Geçiş Filtreleme	53
3.2.4.4. Gabor Filtreleme	54
3.2.4.5. Laplacian Filtreleme	54
3.3. Önerilen Yöntem.....	55
3.4. Deneysel Sonuçlar	59
3.4.1. Ray Hattı Tespiti Yöntemi İçin Deneysel Sonuçlar.....	59
3.4.2. Ray Arızasının Tespiti Yöntemi İçin Deneysel Sonuçlar	65
3.5. Bölüm Değerlendirmesi	68
4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI MAKAS GEÇİŞİNİN TESPİT YAKLAŞIMI	69
4.1. Giriş	69
4.2. Önerilen Yöntem.....	70
4.2.1. Hough Dönüşümü ile Çizginin Tespit Edilmesi	74
4.2.2. Destek Vektör Makineleri.....	78
4.2.2.1. DVM' nin Genel Yapısı	78

4.2.2.2.DVM' nin Çalışma Prensibi	79
4.3. Deneysel Sonuçlar	81
4.4. Bölüm Değerlendirmesi	88
5. HEMZEMİN GEÇİT TESPİTİ İÇİN ÖNERİLEN YAKLAŞIM	89
5.1. Giriş	89
5.2. Önerilen Yöntem	91
5.2.1. Hemzemin Geçidin Tespit Edilmesi	92
5.2.2. Hemzemin Geçitte Yabancı Nesnelerin Tespit Edilmesi	95
5.3. Deneysel Sonuçlar	96
5.4. Bölüm Değerlendirmesi	101
6. SONUÇLAR	103
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ	115

ÖZET

Demiryolu ulaşım ağı, yüksek hızlı trenlerin yaygınlaşmasıyla ve demiryolu ulaşımının güvenli olması sebebiyle dünyada hızlı bir şekilde büyümektedir. Demiryolu ulaşımı tüm dünyada yaygınlaştıkça demiryolu ulaşımının güvenliğine ve demiryolu bileşenlerinin bakımına verilen önem de artmaktadır. Demiryolu kazalarının azaltılması için alınması gereken en temel önlem, demiryolu bileşenlerinin düzenli aralıklarla kontrol edilmesidir.

Rayların ve ray bileşenlerinin temaslı izleme teknikleriyle teşhis edilmesi hem zaman hem de insan kaynağı açısından büyük bir yük getirebilmektedir. Ray yüzeyinin temaslı manuel ölçüm teknikleri kullanılarak kontrol edilmesi hem ray yüzeyine zarar verecektir hem de demiryolu ulaşımının geçici olarak devre dışı bırakılmasına sebep olacaktır. Literatürde var olan birçok yöntemde temassız görüntü işleme teknikleri kullanılarak ray hattı ve ray bileşenlerinin teşhisi yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında demiryolu ray hattının görüntü işleme tabanlı izlenmesi, teşhisi ve tespiti için üç temel yöntem geliştirilmiştir. Birinci yöntemde görüntü işleme teknikleri kullanılarak ray yüzeyinde meydana gelen aşınma, kırılma, oyulma gibi arızalar tespit edilmiştir. Bahsedilen işlemin gerçekleştirilmesi için öncelikli olarak giriş parametresi olan görüntüdeki ray hattının tespiti yapılmıştır. İkinci yöntemde ise demiryolu makas geçişleri DVM (Destek Vektör Makinesi) ve birtakım görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilmiştir. Son yöntemde ise hemzemin geçitlerin tespiti ve hemzemin geçit üzerinde kazaya sebep olabilecek nitelikte olan yabancı nesneleri görüntü işleme tabanlı teknikler ile tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında demiryolu ray hattının görüntü işleme tabanlı yöntemlerle izlenmesi, teşhisi ve tespit edilmesi sağlanmıştır. Bu tez çalışması 114E202'nolu TÜBİTAK 1001 programı kapsamında yürütülen araştırma projesi ile desteklenmiş, yapılan çalışmalar çeşitli ulusal ve uluslararası yayınlar ile sonuçlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu ray hattı, Görüntü işleme, Demiryolu makas geçişleri, Hemzemin geçit tespiti, Arıza teşhisi, Destek Vektör Makineleri.

SUMMARY

DEVELOPMENT OF VISION BASED METHODS FOR DIAGNOSIS OF RAIL SURFACES, TURNOUTS, AND LEVEL CROSSINGS IN RAILWAYS

The railway network is rapidly growing in the world, due to the spread of high-speed trains and the safety of railway transportation. As railway transportation is widespread in the whole world, the importance given to the safety of railway transportation and the maintenance of railway components is also increasing. The most basic measure to be taken to reduce railway accidents is to check at regular intervals of railway components.

Diagnosis of rails and track components by contact monitoring techniques can be a great burden in terms of both time and human resources. Controlling the rail surface using touching manual measurement techniques will both damage rail surface and cause railway access to be temporarily disabled. In many methods available in the literature, rail line and rail components are diagnosed using contactless image processing techniques.

In this thesis study, three basic methods for image processing based monitoring, diagnosis and detection of the railway track have been developed. In the first method, defects such as abrasion, fracture, carving occurred on the rail surface have been detected by using image processing techniques. In order to carry out the mentioned process, the rail line in the image as the input parameter is determined first. In the second method, railway scissor transitions have been detected using SVM (Support Vector Machine) and some image processing techniques. In the last method, the detection of the level crossings and the foreign objects that can cause accidents on the level crossing are detected by image processing based techniques.

As a result, the railway track has monitored, diagnosed and detected with image processing based methods in this thesis study. This study has been supported by a research project in TUBITAK 1001 program under Project No: 114E202 and the studies were concluded with various national and international publications.

Keywords: Railway rail track, Image processing, Turnout crossings, Level crossing detection, Defect detection, Support vector machine.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 Rayın bölümleri	3
Şekil 1.2 Rayın geometrik yapısı	3
Şekil 1.3 Demiryollarındaki travers örneği	4
Şekil 1.4 Demiryollarındaki balast örneği	4
Şekil 1.5 Örnek makas geçişi	4
Şekil 1.6 Demiryollarındaki kurp örneği	5
Şekil 1.7 Hemzemin geçit örneği	5
Şekil 1.8 Önerilen yöntemin çalışma prensibi [31].....	8
Şekil 1.9 Akıllı Görme Tespit Sisteminin görüntü işleme çerçevesi	9
Şekil 1.10 Bağlantı elemanı kontrol sisteminin konfigürasyonu	10
Şekil 1.11 Ray başı arıza teşhis metodunun blok diyagramı [46].....	11
Şekil 1.12 Online EMT ray arıza incelemesi konfigürasyonu	12
Şekil 2.1 Temel ray hattı bileşenleri	18
Şekil 2.2 Makas geçişi ve hemzemin geçit	19
Şekil 2.3 Ray türlerinin örnek gösterimi	20
Şekil 2.4 Demiryolları balastı	20
Şekil 2.5 Ahşap travers örneği	21
Şekil 2.6 Çelik türündeki traversler [74].....	21
Şekil 2.7 Betonarme türündeki traversler	22
Şekil 2.8 Örnek bağlantı elemanı [75]	22
Şekil 2.9 Makas geçişinin tasarımı	23
Şekil 2.10 Örnek sol basit makas geçişi	24
Şekil 2.11 Örnek sağ basit makas geçişi	24
Şekil 2.12 Simetrik basit makas geçişi	24
Şekil 2.13 Eğri basit makas geçişi	24
Şekil 2.14 Birleşik makas geçişi [14].....	25
Şekil 2.15 İngiliz makas geçişi [14].....	25
Şekil 2.16 Çapraz takımı makas geçişi [14].....	26

Şekil 2.17 S türündeki makas geçişi	27
Şekil 2.18 Hemzemin geçit türleri [77]	27
Şekil 2.19 Hemzemin geçit kaplama türleri [77]	28
Şekil 2.20 Kırışma arızası [78]	29
Şekil 2.21 Haddelme temas yorgunluğu arızası [78]	29
Şekil 2.22 Ray yüzeyinde oluşan kırışma arızası [78]	30
Şekil 2.23 Ray yüzeyinde oluşan çökme arızası [78]	30
Şekil 2.24 Tekerlek yanıklarını gösteren bir ray profili [78]	31
Şekil 2.25 Hepçek ray arızası [79]	31
Şekil 2.26 Boyuna dikey çatlak arızası [79]	32
Şekil 2.27 Çapraz çatlak arızası [79]	32
Şekil 3.1 Kenar bilgisine ait sinyal	35
Şekil 3.2 Şekil 3.1'deki sinyalin birinci türevi	35
Şekil 3.3 Şekil 3.2'teki sinyalin ikinci türevi	36
Şekil 3.4 Roberts kenar algılama algoritması sonucu	37
Şekil 3.5 Sobel kenar çıkarma algoritmasının maskeleme süreci	38
Şekil 3.6 Sobel kenar çıkarım algoritması sonucu	38
Şekil 3.7 Canny kenar çıkarımının akış diyagramı	39
Şekil 3.8 Canny kenar algılama algoritması sonucu	41
Şekil 3.9 Prewitt kenar çıkarım algoritması	41
Şekil 3.10 Çizgiden noktaya Hough uzayı	43
Şekil 3.11 Hough uzayında örnek bir noktanın bir çizgiye dönüşümü	43
Şekil 3.12 Hough dönüşümü sözde kodu	44
Şekil 3.13 Bir görüntüdeki pikseller arasındaki komşuluk	45
Şekil 3.14 Bir görüntüdeki aşındırma operatörü	45
Şekil 3.15 Morfolojik genişletme operatörü	46
Şekil 3.16 Morfolojik açma operatörü	47
Şekil 3.17 Morfolojik kapama operatörü	47
Şekil 3.18 Morfolojik darbe ve vuruş dönüşümü	48
Şekil 3.19 Morfolojik inceltme işlemi	49
Şekil 3.20 Morfolojik kalınlaştırma işlemi	49
Şekil 3.21 Morfolojik iskeletleştirme işlemi	49

Şekil 3.22 Morfolojik köprüleme işlemi	50
Şekil 3.23 Morfolojik doldurma işlemi	50
Şekil 3.24 Filtreleme işleminin temeli	51
Şekil 3.25 Örnek average filtreleme	52
Şekil 3.26 Örnek median filtreleme	53
Şekil 3.27 Gaussian filtresi elde edilen matris değeri	53
Şekil 3.28 Laplacian filtresinde kullanılan maske	55
Şekil 3.29 Önerilen yöntemin blok diyagramı	56
Şekil 3.30 Ray hattı tespit algoritmasının akış diyagramı	57
Şekil 3.31 Ray arızası tespit algoritmasının akış diyagramı	58
Şekil 4.1 Makas tespiti için önerilen yöntemin blok şeması	71
Şekil 4.2 RGB renk uzayı ile tüm renklerin elde edilişi	72
Şekil 4.3 RGB renk uzayı ile tüm renklerin elde edilişi	72
Şekil 4.4 Kenar çıkarma işlemi	72
Şekil 4.5 Eşikleme işlemi temeli	73
Şekil 4.6 Ray hattı piksellerinin tespiti algoritmasının sözde kodu	73
Şekil 4.7 Görüntüdeki renklerin tersinin alınması	74
Şekil 4.8 Hough parametre uzayı	75
Şekil 4.9 Noktalardan geçen doğru parçası	75
Şekil 4.10 Noktaların Hough parametre uzayındaki gösterimi [99]	76
Şekil 4.11 İki doğru parçasındaki ufuk noktası.....	77
Şekil 4.12 DVM' nin ağ yapısı [102].....	79
Şekil 4.13 Örnek bir hiperdüzlem	80
Şekil 4.14 Hiperdüzlemi ayıran iki farklı yön örneği	81
Şekil 4.15 Demiryolu görüntüsünün elde edilmesinde kullanılan deneysel düzenek	82
Şekil 4.16 DVM eğitimden elde edilen ROC eğrisi.....	85
Şekil 4.17 DVM' de elde edilmesi gereken gerçek sonuç ve test sonucu	88
Şekil 5.1 Hemzemin geçitteki engellerin tespitini yapan çalışmanın akış diyagramı [105] ..	90
Şekil 5.2 Hemzemin geçit tespiti için önerilen yöntemin blok şeması	92
Şekil 5.3 Hemzemin geçit tespitinin akış diyagramı	93
Şekil 5.4 RGB ve YCbCr renk formatı kanal bilgileri	94

Şekil 5.5 Prewitt kenar çıkarma maskeleri	94
Şekil 5.6 Yabancı nesne tespitinde kullanılan blok şeması	95
Şekil 5.7 Gürültülü piksellerin yok edilmesi işlemi	96



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1 Demiryolu bileşen teşhisi için literatürde yapılan çalışmaların sınıflandırılması ..	14
Tablo 3.1 Önerilen ray hattı tespit algoritmasının işlem basamakları	60
Tablo 3.2 Önerilen ray hattı tespit algoritmasının test verileri	62
Tablo 3.3 Ray yüzeyinin arızalarının tespit yöntemindeki işlem adımları	65
Tablo 3.4 Önerilen yöntemlerin performans değerlendirmesi	67
Tablo 4.1 Makas geçişinin tespitinde önerilen yöntemin uygulama adımları	82
Tablo 4.2 DVM eğitimde kullanılan pozitif ve negatif verileri	86
Tablo 4.3 DVM’ de kullanılan örnek test verileri	87
Tablo 4.4 Önerilen yöntemin performans sonuçları	87
Tablo 5.1 Hemzemin geçidin tespitinde önerilen yöntemin uygulama adımları	97
Tablo 5.2 Hemzemin geçidin tespit yönteminin test işlemi	99
Tablo 5.3 Yabancı nesne tespitinde önerilen yöntemin işlem basamakları	100
Tablo 5.4 Hemzemin geçit tespiti için önerilen yöntemin performans sonuçları	101

SEMBOLLER LİSTESİ

t	: Kenar bilgisine ait sinyalin zaman değişkeni
G_x	: Yatay maskeleme matrisi
G_y	: Dikey maskeleme matrisi
G	: Eğim vektörünün büyüklüğü
q	: Roberts metoduna göre dörtlü pikselin yeni değeri
S_x	: Sobel x-eksenindeki tarama matrisi
S_y	: Sobel y-eksenindeki tarama matrisi
$m_{i,j}$	: Sobel 3x3 boyutundaki maskeleme matrisi
$a_{i,j}$	: Giriş görüntü matrisi
$b_{i,j}$	: Sobel konvülasyon işlemi sonucundaki çıktı matrisi
R	: RGB formatındaki görüntünün kırmızı kanal değeri
G	: RGB formatındaki görüntünün yeşil kanal değeri
B	: RGB formatındaki görüntünün mavi kanal değeri
f	: Grayscale formatındaki görüntü
α	: Görüntünün eğim açısı değeri
a	: Doğru parçasının eğim değeri
b	: Doğru parçasının y-eksenini kestiği nokta
θ	: Doğru parçasının açısı değeri
r	: Doğru parçasının orijine olan uzaklığı
B	: Hough dönüşümüne verilen giriş görüntüsü
W	: Hough dönüşümüne verilen giriş görüntüsünün genişliği
H	: Hough dönüşümüne verilen giriş görüntüsünün yüksekliği
N_4	: Görüntünün komşusu olan dört piksel
N_8	: Görüntünün komşusu olan sekiz piksel
g	: Gabor filtresinin çekirdeği
λ	: Gabor filtresinde aranan dalga boyu
Im	: Grayscale kenar çıkarım görüntüsü
$cols$	: Im görüntüsünün piksel genişliği

<i>rows</i>	: İm görüntüsünün piksel yüksekliği
<i>Yeni_Im</i>	: Ray hattının belirgin görüntüsü
<i>T</i>	: İm görüntüsüne uygulanan eşik değeri
<i>length</i>	: İki uç noktası bilinen bir çizginin uzunluğu
<i>m</i>	: Doğru parçasının eğim değeri
<i>c</i>	: Doğru parçasının y-eksenini kestiği nokta
<i>U_y</i>	: Ufuk noktasının y koordinatı
<i>K(x, x_j)</i>	: DVM ağ yapısındaki çekirdek fonksiyonları
<i>α</i>	: DVM ağ yapısındaki Lagrange çarpanları
<i>D</i>	: DVM ağ yapısındaki her bir nokta
<i>w</i>	: Hiperdüzleme dik olan normal vektörü
<i>x</i>	: Noktanın değişen parametresi
<i>b</i>	: Normal vektörün kayma miktarı
<i>Y</i>	: YCbCr renk uzayındaki Y kanalı
<i>Cb</i>	: YCbCr renk uzayındaki Cb kanalı
<i>Cr</i>	: YCbCr renk uzayındaki Cr kanalı
<i>H</i>	: HSV renk uzayındaki H kanalı
<i>S</i>	: HSV renk uzayındaki S kanalı
<i>V</i>	: HSV renk uzayındaki V kanalı

KISALTMALAR LİSTESİ

SIDP	: Spektral görüntü fark metodu
RCF	: Dönme temas arızası (Rolling Contact Fatigue)
CPCA	: Görüş birliği prensibi komponent analizi
HOG	: Yönlü eğimlerin histogramı (Histogram of Gradinet)
TM	: Şablon eşleştirme (Template Matching)
GPS	: Küresel konumlama sistemi
BIBRE	: İkili görüntü tabanlı ray çıkarımı
DCNN	: Derin konvolüsyon sinir ağı
PSNR	: Zirve sinyali gürültü oranı
MUSIC	: Çoklu sinyal sınıflandırma
VDS	: Akıllı görme tespit sistemi
MLC	: Michelson benzeri kontrast
PEME	: Oran vurgulanmış maksimum entropi
CTSM	: Kombine eşik ve imza eşleşmesi
L-PDE	: Öğrenilmiş kısmi diferansiyel denklem
EMT	: Elektromanyetik tomografi
RANSAC	: Rastgele örnek görüş birliği
SVM	: Destek vektör makinesi (Support Vector Machine)
PSD	: Güç spektral yoğunluğu
PNN	: Olasılıksal sinir ağı
BP	: Geri yayımlı sinir ağı
SSBP	: Durum tabanlı prognostik yöntem
CCD	: Charge coupled device
ROI	: İlgilenilen bölge (Region of Interest)
DMI	: Mesafe ölçüm aleti
DVM	: Destek vektör makinesi

1. GİRİŞ

Ulaşım insanoğlu için yüzyıllardır önemli bir konu olmuştur. Demiryolu taşımacılığı ağırlıklı olarak yolcu ve eşya taşımak için kullanılmaktadır. Demiryolları ekonomik, sosyal, enerji ve çevresel olmak üzere yolcular ve eşyalar için en iyi taşımacılık seçeneklerinde biri yapacak kadar çok avantaj sağlamaktadır [1]. Demiryolu taşımacılığı taşınan yolcu sayısı, trafik sıklığı olmayan trafik, azaltılmış yakıt miktarı ve dolayısıyla yolcu başına azaltılmış emisyon miktarı, azaltılmış maliyet, azaltılmış trafik kazaları, artan güvenlik, hız artışı, arazi kullanımının azaltılması, mevcut altyapının daha iyi kullanımı vb. sebeplerden de dolayı en iyi toplu taşıma seçeneği olarak görünmektedir [1]. Demiryolu ulaşımı ülkemizde ve dünyada hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır [2]. Demiryolu ulaşımı yaygınlaştıkça demiryollarının daha ayrıntılı ve ileri teknolojiler kullanılarak gözlemlenmesi gerekli bir hal almıştır. Raydan çıkma ve hizmet kesintilerinin büyük bölümü, ray hattı ile ilgili sorunlardan kaynaklanmaktadır [3].

Ray hattında oluşan arızalar demiryolu ulaşımını olumsuz yönde etkilemektedir. Ray yüzeyinde meydana gelen aşınma, kırılma, oyulma vb. gibi arızalar, rayın tekerlekle olan ilişkisini bozarak raydan çıkma kazalarına sebep olabilmektedir. Ray yüzeyinde meydana gelen arızaları belirlemek için temaslı ölçüm tekniğinin kullanılması, düşük hassasiyet ve doğrulukta sonuçlar elde edilmesiyle sonuçlanmaktadır. Temaslı ölçüm tekniklerinin kullanılması gelişmiş demiryolu teknolojisinin ihtiyaçlarını karşılama noktasında yetersiz kalabilmektedir [4]. Ray yüzeyinde meydana gelen aşınma, kırılma, oyulma gibi bozuklukların tespitinde temassız görüntü işleme tabanlı tekniklerin kullanılması, gelişen demiryolu teknolojileri için olumlu sonuçlar getirmektedir [5]. Yüksek hızlı trenlerin yaygınlaşmasıyla birlikte ray yüzeyinde meydana gelen arızaların manuel teknikler kullanılarak incelenmesi artık uygun olmamaktadır [6, 7].

Ray arızaları incelendiğinde karşılaşılan başlıca ray arızaları; aşınma, kırılma, apletlik, ondilasyon, hepçek arızası, oksitlenme ve şöminman (raylarda yürüme) arızasıdır [8]. Ray aşınması iki bölüme ayrılmaktadır: Yatay aşınma ve Dikey aşınmadır. Raylarda aşınmanın meydana gelme sebepleri [8];

- Yol açıklığının tolerans değerinin dışında açık veya kapalı olması,
- Trenin belirlenenden yüksek ölçüde hız yapması,
- Patinajın önlenmesi için tren yoluna dökülen kum,

- Her iki rayın aynı seviyede olmamasından dolayı yolda düşüklüklerin oluşması,
- Tekerleklerin normal şeklinin değiştirmiş olması,
- Fren veya ilk hareket etkisi,
- Yola fazla yük veya aşırı yük yüklenmesi,
- Yoldaki bağlantı elemanlarının bakımsız olması.

Raylarda yatay ve dikey aşınma tekerlekle rayın tekerlekle bağlantılı olduğu yüzeylerde oluşmaktadır. Aşınmış rayların bulunduğu yol kesimlerine geçici olarak seyir kısıtlaması konulmaktadır. 33⁰C’ den büyük değere sahip olan aşınma durumlarında rayların değiştirilmesi gerekmektedir [8]. Ray aşınmasını önlemek için aşınmanın oluştuğu bölgelerde iklim şartları elverişli ise sert raylar kullanılmalıdır. Ray yüzeyinde yağlanma işlemi uygulanarak aşınmanın oluşmaması için önlem alınabilir.

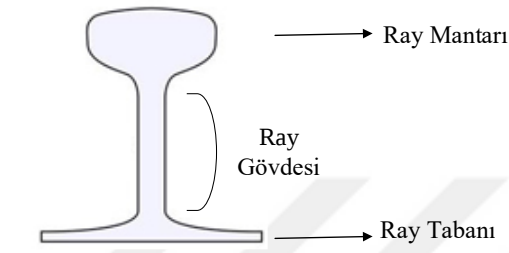
Raylardaki imalat hataları, ray kaynağının hatalı yapılması, ray bağlantı malzemesinin eksik veya kırık olması, traverslerin kırık oluşu ve travers aralıklarının fazla olması, trenlerin sınır değerinden fazla hız yapması, raydaki aşınmasının fazla olması ve genleşme aralıklarının fazla olması gibi sebeplerden ötürü ray kırıkları oluşmaktadır. Raydaki ondilasyon arızası, iki travers arasındaki ağırlığın fazla olmasından dolayı raylarda farklı çökmelerin meydana gelmesiyle oluşmaktadır. Hepçek arızaları ise ondilasyon arızasının daha büyük halidir. Hepçek arızası, tekerleğin ilk hareket sırasında raya yapışmasıyla ray yüzeyinde verev şeklinde görülen bozukluklardır. Ray oksitlenmesi ise ray yüzeyinin toprak, nem ve sudan etkilenecek çürüme, paslanma ve küçük deliklerin oluştuğu ray bozulmalarıdır. Demiryolu raylarındaki arızaların tespit edilmesi ulaşımın güvenliği açısından önemlidir.

1.1. Arıza Teşhisinin Genel Çatısı

Demiryolu ulaşım sistemindeki ray hattı ve ray bileşenlerinin arızalı olup olmadığının tespit edilebilmesi için demiryollarının belli bir süre boyunca izlenmesi gerekmektedir. Demiryollarında arıza teşhisinin yapılması için literatürde önerilen birçok yöntem bulunmaktadır. Bir sistemin beklenen çalışma performansının dışında karşılaşılan duruma arıza denilmektedir. Arıza teşhisi ise arızalı olan sistemin arızasının nereden ve ne sebeple kaynaklandığını tespit etme sürecidir.

1.1.1. Demiryolu Hattıyla İlgili Terimler

Ray, demiryolu araçlarının üzerinde hareket ettiği dökme çelikten yapılmış olan üst yapı malzemesidir. Raylar üç bölümden oluşmaktadır: Ray Mantarı, Ray Tabanı ve Ray Gövdesidir. Rayın bölümleri Şekil 1.1’ de [9] rayın geometrik yapısı Şekil 1.2’ de [10] gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Rayın bölümleri



Şekil 1.2. Rayın geometrik yapısı

Travers, raydan gelen yükleri balasta ileterek yolu yan etkenlere karşı olması gereken pozisyonda tutan ve raylara 90°C dik olarak yerleştirilmiş olan ray hattı bileşenidir [11]. Demiryollarında kullanılan traversler başlıca demir, ahşap, plastik ve beton olabilmektedir. Demiryollarındaki bir travers örneği Şekil 1.3’ te gösterilmiştir [12].



Şekil 1.3. Demiryollarındaki travers örneği

Balast, traversler arasındaki boşluğu doldurarak traverslerin ilettiği yükleri 30-60mm boyutunda kırılmış, köşeli ve kenarlı taşlardır [9]. Demiryollarındaki balast örneği Şekil 1.4’ te gösterilmiştir [13].



Şekil 1.4. Demiryollarındaki balast örneği

Makas, demiryollarında araçların bir yoldan diğerine geçişini sağlayan sistemlerdir. Şekil 1.5’ te demiryollarındaki örnek bir makas geçişi verilmiştir [14].



Şekil 1.5. Örnek makas geçişi

Kurp, demiryollarında farklı açıdaki yolların birleştirilmesiyle oluşan eğri yollardır [9]. Demiryollarındaki kurplar ulaşımın güvenliği açısından önemlidir [15]. Şekil 1.6’ da demiryollarındaki örnek bir kurp gösterilmiştir [16].



Şekil 1.6. Demiryollarındaki kurp örneği

Dever, demiryolundaki eğimli kısımlarda yani kurplarda seyreden demiryolu araçlarının savrulmasını önlemek amacıyla dış rayın iç raya göre bir miktar yükseltilmesiyle oluşan durumdur [17].

Hemzemin geçit, demiryolu ulaşımı ile karayolu ulaşımının birbirine bağlandığı noktalardır. Bu geçitte hem motorlu taşıtlar hem de demiryolu araçları seyahat edebilmektedir. Bu sebeple bahsedilen geçit ulaşımın güvenliği ve kazalardan korunması konusunda oldukça önemlidir. Örnek bir hemzemin geçidi Şekil 1.7’ de gösterilmiştir [18].



Şekil 1.7. Hemzemin geçit örneği

1.2. Literatür Özeti

Yüksek hızlı trenlerin yaygınlaşması ve demiryollarındaki arızaların teşhis edilmesinde geleneksel tekniklerin elverişli olmamasından dolayı demiryolu ray hattı ve bileşenlerinin incelenmesinde ileri teknoloji kullanılması gerekli hale gelmiştir. Demiryolu raylarındaki arızaların tespit edilmesi için ve demiryollarındaki hemzemin ve makas geçişlerinin tespit edilmesi için son yıllarda literatürde birçok çalışma önerilmiştir.

Deutschl ve diğerleri [19] çalışmasında ray yüzeyindeki arızalar için görme tabanlı yeni bir arıza tespit yöntemi önermiştir. Bu çalışma renk line scan kameralar ve Spektral Görüntü Fark Metodu (SIDP) tarafından elde edilen özel bir görüntü ray yüzeyindeki çatlak, kırılma, oyulma vb. türdeki arızaları görüntü işleme yardımıyla otomatik olarak tespit etmeyi sağlamıştır. Uygulamalar göstermiştir ki bu metot, düzensiz yapıları yüzünden ciddi problemlere genellikle maruz kalan çok kabuklu yüzeyler için bile güvenilir sonuçlar üretmiştir.

Hou ve Gupta [20] ray arızalarını tespit etmek için yaptığı çalışmada rayların orta çizgilerinden ve ray robotunun yüksekliğinden ray robotunun sapmalarını ölçmek için bir onboard ölçüm sistemi sunmuştur. Bu çalışmada yaklaşık güç çeviricinin iki türü, iki paralel ray hattı üzerine yerleştirilmiştir. Bahsedilen ölçüm sistemi, online olarak ray arızalarını bulma, ölçme ve onarma sisteminin önemli bir bölümünü oluşturmuştur. Yüksek kesinlikteki ölçüm modellerini inşa etmek için bir sinir ağı metodu önerilmiştir. Deneyler ölçme sistemi tabanlı sinir ağının yüksek hassasiyette ve online ray arıza teşhisi ve ölçüm uygulamaları için uygun olduğunu göstermiştir.

Jie ve diğerleri [21] çalışmasında özellikle ray başı yüzeyinde meydana gelen Dönme Temas Hatası (RCF)' nı bulmak için görme tabanlı yeni bir teşhis tekniği sunmuştur. Arızanın yerini alt prosedürle gerçekleştirmek için basit ve hızlı bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritmada ise yumuşatılmış ray başı yüzeyi görüntüsünün gri seviyeli histogram eğrisinde doğrudan geometrik analiz yapılmıştır.

Wei ve diğerleri [22] ise ray arızalarını tespit etmek için titreşim hızlandırma sinyallerini kullanmıştır. Guo ve diğerleri [23] raylı araç süspansiyon sistemlerinin arıza tespiti için görüş birliği prensibi komponent analiziyle (CPCA) ilgilenmiştir. Hata tespitinde kullanılan sinyal bilgisini Matlab ve Smpack birlikte simülasyon ortamından elde etmiştir.

Espino ve diğerleri [24] ise ray hattının çıkarılması için dönme noktalarının genişliğini kullanan bir kenar belirleme çalışması yapmıştır. Daha sonra bu kenar belirleme işlemi rayın

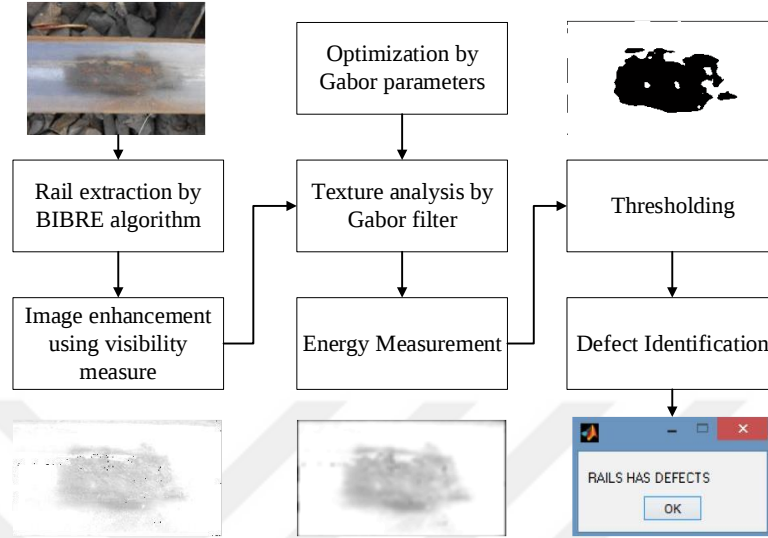
modelini belirleme işlemi için RANSAC algoritmasına giriş olarak verilmiştir. Arıza belirleme işleminde ise Yönlü Eğimin Histogramı (HOG) metodu ve Template Matching (TM) kullanmıştır.

Kaleli ve Akgun [25] dinamik programlamayı kullanarak görme tabanlı ray hattının çıkarılması işlemini yapmıştır. Dinamik programlamayı kullanarak sağ ve solu rayı ayna anda çıkarmıştır. Kullandıkları metot herhangi bir statik ayarlama işlemine ihtiyaç duymamaktadır. Shah [26], ray yüzeyindeki mevcut arızaların cinsini ve konumunu bulmak için uygulama geliştirmiştir. Yüksek hesaplama durumuyla geliştirilen teknolojinin sayesinde ve sürekli koşullardaki kontrollü aydınlatma görüntüyü almak için kaliteyi arttırmıştır.

Alippi ve diğerleri [27], görüntüdeki aranılan bölgenin tespiti ve profilin konumunun yüksek doğrulukla belirlenmesinde kullanılmasıyla rayın profilini ayrı iki aşamada incelemiştir. Chen ve diğerleri [28], raydaki mevcut arızalı olan bölgeleri incelemek için giriş ray görüntüsüne görüntü iyileştirme, öznetelik çıkarımı, gürültü eliminasyonu ve adaptif eşikleme işlemi uygulanmıştır. Trinh ve diğerleri [29], ray kusurlarını ve arızalı olan bölgeleri incelemiştir. Uzaklık ve GPS bilgilerinden ulaşılan hız bilgisi kullanılarak kameralardan gelen görüntüler birleştirilerek video elde edilmiştir. Daha sonra video kullanılarak ray hattı belirlenmiş ve ray kusurlarının teşhis edilmesi için ileri veri birleştirilmesi ve incelemesi yapılmıştır.

Li ve diğerleri [30], gerçek zamanlı olarak rayın kontrolünü sağlayan bir görüntü işleme tabanlı sistem geliştirmiştir. Bu sistemde bağlantı elemanının belirlenmesinde ve düğüm tabakasının tespitinde Batch algoritması çoklu sınıflandırıcılar ve model anahtarlama algoritması kullanılmıştır. Vijaykumar ve Sangamithirai [31] ray başlarındaki yüzey arızalarını tespit etmek için yenilikçi bir metot sunmuşlardır. Arızaları belirlemek için arka plandan rayları çıkarmak gerekmektedir ve eşikleme işlemi için görüntüyü daha da iyileştirmek gerekmektedir. Bu çalışmada arka plandan rayları çıkarmak için Binary Image Based Rail Extraction (BIBRE) metodunu kullanmışlardır. Arka plandan çıkarılan raylar, doğrudan iyileştirme metodunun yardımıyla iyileştirilmiştir. Raylardaki arızaları tespit etmek için Gabor filtresini, iyileştirilmiş görüntüye uygulamışlardır. Daha sonra eşikleme işlemi, arızaların enerjisine dayalı olarak yapılmıştır. Arızaları tespit ederken arızanın boyutu dikkate alınmıştır. Uygulanan iyileştirme tekniği raylar için diğer kontrast önlem yöntemlerine göre daha etkilidir. Hassasiyet ve geri çağırma değerleri, performansı

saptamak için hesaplanmıştır ve bunlar sırasıyla %89,9 ve %89,7 olarak sonuçlanmıştır. Bahsedilen yöntemin çalışma prensibi Şekil 1.8’ de gösterilmiştir.

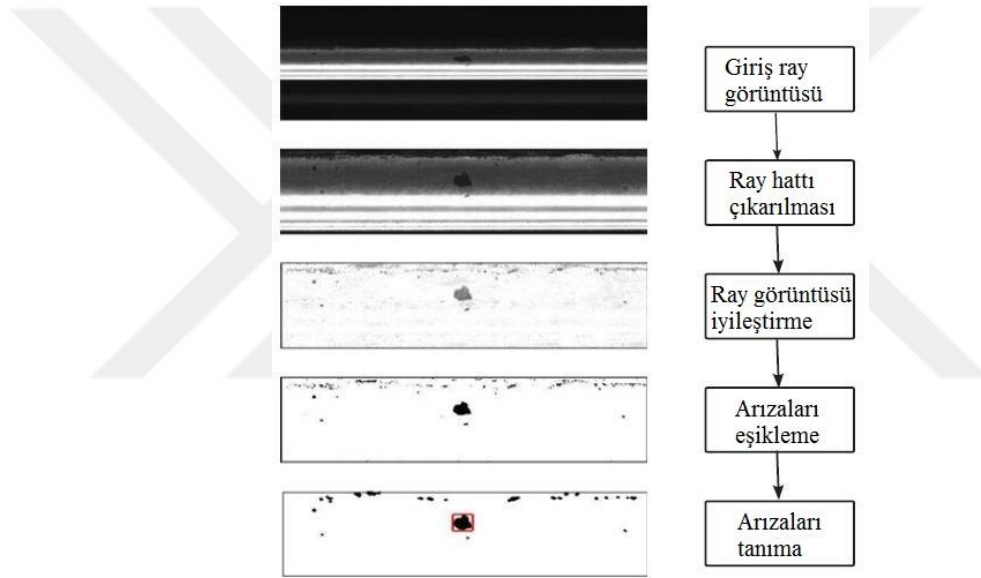


Şekil 1.8. Önerilen yöntemin çalışma prensibi [31].

Ho ve diğerleri [32] ray arızalarının tespitinde Fibre Bragg Grating (FBG) sensörlerinin uygulanmasına ilişkin bir ön çalışma sunmuşlardır. Sonuçlar, aynı çalışma koşulları altında tekerlek-ray etkileşimlerinden gelen sinyallerde belirli tutarlı bir imza olduğunu göstermiştir ve sinyallerin imzası, uygun sinyal işleme teknikleri kullanılarak belirlenmiş ve çıkarılmıştır. Bu çalışmadan edinilen deneyimler, uygulamada bu uzaktan algılama kurulumunun gerçekleştirilmesindeki olası güçlükleri de vurgulamıştır. Roohi ve diğerleri [33] ray yüzeyi arızalarının tespiti için bir Deep Convolutional Neural Network (DCNN) çözümü görüntü verisinin analizinde önermiştir. Bu çalışmadaki görüntüler otomatik video kayıtlarından elde edilmiştir. Bu büyük miktardaki verilerin manuel olarak teşhisini zorlaştırmıştır. Bir diğer büyük sorun, ray yüzeyindeki kusurların saptanması için uygun özelliklerin çıkarılmasının önemsiz ve zor bir görev olmasıdır. Bu nedenle konvolüsyonel sinir ağlarını özellik öğrenimi için uygulanabilir bir teknik olarak kullanmayı önermişlerdir.

Hu ve diğerleri [34] ağır ray yüzey kusurlarını, düzensiz parlaklık ve gürültünün özelliklerine göre çok ölçekli ve çift yapı elemanlarının matematiksel morfolojisine dayanarak tespit etmişlerdir. Geleneksel kenar algılama operatörleriyle karşılaştırıldığında sonuçlar, bu yöntemin güçlü gürültü önleyici performansa sahip olduğunu, gürültünün altında küçük kusur kenarını doğru olarak algılayabileceğini ve algılama hızını düşürmeksizin zirve sinyali-gürültü oranının (PSNR) 24.5dB olduğunu göstermektedir. Bu

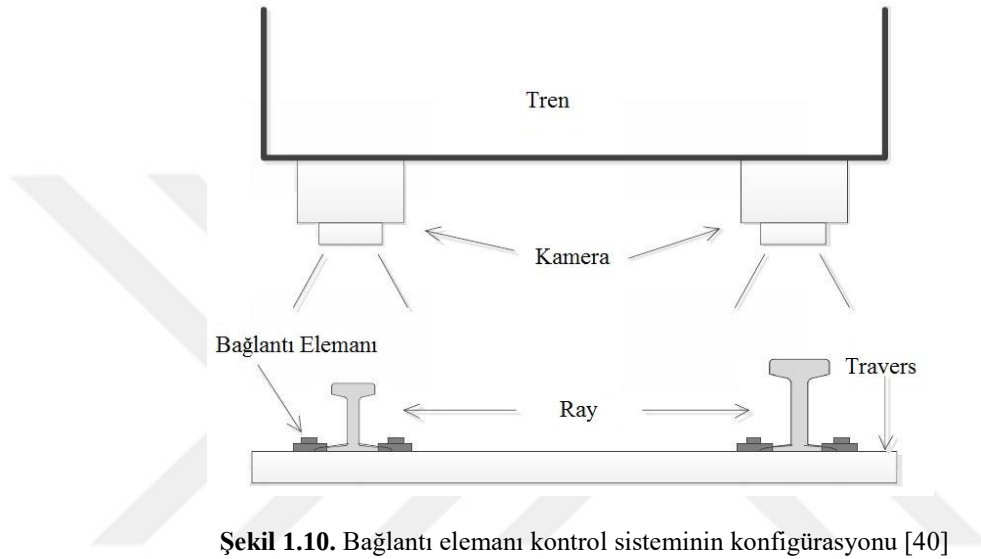
çalışmada tespit edilen arıza çeşitleri; backfin, çizik, haddelenmiş ölçek ve düzensiz haddelemedir. Saidi ve diğerleri [35], bir yeraltı treninde yer alan temassız bir girdap akım sensörünü kullanarak demiryolu muayenesine ayrılmış yıkıcı olmayan bir değerlendirme sistemi sunmuşlardır. Raylı yüzey kusurlarının tespiti ve sınıflandırılması için MUSIC algoritmasından alınan orijinal bir işleme yaklaşımı önermişlerdir. Li ve Ren [36] farklı ray yüzeyi arızaları için Akıllı Görme Tespit Sistemi (VDS) sunmuşlardır. Ray görüntülerini iyileştirmek için yerel Michelson-like Contrast (MLC) ölçümünü önermişlerdir. Ayrıca yeni bir otomatik eşikleme metodu (PEME) önermişlerdir [36]. Akıllı Görme Tespit Sisteminin görüntü işleme genel çerçevesi Şekil 1.9’ da gösterilmiştir [36].



Şekil 1.9. Akıllı Görme Tespit Sisteminin görüntü işleme çerçevesi

Jie ve diğerleri [37] özellikle ray başı yüzeyinde meydana gelen Rolling Contact Fatigue (RCF) arızalarını tespit etmek için görme tabanlı bir teşhis yaklaşımı önermişlerdir. Ray arızasının konumunu doğru bir şekilde tespit edebilmek için birinci dereceden histogram istatistiklerine dayanan geometrik bir analiz yöntemi önerilmiştir. Ayrıca daha iyi bir performans elde edebilmek için pratik endüstri uygulamalarında bir prototip uygulanmışlardır. Mandriota ve diğerleri [38] ray yüzeyindeki Texture analiz tabanlı kırışma arızasını, sınıflandırma ve tespit etmek için bir yaklaşım önermişlerdir. Bettemir [39] demiryolu hattının teşhisini, insansız hava araçlarından görüntüleri alarak gerçekleştirmiştir. Görüntülerden ray ve traversleri tespit edebilmiştir. Görüntülere Gaussian filtersi, Sobel kenar çıkarımı ve Sezgisel algoritma uygulamıştır.

Feng ve diğerleri [40] kısmen aşınmış ve tamamen eksik olan bağlantı elemanlarını olasılıksal konu modelini kullanarak tespit etmek için otomatik görsel kontrol sistemini önermişlerdir. Bu yöntem etiketlenmemiş veriler kullanarak değişik yönlendirme ve aydınlatma koşullarına sahip farklı tipteki bağlantı elemanlarını eşzamanlı olarak modelleyebilmiştir. Bağlantı elemanı kontrol sisteminin konfigürasyonu Şekil 1.10' da verilmiştir [40].



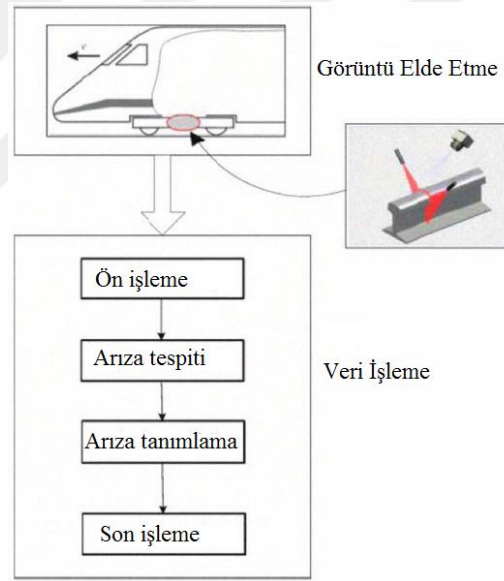
Şekil 1.10. Bağlantı elemanı kontrol sisteminin konfigürasyonu [40]

Rowshandel ve diğerleri [41] ray yüzeyindeki kırılma arızalarını (RCF kırıkları) tespit etmişlerdir. ACFM sensörlerini kullanarak RCF kırıklarını tespit etmişlerdir. Kümelenmiş RCF çatlaklarının algılanmasına gelişmiş bir CTSM algoritmasının uygulanmasını incelemişlerdir. Bahsedilen algoritma ile gerçek RCF çatlaklarını içeren servislerden çıkarılan ray bölümleri üzerinde düşük hızlı taramalara ve yapay çatlaklar kümeleri içeren bir eğirme raylı teçhizat üzerinden yüksek hızda (48 km / saate kadar) alınan ACFM taramalarına uygulanmıştır.

Li ve diğerleri [42] tahribatsız değerlendirme teknikleri kullanılarak ray arızalarını teşhis etmişlerdir. Tespit ettikleri ray arızaları; shelling, pullanma, yanmış ray, yassılaştırılmış ray, parçalanmış ray ve kırılmış raydır. Bu çalışmada Big Data temelli bir ray teşhis yöntemi sunulmuştur. Yin ve diğerleri [43] bogie hızlanma ölçütüne dayanan bir çömelme arızası tespit metodu sunmuşlardır. SIMPACK simülasyonunda hızlanma sensörleri ile bir simülasyon modeli kurmuşlardır. Simülasyon modelinden elde edilen bu BA verilerini analiz etmek için zaman-frekans analizi ve dalgacık paket ayrıştırması uygulamışlardır. Yaman ve diğerleri [44] ray yüzeyi arızalarını tespit etmek için önerdikleri çalışmada

kurdukları deneysel düzenek ile farklı açılardan yerleştirdikleri kamerayla görüntüler almışlardır. Elde ettikleri görüntüye Otsu segmentasyon, Canny kenar çıkarımı ve Hough dönüşümü uygulamışlardır. İki kameradan tespit ettikleri ray yüzeyi görüntüsü birleştirilerek yüzeyde oluşan arızalar tespit edilmiştir.

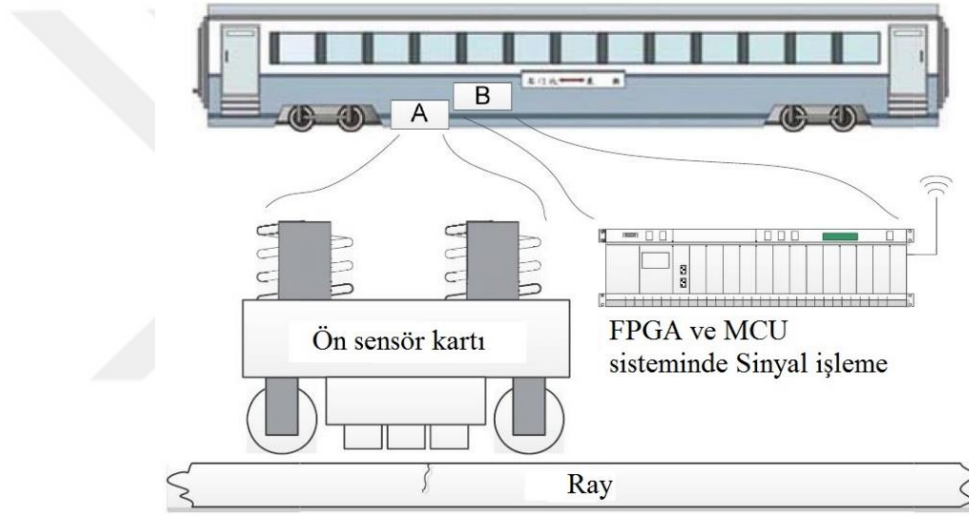
Molodova ve diğerkleri [45] trenler üzerinde aks kutusu ivmesi (ABA) ölçümlerini kullanarak "çökme" adı verilen demiryolu yüzey kusurlarını saptamak için otomatik bir yöntem sunmaktadır. Çökme arızaları için otomatik algılama algoritması, dalgacık spektrum analizi tabanlıdır ve çökme arızalarının konumunun yerini belirler. Wang ve diğerkleri [46] ray başı arıza teşhisi için görme tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Görüntüleme sisteminden alınan ray görüntüleri bulanık olabilir ve bu durum arıza tanıma işlemini sınırlandırmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada etkili bir Deblurring algoritması (L-PDE) Gaussian-blur görüntüleri için önerilmiştir.



Şekil 1.11. Ray başı arıza teşhis metodunun blok diyagramı [46].

Trinh ve diğerkleri [47] raylı nesnelerin algılanmasını geliştirmek için birden çok kamera ve mesafe ölçme aletinin kanıtlarını birleştiren yeni global optimizasyon çerçevesi sunmuşlardır. Liu ve diğerkleri [48] ray başı arızalarının teşhis edilmesine yönelik makine görmesi sistemine dayanan bir yöntem önermişlerdir. Ray yüzeyinde oluşan kırıkları ve ray başında oluşan tahribatları içeren iki tür arızayı analiz etmişlerdir. Gürültü eliminasyonu, görüntü segmentasyonu ve öznetelik çıkarımı gibi algoritmalar ray yüzey arızalı görüntülere uygulanmıştır. Ardından arızalı olan doğru bölge görüntüden çıkarılmış ve dinamik eşikleme

ve özellik eşleştirmesi uygulanarak arıza belirlenmiştir. Ray başlığının aşınma yüzdesi ve yüzeydeki çatlaklar, incelenen ray başı kesitindeki kusur değerlendirmesi yapılmıştır. Liu bir diğer çalışmasında [49], Elektromanyetik Tomografi (EMT) tekniğini kullanan yeni bir çevrimiçi ray arıza inceleme yöntemi önermişlerdir. Yöntem ray üzerindeki çatlaklar tarafından modüle edilen alternatif manyetik sinyali ölçmek için tomografik yaklaşımı kullanmaktadır. İleri elektromanyetik sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bir model hesaplanmıştır. Raylı arıza yeniden yapılandırma simülasyonları Tikhonov düzgünleştirme algoritması kullanılarak yapılmıştır. Online EMT ray arıza incelemesi konfigürasyonu Şekil 1.12’ de gösterilmiştir [49].



Şekil 1.12. Online EMT ray arıza inceleme konfigürasyonu

Espino ve Stanciulescu [50] demiryollarındaki ray hattını ve makas geçişlerini tespit ederek makas geçişlerini sınıflandırmışlardır. Rolling padlerin genişliğini kullanarak kenar tespiti tabanlı bir ray çıkarım işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kenar çıkarım algoritmasından elde edilen çıktı görüntüsü, RANSAC algoritmasına giriş olarak verilmiştir. Makas geçişinin tespitinde Histogram of Gradient (HOG) ve Template Matching (TM) kullanılmıştır. Makas geçişi sınıflandırma aşaması ise HOG tabanlıdır. Makas sınıflandırma aşamasında SVM sınıflandırıcı ile %98,72 oranında başarı elde edilmiştir. Ross [51] monofocal kamera tabanlı makas tespiti yapmıştır. Raylar, her çerçevede özyinelemeli bir tahmini algoritması ile ayarlanan şerit eğrileri ile temsil edilmiştir. Rayları tespit etmek için olasılıksal şerit eğrileri kullanmıştır. Şeritler her framede ayarlanmıştır. Shen ve diğerleri [52] makas arızalarının tespiti, boji hızlandırma ölçütüne dayanarak yapılmıştır. Öncelikle SIMPACK’

a dayalı arızalı makas modeli ve normal makas modeli oluşturulmuştur. Daha sonra ise hızlanma sinyali zaman-frekans domaininde analiz edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, güç spektral yoğunluğunun (PSD) ve tüm frekans-alan özelliklerinin, makas noktasının zayıf fit hatasını tespit etmek için yararlı olduğunu göstermiştir. Zhang ve diğerleri [53] PNN sinir ağı üzerine kurulu makas arızası tespit algoritması sunmuşlardır. Bu yaklaşımda normal makas arızası durum eğrilerini özetlemektedir. Haritalama verisi örneklerini test etmek ve eğitmek için BP sinir ağı ve PNN sinir ağı kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar PNN sinir ağına dayalı makas arızası algılama algoritmasının BP sinir ağı algoritmasından daha iyi olduğunu göstermiştir. Chen ve diğerleri [54] mevcut birçok izleme metodunu çalışmışlardır. Ray arızalarının ortaya çıkarılmasında Fiber grating, Optical imaging and Lamb guided wave metodlarını birleştirmişlerdir. Farklı bilgi kaynaklarından elde edilen veri, doğru tahmini elde etmek için işlenmiştir. Bu izleme sistemi demiryolu alanına kurulmuştur ve fizibilitesini doğrulamak için önceden test edilmiştir. Eker ve diğerleri [55] elektromekanik sistemlerde arıza ilerlemesini saptamayı ve öngörmeyi amaçlayan basit bir durum tabanlı prognostik (SSBP) yöntem önermişlerdir. Bu metod demiryolu makas geçişlerinde Hidden-Markov-Model tabanlı yöntemle karşılaştırılmıştır. Yan ve diğerleri [56] makas ray bölümlerinin uç yüzeyinin boyutu ölçümünde geleneksel temaslı ölçümde ölçüm hatasını, düşük verimliliği ve zayıf tutarlılık problemini çözmek için temassız ölçüm teknikli makine görmesine dayanan bir yöntem önerilmiştir. Öncelikle, uygun endüstriyel CCD ve kamera merceği, makas geçişindeki ray parçaları siyah beyaz görüntüsünün uç yüzeyinin gerçek durumuna uygun olarak yardımcı olmuştur. İkincisi, imgedeki uç yüzeyin ana hattı, matematiksel morfoloji ve dinamik eşik ile birleştirilerek çıkarılmıştır. Son olarak, ray sonunun gerçek boyutu kamera kalibrasyonunun sonucuyla birleştirilmiştir. Ross bir başka çalışmada [57] demiryolu araçlarının seçili konumunu takip etmek için yeni sensörlere ihtiyaç olduğundan bahsetmiştir. Yer konumunu tespit etme kapasitesini arttırmak için monofocal video kamera kullanmayı önermiştir. Kullanılan algoritma kamera görüntülerinde ray hattını özyinelemeli olarak tahmin etmiştir. Makas geçişinin tespit edilmesinde ve ray geometrisinin tahmin edilmesinde bahsedilen yöntem önerilmiştir. Literatürde demiryollarının teşhis edilmesi için yapılan çalışmalar, donanımsal gereksinim, tespit edilen olgu ve kullanılan yöntemler bakımından Tablo 1.1' de sınıflandırılmıştır.

Tablo 1.1. Demiryolu bileşen tespiti için literatürde yapılan çalışmaların sınıflandırılması

Donanımsal gereksinim	Tespit edilen olgu	Kullanılan yöntem	Referans
CCD kamera Işık kaynağı	• Ray hattının tespiti • Bağlantı elemanının tespiti • Kırılma arızası • Oyulma arızası • Aşınma arızası • Çatlama arızası • Ondülasyon arızası • Pullanma arızası • Ray başlarında meydana gelen Rolling contact fatigue (RCF) arızası	• Dinamik programlama • 2D histogram • Gabor filtresi • Nonlinear fonksiyon • Eşikleme • Gürültü eliminasyonu • Matematiksel morfoloji • Derin yapay sinir ağı • Öğrenilmiş kısmi diferansiyel denklem (L-PDE) • Görüntü sınıflandırma	[19, 21, 25, 28, 31, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 42, 44, 46, 48]
Yakınlık sensörü	• Ray yüzeyindeki bozulma ve yıpranma arızası	• Örnekleme ve filtreleme • Yapay sinir ağı • Levenburg-Marquart algoritması • Sezgisel yaklaşım • Wavelet dönüşümü	[20, 35]
SIMPACK ve MATLAB	• Demiryolu araç süspansiyon sistemindeki arıza	• CPCA (Consensus principle components analysis) metodu	[23]
GigE kamera LED ışıkları	• Motor yanıkları • Eksik cıvatalar • Raydaki çatlaklar • Çapraz bağların çizikleri	• FIR filtreleme • Kalman ve Gaussian filtreleme • Kenar tespiti • Fourier dönüşümü • Alan genişletme yöntemi	[26]
Donanımsal gereklik yoktur	• Makas geçişi tespiti	• RANSAC algoritması • HOG (Histogram of gradient) • TM (Template matching) • PNN sinir ağı • SVM (Support vector machine)	[24, 50-56]
CCD kamera Dijital işleme sistemi Lazer tarayıcı Denetim sistemi	• Raydaki kırılma arızası • Raydaki çatlamlar • Raydaki ondülasyon arızası	• Görüntü optimizasyonu • Profil çıkarımı • Korelasyon filtresi • Alt piksel inceltme	[27]
Kamera GPS bilgisi DMI (Distance measuring instrument)	• Bağlantı elemanının tespiti • Bağlantı elemanındaki arızalar	• Cross-frame eşleştirme • Nicel analiz • ROI (Region of interest) tespit metodu	[29, 30]
ACFM sensörü	• RCF ray arızası	• Eşikleme ve Sinyal eşleştirme	[41]
Fibre Bragg Grating sensörü	• Ray-tekerlek arasındaki ilişki • Ray arızası	• Wavelet dönüşümü	[32]

1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında, demiryolu hattının teşhis edilmesi için görüntü işleme tabanlı temassız izleme algoritmaları geliştirilmektedir. Tez süresince geliştirilecek algoritmaların temel amaçları kameradan alınan görüntülerle demiryolu ray hattının tespit edilmesi, ray yüzeyindeki arızaların tespit edilmesi, kameradan elde edilen görüntülerdeki hemzemin geçitlerin tespiti ve makas geçişlerinin tespit edilmesine yönelik algoritmalar geliştirilecektir. Bu çerçevede tezin genel amaçları aşağıdaki şekilde verilebilir.

- Görüntü işleme tabanlı yöntemler geliştirilerek demiryolu ray hattının tespit edilmesi,
- Tespit edilen ray hattındaki mevcut arızaların görüntü işleme tabanlı yöntemler ile bulunması,
- Demiryolları makas geçişlerinin görüntü işleme ve DVM (Destek Vektör Makinesi) tabanlı teknikler geliştirilerek tespit edilmesi,
- Demiryolu hemzemin geçitlerinin temassız teknikler kullanılarak tespit edilmesi ve tespit edilen hemzemin geçit üzerinde yabancı nesne bulunup bulunmadığının saptanmasıdır.

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanmakta ve/veya değerlendirme aşamasında olan yayın çalışmalarına ilave olarak sonuçlanan akademik yayın çalışmaları aşağıda verilmiştir [113, 114, 58 – 65, 115, 116].

- “Image Processing Based Level Crossing Detection and Foreign Objects Recognition Approach in Railways”, International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC), 2017. (Hakem değerlendirmesinde)
- “Hierarchical Fuzzy System Based Classification Approach for Railway Components Using Vision Inspection”, The 5th International Fuzzy Systems Symposium (FUZZYSS'17), October 14-15, Ankara, Turkey, 2017. (Hakem değerlendirmesinde)
- “Image Processing Based Inspection of Rail Surface and Connection Element in Railways”, International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium'17 (IDAP17), September 16-17, Malatya, Turkey, 2017.
- “A Comparison Study of Rail Fault Detection Methods in the Literature”, International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE), May 10-12, Elazig, Turkey, 2017.

- “Detection of Foreign Objects in Railway Level Crossings Using Image Processing Techniques”, International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'17), May 09-12, Istanbul, Turkey, 2017.
- “Rail Defect Detection and Classification with Real Time Image Processing Technique”, International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSE), 2016.
- “A Vision Based Condition Monitoring Approach for Rail Switch and Level Crossing using Hierarchical SVM in Railways”, International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC), 2016.
- “A Vision Based Detection Approach for Level Crossing and Switch in Railway”, International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16), September 01-03, Konya, Turkey, 2016.
- “Rail defect detection with real time image processing technique”, 2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), July 18-21, Futuroscope-Poitiers, France, 2016.
- “Detection of rail faults using morphological feature extraction based image processing”, 23th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 16 -19 Mayıs, Malatya, Türkiye, 2015.
- “Image processing based traffic sign detection and recognition with fuzzy integral”, 2016 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), May 22-25, Bratislava, Slovakia Republic, 2016.
- “Improvement of relative accreditation methods based on data mining and artificial intelligence for higher education”, 2016 15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), September 07-10, Istanbul, Turkey, 2016.

1.4. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması *giriş bölümü* ile birlikte altı bölümden oluşmaktadır. Bu bölümde tez çalışması kapsamında literatür çalışması yapılmıştır ve demiryolu ulaşımının güvenliğini arttırmak için geliştirilen teknikler incelenmiştir.

İkinci bölümde, demiryolu hattının bileşenlerinin neler olduğunu ve bu bileşenlerin temel özelliklerinden bahsedilmiştir. Demiryolu rayları, makas geçişleri ve hemzemin geçit türleri

incelenmiştir. Demiryolu raylarında oluşan arıza türleri ve arızaların oluşma sebepleri özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde, demiryolu ray tespitinde geliştirilen görüntü işleme tabanlı algoritmalar verilmiştir. Tespit edilen rayın yüzeyindeki arızaların temassız teknikler kullanılarak saptanması verilmiştir.

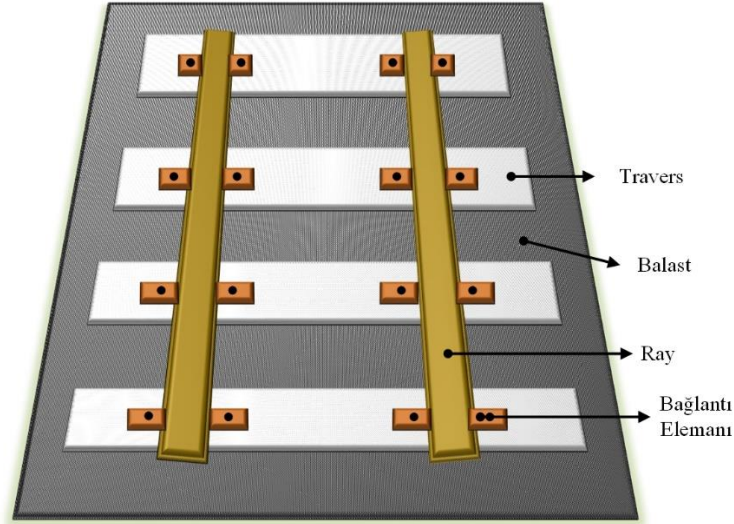
Dördüncü bölümde, trenin üzerine sabitlenen kameradan alınan demiryolu hattının görüntüleri, temassız görüntü işleme algoritmasına giriş olarak verilmiştir. Bahsedilen görüntüler üzerinde görüntü işleme teknikleri kullanılarak özellik çıkarımı yapılmıştır. Ray hattının tespit edilmesiyle makas geçişi olan bölgenin tespit edilebilmesi için DVM kullanılmıştır.

Beşinci bölümde, demiryolu hattına ait alınan giriş görüntüleri işlenerek hemzemin geçit olan bölge görüntüden çıkarılmıştır. Hemzemin geçit bölgesinin belirlenmesiyle birlikte bu bölge üzerine yabancı nesne bulunup bulunmadığı ve eğer bu bölge üzerinde yabancı nesne tespit edildiyse tespit edilen yabancı nesnenin demiryolu ve karayolu ulaşımı için tehlike oluşturacak nitelikte olup olmadığına karar veren bir teknik önerilmiştir.

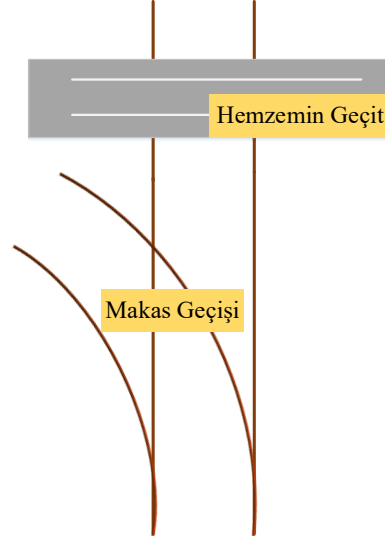
Altıncı bölümde ise tezde yapılan çalışmalar bir başlık altında değerlendirilerek bu çalışmaların hangi yönlerden geliştirilebileceği özetlenmiştir.

2. RAY HATTI BİLEŞENLERİ VE OLASI ARIZA TÜRLERİ

Ray hattındaki bileşenlerin durumunun izlenmesi demiryolu ulaşım güvenliğini arttırmaktadır. Ray yüzeyinde meydana gelen arızaların ve diğer ray hattı bileşenlerinin eksik ya da arızalı olup olmadığının kontrol edilmesi de oldukça önemli olan bir faktördür. Ray yüzeyindeki arızalar demiryolu ulaşımını aksatacak veya kaza yaşanmasına sebep olabilecek nitelikte ise bu arızaların erken tespit edilmesi için ray yüzeyinin temassız izleme teknikleri kullanılarak teşhis edilmesi gerekmektedir. Eksik olan bağlantı elemanlarının raydan çıkma kazalarının yaşanmasına sebep olacağından dolayı bağlantı elemanlarının tespiti demiryolu ulaşımının güvenliğini artırıcı yönde olacaktır. Makas geçişlerinin ve hemzemin geçitlerinin tespit edilmesiyle demiryolu araçlarını kullananlar için kolaylık sağlanmış olacaktır. Hemzemin geçit hem karayolunun hem de demiryolu ulaşımının ortak kullanım alanıdır. Bu geçitlerde ulaşımın güvenliğinin sağlanması için temassız görme tabanlı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Böylece hemzemin geçitlerde var olan yabancı nesnelerin ulaşımın güvenliğine zarar verecek nitelikte olup olmadığına bahsedilen görme tabanlı teknikler sayesinde karar verilebilmektedir.



Şekil 2.1. Temel ray hattı bileşenleri



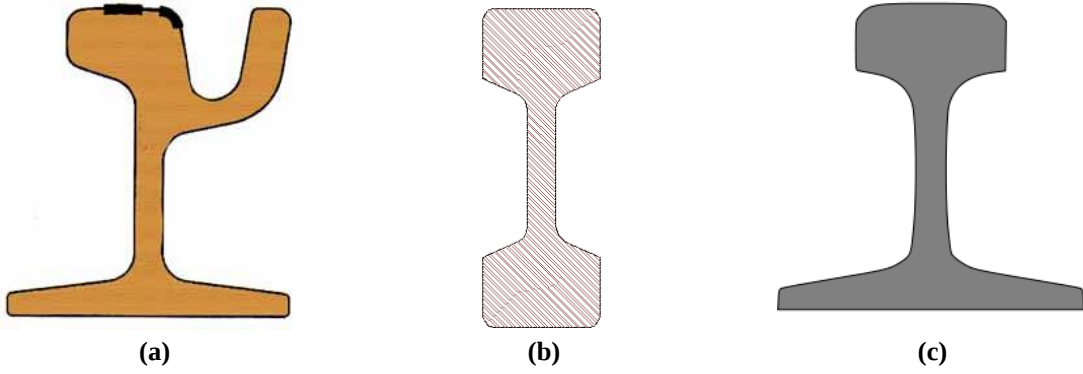
Şekil 2.2. Makas geçişi ve hemzemin geçit

2.1. Ray Hattı Bileşenleri

Demiryolu ulaşımında taşıtların hareketini sağlayan, altyapı üzerine kurulmuş olan yapıya üst yapı malzemesi denilmektedir. Üst yapı malzemesi demiryolu taşıtlarına düzgün bir seyahat yüzeyi sağlamaktadır. Ayrıca tekerleklerin üst yapı malzemesine aktardığı ağırlığı bir miktar azaltmasını gerçekleştirmektedir ve bu ağırlığı tabana yaymaktadır. Böylece demiryolundaki yatay ve düşey eksenler korunmuştur, demiryolu taşıtlarının güvenli bir şekilde seyahat etmesi sağlanmıştır [66]. Üst yapı malzemesini oluşturan demiryolu bileşenleri raylar, traversler, balast ve bağlantı elemanları olarak sınıflandırılabilir.

2.1.1. Raylar

Raylar demiryolu hattındaki en pahalı olan malzemedir. Demiryolu raylarının amaçları; trenin ağırlığını traverse iletmek, trenin seyahat edebileceği pürüzsüz bir yüzey sağlamak ve tekerlek kenarlarını yönlendirmektir [67]. Raylar birim uzunlukları ve ağırlıkları ile sınıflandırılmışlardır. Rayların mantar şeklinde olmasının sayesinde dinamik yük gerilmelerini sağlamaktadır. Raylar oluklu, patenli ve çift mantarlı olmak üzere üç çeşidi bulunmaktadır [68]. Rayların çeşitleri Şekil 2.3' te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ray türlerinin örnek gösterimi (a) Oluklu ray profili [69] (b) Çift mantarlı ray kesiti [9] (c) Patenli ray örneği [70]

Şekil 2.3'te gösterilen ray türlerinden oluklu ray tramvay hatlarında ve hemzemin (eş düzey) geçitlerde kullanılmaktadır. Oluklu ray kullanılmasının dezavantajı, çeşitli malzemelerin boden yataklarını doldurması sebebiyle demiryolunun bakım ve temizliğinin sürekli yapılmasının gerekmesidir. Çift mantarlı raylar ise alt ve üst mantardan oluşmaktadır. Bu rayın tercih edilmesinin sebebi üst rayın aşınması durumunda üst rayın alta gelecek şekilde rayın ters çevrilmesidir. Ancak alt rayın da aşınma durumu söz konusu olabileceğinden kullanımı elverişli değildir. Patenli raylar ise çift mantarlı rayların dezavantajlı durumlarını ortadan kaldırmıştır. Traverslerle rayın bağlantısını sağlayan geniş bir dayanma yüzeyi bulunmaktadır.

2.1.2. Balast ve Travers

Balast, demiryollarında trenin seyahati sırasında traverslerin yerinde kalmasını sağlayan üst yapı malzemesidir [71]. Balast, traverslerden gelen yükü daha geniş bir alana aktararak dağıtma görevini yerine getiren keskin köşeli sert ve sağlam taşlardır. Yağmur sularını ray hattından korur. Traversle toprak ilişkisini sağlayarak traversin çürümesini önlemiştir [72].



Şekil 2.4. Demiryolları balastı

Raylara dik olan bir açıyla yerleştirilmiş olan ve raydan gelen ağırlıkları balasta dengeli bir biçimde aktaran rayın üst yapı malzemesidir. Rayları doğru hizada tutmak için tasarlanmıştır. Raylar için sağlam bir destek sağlamaktadır. Hem dikey hem de yatay yönde yeterli ölçüde mukavemet sağlamaktadır. Raydan kaynaklanan titreşimleri hafifletir ve ses ve darbe dalgalarının çevre üzerindeki etkisini azaltmaktadır. Traversler malzeme özelliklerine göre ahşap, çelik ve betonarme travers olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir. Ahşap travers yalnızca 160 km/s' lik hız limitine sahip düşük hız hatları için uygundur [73]. Bu tür traversler için kabul edilebilen ahşap Avrupa meşesi, kayın, çam vb. türleridir. Günümüzde bazı ülkelerde ahşap traversler beton traversler ile değiştirilmektedir. Ahşap travers kullanmanın avantajları; kullanımının kolay olması, iyi bir direnç sağlaması, iyi elektrik izolasyonu sağlaması ve standart dışındaki durumlara kolayca uygulanabilmesidir [73]. Çelik traverslerin avantajı ise üretiminin ve kullanımının kolay olmasıdır. Beton traverslerin ahşap traverslere kıyasla avantajları; bu traversler daha uzun bir yaşam döngüsü süresine sahiptirler, daha ucuzdurlar, büyük ağırlıklar daha küçük yanıl yer değiştirmeye sebep olmaktadır.



Şekil 2.5. Ahşap travers örneği



Şekil 2.6. Çelik türündeki traversler [74]



Şekil 2.7. Betonarme türündeki traversler

2.1.3. Bağlantı Elemanları

Demiryollarındaki rayı raya ve traverslere bağlayan mekanizmaya bağlantı elemanı denilmektedir. Bağlantı elemanları ray ve traversin birbirinden ayrılmasını engellemektedir. Ayrıca rayların gelen ağırlıklardan dolayı şekillerinin bozulması da önlemektedir. Bağlantı elemanları tipik olarak iki kategoriye ayrılırlar: sert (rijit) ve elastik bağlantı elemanı. Örnek bir bağlantı elemanı Şekil 2.8’ de verilmiştir.



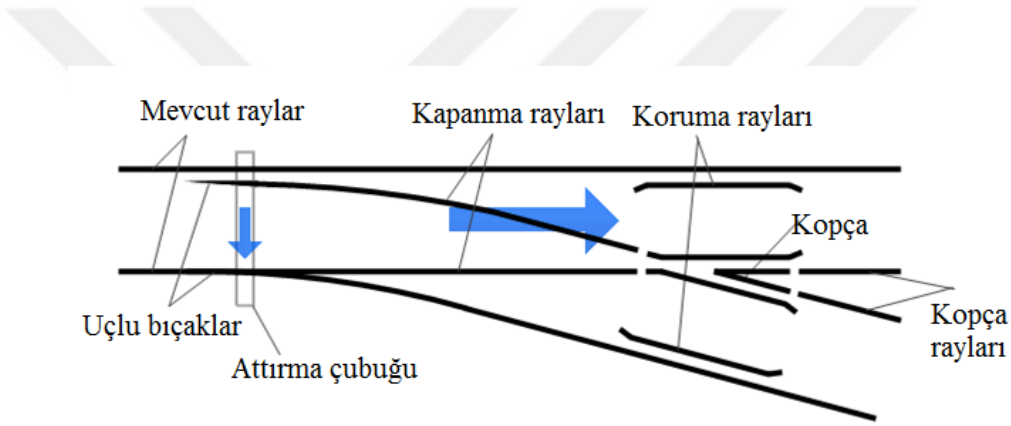
Şekil 2.8. Örnek bağlantı elemanı [75]

Demiryolundaki rayı traverse bağlama çeşitleri Blon-Tirfon tipi bağlantı, N tipi bağlantı, K tipi bağlantı ve HM tipindeki bağlantıdır [68]. Blon-Tirfon tipindeki bağlantı, trenlerin aşırı hız yaptığı durumlarda tirfonların merkezkaç kuvvetini karşılayamamasından dolayı kırılmaktadır. N tipindeki bağlantı ise rayların vuruntu olan yüzeyinde plastik selet kullanılmadığından ray, travers ve bağlantı elemanının kırılması gibi durumlarla karşılaşmaktadır. K tipi bağlantıda yatay kurplarda oluşan merkezkaç kuvvetini iki tirfon karşılamaktadır. Blon-tirfon tipindeki bağlantının sahip oldukları dezavantajlar K tipi

bağlantı için de geçerlidir [68]. HM türündeki bağlantıda ise diğer sistemlerdeki dezavantajlı olan durumların tümü giderilmiştir.

2.1.4. Makas Geçişleri

Demiryolundaki araçların bir yoldan başka bir yola yönlendirmeyi sağlayan raylı mekanizmadır. Makas geçişleri, demiryollarının aynı düzlemde birbirinin içinden geçebilmesini sağlamaktadır. Her makasın bir doğru yolu ve bir sapan yolu bulunmaktadır. Makas geçişleri demiryollarının ulaşımında önemli bir yer tutmaktadır. Bir makas geçişinin genel tasarımı Şekil 2.9’ da gösterilmektedir.

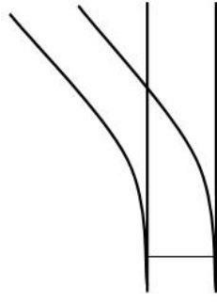


Şekil 2.9. Makas geçişinin tasarımı

Şekil 2.9’ da verilen örnek makas geçişi tasarımı incelendiğinde bir tane ana yol ve bir adet de sapma yolu mevcuttur. Trenin ana yoldan sapma yoluna geçişini makas geçişleri sağlamaktadır. Makas geçişleri; Basit makas, Birleşik makas, İngiliz makası, Çapraz takımı, Kruvazman ve S Makas türlerinden oluşmaktadır [14].

2.1.4.1. Basit Makas Geçişi

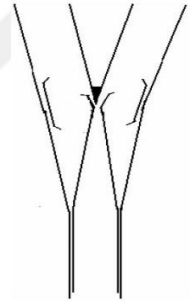
Basit makaslar bir göbek, iki yaslanma, iki dil, kontray ve ara raylardan oluşan bir mekanizmadır [14]. Basit makaslar dört gruba ayrılmaktadır: Sol basit makas, Sağ basit makas, Simetrik basit makas ve Eğri basit makastır. Aşağıdaki şekiller makas türlerine ait örnek gösterimleri içermektedir.



Şekil 2.10. Örnek sol basit makas geçişi



Şekil 2.11. Örnek sağ basit makas geçişi



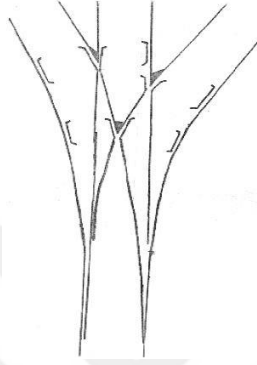
Şekil 2.12. Simetrik basit makas geçişi



Şekil 2.13. Eğri basit makas geçişi

2.1.4.2. Birleşik Makas Geçişi

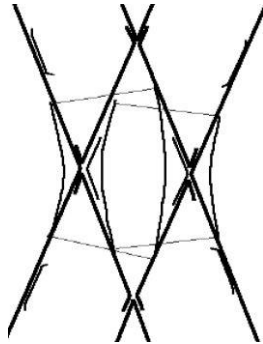
Birleşik makas geçişlerinde iç içe geçmiş durumda olan iki adet makas bulunmaktadır. Bu makas geçişlerinde dört dil ve üç göbek bulunmaktadır. Birleşik makas örneği Şekil 2.14’te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Birleşik makas geçişi [14]

2.1.4.3. İngiliz Makas Geçişi

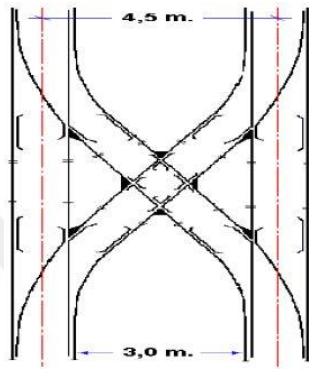
İngiliz makas geçişi iki gruba ayrılmaktadır: Yarım İngiliz makas geçişi ve Tam İngiliz makas geçişi. Yarım İngiliz makas geçişi dört dil ve dört göbeğe sahiptir. Tam İngiliz makas geçişi ise sekiz dil ve dört göbeği bulunmaktadır [14].



Şekil 2.15. İngiliz makas geçişi [14]

2.1.4.4. Çapraz Takımı Makas Geçişi

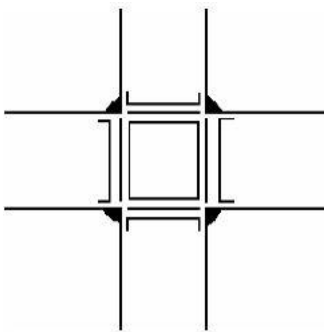
Çapraz takımı makas geçişleri dört adet basit makas ve bir adet kruvazman içermektedir [14]. Sekiz tane dil ve sekiz tane göbeğe sahiptir. Çapraz takımı makas geçişlerinde, basit makasın yerine İngiliz makası da kullanılabilir [14]. Çapraz takımı makas geçişinin örnek bir gösterimi Şekil 2.16' da gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Çapraz takımı makas geçişi [14]

2.1.4.5. Kruvazman Makas Geçişi

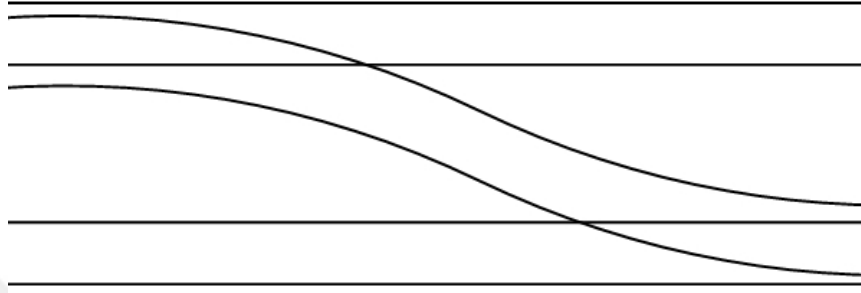
Kruvazman makas geçişi sadece göbeklerden oluşmaktadır. Bu makas geçişinde kendi yönlerinde geçişi sağlayan iki yol bulunmaktadır. Bahsedilen yollar birbirleriyle belli bir açı değerinde kesişmektedirler [14]. Örnek bir kruvazman makas geçişi Şekil 2.17' de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Kruvazman makas geçişi [14]

2.1.4.6. S Makas Geçişi

Birbirine paralel olan iki yoldan, bir yoldan diğeryola geçişin sağlandığı iki adet basit makası içeren makas geçişi türüne S makas geçişi denilmektedir. Görsel olarak S' ye benzeyen iki adet basit makas içermektedir.



Şekil 2.17. S türündeki makas geçişi

2.1.5 Hemzemin Geçitler

Demiryolu ulaşımı ve karayolu ulaşımı için hemzemin geçitler oldukça önemli bileşenlerdendir. Ülkemizdeki mevcut hemzemin geçit türleri serbest (çapraz işaretli), güvenlik bariyerli, otomatik bariyerlidir. Hemzemin geçitlerin kaplama türü ise ahşap, stabilizasyon, beton, lastik, toprak balastlı, asfalt, parke taşı, çelik kaplama olabilmektedir. Hemzemin geçitler demiryolu araçlarının, karayolu araçlarının ve yayaların ortak kullanımında olduğundan dolayı bu geçitlerde kaza görülmesi ihtimali de yüksektir. Son on yılda hemzemin geçitlerde meydana gelen kazaların oranı %35' tir [76].



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.18. Hemzemin geçit türleri [77] (a) Serbest, (b) Güvenlik bariyerli, (c) Otomatik bariyerli



(a)



(b)



(c)



(d)

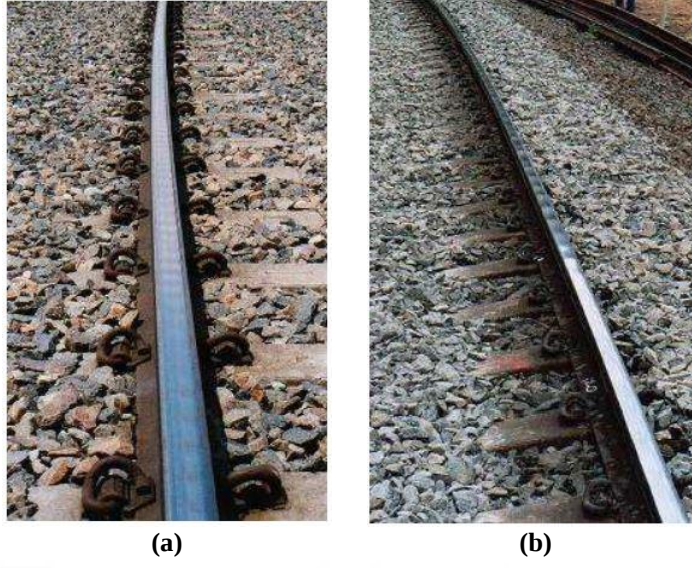
Şekil 2.19. Hemzemin geçit kaplama türleri [77] **(a)** Toprak balastlı, **(b)** Çelik, **(c)** Ahşap, **(d)** Beton

2.2. Olası Arıza Türleri

Demiryolu ray yüzeyinde meydana gelen arızalar demiryolu ulaşımının kalitesini ve güvenliği etkilemektedir. Raylarda meydana gelebilecek arızalar başlıca kırışma, haddeleme temas yorgunluğu (RCF), kabuklanma, çökme, tekerlek yanıkları, tekerlek zırlı yüzey arızası, hepçek, parçalanma, oval nokta arızası, plastik akış ve dil desteği, cıvata delik çatlakları, boyuna dikey çatlak, çapraz çatlak, bükülme, aşınma, kırılma, ondülasyon ve oksitlenme arızasıdır.

2.2.1. Kırışma Arızası

Doruk noktaları ve vadiler şeklinde görülen demiryolu izinin dalga benzeri şekilde aşınmasını içeren bir ray kusurudur. Başka bir ifadeyle demiryolu yüzeyinin periyodik olan düzensizliğidir. İki türde demiryolundaki kırışma arızaları mevcuttur: Kısa adım ve Uzun adımdır. Dalga boyu 30mm' de 90mm' ye kadar kısa adım kırışma arızası, dalga boyu 150-200 mm üzerindeki kırışmalar uzun adım kırışma arızasıdır.



Şekil 2.20. Kırışma arızası [78] **(a)** Kısa adım kırışması, **(b)** Uzun adım kırışması

2.2.2. Haddeleme Temas Yorgunluğu Arızası

Haddeleme temas yorgunluğu arızası, ray yüzeyine yakın yerlerde meydana gelmektedir. Genellikle bu arızalar demiryolu boyunca yaklaşık 25mm aralıklarla görülmektedir. Bu arızalar ray yüzeyine yaklaşık 10°-30°'lik aşağı doğru bir açıda rayın derinliğine büyüyebilir ve ray kafasına yavaş yavaş yayılır [78].



Şekil 2.21. Haddeleme temas yorgunluğu arızası [78]

2.2.3. Kabuklanma Arızası

Kabuklanma arızası, yüzeyin altındaki yorgunluktan dolayı malzeme kaybından kaynaklanan bir arızadır [78]. Eğimli olan rayların ölçüm genişliklerinde oluşmaktadır. Bu çatlaklar yüzeyde ortaya çıktığında metalin çatlak alanından çıkmasına neden olurlar. Bazen

bu çatlaklar aşağı yönde de hareket edebilmektedir, bu durum rayın enine bir kırılmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.22. Ray yüzeyinde oluşan kabuklanma arızası [78]

2.2.4. Çökme Arızası

Çökme arızalarının iki türü bulunmaktadır: rayın seyrettiği yüzeyinin arızası ve ray açıklığındaki köşelerin arızasıdır. Rayın hareket ettiği yüzeyindeki süpürgelerin yüzey sertliği, bitişik veya karşıt rayların taban sertliğinden çok daha yüksek olabilir, bu durum ise büyük olasılıkla tekerlek ve ray çekme etkilerinden dolayı büyük yakın yüzey mikro yapı değişikliklerini gösterir.



Şekil 2.23. Ray yüzeyinde oluşan çökme arızası [78]

2.2.5. Tekerlek Yanıkları Arızası

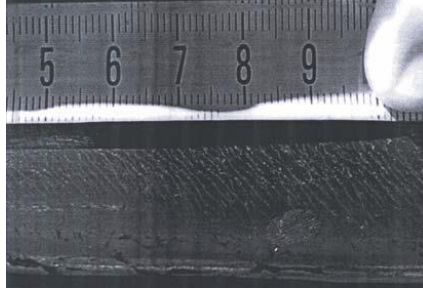
Tekerlek yuvalarından kaynaklanan bir arızadır. Rayların ilk hasar derecesi görünür bir renk değişikliğinden şiddetli bir şekilde benekli bir görünüme kadar çeşitlilik göstermektedir. Araç ileri doğru hareketsiz kalırsa hasar artacaktır ve araç durduğunda tam yanma olmaktadır.



Şekil 2.24. Tekerlek yanıklarını gösteren bir ray profili [78]

2.2.6. Hepçek Arızası

Yüksek ray demiryolu köşesinde eğri yarıçapı 1000-1500 m olan yüksek temas gerilmeleri oluşur [79]. Hepçek arızası, yüksek ray demiryolunun köşesindeki sıkı (1000 m'den az) eğriliklerde de olabilir [79]. Ray profillerindeki ufak bir değişiklik, temas gerilmeleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Hepçek arızası yüzeyin başlangıç arızasıdır. Bu arıza genellikle rayın uzunlamasına eksenine 30-60 derecede meydana gelmektedir [79]. Bu arıza kontrol edilmezse rayın kırılmasına sebep olabilir. Ciddi hepçek arızalarının olması durumunda ray yenisiyle değiştirilmektedir.

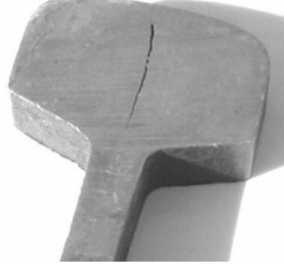


Şekil 2.25. Hepçek ray arızası [79]

2.2.7. Ray Kırıkları Arızası

Ray yüzeyinde boyuna dikey çatlak, çapraz çatlak ve cıvata delik çatlakları meydana gelebilmektedir. Boyuna dikey çatlaklar genellikle üretim arızası olup ray ağında oluşup ray başına da yayılabilmektedir. Eğer bu çatlak başka çatlaklarla kesişiyorsa, erken kırılmaya

neden olabilmektedir. Soğuk iklimde bu tip çatlak nedeniyle ani kırılma olasılığı ağırlık kazanmaktadır.



Şekil 2.26. Boyuna dikey çatlak arızası [79]

Ray yüzeyindeki çapraz çatlak arızaları çoğunlukla arızalı kaynak derzlerinin kesit alanlarında görülmektedir. Bir kaynak kusuru, kaynak materyalindeki veya demiryolu üretim hatasındaki farklılıklardan kaynaklanabilir. Kaynak derzlerinde çapraz çatlaklar, gözenekler ve hizalama gibi kaynak işlemlerinden kaynaklanan kusur kaynaklıdır.



Şekil 2.27. Çapraz çatlak arızası [79]

Ray yüzeyindeki cıvata delik çatlakları çok yüksek gerilime maruz kaldıkları için çatlama karşı direnç gösterecek zayıf noktalar haline gelmektedirler. Genellikle bu çatlaklar dikey düzleme 45 derece açıyla web düzlemi boyunca radyal olarak yayılırlar [79].

3. GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE RAY ARIZALARININ TESPİTİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

Tez çalışmasının bu bölümünde, demiryolu hattından alınan görüntüler temassız izleme yöntemleri kullanılarak ray hattı bileşenlerinin tespit edilmesi için yeni yöntemler geliştirilmiştir. Görüntü işleme tabanlı geliştirilen bu teknikler sayesinde ray hattı bileşenlerinin tespiti sağlanmıştır. Geliştirilen yöntemlere giriş olarak verilen RGB renk formatındaki görüntüler farklı renk uzayı formatlarına dönüştürülmüştür. Ardından görüntüye birtakım filtreleme metotları uygulanmıştır. Ray hattının giriş olarak alınan görüntüde belli bir eğim açısıyla durması halinde ise bu rayın hangi yönde ve kaç derecelik bir açıyla bulunduğu belirlenerek tersi yönde ve aynı açıyla görüntünün döndürülmesi sağlanmıştır. Böylece ray hattının tespiti kolaylaştırılmıştır.

3.1. Giriş

Demiryolu ulaşımı ülkemizde ve dünyada önemli bir ulaşım türü olarak görülmektedir. Hızlı trenler, maliyeti düşük ve normal trenlere göre daha hızlı yolculuk etme olanağı sağlayan bir ulaşım aracıdır [4]. Tren kullanma sıklığının artmasına bağlı olarak demiryolu ulaşımı daha etkili ve önemli bir hal almıştır. Gelişen demiryolu teknolojisi beraberinde demiryollarının daha ayrıntılı olarak arıza tespitinin yapılmasını ve bu durum üzerine çalışılmasını gerektirmiştir. Demiryolu raylarında oluşan hataları tespit etmek için temaslı ölçüm tekniğinin elde ettiği sonuçlar, günümüzün gelişmiş demiryolu teknolojisinin ihtiyaçlarını karşılama konusunda yetersiz kalmıştır. Çünkü temaslı ölçüm tekniği, düşük hassasiyet ve doğruluk seviyesi ile çalışmaktadır [5]. Gelişmiş demiryolu teknolojileri ile temassız olarak raylar üzerindeki arızaların tespit edilmesi işlemi yapılmaktadır.

Demiryolu sistemlerinde ray en önemli bileşenlerdendir. Raylarda oluşan aşınmalar tren tekerleklerinin raya sürtünmesinden kaynaklanmaktadır. Bu aşınmaların zaman içinde artması ulaşımın güvenliğinin bozulmasına, yoldan çıkma kazalarının olmasına, ray ve tekerlek arasındaki uyumun bozulmasına neden olabilmektedir [80]. Bu durumların önüne geçebilmek ve raylarda oluşacak arızaları erken tespit edilebilmek için ray profil analizinin düzenli periyotlarla tekrarlanması gerekmektedir [81]. Ancak bu işlem pahalıdır ve denetim sırasında bu işlemin geçici olarak devre dışı olması gerekmektedir [82].

Bu bölümde, alınan ray görüntüleri üzerinde öncelikle rayın tespit edilmesi işlemi yapılmaktadır. Ardından tespit edilen ray görüntüsündeki arızaları bulmak için görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Ray arızalarının tespit edilmesi işlemi için önerilen yöntem, literatürde var olan algoritmalarından hem daha hızlı çalışmakta hem de belirtilen tüm arızalar tek algoritma ile tespit edilmektedir.

3.2. Ray Arızasının Tespiti Yönteminde Kullanılan Teknikler

Demiryolu ulaşımının güvenliğinin artırılması maksadıyla ray arızalarının tespitinde yapılmış olan birçok görüntü işleme tabanlı çalışma literatürde mevcuttur. Literatür taraması yapılarak, demiryolu raylarını ve ray yüzeyindeki arızaların tespiti için geliştirilen yöntemler incelenmiştir. Mevcut çalışmalarda, demiryolu görüntüsü üzerinde kenar çıkarımı ve Hough dönüşümü uygulanarak görüntü üzerinde ray hattı elde edilmektedir. Tespit edilen ray hattı ile ray yüzeyindeki arızalar incelenmiştir. Bu çalışmada ise demiryolu ray hattına ait görüntüdeki doğru parçaları kenar çıkarım ve Hough dönüşümü kullanılarak görüntüdeki ray hattına ait doğru parçalarının koordinat bilgilerinin belirlenmesiyle ray hattı görüntüden çıkarılmıştır. Ardından tespit edilen ray bileşenindeki ray yüzey arızaları görüntü işleme tabanlı olarak geliştirilen birtakım tekniklerle belirlenmiştir. Önerilen yaklaşımda kullanılan görüntü işleme teknikleri; kenar çıkarım yöntemleri, Hough dönüşümü, Morfolojik teknikler, Filtreleme teknikleridir.

3.2.1. Kenar Çıkarım Yöntemleri

Görüntüdeki optik ve şekle bağlı olarak farklı özellikler kenarların oluşmasına neden olmaktadır. Kenarların görünümünde şekil temelli özellikler; Yüzey dokusu veya renk yönü, nesne, sınır, üstten gelen iki nesne gözlemlenen renk değişiklikleri görünüm ve doku farklılıklardır [83]. Optik özelliklerinden bazıları olan kenarlar; Doğrudan yansıma ışığı, aynı nesnenin veya diğer nesnelerin bir bölümünden kaynaklanan gölgeler, aynı nesnenin ara parçası veya diğer nesnelerden kaynaklanan yansımalar, doku veya renk varyasyonudur [84]. Bir görüntüdeki kenar kavramı sınırları ifade etmektedir. Bu sebeple kenar tespiti, görüntü işleme alanında temel bir problem olmuştur. Görüntüdeki kenarların tespit edilmesi önemli ölçüde görüntüdeki verinin miktarını azaltmaktadır ve yararı olmayan bilgileri

Kenar algılama süreci bir görüntüdeki keskin düzensizlikleri bulma ve tanıma işlemidir. Bu düzensizlikler görüntüdeki nesnelerin sınırlarını karakterize eden piksel yoğunluğundaki ani değişikliklerdir. Kenarlar görüntüdeki anlamlı özellikleri ve önemli bilgileri içermektedir. Çoğu görüntüler yeniden yapılandırma sürecinde kenarlar algılanıp değiştirildiğinde bazen yok edilebilecek bir miktar fazlalık içerirler. Ayrıca kenar tespiti, görüntülerin bilgisayar belleğinde çok fazla alan kapsamasını sağlayan yöntemlerden biridir. Kenarlar genellikle nesne sınırlarını temsil eden görüntü konumlarında ortaya çıktığı için kenar tespiti görüntü segmentasyonun için sıklıkla kullanılır [85].

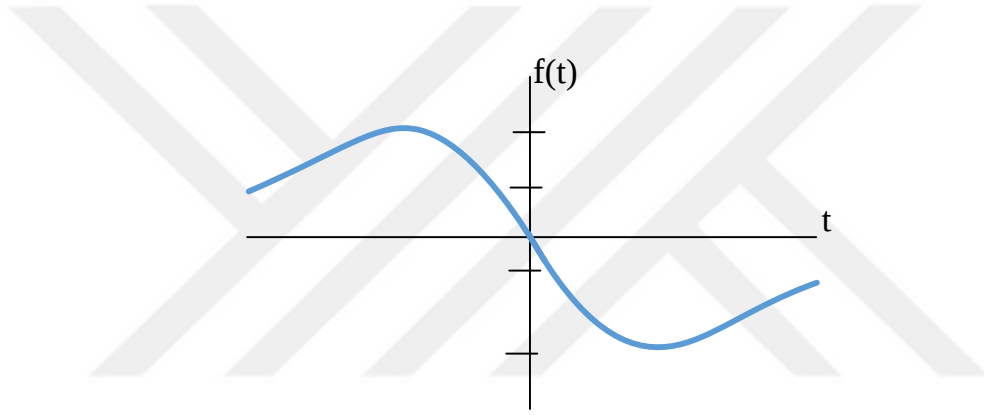
A graph of a function $f(t)$ plotted against t . The curve is smooth and increasing, starting at a positive value on the y -axis and approaching a horizontal asymptote as t increases.



A graph of a function $f(t)$ plotted against t . The curve is symmetric about the vertical axis ($t=0$) and has a maximum value at $t=0$. The curve approaches zero as t goes to positive or negative infinity.

35

Türev, orijinal görüntüdeki kenarın merkezinde bulunan maksimum değeri göstermektedir. Bir kenar belirleme yöntemi, kenar algılama filtrelerinin eğim filtresinin özelliğidir ve Sobel metodunu içerir [85]. Eğim değerinin bir miktar eşik değerini aşması durumunda bir piksel konumu kenar konumu olarak bildirilir. Bahsedilen kenarlar bu kenarı çevreleyen piksellerden daha yüksek piksel değerine sahiptir. Böylece bir eşik değeri ayarlandıktan sonra eğim değerini eşik değeriyle karşılaştırmaktadır ve eşik değeri aşıldığında kenar algılanır. Ayrıca birinci türevin maksimum olduğu noktada ikinci türev sıfırdır [85]. Sonuç olarak bir kenarın yerini bulmak için bir başka alternatif yol ikinci türevdeki sıfır değerlerinin aranmasıdır. Bu yöntem Laplacian olarak bilinmektedir. Sinyalin ikinci türevi Şekil 3.3’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Şekil 3.2’teki sinyalin ikinci türevi

Kenar algılama tekniklerinden Gradient tabanlı olanlar başlıca Canny, Roberts, Sobel ve Prewitt operatörleridir. Laplacian tabanlı kenar çıkarma algoritmaları ise Log operatörüdür [87].

3.2.1.1. Roberts Kenar Çıkarım Algoritması

Roberts kenar çıkarma algoritması yaklaşık eğim vektörünün hesaplanması için her noktada 2x2 boyutundaki G_x ve G_y matrisi ile görüntünün taranması işlemidir. Eğim vektörünün büyüklüğü hesaplanır ve görüntü boyutundaki bir piksel matrisinin kenarlarıyla yer değiştirilir.

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$|G| = |G_x| + |G_y| \quad (3.2)$$

Roberts kenar çıkarma operatörü kullanılarak maskeleme işlemi uygulanacak olan görüntünün piksel değerleri aşağıdaki gibidir.

a_1	a_2
a_3	a_4

Roberts metoduna göre bu dörtlü pikselin “ q ” değeri denklem 3.3’te verilmektedir.

$$q = |a_1 - a_4| + |a_2 - a_3| \quad (3.3)$$

Görüntü üzerindeki renk tonlarında bir farklılık gözlemlenmediğinde “ q ” değeri 0 olur ve görüntünün bu bölgesinde kenar olmadığı tespit edilir. Eşikleme işlemi ise görüntünün sonuçları karşılaştırılarak kenarlar belirlenir. Giriş görüntü ve Roberts kenar çıkarma sonucunda elde edilen görüntü Şekil 3.4’ te gösterilmiştir.



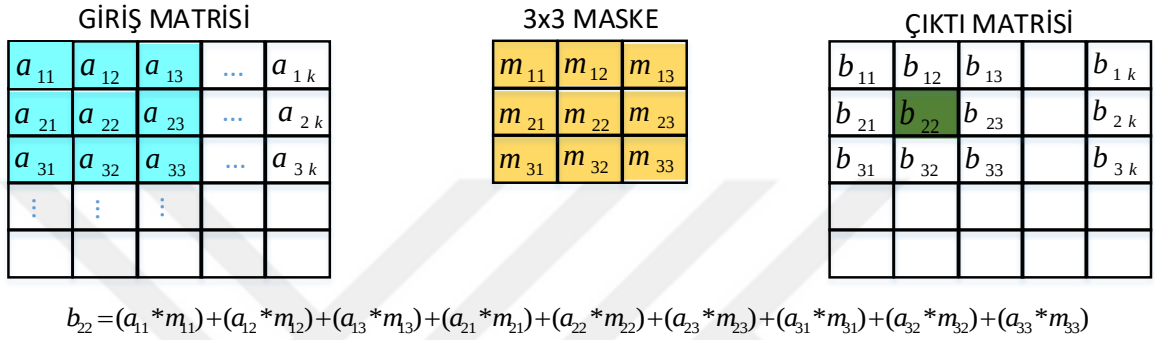
Şekil 3.4. Roberts kenar algılama algoritması sonucu (a) Normal görüntü (b) Kenar çıkarımı elde edilmiş görüntü

3.2.1.2. Sobel Kenar Çıkarım Algoritması

Sobel kenar çıkarma operatörü Roberts kenar çıkarma operatörü gibi yaygın kullanıma sahiptir. Sobel kenar çıkarma algoritmasının altında yatan fikir 3x3 boyutunda iki adet maskeleme matrisi kullanılmaktadır. Bahsedilen bu matrisler x ve y yönündeki eksenlerin taranmasını sağlamaktadır. 3x3 boyutundaki S_x ve S_y matrisleri 3.4’ te gösterilmiştir.

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad S_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

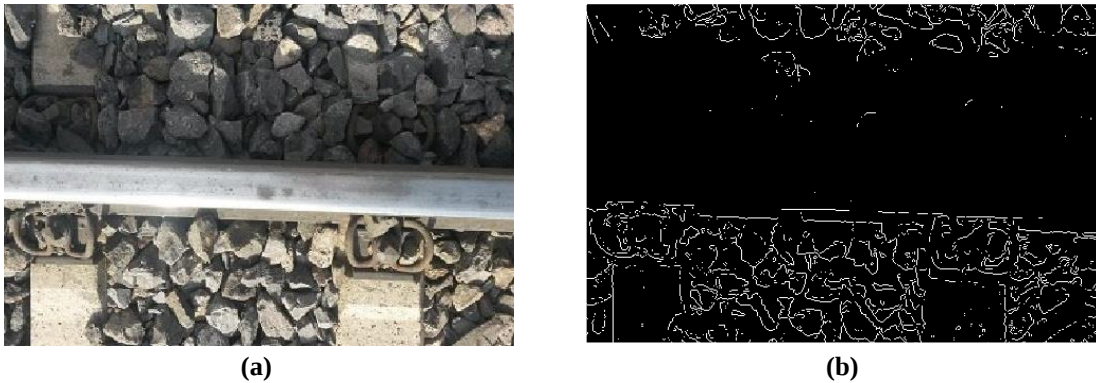
Görüntüdeki pikseller bu maskelerle konvolüsyon işlemi yapılarak x ve y eksenindeki değerler hesaplanmıştır. Maskeleme işleminin konvolüsyon işlemi örnek olarak Şekil 3.5’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Sobel kenar çıkarma algoritmasının maskeleme süreci

Şekil 3.5’ te gösterildiği gibi x ve y eksen yönündeki iki adet matris elde edildikten sonra bu matrislerin büyüklüğü 3.5’ te gösterildiği gibi hesaplanarak kenar çıkarma sonucunda elde edilen görüntü Şekil 3.6’ da gösterilmiştir. G_x ve G_y matrisleri Şekil 3.5’ te gösterildiği gibi elde edilen x ve y yönündeki matrislerdir.

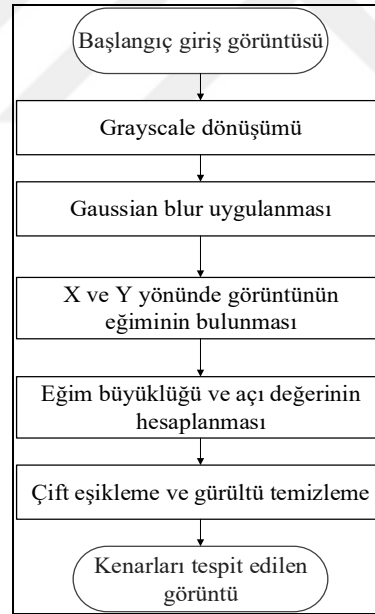
$$G(i, j) = \sqrt{G_x(i, j)^2 + G_y(i, j)^2} \quad (3.5)$$



Şekil 3.6. Sobel kenar çıkarma algoritması sonucu **(a)** Normal görüntü **(b)** Kenar çıkarmı elde edilmiş görüntü

3.2.1.3. Canny Kenar Çıkarım Algoritması

Kenarlar sınırları karakterize eder ve bu nedenle görüntü işlemede temel öneme sahip bir sorundur. Canny kenar çıkarma algoritması, optimal kenar algılama algoritması olarak da bilinmektedir. Kenar algılama algoritmalarında aranan nitelikler; ilk ölçüt, düşük hata oranına sahip olmalı ve istenmeyen bilgileri filtreleyip, yararlı bilgiler korunmalıdır. İkinci kriter, orijinal görüntü ile işlenmiş görüntü arasında mümkün olan en düşük değişimi korumaktır. Üçüncü kriter ise bir kenarın çoklu tepkilerini ortadan kaldırmaktır. Bu kriterlere dayanarak, Canny kenar tespiti yöntemi, öncelikle gürültüyü ortadan kaldırmak için görüntüyü yumuşatmaktadır. Daha sonra, yüksek uzaysal türevleri olan bölgelerin vurgulamak için görüntünün eğimini bulmaktadır. Ardından, algoritma bu bölgeler boyunca görüntüyü tarar ve azami olmayan bastırma kullanarak maksimumda olmayan herhangi bir pikselin bastırılmasını sağlar. Canny kenar çıkarım algoritmasının akış şeması Şekil 3.7’ de verilmektedir.



Şekil 3.7. Canny kenar çıkarımının akış diyagramı

Canny kenar çıkarma algoritmasına giriş olarak verilen RGB formatındaki görüntünün grayscale formatına dönüştürülmesinde kullanılan formülasyon, denklem 3.6’ da gösterilmiştir.

$$f(i, j) = R(i, j) * 0,2989 + G(i, j) * 0,5870 + B(i, j) * 0,1140 \quad (3.6)$$

Denklem 3.6’ da kullanılan $f(i, j)$ gri seviyeli görüntü matrisini, $R(i, j)$ “Red” görüntü matrisini, $G(i, j)$ “Green” görüntü matrisini ve $B(i, j)$ “Blue” görüntü matrisini ifade etmektedir. Daha sonra ise görüntüye Gaussian blur işlemi uygulanarak yumuşatma işlemi yapılmıştır. Gaussian maskesi denklem 3.7’ de gösterilmiştir.

$$Fg = \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} * \frac{1}{159} \quad (3.7)$$

Bu işlemin ardından ise görüntüdeki x ve y eksenleri yönünde kenar çıkarımı yapılmıştır. Kenar çıkarımı işleminde S_x ve S_y Sobel matrisleri kullanılmıştır.

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad S_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

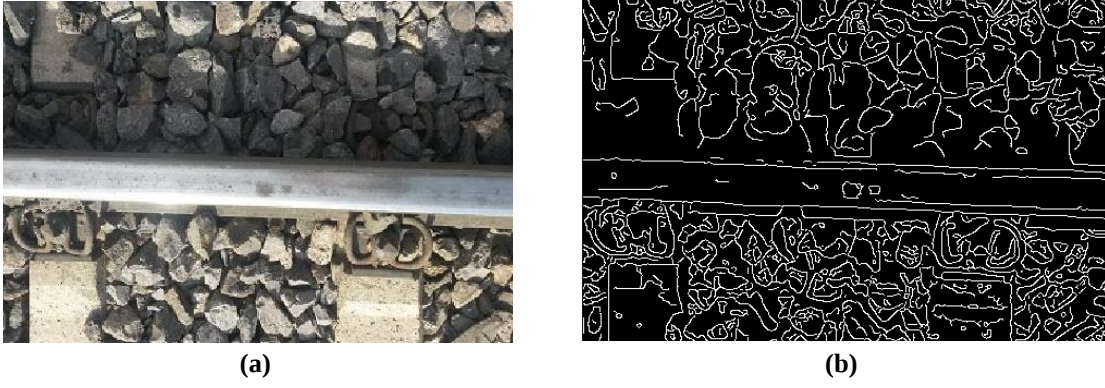
Elde edilen görüntü matrisleri üzerinde Gradient büyüklüğü hesaplanmıştır. Gradient büyüklüğünün hesaplanması sırasında kullanılan denklem 3.9’ da verilmiştir.

$$G(i, j) = \sqrt{G_x(i, j)^2 + G_y(i, j)^2} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9’ da gradient büyüklüğü elde edildikten sonra eğimin açı değeri hesaplanmaktadır. Açı değerinin hesaplanması sırasında kullanılan denklem 3.10’ da gösterilmiştir.

$$\alpha(i, j) = \tan^{-1} \frac{G_y(i, j)}{G_x(i, j)} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10’ da hesaplanan açı değeri dikkate alınarak görüntüdeki gürültülü pikseller yok edilmiştir. Daha sonra ikili eşikleme işleminin sonucunda görüntüdeki kenarlar daha keskin bir hale getirilmiştir. Canny kenar çıkarma operatörü kullanılarak elde edilen görüntü Şekil 3.8’ de verilmiştir.

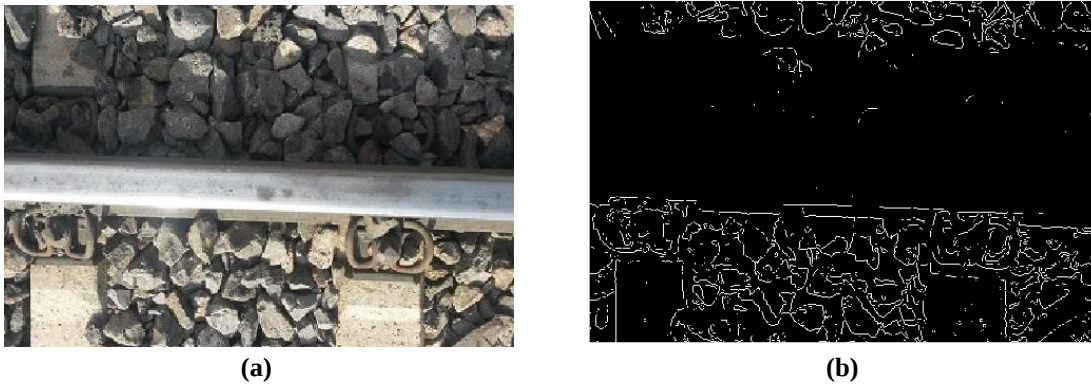


Şekil 3.8. Canny kenar algılama algoritması sonucu **(a)** Normal görüntü **(b)** Kenar çıkarımı elde edilmiş görüntü

3.2.1.4. Prewitt Kenar Çıkarım Algoritması

Prewitt kenar çıkarma algoritması Sobel ve Roberts kenar çıkarma algoritmaları ile aynı mantıkta çalışmaktadır. Aralarındaki fark ise kullandıkları maskeleme filtrelerinin farklı oluşudur. Prewitt kenar çıkarım tekniği, görüntü pikselleri üzerinde 3x3 boyutunda G_x ve G_y filtresi ile görüntüyü taramaktadır.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$



Şekil 3.9. Prewitt kenar çıkarım algoritması **(a)** Normal görüntü **(b)** Kenar çıkarımı elde edilmiş görüntü

3.2.2. Hough Dönüşümü

Hough dönüşümü bir görüntü içindeki belirli bir şeklin özelliklerini ayrıştırmak için kullanılabilen bir tekniktir. Klasik Hough dönüşümü çizgi, daire, elips vb. normal eğrileri tespit etmek için yaygın olarak kullanılır. Genelleştirilmiş bir Hough dönüşümü özelliklerin basit bir tanımının mümkün olmadığı uygulamalarda kullanılabilir. Ancak genelleştirilmiş Hough dönüşüm algoritmasının hesaplama karmaşıklığı bulunmaktadır. Hough dönüşümü tekniğinin ana avantajı, özellik sınır tanımlamasındaki boşluklara toleranslı olması ve görüntü gürültüsünden nispeten etkilenmemesidir.

Doğru parçaları genellikle iki parametreyle ifade edilmektedir. Bu parametreler a ve b olmak üzere denklem 3.12' de gösterilmiştir [88-90].

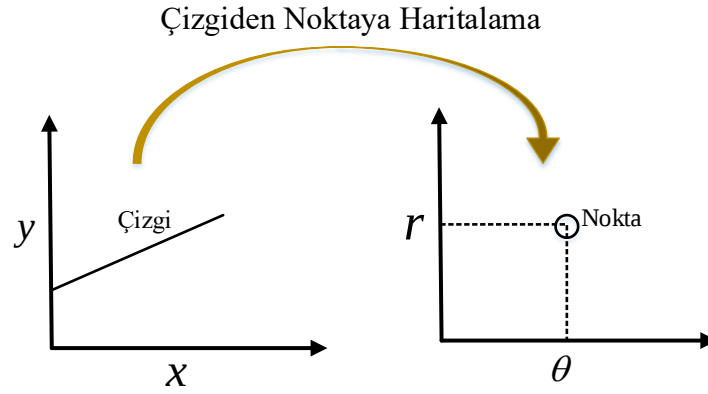
$$y = ax + b \quad (3.12)$$

Ancak denklem 3.12' deki gösterim dikey çizgileri temsil edemez. Bu yüzden Hough dönüşümü denklem 3.13' deki gösterimi kullanmaktadır. Denklem 3.14 ise denklem 3.12' ye benzer biçimde yazılmıştır. Bu denklemlerde kullanılan θ parametresi, doğru parçasının açı değerini temsil ederken r parametresi doğru parçasından orijine olan uzaklığı temsil etmektedir [88-90].

$$r = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta \quad (3.13)$$

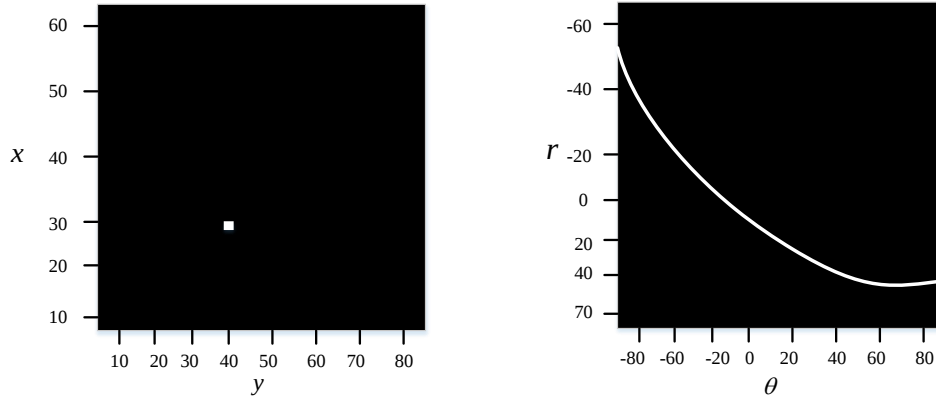
$$y = -\frac{\cos\theta}{\sin\theta} \cdot x + \frac{r}{\sin\theta} \quad (3.14)$$

Doğru parçasının açı değeri $\theta \in [0,360]$ ve $r \geq 0$ olduğunda tüm doğru parçaları bu gösterimle ifade edilebilir. Böylece Hough uzayında doğru parçaları iki boyutlu olarak temsil edilmektedir. Bir çizgi Hough uzayında θ ve r parametreleriyle tek bir nokta (θ_0, r_0) olarak ifade edilmektedir. Çizgiden noktaya haritalama Şekil 3.10' da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Çizgiden noktaya Hough uzayı

Hough dönüşümü için önemli bir kavram, tek noktaların haritalandırılmasıdır. Bir noktanın bu nokta boyunca geçebilecek mümkün tüm çizgilere eşlenmesi temel fikirdir. Bu fikir Hough uzayında sinüs benzeri bir çizgi oluşturmaktadır. Bu teknik $p_0 = (40,30)$ noktası için Şekil 3.11’ de gösterilmiştir. Hough dönüşümünün sözde kodu Şekil 3.12’ de gösterilmiştir. Hough dönüşümüne giriş olarak verilen görüntünün kenarları çıkarılarak ikili tabana çevrilmektedir. Kenar çıkarma işlemi sırasında Canny kenar çıkarım algoritması kullanılmaktadır.



Şekil 3.11. Hough uzayında örnek bir noktanın bir çizgiye dönüşümü

```

1  B ← Giriş görüntüsü
2  W ← B görüntüsünün genişliği
3  H ← B görüntüsünün yüksekliği
4   $\theta \leftarrow$  theta açısı değeri
5  i ← 1, j ← 1,  $\theta \leftarrow 0$ 
6  for i=0 : W
7      for j=0 : H
8          if (B(i,j) bir kenar )
9              for  $\theta=0 : \theta_{\max}$ 
10                  $r \leftarrow x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta)$ 
11                  $r \leftarrow \text{round}(r)$ 
12                  $H(\theta, r) \leftarrow H(\theta, r) + 1$ 
13             endfor
14         endif
15     endfor
16 endfor

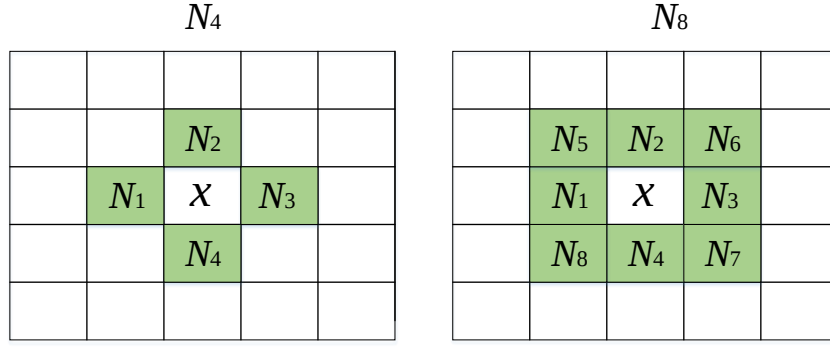
```

Şekil 3.12. Hough dönüşümü sözde kodu

3.2.3. Matematiksel Morfolojik Operatörler

Görüntü işleme tabanlı birçok uygulamada kullanılmakta olan matematiksel morfolojik operatörler nesne tespiti ve özellik çıkarımı işlemlerinde kolaylık sağlayıcı bir rol üstlenmiştir. Matematiksel morfoloji operatörleri, görüntüdeki şekilsel tabanlı işlemlerin yapıldığı bir görüntü işleme alanıdır. Morfolojik operatörler belirlenen bir piksel kümesini görüntü üzerinde gezdirerek bu piksel kümesinin görüntüye uygunluğunun incelenmesi esasına dayanmaktadır [91]. Matematiksel morfoloji, görüntüdeki sınırları, iskelet yapısını vb. ölçütleri inceleyerek görüntüdeki gürültülü piksellerin yok edilmesi, görüntü segmentasyonu gibi işlemleri gerçekleştirmektedir [91]. Morfolojik özellik çıkarımı grayscale görüntülerde uygulanabileceği gibi sıklıkla ikili(binary) görüntülerde uygulanmaktadır.

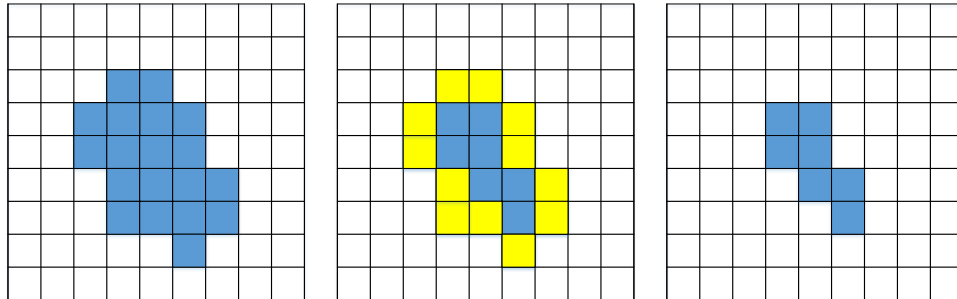
Matematiksel morfolojik operatörler aşınma, genişletme, açma, kapama, vurma dönüşümü, inceltme, kalınlaştırma ve iskeletleştirmedir. Bir görüntüdeki komşu piksellerin nasıl ifade edildiği Şekil 3.13’ te gösterilmiştir. Görüntüdeki bir pikselin komşusu olan dört piksel ve komşusu olan sekiz piksel gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Bir görüntüdeki pikseller arasındaki komşuluk

3.2.3.1. Morfolojik Aşınma Operatörü

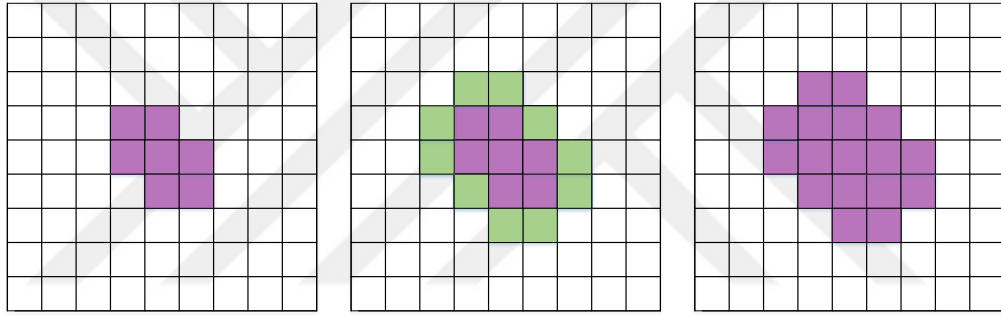
Aşınma operatörü, matematiksel morfoloji alanında en yaygın olan işlemlerden birisidir. Genellikle ikili görüntülere uygulanmaktadır. Ancak grayscale görüntülerle çalışılmak istendiğinde de kullanılmaktadır. İkili bir görüntüde aşınma operatörünün en temel etkisi, ön piksellerin bölgelerinin sınırlarını aşındırmaktır. Genellikle aşınma işlemine tabii tutulan pikseller beyaz olanlardır. Böylece, ön plandaki piksellerin boyutları küçülür ve bu alanlardaki delikler daha da büyür. Aşınma operatörünün çalışma yapısı, giriş verisi olarak iki adet görüntü almaktadır. Girişlerden birincisi aşındırma işlemi uygulanacak olan ikili görüntüdür. Diğer ise yapılandırma elemanı olarak adlandırılan çekirdek(kernel) görüntüdür. Yapılandırma elemanı aşındırma unsurunun etkisinin ne kadar olacağını belirleyen faktördür. İkili bir görüntüde aşındırma işleminin nasıl yapıldığını anlatan görsel Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Bir görüntüdeki aşındırma operatörü

3.2.3.2. Morfolojik Genişletme Operatörü

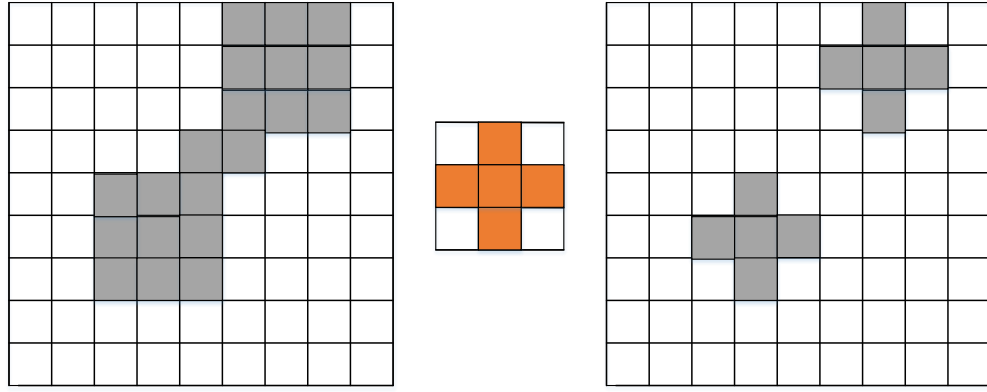
Matematiksel morfolojik özellik çıkarımında genişletme operatörü en sık kullanılan operatörlerden birisidir. Genellikle ikili görüntülerde uygulanmaktadır. Bu operatörün amacı, ön plandaki piksellerin bölgelerinin sınırlarını kademeli olarak büyütmektir. Dolayısıyla, ön plandaki piksel alanları büyür, bu bölgelerdeki delikler daha da küçülür. Genişletme operatörünün çalışma yapısı, giriş verisi olarak iki adet görüntü almaktadır. Girişlerden birincisi aşındırma işlemi uygulanacak olan ikili görüntüdür. Diğer ise yapılandırma elemanı olarak adlandırılan çekirdek (kernel) görüntüdür. Yapılandırma elemanı genişletme unsurunun etkisinin ne kadar olacağını belirleyen faktördür. İkili bir görüntüde genişletme işleminin nasıl yapıldığını anlatan görsel Şekil 3.15’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Morfolojik genişletme operatörü

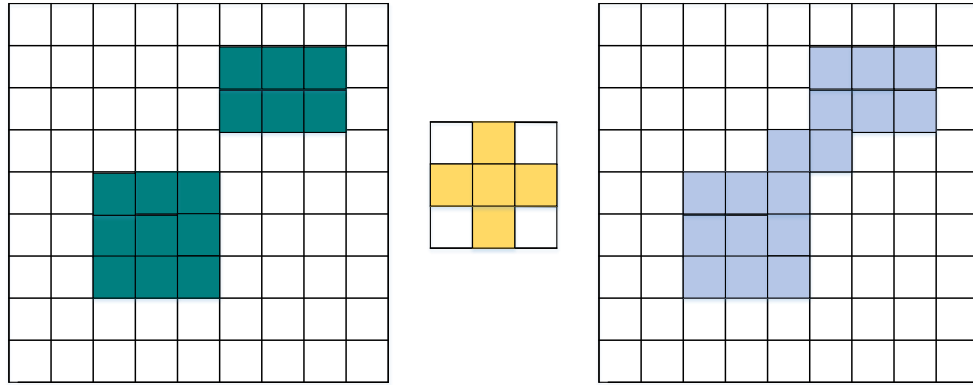
3.2.3.3. Morfolojik Açma ve Kapama Operatörleri

Matematiksel morfolojik açma ve kapama işlemi önemli operatörlerdir. Açma ve kapama operatörleri morfolojik aşındırma ve genişletme işlemlerinde türemiştir. Açma operatörünün esas görevi, ön plandaki piksellerin bölgelerinin kenarlarından bazı ön plan piksellerini kaldırılması eğiliminde olmasıdır. Bu yönüyle aşındırma işlemine benzemektedir. Morfolojik açma işlemi aşındırma işlemine nazaran daha az zararlıdır. Diğer operatörler gibi yapılandırma elemanı işlemin etkisini belirlemektedir. Açma operatörü, yapılandırma elemanına sahip olan pikselleri içeren bölgeleri korumaktadır. Açma işleminde, her iki işlem için de aynı yapı elemanı kullanılarak bir aşındırma ve ardından bir genişletme işlemi uygulanmaktadır. Açma işleminin örnek gösterimi Şekil 3.16’ da gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Morfolojik açma operatörü

Morfolojik kapama işleminde ise temel amaç ön plandaki bölgelerin sınırlarını genişletme amacıyla genişletme operatörüne benzetilmektedir. Bu kapama operatörünün etkisi, yapılandırma ögesine benzer bir şekle sahip olan veya arka plan piksellerinin diğer tüm bölgelerini ortadan kaldırırken yapılandırma ögesini tamamen içerebilen arka plan bölgelerini korumaktır. Kapama işleminde, her iki işlem için de aynı yapı elemanı kullanılarak bir genişletme ve ardından bir aşındırma işlemi uygulanmaktadır. Kapama işleminin örnek gösterimi Şekil 3.17’ de gösterilmektedir.

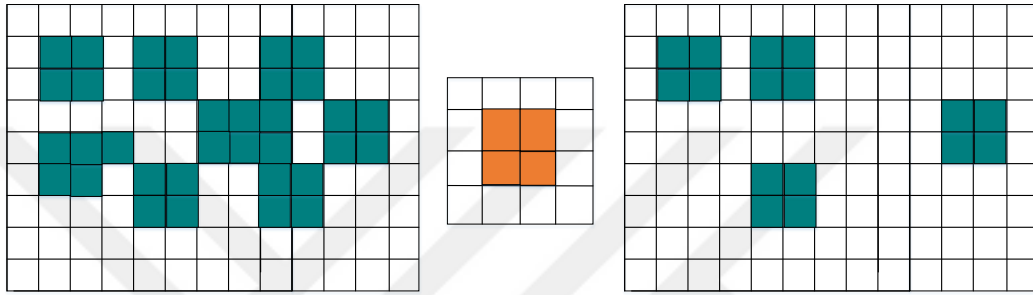


Şekil 3.17. Morfolojik kapama operatörü

3.2.3.4. Morfolojik Darbe ve Vuruş Dönüşümü

Darbe ve vuruş dönüşümü, bir görüntüdeki ön plandaki ve arka plandaki belirli örnekleri bulmak için kullanılabilen genel bir ikili morfolojik işlemdir. Aslında bu, ikili morfolojinin temel işlemidir çünkü hemen hemen diğer tüm ikili morfolojik operatörler türetilir. Diğer

ikili morfolojik operatörler gibi, ikili bir görüntü ve yapılandırma ögesi girişi olarak almaktadır ve çıktı olarak başka bir ikili görüntü üretmektedir. Bu operatör diğer morfolojik operatörler kadar yapılandırma unsurunun orijinini, resmin tüm noktalarına çevirerek ve yapılandırma unsurunu alttaki resim pikselleriyle karşılaştırarak aynı şekilde gerçekleştirilir. Yapılandırma ögesindeki ön plan ve arka plan pikselleri resimdeki ön plan ve arka plan pikselleri ile tam olarak eşleşirse, yapılandırma ögesinin orijininin altındaki piksel ön plan rengine ayarlanır. Eşleşmiyorsa o piksel arka plan rengine ayarlanır.

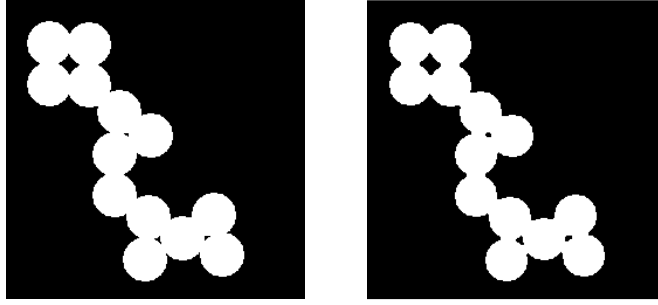


Şekil 3.18. Morfolojik darbe ve vuruş dönüşümü

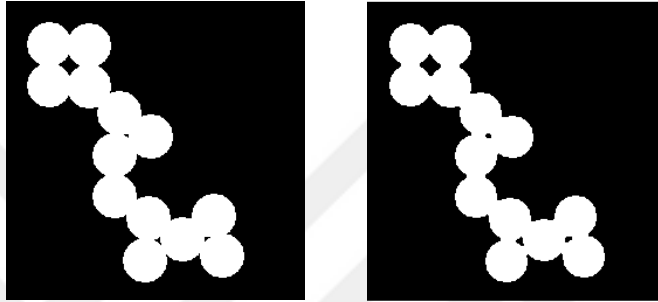
3.2.3.5. Morfolojik İnceltme ve Kalınlaştırma Operatörleri

İnceltme operatörü, ikili görüntüden seçilmiş ön plan piksellerinin kaldırılması için kullanılmaktadır. Birkaç uygulama için kullanılabilmektedir. Bir görüntüyü iskelet haline getirmek için genellikle uygulanabilmektedir. Tüm satırlar tek piksel kalınlığına indirgenerek kenar tespitinde faydalı hale getirmektedir. İnceltme işlemi normal olarak yalnızca ikili görüntülere uygulanır ve çıktı olarak başka bir ikili görüntü üretilir. İnceltme operatörüne giriş olarak verilen örnek bir görüntü ve elde edilen çıktı Şekil 3.19’ da gösterilmiştir.

Kalınlaştırma operatörü ise biraz genişletme veya kapama gibi, ikili görüntülerdeki ön piksellerin seçilen bölgelerini büyütmek için kullanılan morfolojik bir işlemdir. Bir şeklin yaklaşık konveks gövdesini belirlemek ve etki alanına göre iskeletin belirlenmesi de dâhil olmak üzere birçok uygulama vardır. Kalınlaştırma normal olarak yalnızca ikili görüntülere uygulanır ve çıktı olarak başka bir ikili görüntü üretilir. Kalınlaştırma operatörüne giriş olarak verilen örnek bir görüntü ve elde edilen çıktı Şekil 3.20’ de gösterilmiştir.



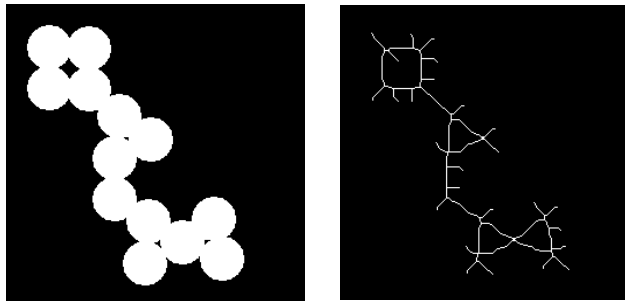
Şekil 3.19. Morfolojik inceltme işlemi



Şekil 3.20. Morfolojik kalınlaştırma işlemi

3.2.3.6. Morfolojik İskeletleştirme Operatörü

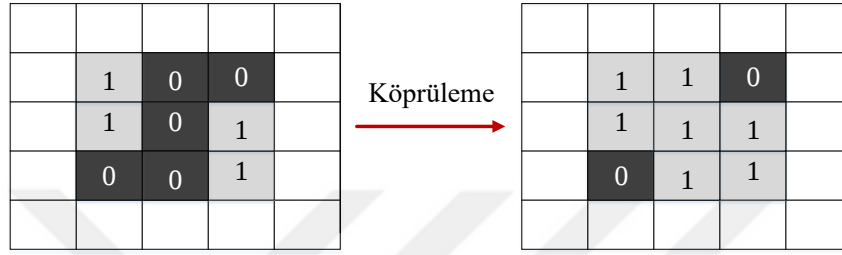
İskeletleştirme, ikili bir görüntüdeki ön plan bölgelerini, orijinal ön plandaki piksellerin çoğunu atarken orijinal bölgenin kapsamını ve bağlantısını büyük ölçüde koruyan iskelet kalıntısına indirmek için kullanılan bir işlemdir.



Şekil 3.21. Morfolojik iskeletleştirme işlemi

3.2.3.7. Morfolojik Köprüleme Operatörü

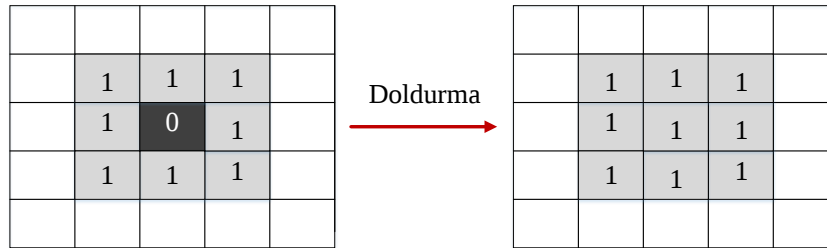
Morfolojik köprüleme işlemi, bağlantılı olmayan pikselleri birbirine bağlayan bir operatördür. Eğer bir pikselin iki tane komşusu 0(sıfır) değerinde değilse bu pikselin bağlı olmadığı söylenir ve bu pikselin değeri 0(sıfır) değerinden 1(bir) değerine atanır. Şekil 3.22’de örnek bir giriş görüntüsüne uygulanan morfolojik köprüleme operatörü anlatılmaktadır.



Şekil 3.22. Morfolojik köprüleme işlemi

3.2.3.8. Morfolojik Doldurma Operatörü

Morfolojik doldurma işleminde ayrılmış durumda olan piksellerin içini doldurmaktadır. 1(bir) değerindeki piksellerle çevrili olan 0(sıfır) piksellerinin doldurulmasını sağlamaktadır. Şekil 3.23 morfolojik doldurma işleminin nasıl gerçekleştirildiğini açıklamaktadır.



Şekil 3.23. Morfolojik doldurma işlemi

3.2.4. Filtreleme Teknikleri

Görüntü işleme filtreleme teknikleri, görüntünün daha net bir görünüm haline getirmek ya da bu görüntüler üzerinden gerekli bilgilerin çıkarılması için yapılan işlemlerdir. Çoğu filtrenin temelinde komşu piksellerin sayısal değerleri ile ilgilenilen pikselin sayısal değeri üzerinde durularak fonksiyonlardan geçirilmektedir. Görüntü işleme filtreleri alçak geçiren ve yüksek geçiren filtreler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [92]. Görüntü filtreleme işlemi görüntüdeki istenmeyen ayrıntıların kaldırılması ve bazı ayrıntıların daha belirgin hale getirmek amacıyla uygulanmaktadır. Kenar keskinleştirme, kenar yakalama ve görüntü yumuşatma gibi birçok amaç için kullanılabilir. Alçak geçiren filtreler, görüntüyü yumuşatma amacıyla görüntüye uygulanmaktadır. Yüksek geçiren filtreler ise görüntüyü keskinleştirme amacıyla uygulanmaktadır. Bu filtrelerin uygulanması aşamasında kullanılan filtreler genellikle 3x3 boyutundaki matrislerdir. Ancak bu matrislerin boyutları 5x5, 7x7, 9x9 ve 11x11 boyutunda da olabilmektedir. Şekil 3.24’ te örnek bir 3x3 boyutunda çekirdek matrisi ve filtrelemenin yapılacağı görüntü verilerek filtreleme işleminin nasıl gerçekleştirildiği gösterilmektedir.

Çekirdek Matrisi

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

Filtreleme Yapılacak Görüntü

$i-1,j-1$	$i,j-1$	$i+1,j-1$
$i-1,j$	i,j	$i+1,j$
$i-1,j+1$	$i,j+1$	$i+1,j+1$

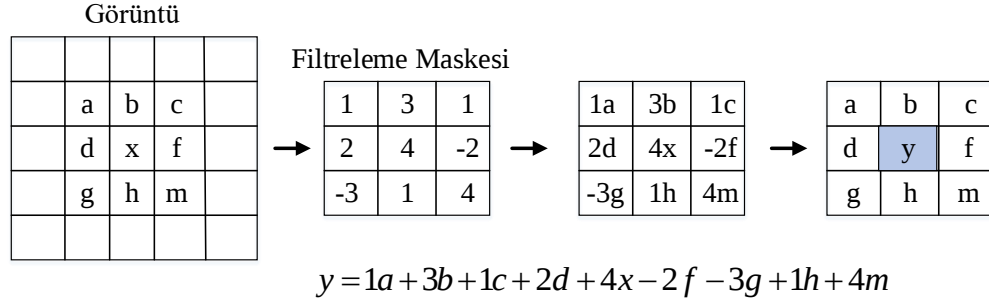
$$g(i, j) = (-1 * g_{i,j-1}) + (-1 * g_{i-1,j}) + (5 * g_{i,j}) + (-1 * g_{i+1,j}) + (-1 * g_{i,j+1})$$

Şekil 3.24. Filtreleme işleminin temeli

3.2.4.1. Average Filtreleme

Average filtreleme, komşu pikseller arasındaki yoğunluk değişim miktarını azaltarak görüntülerin 'yumuşatılması' yöntemidir. Bu filtre resim boyunca piksel pikselle hareket ederek çalışır. Her değeri kendisi de dâhil olmak üzere komşu piksellerin ortalama değeri ile değiştirir [93]. Görüntüdeki gri renk tonları arasındaki net geçişler azaltılmıştır ve renk tonları arasındaki geçişlerin daha yumuşak olması sağlanmıştır. Bu durum ise görüntünün

kenarlarında bulanık bir görüntünün oluşmasına sebep olmaktadır. Örnek bir giriş görüntüsü ve 3x3 boyutundaki filtreleme maskesiyle average filtresinin hesaplandığı Şekil 3. 25' te gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Örnek average filtreleme

3.2.4.2. Median Filtreleme

Median filtreleme, görüntülerden gelen gürültüyü gidermek için kullanılan doğrusal olmayan bir yöntemdir. Kenarları korurken gürültüyü gidermede çok etkili olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle 'tuz ve biber' tipi gürültüyü ortadan kaldırmada etkilidir [94]. Median filtre, görüntüyü piksel payıyla hareket ettirerek çalışmaktadır, her değeri komşu piksellerin ortanca değeriyle değiştirmektedir. Komşu piksellerin görüntüsüne pencere denilmektedir. Bu iki piksellik pencere, tüm görüntü üzerinde kaydırılarak gezdirilmektedir. Median filtreleme temel olarak öncelikle pencere içerisindeki tüm piksel değerlerini matematiksel olarak küçükten büyüğe ya da büyükten küçüğe olacak şekilde sıralamaktadır. Ardından sıralanan matriste ortadaki değer alınarak piksel değeriyle değiştirilmektedir. 3x3 boyutunda bir median filtresi kullanılarak filtrelenmiş görüntü piksel değerleri Şekil 3.26' da gösterilmektedir.

Giriş Görüntüsü						Median Filtresi Uygulanmış Görüntü					
1	4	0	1	3	1	1	4	0	1	3	1
2	2	4	2	2	3	2	1	1	1	1	3
1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	2	0
1	2	1	0	2	2	1	1	1	1	1	2
2	5	3	1	2	5	2	2	2	2	2	5
1	1	4	2	3	0	1	1	4	2	3	0

Sıralanan Matris: 0, 0, 1, 1, 1, 2, 2, 4, 4

Şekil 3.26. Örnek median filtreleme

3.2.4.3. Gaussian Düşük Geçiş Filtreleme

Gaussian filtreleme, Average filtresinin Gauss dağılımı kullanılarak elde edilmiş halidir. Gaussian filtreleme bir fourier dönüşümüdür. Gaussian filtrelemenin sağladığı kolaylık ise görüntüyü öncelikle yatay ekseninde ardından ise dikey ekseninde tarayabilmesidir [95]. Gaussian filtresinde iki boyutlu görüntüye uygulanan formül denklem 3.15' te gösterilmiştir.

$$G(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(u^2+v^2)/(2\sigma^2)} \quad (3.15)$$

Yukarıdaki denklemde sigma değeri 1 olarak alınırsa 3x3 boyutunda elde edilen matris değeri Şekil 3.27' de gösterilmiştir.

0.148	0.243	0.148
0.243	0.4	0.243
0.148	0.242	0.148

Şekil 3.27. Gaussian filtresi elde edilen matris değeri

Yukarıdaki matris değerleri görüntü üzerinde uygulandıktan sonra resimdeki her bir pikselin değeri, görüntüdeki piksel komşularının Şekil 3.27' deki değerlerle çarpılmasıyla hesaplanarak yeni değer elde edilmiştir.

3.2.4.4. Gabor Filtreleme

Gabor filtreleme özellikle doku analizi alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Görüntü işleme alanında bu filtrelemeyi çoğunlukla özellik çıkarımında karşılaşılmaktadır. Bir görüntü üzerinde gabor filtre uygulandığında görüntüde filtre ile aynı frekansta ve yöndeki nokta en güçlü nokta olmaktadır. Görüntünün ayrıntılı analizi farklı bileşenlerle yapılabilmektedir. Gabor filtresinin genel denklemi denklem 3.16, denklem 3.17 ve denklem 3.18' de gösterilmektedir.

$$g(x, y; \lambda, \theta, \sigma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + y'^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \cos(2\pi \frac{x'}{\lambda}) \quad (3.16)$$

$$x' = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta \quad (3.17)$$

$$y' = -x \cdot \sin \theta + y \cdot \cos \theta \quad (3.18)$$

Bu denklemlerde g gabor çekirdeğini temsil eden parametredir. Bahsedilen bu çekirdek üç parametre yardımıyla kontrol edilmektedir. Aranan değerin açısını θ temsil etmektedir. Aranan görüntünün dalga boyunu λ temsil etmektedir [96].

3.2.4.5. Laplacian Filtreleme

Laplacian filtreleme esas olarak görüntüdeki kenar hatlarının ortaya çıkarılmasında kullanılmaktadır. Bu filtre çoğunlukla keskinleştirme filtresi olarak da anılmaktadır. Bu filtreleme, hızlı yoğunluk değişiminin bölgelerini vurgulamaktadır ve bu nedenle genellikle kenar algılama için kullanılmaktadır. Bu filtrede, görüntünün sabit bir yoğunluğa sahip olduğu bölgelerde Laplacian filtresinin yanıtı sıfır olacağı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte yoğunluk değişikliğinin Laplacian tepkisi daha koyu olan tarafta pozitif, açık olan tarafta negatif olmaktadır. Laplacian filtresinin kullandığı 3x3 boyutundaki maske filtresi Şekil 3.28' de gösterilmiştir. Bu maske görüntü üzerinde gezdirilerek görüntüdeki piksel katsayılarla çarpılıp ortadaki pikselin yeni değeri hesaplanmaktadır.

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

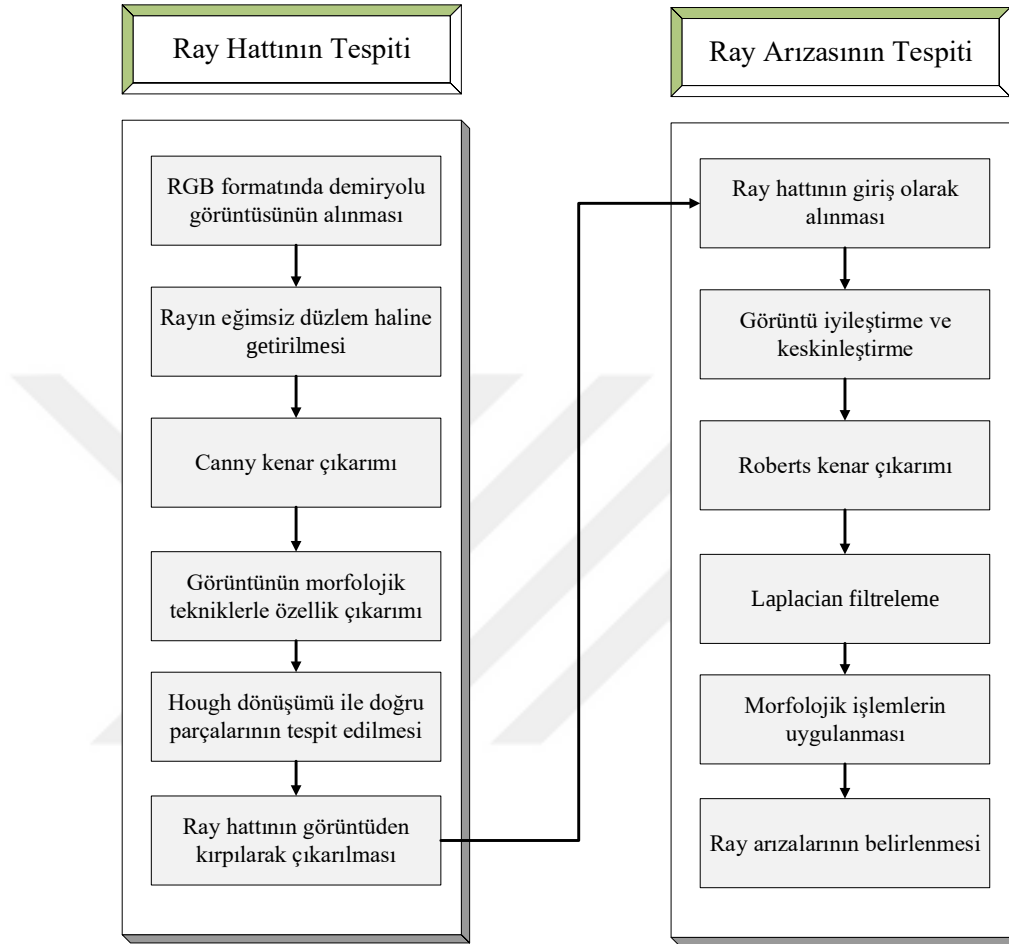
Şekil 3.28. Laplacian filtresinde kullanılan maske

3.3. Önerilen Yöntem

Ray arızalarının tespiti sırasında gerçekleştirilen ilk işlem, alınan demiryolu görüntüsündeki ray hattının tespit edilerek görüntüden çıkarılmasıdır. Ardından tespit edilen ray yüzeyi incelenerek arızalı olan bölgelerin tespit edilmesi sağlanmıştır. Ray yüzeyinde oluşan kırılma, çatlama, ondülasyon, hepçek, apletlik vb. arıza türleri tespit edilmiştir. Demiryolu görüntüsündeki ray hattının farklı açı ve aydınlatma koşulları altında giriş olarak alınan görüntülerde ray hattı tespit edilebilmiştir. Önerilen yöntemin blok diyagramı Şekil 3.29’ da gösterilmiştir. Önerilen yöntem temel olarak iki adımda gerçekleştirilmektedir. Bunlardan ilki ray hattının tespit edilmesidir. İkincisi ise ray yüzeyindeki arızaların tespit edilmesidir. Ray hattının tespit edilmesi için gerçekleştirilen metodun akış diyagramı Şekil 3.30’ da gösterilmektedir. Ray hattının tespiti sırasında giriş olarak verilen demiryolu görüntüsündeki ray hattı belli bir eğim miktarıyla görüntüde bulunuyorsa bu eğim miktarı bulunarak görüntü bu miktarda ve eğimin tersi yönünde döndürülmektedir.

Ray hattının tespit edilmesinde gerçekleştirilen adımlar sırasıyla RGB renk uzayından grayscale renk uzayına dönüşüm, görüntüyü yeniden boyutlandırma, rayın eğimsiz bir hale getirilmesi, Canny kenar çıkarımı, görüntünün x eksen yönünde genişletilmesi, görüntünün y eksen yönünde aşındırılması, iki görüntünün farkının alınması, eşikleme işlemi, görüntünün y ekseninde genişletilmesi ve Hough dönüşümü ile doğru parçalarının tespit edilmesidir. Bu işlemlerden rayın eğimsiz düzlem haline getirilmesi için öncelikle görüntüdeki rayın kaç derecelik açıyla ve hangi yönde görüntüde bulunduğu bulunarak görüntü döndürülmesi yapılmaktadır. Görüntünün Canny kenar çıkarım tekniği kullanılarak kenar sınır çizgileri çıkarılmaktadır. Ardından görüntü x eksen yönünde genişletilerek rayın daha net bir şekilde görünmesi sağlanmıştır. Görüntünün y eksen yönünde aşındırılmasıyla görüntüde x eksen yönünde duran ray hattının daha net görünmesi için y eksen yönündekiler aşındırılmıştır. Daha sonraki adımda ise görüntüdeki ray hattının tespiti için

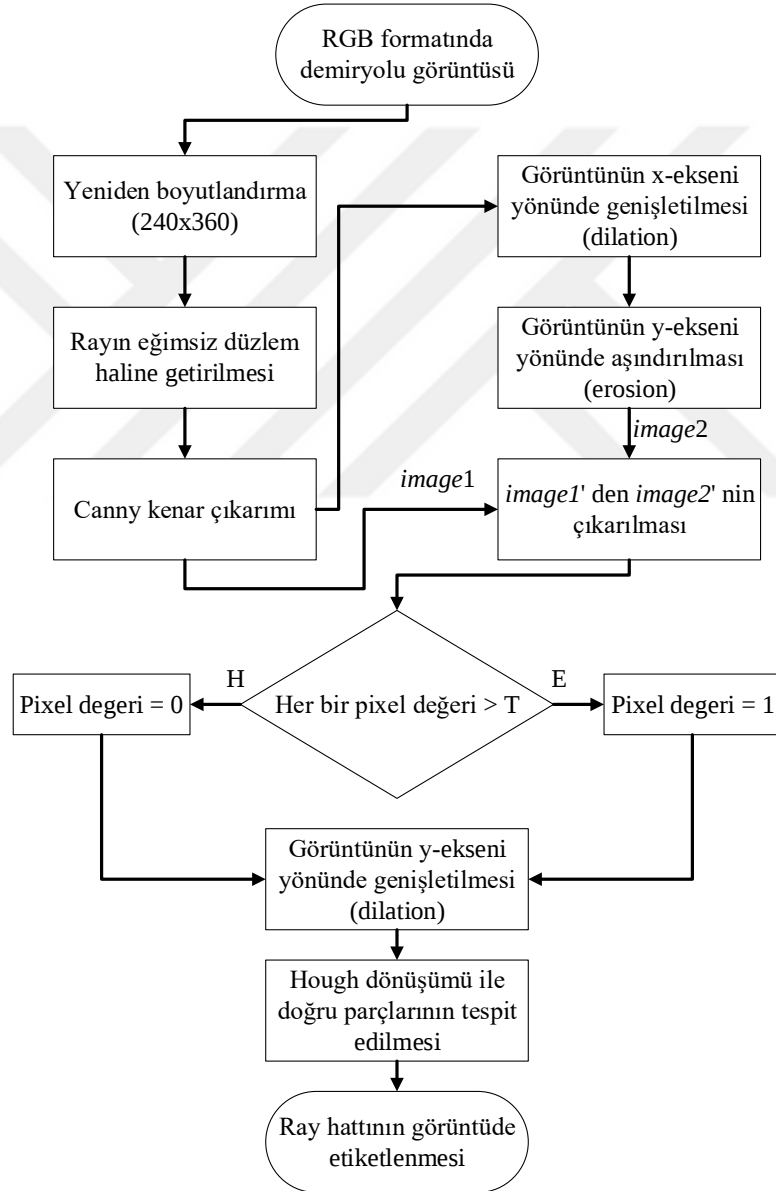
Hough dönüşümüyle doğru parçaları tespit edilmiştir. Tespit edilen ray hattı ise görüntüden kırılarak çıkarılmıştır.



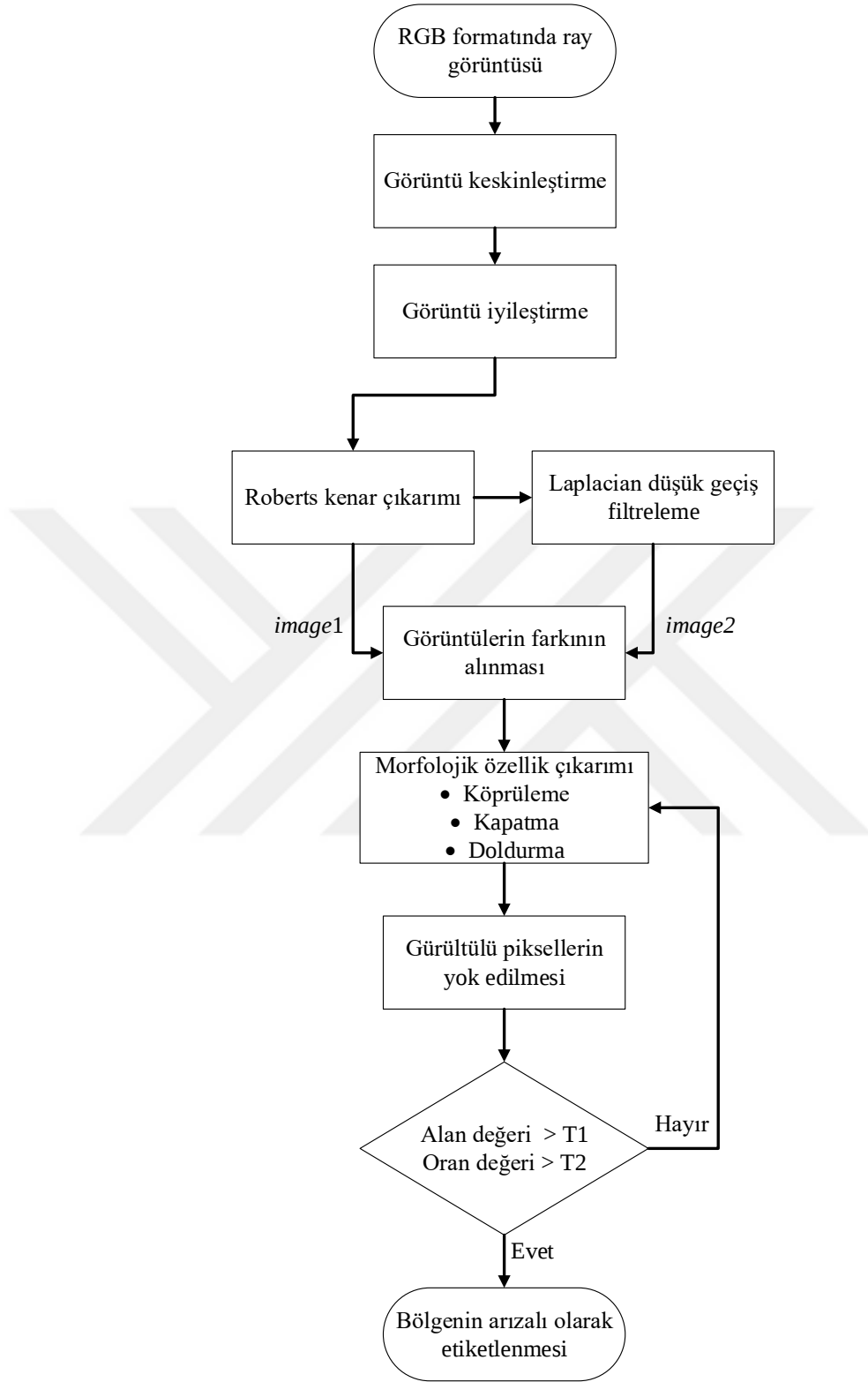
Şekil 3.29. Önerilen yöntemin blok diyagramı

Tespit edilen ray hattı, ray arızası tespit yöntemine giriş olarak verilmiştir. Ray arızasının tespiti sırasında yapılan ilk işlem RGB formatındaki görüntünün grayscale renk uzayına döndürülmesi yapılmaktadır. Ardından görüntüdeki arızalı olan bölgelerin daha net görünebilmesi için görüntü iyileştirme ve görüntü keskinleştirme işlemleri yapılmıştır. Görüntüdeki yüzey arızalarının tespitinin kolaylaştırılması için Roberts kenar çıkarımı yapılmıştır. Kenarları tespit edilen görüntüye Laplacian filtresi uygulanarak görüntüdeki gürültü niteliğinde olan piksellerin yok edilmesi sağlanmıştır [97]. Daha sonra ise görüntüye sırasıyla köprüleme, kapatma, gürültü temizleme ve doldurma işlemi uygulanmıştır. Görüntüdeki ray arızalarının belirgin hale getirilmesi için bahsedilen Morfolojik işlemler uygulanmıştır. Son adımda ise arızalı olan bölgelerin tespit edilmesi için görüntüdeki piksel

topluluklarının incelenerek her bir topluluktaki piksel sayıları incelenmiştir. Ardından ise görüntüdeki gürültülü olan piksellerin yok edilmesi için deneysel olarak belirlenmiş eşik değeri kullanarak görüntüdeki gürültüler yok edilmiştir. Her bir piksel topluluğundaki piksel sayısı, belirlenen eşik değerinden az ise bu bölge gürültülü pikseller olduğu düşünülerek bu pikseller yok edilmiştir. Bir grupta bulunan piksel sayısı belirlenen eşik değerinden fazla ise bu bölge arızalı olarak etiketlenmektedir. Ray arızasının tespiti için önerilen yöntemin akış şeması Şekil 3.31’ de verilmiştir.



Şekil 3.30. Ray hattı tespit algoritmasının akış diyagramı



Şekil 3.31. Ray arızası tespit algoritmasının akış diyagramı

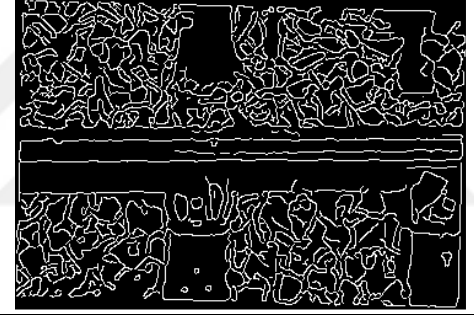
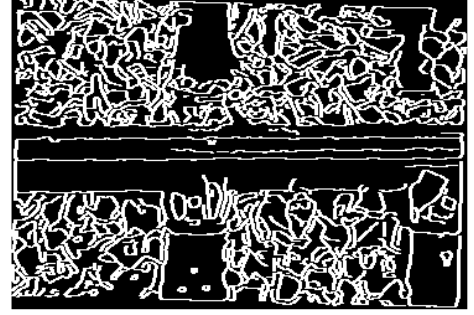
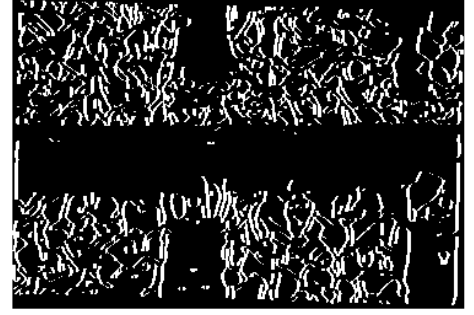
3.4. Deneysel Sonuçlar

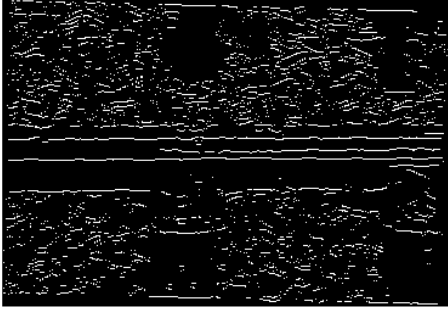
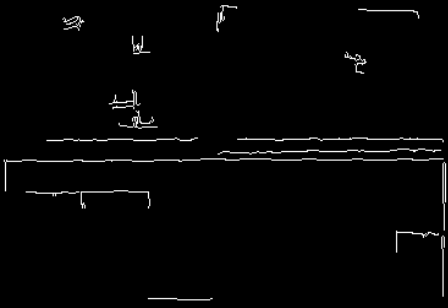
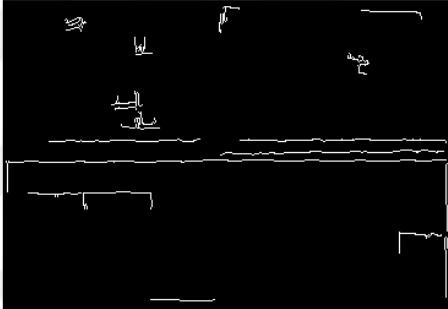
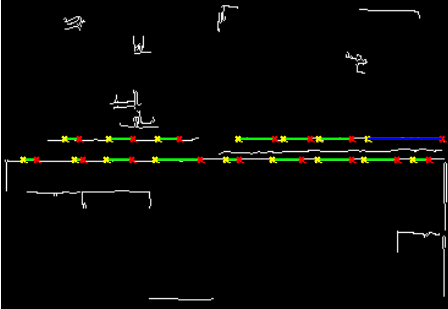
Ray arızalarının tespit edilmesi için bu tez kapsamında görüntü işleme tabanlı birçok yöntem geliştirilmiştir. Ray arızasının tespit edilmesi için gerekli ilk işlem, kameradan alınan demiryolu görüntüsündeki sadece ray hattının elde edilerek geri kalan öğelerin görüntüden yok edilmesidir. Bahsedilen işlemin gerçekleştirilmesi için ray hattı tespiti temassız görme tabanlı yöntemlerle sağlanmıştır. Ray hattının tespiti sırasında MATLAB yazılım geliştirme ortamından destek alınmıştır. Ray hattının görüntüde bulunması için kenar çıkarımı, Hough dönüşümü ve birtakım özellik çıkarım teknikleri kullanılmıştır. Tespit edilen ray hattı ray arızası tespit algoritmasına giriş olarak verilmiştir. Ray yüzeyindeki arızalı bölgelerin tespit edilmesi için görüntüdeki renk geçişlerinin normalize edilmesi, görüntünün keskinleştirilmesi yapılmıştır. Daha sonra ise görüntüde kenar çıkarma işlemi yapılmıştır. Kenarları tespit edilen görüntüdeki gürültülü olan piksellerin azaltılması için Laplacian düşük geçiş filtresi görüntüye uygulanmıştır. Kenar çıkarım sonucunda elde edilen görüntüden Laplacian filtresi uygulanmış görüntü çıkarılmıştır. Fark görüntüsüne morfolojik öznetelik çıkarım teknikleri uygulanarak görüntüdeki arızalı olan bölgelerin daha net görünmesi sağlanmıştır. Daha sonra görüntüdeki piksellerin alan ve oranı dikkate alınarak arızalı olan bölgeler etiketlenmiştir.

3.4.1. Ray Hattı Tespiti Yöntemi İçin Deneysel Sonuçlar

Önerilen yöntemde ray hattının tespit edilmesi için demiryolu hattının birçok açı ve farklı aydınlatma koşulları altında elde edilen görüntüleri yöntemde giriş parametresi olarak verilmiştir. Ray hattı tespit yönteminde giriş olarak verilen görüntülere uygulanan işlemler aşağıda sırasıyla verilmiştir. Ray hattının tespiti için önerilen yöntemin sırasıyla işlem adımlarından Tablo 3.1’ de bahsedilmiştir. Tablo 3.2 ise ray hattı tespiti yönteminde kullanılan demiryolu giriş görüntüleri ve elde edilen ray hattı görüntülerini özetlemektedir. Bu çalışma kapsamında deneysel olarak 52 adet demiryolu ray görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntülerin birçoğu farklı aydınlatma koşullarında alınmış ve yöntemin test edilmesi aşamasındaki test veri kümesi farklı eğim açısıyla bulunan ray görüntülerinden oluşmaktadır. Önerilen yöntem Intel (R) Core (TM) i5-2400 M CPU, 2.5 GHz, 6.00 GB RAM ve 64 bit işletim sistemi özelliğine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Önerilen ray hattı tespit algoritmasının işlem basamakları

Yöntemde Uygulanan Teknik	Tekniğin Uygulanmasıyla Elde Edilen Sonuç
Giriş görüntüsü	
Görüntünün rayın eğim derecesi kadar tersi yönde döndürülmesi	
Canny kenar çıkarma algoritması	
0° açıyla görüntüye Morfolojik Genişletme operatörü uygulanması	
90° açıyla görüntüye Morfolojik Aşındırma operatörü uygulanması	

İki görüntü arasında fark alma işleminin uygulanması	
Gürültülü piksellerin yok edilmesi	
90° açıyla görüntüye Morfolojik Genişletme operatörü uygulanması	
Hough Dönüşümü ile doğru parçalarının tespiti	
Ray hattının görüntüden kırılarak elde edilmesi	

Tablo 3.2. Önerilen ray hattı tespit algoritmasının test verileri

#	Demiryolu Giriş Görüntüsü	Tespit Edilen Ray Hattı
1		
2		
3		
4		
5		

6		
7		
8		
9		
10		

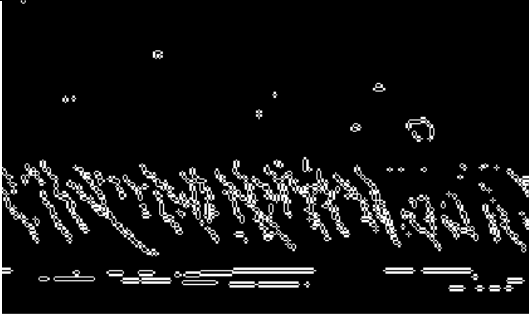
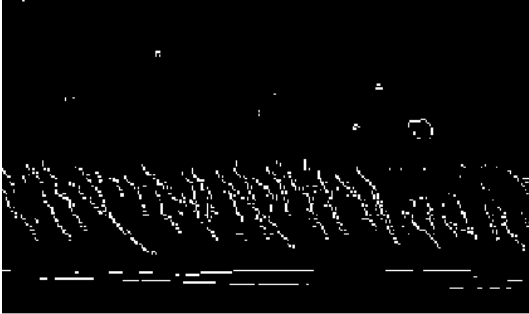
11		
12		
13		
14		
15		

3.4.2. Ray Arızasının Tespiti Yöntemi İçin Deneysel Sonuçlar

Ray yüzeyindeki arızaların tespiti için bu tez kapsamında birçok teknik geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle ray yüzeyindeki kırılma, oyulma, hepçek, ondülasyon gibi arızaların tespiti sağlanmıştır. Önerilen yöntemin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar adım adım Tablo 3.3’ te verilmiştir. Önerilen yöntem kapsamında deneysel olarak birçok görüntü üzerinde geliştirilen yöntemler koşturulmuş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.3’ te listelenmiştir. Ray yüzeyindeki mevcut arızaların tespit edilmesi sırasında önerilen yöntem yüksek bir başarı oranıyla sonuçlar elde edilmiştir. Ancak arızalı olmayan bölgelerin arızalı olarak etiketlenmesini önlemek için eşik değerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir aksi durumda görüntüdeki arızalı olmayan bölgelerin de arızalı bölge olarak etiketlenmesi sonucu doğacaktır. Tablo 3.4’ te önerilen ray hattı tespiti ve ray arızası tespit algoritmalarının performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Tablo 3.3. Ray yüzeyinin arızalarının tespit yöntemindeki işlem adımları

Yöntemde Uygulanan Teknik	Tekniğin Uygulanmasıyla Elde Edilen Sonuç
Giriş görüntüsü	
Görüntünün RGB renk uzayından grayscale formata dönüştürülmesi	

Görüntü keskinleştirme	
Görüntü kontrast iyileştirme	
Roberts kenar çıkarımı	
Laplacian filtreleme	
Görüntü farkı alma	

Morfolojik köprüleme işlemi	
Morfolojik kapama işlemi	
Gürültülü piksellerin yok edilmesi	
Morfolojik doldurma işlemi	
Arızalı olan bölgelerin etiketlenmesi	

Tablo 3.4. Önerilen yöntemlerin performans değerlendirilmesi

Algoritma	Ortalama Süre (sn)	Standart Sapma (sn)	Doğruluk Oranı (%)
Ray hattı tespiti	0.57	0.182	84.80
Ray arıza tespiti	0.01	0.008	86.30

3.5. Bölüm Değerlendirmesi

Demiryolu ray hattının ve ray yüzeyindeki arızaların tespit edilmesi için bu tez kapsamında temassız görüntü işleme tabanlı yöntemler geliştirilmiştir. Ray hattının tespitinde özellik çıkarım işlemleri uygulanmıştır. Geliştirilen yöntemde demiryoluna ait görüntülerin farklı aydınlatma koşulları ve ray hattının görüntüdeki farklı eğimlerde olması durumları da göz önüne alınarak yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yönteme giriş olarak demiryoluna ait görüntüler verilirken bu görüntüler RGB renk uzayı formatında olmaktadır. Görüntü işleme açısından sağladığı kolaylık göz önünde bulundurularak görüntüler RGB renk uzayından Grayscale renk uzayına çevrilmiştir. Ray hattının tespiti sırasında görüntüye Canny kenar çıkarımı, Morfolojik öznitelik çıkarımı ve Hough dönüşümü uygulanmıştır. Görüntüdeki ray hattı tespit edildikten sonra elde edilen sonuç görüntü, ray arızası tespit algoritmasına giriş olarak verilmiştir. Ray yüzeyinde meydana gelen kırılma, oyulma, hepçek, ondülasyon gibi arızalar görüntü işleme tabanlı yeni bir yöntem kullanılarak tespit edilmiştir. Ray yüzeyindeki arızalı olan bölgelerin belirlenmesi için ön işleme, Morfolojik özellik çıkarımı ve eşikleme işlemi uygulanmıştır. Arızalı olan bölgelerin daha yüksek doğruluk oranıyla tespit edilebilmesi için görüntüye uygulanacak olan eşik değerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan eşik değeri deneysel olarak görüntüler üzerinde denenerek bulunmuştur. Bu tez kapsamında önerilen bu yöntem literatürde var olan diğer yöntemlere göre birçok arıza türü tek bir algoritma kullanılarak tespit edilmiş ve başarılı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca geliştirilen yöntemin herhangi bir donanım gereksinimi bulunmamaktadır.

4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI MAKAS GEÇİŞİNİN TESPİT YAKLAŞIMI

Bu bölümde demiryollarındaki makas geçişlerinin görüntü işleme tabanlı olarak tespit edilmesi için geliştirilen yöntemden bahsedilmiştir. Makas geçişlerinin giriş demiryolu görüntüsü içerisinde tespit edilmesi için kenar çıkarım yöntemi, filtreleme teknikleri, renk uzayı dönüşüm işlemi, Hough dönüşümü ve Destek Vektör Makineleri (DVM) önerilen yöntemde kullanılmıştır. Tespit edilen ray hattında bir makas geçişi olup olmadığı durumu DVM ile doğrulanmıştır. Önerilen yöntemin deneysel olarak test edilmesi aşamasında trenin üzerine yerleştirilen kamera sayesinde elde edilen video akışı içerisindeki anlık demiryolu görüntüleri işlenerek makas geçişleri tespit edilmiştir. Geliştirilen yöntem kapsamında demiryolu hattına ait birçok farklı iklim, aydınlatma vs. koşullar altındaki görüntüler de test edilmiştir. Demiryolundaki makas geçişlerinin tespiti sırasında kullanılan videodan elde edilen görüntülerin güneş ışığı yansımaları, kar ile ray hattı yüzeyinin kapanmış olması, gece ve gündüz farklı aydınlatma koşullarının bulunması, trenin üzerindeki kameranın çözünürlük durumu gibi farklı şartlar altında geliştirilen yöntem çalıştırılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

4.1.Giriş

Demiryollarındaki makas geçişleri demiryolu ulaşımının en önemli bileşenlerinden birisidir. Bu bileşen demiryolu ulaşımında trenlerin bir raydan diğer raya geçişine izin vermektedir. Makas geçişleri, gerçek bir ulaşım ağının oluşumuna imkân verdikleri için demiryolu altyapısının önemli bir parçasıdır. Makas geçişleri sadece farklı hatlardaki rayları bağlamaz üstelik aynı hattaki paralel rayları da bağlamaktadır [98]. Bu yüzden bu işlem ray hattına esneklik sağlamaktadır. Raydaki bu durum sebebiyle neden olan işlevsel etki doğrudan ray hattındaki geçiş sayısı ile ilgili olmaktadır. Ayrıca makas geçişleri ray hattında tek bir nokta sunmaktadır. Makas geçişleri düz raylarla karşılaştırıldığında değiştirilmiş travers boyutları ve düzenlemeleri, ilave ray elemanları gibi sebeplerle daha yüksek ray dayanıklılığına sahiptirler.

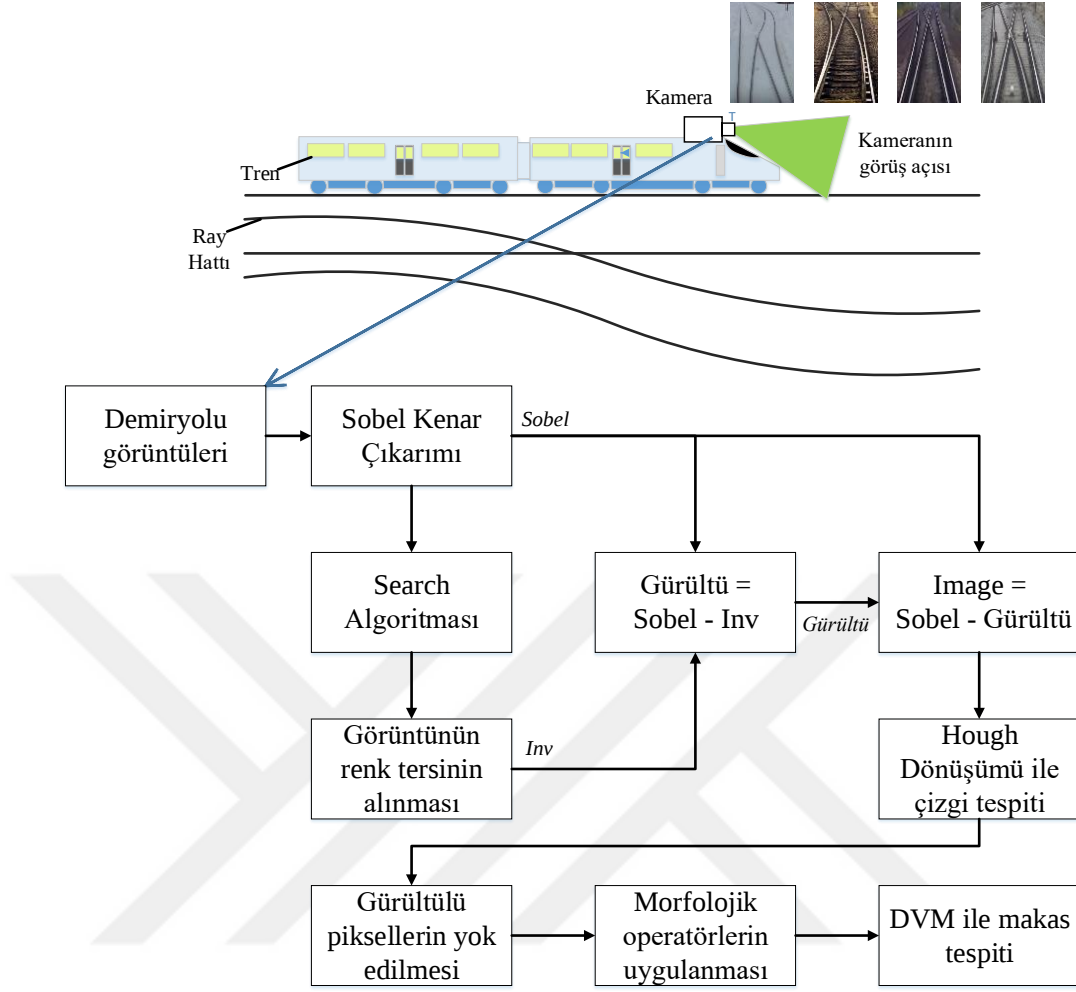
Makas geçişleri boyunca trenin rahat hareket edebilmesini garanti etmek için makas geçişinin durumunun iyi şekilde tutulmasına özen gösterilmelidir. Makas geçişinin iyi bir şekilde bakımı yapılmadığında tekerlek-ray arasındaki ilişki bu durumdan olumsuz bir

şekilde etkilenecektir. Ulaşımın güvenliği ve işlevsel konuların yüzünden makas geçişleri yoğun bir şekilde incelenmeli ve korunmalıdır. Bakım konusundaki yüksek harcamalara rağmen makaslar düz ray hatlarına nispeten sayı olarak daha az bulunmaktadır. Makaslar, bağlantılı rayların bir çiftinden oluşmaktadır.

Makas geçişlerinin tespit edilmesi için önerilen çalışmada giriş olarak alınan demiryolu görüntüsündeki ray hattının tespit edilmesi gerekmektedir. Ray hattı görüntüde tespit edildikten sonra ise bu ray hattında makas geçişi bulunup bulunmadığı DVM ile belirlenmiştir. Görüntüdeki makas geçişinin tespitinde renk uzayında dönüşüm, kenar çıkarımı, görüntüde iyileştirme, Hough dönüşümü kullanılarak ray hattı görüntüde belirlenmiştir ve görüntü ikili (siyah-beyaz) renk uzayı formuna dönüştürülmüştür. İkili renk uzayı formatındaki görüntüler DVM' nin eğitim ve test verisini oluşturmaktadır. Bu görüntüler 80x80 piksel boyutundadır ve bu görüntüler birtakım ön işleme ve özellik çıkarımı işlemlerine tabii tutulduğundan siyah-beyaz formattadır.

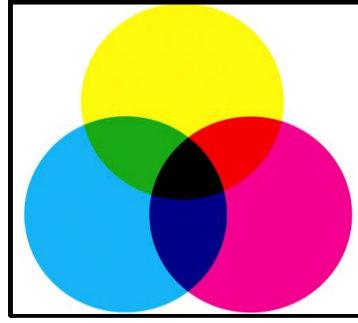
4.2.Önerilen Yöntem

Tezin bu bölümünde makas geçişlerinin tespit edilmesine yönelik olarak geliştirilen yaklaşım sunulmuştur. Makas geçişinin tespitinde giriş olarak alınan demiryolu görüntüsündeki ray hattının olduğu bölge tespit edilmiştir ve ardından bu bölgede makas geçişi bulunup bulunmadığına karar verilmiştir. Önerilen yöntemin blok şeması Şekil 4.1' de gösterilmektedir. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi deneysel düzenden alınan demiryolu görüntülerinde öncelikle birkaç ön işleme ve özellik çıkarımı tekniği ile ray hattı belirlenmiştir. Ray hattı görüntüde belirginleştirildikten sonra görüntüdeki gürültülü piksellerin ayıklanabilmesi için gürültü eliminasyonu ve morfolojik operatörler uygulanmıştır. Görüntüdeki sadece ray hattının belirgin bir şekilde bulunmasıyla bu görüntüler DVM eğitim verisini oluşturmak üzere kullanılmıştır. DVM' de eğitilmek ve test edilmek üzere toplam 160 adet görüntü kullanılmıştır. Görüntüdeki ön işleme ve özellik çıkarımı gibi görüntü işleme işlemlerinde OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır.

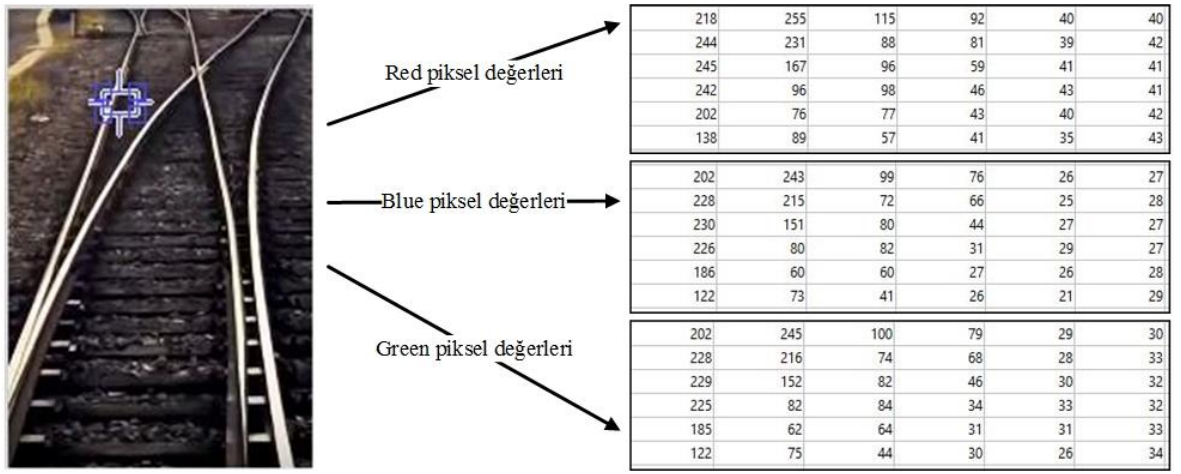


Şekil 4.1. Makas tespiti için önerilen yöntemin blok şeması

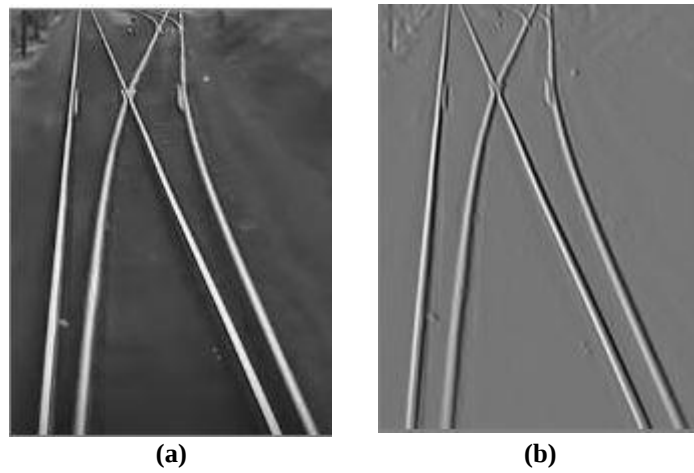
Giriş olarak algoritmaya alınan demiryolu görüntülerinde ilk uygulanan işlem kenar çıkarma işleminin yapılmasıdır. Giriş görüntüsü renkli görüntü formundadır. Renkli yani RGB(Red, Green, Blue) formundaki görüntünün kenar sınırlarının çıkarılması için Grayscale formuna çevrilmiştir. RGB formundaki görüntü üç kanala ait piksel değeri içermektedir. RGB renk uzayına ait bir görüntünün Red, Green ve Blue kanalına ait örnek piksel değerleri Şekil 4.3’ te gösterilmiştir. Grayscale formundaki görüntü ise tek kanal değerine sahiptir. RGB renk uzayındaki bir görüntünün Sobel kenar çıkarma işlemiyle dönüştüğü görüntü Şekil. 4.4’ te verilmiştir.



Şekil 4.2. RGB renk uzayı ile tüm renklerin elde edilişi

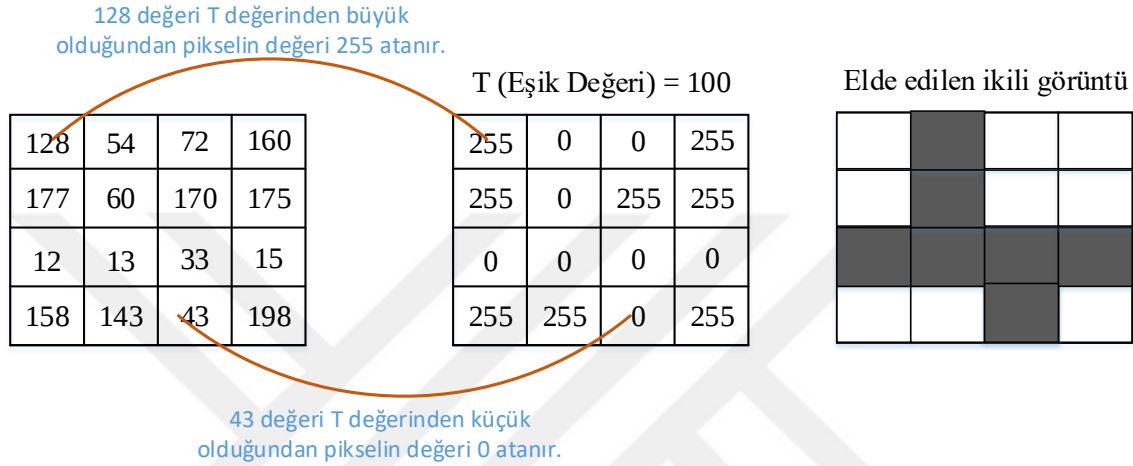


Şekil 4.3. RGB renk uzayı ile tüm renklerin elde edilişi



Şekil 4.4. Kenar çıkarma işlemi (a) giriş görüntüsü (b) Sobel kenar çıkarma yöntemiyle elde edilen sonuç görüntü

Görüntüdeki sınırların çıkarılması için Sobel kenar çıkarma yöntemi uygulanmıştır. Ardından görüntüdeki ray hattının daha belirgin hale getirilmesi için görüntü üzerindeki pikseller taranarak ray hattına ait olup olmadıkları belirlenmiştir. Ray hattının sınırları belirlendikten sonra görüntüdeki siyah olan piksellerin beyaz, beyaz olan piksellerin ise siyah yapılması sağlanmıştır. Bu işlem Şekil 4.5’ te özetlenmiştir.



Şekil 4.5. Eşikleme işlemi temeli

Görüntüye kenar çıkarma işlemi uygulandıktan sonra ray hattının olduğu piksellerin tespit edilmesi için kullanılan yöntemin sözde kodu Şekil 4.6’ da gösterilmiştir.

Algoritma:	
1	Im ← Grayscale kenar çıkarımı görüntüsü
2	cols ← Im görüntüsünün piksel genişliği
3	rows ← Im görüntüsünün piksel yüksekliği
4	Yeni_Im ← Ray hattının belirgin görüntüsü
5	T ← Im görüntüsüne uygulanan eşik değeri
6	for i=1:rows
7	for j=1:cols
8	if (im(i,j) >= T)
9	Yeni_Im (i,j) = 255;
10	else
11	Yeni_Im (i,j) = 0;
12	end
13	end
14	end

Şekil 4.6. Ray hattı piksellerinin tespiti algoritmasının sözde kodu

Ray hattı görüntüde daha belirgin bir hale getirildikten sonra görüntüdeki pikseller ikili(siyah-beyaz) forma getirilmiştir. Görüntüdeki siyah beyaz piksellerin tersi alınmıştır. Yani görüntüdeki siyah olan piksellerin değeri beyaz değerine, beyaz olan piksellerin değeri ise siyah değerine atanmıştır. Bahsedilen işlemin gerçekleştirilmesi için görüntüdeki piksellerin üzerinde tek tek gezinilerek mevcut piksel değerine bakılarak yeni piksel değeri atanmıştır. Bu işlemi özetleyen görsel Şekil 4.5’ te verilmiştir. Görüntünün renklerinin tersinin alınması da benzer şekilde gerçekleştirilmektedir. Görüntü üzerindeki bütün pikseller üzerinde tarama yapılarak değerleri karşılaştırılmaktadır.

0	255	255	0
255	0	255	255
255	255	0	255
255	0	255	0

255	0	0	255
0	255	0	0
0	0	255	0
0	255	0	255

Şekil 4.7. Görüntüdeki renklerin tersinin alınması

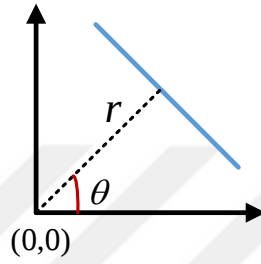
Kenarları çıkarılmış olan görüntü ile tersi alınmış olan görüntülerin farkı alınarak görüntüdeki gürültülü olan pikseller belirlenmiştir. Gürültülü olan piksellerin kenarları çıkarılmış görüntüyle farklarının alınmasıyla görüntüdeki gürültülü olan piksellerin yok edilmesi sağlanmıştır. Sonuç görüntüye Hough dönüşümü uygulanarak görüntüdeki doğru parçaları tespit edilmiştir. Hough dönüşümü ile görüntüde doğru parçası olan noktaların alt ve üst sınır piksel koordinatları belirlenmiştir ve görüntü bu boyutlarda kırpılmıştır.

Kırpılan görüntüde son olarak gürültü temizleme işlemi uygulanmıştır. Ardından görüntüdeki ray hattının daha belirgin olarak görünebilmesi için Morfolojik doldurma ve genişletme işlemleri uygulanmıştır. Sonuncu olarak da görüntüdeki makas geçişi olup olmadığının tespiti DVM ile yapılmıştır.

4.2.1. Hough Dönüşümü ile Çizginin Tespit Edilmesi

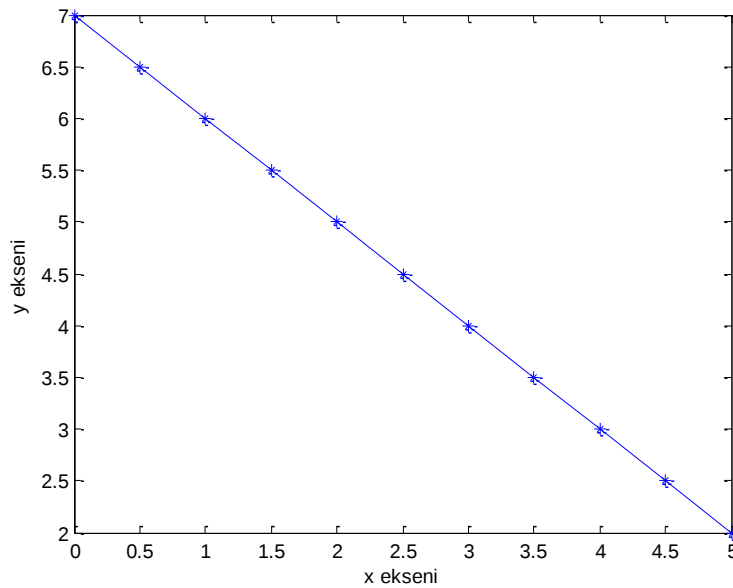
Hough dönüşümü çember, elips ve çizgi gibi şekillerin görüntü üzerinde tespit edilmesinde kullanılan bir özellik çıkarma tekniğidir. Hough dönüşümü ilk olarak Paul Hough tarafından bulunmuş olmasına rağmen şimdiki güncel halini Duda ve Hart tarafından 1972 yılında almıştır [99].

Kartezyen koordinat sisteminde bir doğrunun temsil edilmesi için gerekli parametreler, doğrunun orijine olan r uzaklığı ve doğrunun x eksenine ile yaptığı θ açı değeridir. Kartezyen koordinat sistemindeki bir doğru parçası Hough parametre uzayında gösterildiğinde doğru parçası (r, θ) parametreleri ile nokta halinde ifade edilmektedir. Kartezyen koordinat sistemindeki bir doğru parçasının Hough parametre uzayında nasıl temsil edildiği Şekil 4.8’ de gösterilmektedir.



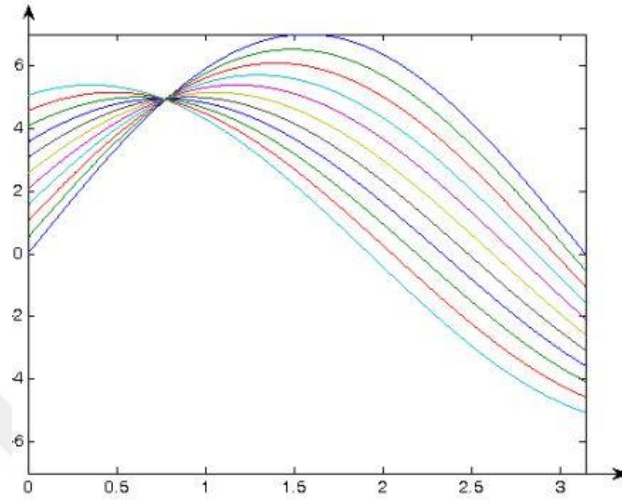
Şekil 4.8. Hough parametre uzayı

Örnek noktalar verilen Şekil 4.9’ daki her noktadan sonsuz sayıda doğru parçaları geçebileceği için bahsedilen noktalardan geçen tüm doğru parçalarının Hough parametre uzayında temsil edildiğinde nokta sayısınca sinüzoidal eğriler oluşmaktadır. Bu durum Şekil 4.9’ da temsil edilmiştir. Bu sinüzoidal eğrilerin kesiştiği nokta ise bahsedilen noktaların hepsinden geçen doğru parçasıdır.



Şekil 4.9. Noktalardan geçen doğru parçası

Şekil 4.9’ daki noktaların her birinden geçebilecek doğru parçalarının Hough parametre uzayına göre ifade eden sinüzoidal eğrilerin gösterimi aşağıda verilmiştir. Bu eğrilerin kesiştiği nokta, Şekil4.9’ daki noktalardan geçen doğru parçasını temsil etmektedir.



Şekil 4.10. Noktaların Hough parametre uzayındaki gösterimi [99]

Doğru parçası dik oldukça (r, θ) parametreleri sonsuz değere sahip olduğundan bu parametreleri denklem 4.1’ de gösterildiği gibi ifade edilmiştir.

$$r(\theta) = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta \quad (4.1)$$

Hough dönüşümü ile doğru parçaları tespit edildikten sonra makas geçişinin doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için ve ilgilenilen alanın görüntüden çıkarılabilmesi için rayın görüntüde son olarak görüntülendiği nokta hesaplanmıştır. Bu noktadan itibaren görüntü kırılarak çalışılan alan daraltılmıştır. Hough dönüşümü farklı uzunluktaki çizgiler geri döndüren bir tekniktir. Bu çizgilerin uzunluk bilgilerine gerek duyulmadan uç noktalarının koordinat bilgilerine ihtiyaç vardır. İki uç noktası bilinen bir çizginin uzunluğu denklem 4.2’ de hesaplanmıştır.

$$length = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (4.2)$$

Bu hesaplama ray hattını da içeren çoğu çizgileri kapsamaktadır. Ancak bu hesaplamayla ray hattına ait olmayan çizgiler de mevcuttur. Görüntüdeki en uzun olan iki doğru parçası

ray hattına ait olduğu düşünülerek işlemlerde kullanılmıştır. Bu iki çizginin bulunabilmesi için kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$y = mx + c \quad (4.3)$$

Bu hesaplama ile görüntüdeki iki düz çizginin kesiştiği nokta hesaplanabilmektedir. Ufuk noktasını hesaplamak için lineer eşitliğin genel şekli kullanılabilir. Denklem 4.3' teki m değeri eğimi ve c değeri çizginin y-eksenini kestiği noktayı temsil etmektedir. $P_1(x_1, y_1)$ ve $P_2(x_2, y_2)$ noktalarından geçen bir doğru parçasının eğim değeri denklem 4.4' te gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir.

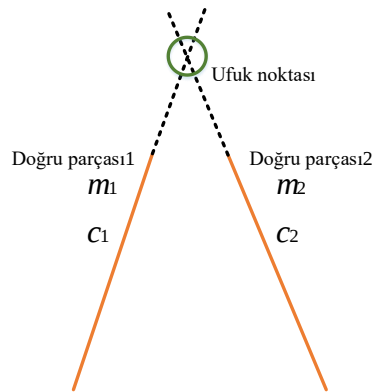
$$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \quad (4.4)$$

$P_1(x_1, y_1)$ ve $P_2(x_2, y_2)$ noktalarından geçen bir doğru parçasının y-eksenini kestiği nokta denklem 4.5' teki gibi hesaplanabilmektedir.

$$c = (x_2 y_1 - x_1 y_2) / (x_2 - x_1) \quad (4.5)$$

Ufuk noktası U ' nin y koordinatı denklem 4.6' te gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir. İki doğru parçasının ufuk noktası Şekil 4.11' de gösterilmektedir. Ufuk noktasının x-eksenindeki değerini belirlemek için de doğru parçalarının alt satırdaki x koordinat değerleri birbirinden çıkarılarak hesaplanmaktadır.

$$U_y = (m_1 c_2 - m_2 c_1) / (m_1 - m_2) \quad (4.6)$$



Şekil 4.11. İki doğru parçasındaki ufuk noktası

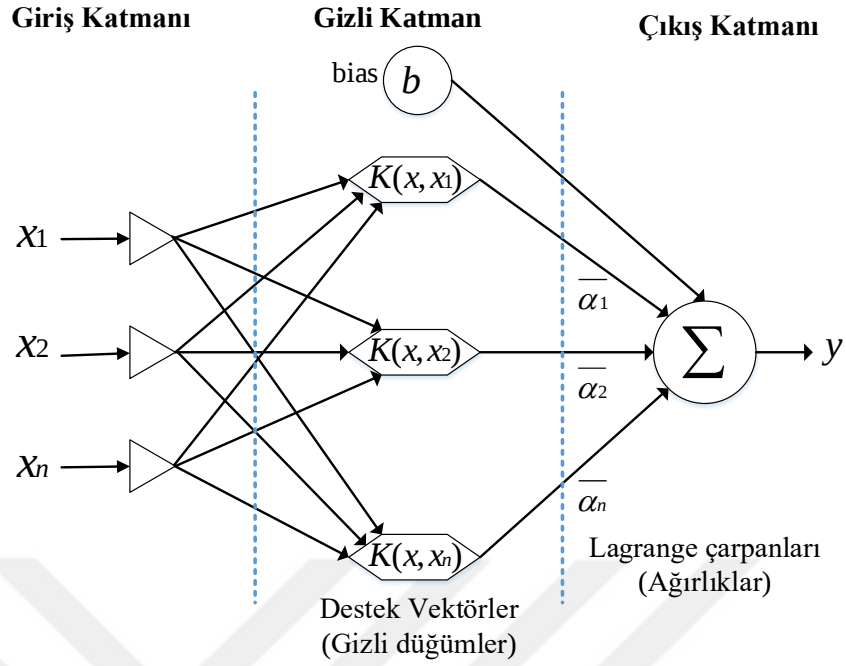
4.2.2. Destek Vektör Makineleri

Destek Vektör Makineleri (DVM), ikili sınıflandırma için Cortes ve Vapnik tarafından 1995 yılında geliştirilen bir sınıflandırma yöntemidir. DVM temel olarak verileri analiz eden, örüntüleri tanıyan ve sınıflandırma ve regresyon işlemlerinde kullanılmakta olan eğitici öğrenme tekniklerindendir. DVM sınıflandırıcılar biyoinformatik, yüz tanıma, veri madenciliği ve görüntü işleme gibi birçok alanda, farklı veri kaynaklarının modellenmesindeki esneklik, yüksek boyutlu veriyle uğraşabilme, yüksek doğruluk gibi sebepler sayesinde kullanılabilmektedir [100]. DVM, kernel yöntemlerinin genel kategorisine dayanmaktadır. DVM, sınıflandırılmak istenen iki grup arasındaki sınır çizgisinin çizilerek bu iki grubu ayırma temelindedir. Sınır çizgisi çizilirken iki grubun üyelerine en uzak mesafedeki bir yer olmasına özen gösterilmelidir. DVM ise bahsedilen bu sınır çizgisinin çizilmesi aşamasında kullanılmaktadır.

DVM' nin literatürdeki mevcut diğer sınıflandırma tekniklerine göre üstün tarafı, kareli optimizasyon yöntemiyle sınıflandırma problemini çözmektir. Böylelikle problemi çözerken öğrenme adımında işlem sayısı azaltılmaktadır ve literatürdeki diğer yöntemlere oranla çözüm daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir [101].

4.2.2.1. DVM' nin Genel Yapısı

Bir DVM' nin genel yapısı incelendiğinde sisteme giriş olarak verilen veriler, Lagrange çarpanları, çekirdek fonksiyonları ve elde edilen çıktı değeri/değerleri bulunmaktadır. DVM' nin genel ağ yapısının nasıl olduğu Şekil 4.12' de özetlenmektedir. Şekil 4.12' deki DVM ağ yapısındaki $K(x, x_j)$ çekirdek fonksiyonları ve α Lagrange çarpanlarıdır. Girişlerin iç çarpımları çekirdek fonksiyonlarının yardımıyla yapılmaktadır. Lagrange çarpanları ağırlıkları ifade etmektedir. DVM' de bir çıktı değerinin hesaplanması, girişlerin iç çarpımları ile Lagrange çarpanlarının toplanmasıyla olmaktadır.

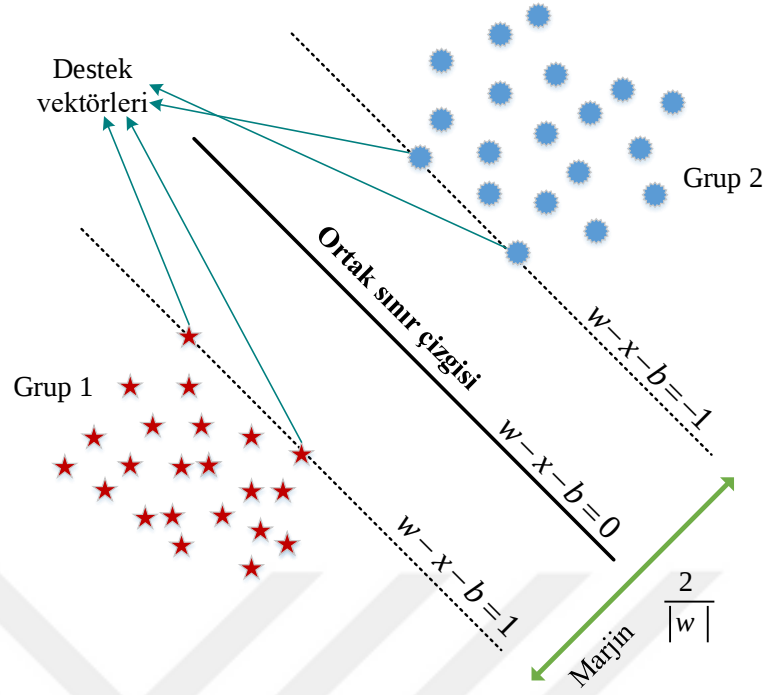


Şekil 4.12. DVM' nin ağ yapısı [102]

DVM' de yapılan esas işlem, sınıfları birbirinden ayıran optimum hiperdüzlemin sağlanmasıdır. Böylece farklı sınıflardaki destek vektörlerinin arasındaki mesafe maksimum değerdedir. DVM' ler dağılım konusunda bir ön bilgiye sahip değildirler, girdi ve çıktı kümeleri eğitim seti içinde eşlenmektedir ve veri ve test setindeki girdi parametrelerini sınıflayan karar fonksiyonları elde edilmektedir.

4.2.2.2. DVM' nin Çalışma Prensipleri

İki grubun destek vektör makineleri kullanılarak sınıflandırılması sürecinde yapılması gerekli olan bu iki grubu ayıran birbirine paralel olan ve iki gruba da yakın olacak şekilde iki adet sınır çizgisi çizmektir. Bahsedilen bu iki sınır çizgileri birbirine yaklaştırılarak 'ortak sınır çizgisi' elde edilmektedir. Örneğin aşağıda Şekil 4.13' teki iki grubu ele alalım. Bu iki grup iki boyutlu bir düzlemde gösterilmiştir. Bahsedilen bu düzlemi ve boyutları birer özellik olarak düşünmek mümkün olmaktadır. Yani basit anlamıyla sisteme giren her bir girdinin bir özellik çıkarımı yapılmış ve sonuçta bu iki boyutlu düzlemde her girdiyi gösteren farklı bir nokta elde edilmiştir. Bu noktaların sınıflandırılması demek; çıkarılmış olan özelliklere göre girdilerin sınıflandırılması demektir. Her sınıf arasında oluşan aralığa 'Tolerans(Offset)' denilmektedir.



Şekil 4.13. Örnek bir hiperdüzlem

Yukarıdaki şekildeki düzlem ve boyutlar birer özellik olarak düşünülmektedir. Bu hiperdüzlemdeki her bir noktanın tanımı denklem 4.7' de yapılmıştır. Denklemdeki her x, c ikilisi için x değeri, vektör uzayındaki bir nokta olup c değeri ise bu noktanın -1 veya +1 olduğunu ifade etmektedir.

$$D = \{(x_i, c_i) \mid x_i \in R^p, c_i \in \{-1, 1\}\}_{i=1}^n \quad (4.7)$$

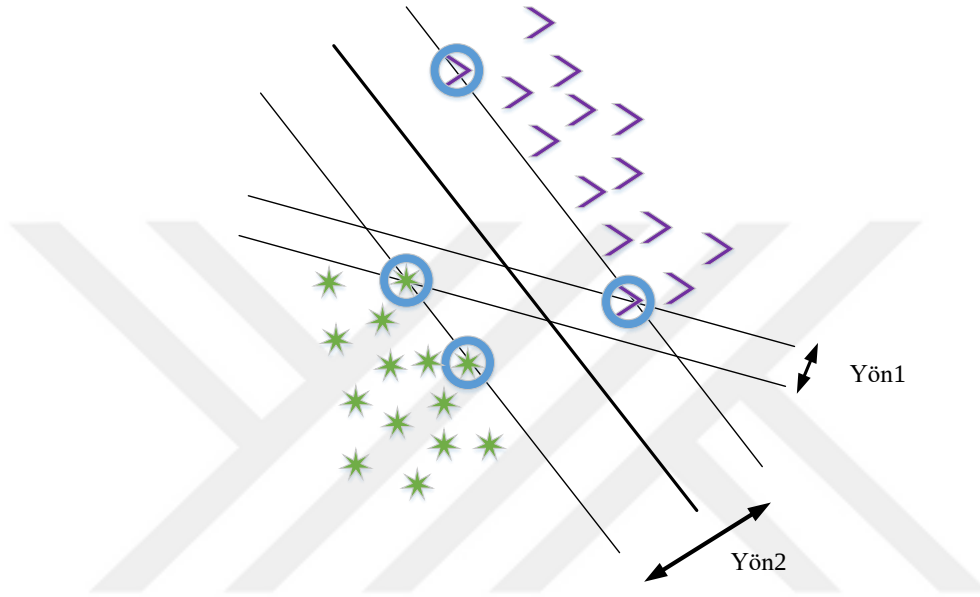
Denklem 4.7 kullanılarak elde edilen iki doğrunun denklemi ise denklem 4.8 ve denklem 4.9' da ifade edilmiştir. Bu iki denklemin kaydırılması sonucunda elde edilen en yüksek değere sahip olan marjın değerinin elde edilmesi sağlanmıştır.

$$wx - b = -1 \quad (4.8)$$

$$wx + b = 1 \quad (4.9)$$

Yukarıdaki denklemlerdeki w parametresi hiperdüzleme dik olan normal vektörü temsil etmektedir. Noktanın değişen parametresini x temsil ederken b değeri ise kayma miktarıdır. $wx + b = 0$ denklemine göre $b/|w|$ ise iki grup arasındaki mesafe farkını göstermektedir. Bu

mesafe farkı denklemine göre mesafeyi en yüksek değere çıkarabilmek için Şekil 4.13’ te gösterilen hiperdüzlemdeki üç doğrunun denkleminde $2/|w|$ formülü kullanılmıştır. Yani bahsedilen bu doğrular arasındaki mesafe 2 birim olarak belirlenmiştir. Bir hiperdüzlemin tek yönlü olması, iki grubu ayırmak için bazen mümkün olmamaktadır. İki grubun ayrılması için tek yönlü olmayan örnek bir hiperdüzlem aşağıda verilmiştir.

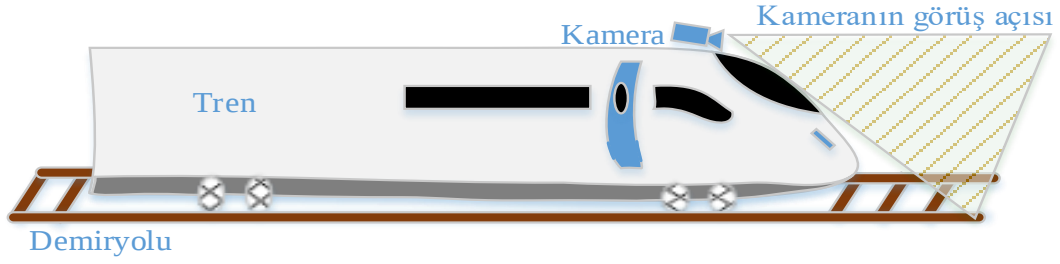


Şekil 4.14. Hiperdüzlemi ayıran iki farklı yön örneği

İki farklı yöne sahip olan bir DVM’ de seçilecek olan ortak sınır çizgisi, iki grup arasındaki oluşun aralığın daha büyük olduğu yöndeki sınır çizgisidir. Yukarıdaki örneği incelediğimizde ise Yön2, Yön1’ den daha büyük olacağından dolayı Yön2 seçilecektir.

4.3.Deneysel Sonuçlar

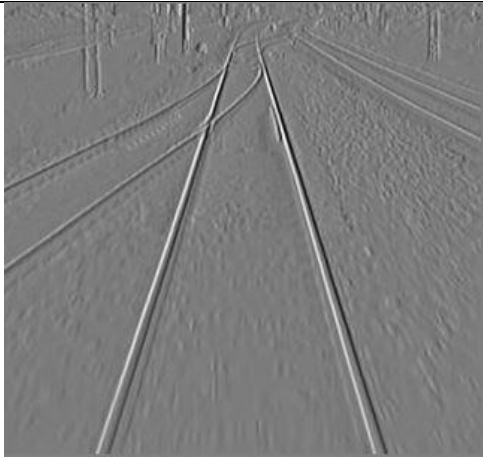
Tezin bu bölümünde makas geçişlerinin tespiti için önerilen yöntemde trenin üzerine yerleştirilen kameradan alınan videolardan elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Bu görüntüler farklı iklim koşulları ve saatlerde elde edilmiştir. Bahsedilen koşullar altında demiryollarında makas geçişi olup olmadığı tespit edilmektedir. Demiryolu görüntülerinden 160 adet kullanılmıştır. Bunlardan bir bölümü eğitim verisi olarak bir bölümü ise test verisi olarak kullanılmaktadır. Bahsedilen görüntülerin elde edilmesi için kullanılan deneysel düzenek Şekil 4.15’ te gösterilmiştir.

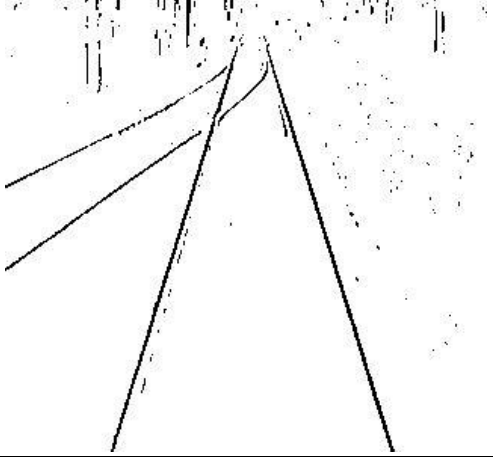
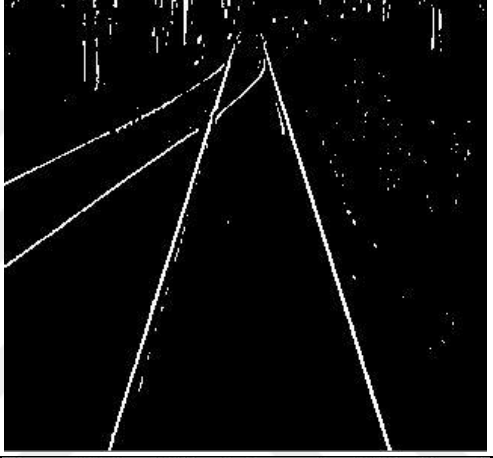
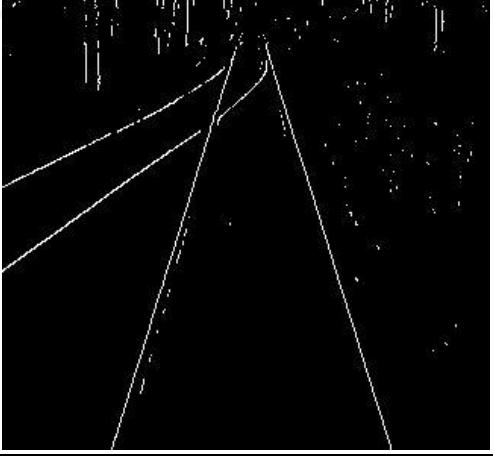


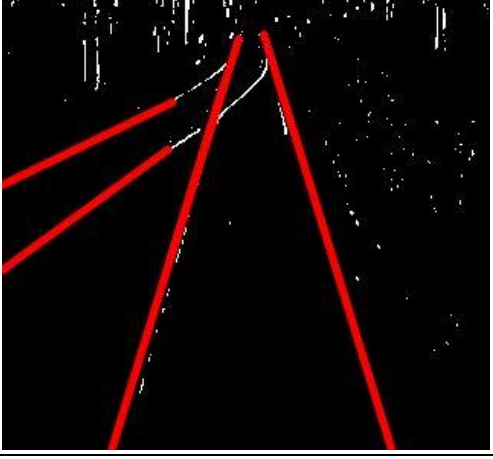
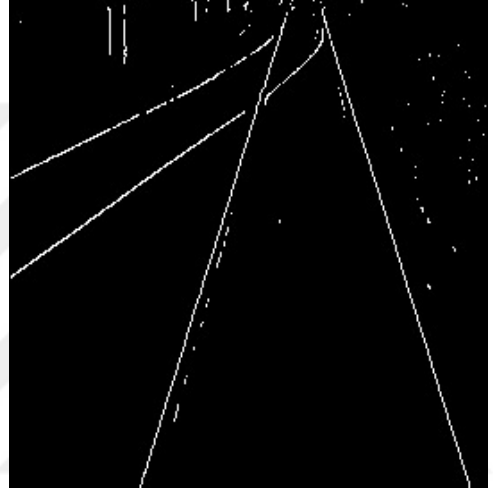
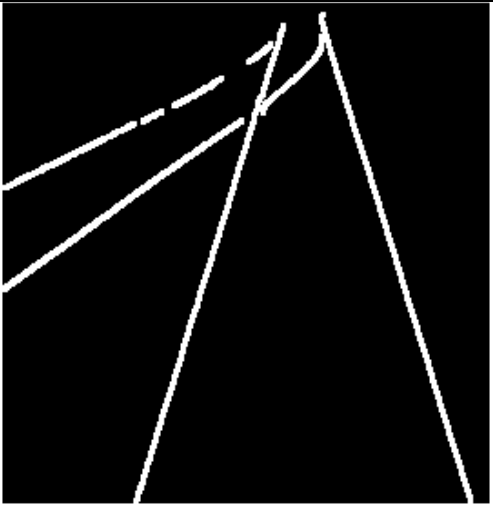
Şekil 4.15. Demiryolu görüntüsünün elde edilmesinde kullanılan deneysel düzenek

Makas geçişinin tespit edilmesi için alınan giriş demiryolu görüntüsündeki ray hattının tespit edilerek DVM' ye verilene kadar geçen aşamalar Tablo 4.1' de gösterilmektedir. Tabloda da belirtildiği gibi görüntüye uygulanan görüntü işleme teknikleriyle birtakım özellik çıkarma işlemi yapılmıştır.

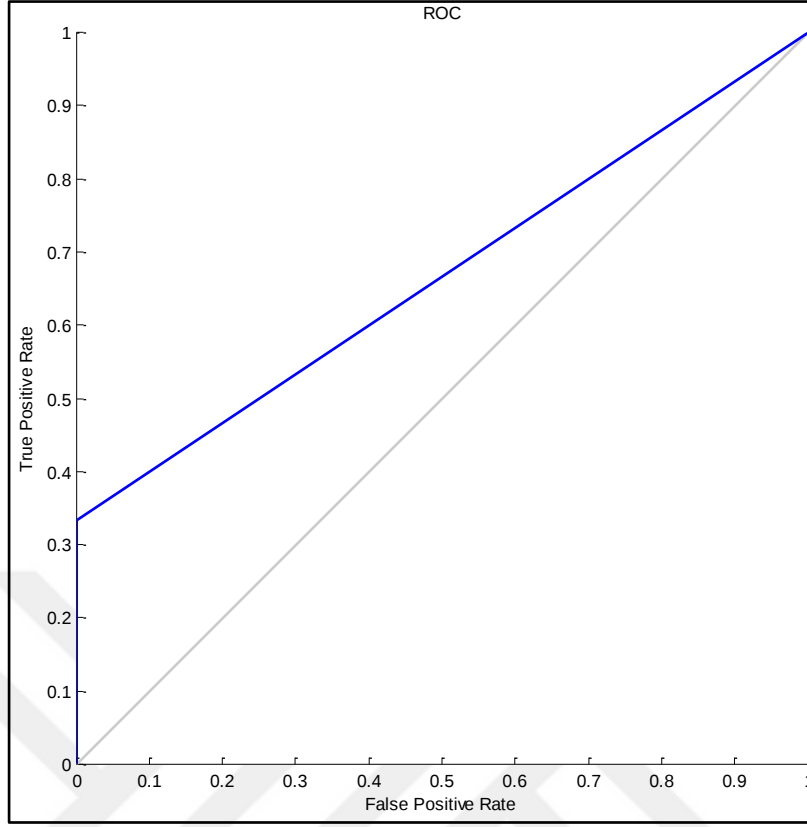
Tablo 4.1. Makas geçişinin tespitinde önerilen yöntemin uygulama adımları

Yöntemde Uygulanan Teknik	Tekniğin Uygulanmasıyla Elde Edilen Sonuç
Giriş görüntüsü	
Sobel kenar çıkarma metodunun uygulanması	

Search algoritması ile görüntüdeki ray hattının belirgin hale getirilmesi	
Görüntüdeki renk değerlerinin tersinin alınması	
Gürültülü piksellerin yok edilmesi	

Hough dönüşümü ile çizgilerin tespiti	
Rayın ufuk noktasından görüntünün kırılması	
Görüntüdeki gürültülerin yok edilmesi ve Morfolojik işlemlerle rayın belirginleştirilmesi	

Elde edilen demiryolu görüntüleri DVM’ de eğitim ve test verisi olarak kullanılmıştır. DVM’ de kernel fonksiyonu olarak lineer kernel fonksiyonu ve bias değeri olarak ise 0.011 değeri kullanılmıştır. DVM eğitim sonucunda oluşan performans kriterleri değerlendirildiğinde elde edilen ROC eğrisi Şekil 4.16’ da gösterilmektedir.



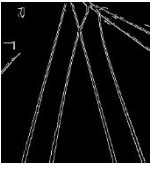
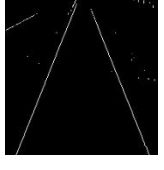
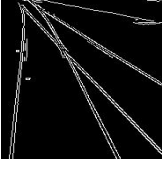
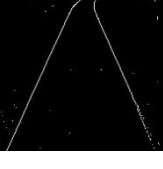
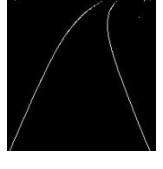
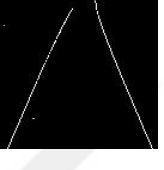
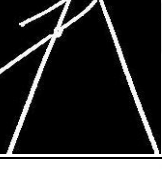
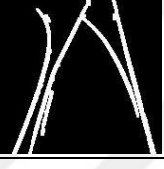
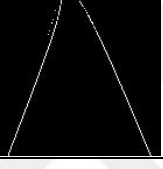
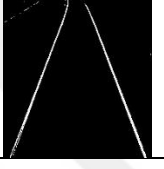
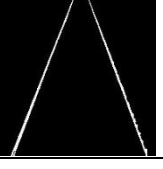
Şekil 4.16. DVM eğitimden elde edilen ROC eğrisi

DVM eğitim ve test işlemi tamamlandığında elde edilen sonuçlar grafiksel olarak karşılaştırıldığında bu iki parametrenin birbirine olan benzerlik derecesi DVM' in eğitim işleminin ne kadar doğru yapıldığını göstermektedir. Şekil 4.17 DVM' in test işlemiyle elde etmesi gereken gerçek değerler ve test işlemi sonucunda DVM' in elde ettiği değerlerin sayısal sinyal olarak çizdirilmesini ifade etmektedir. Bu iki sinyalin birbirine hangi ölçüde benzediği aşağıdaki şekilde açık bir şekilde görünmektedir. İki sinyalin birbirinden farklılaştığı noktalar ise şekil üzerinde gösterilmiştir. DVM' de eğitiminde kullanılan pozitif ve negatif verilerin görüntülerinden örnek olarak birkaçı Tablo 4.2' de gösterilmiştir. Makas geçişlerinin tespiti için önerilen yöntemde elde edilen performans kriterleri Tablo 4.4' te bahsedilmiştir.

Tablo 4.2. DVM eğitimde kullanılan pozitif ve negatif veri setleri

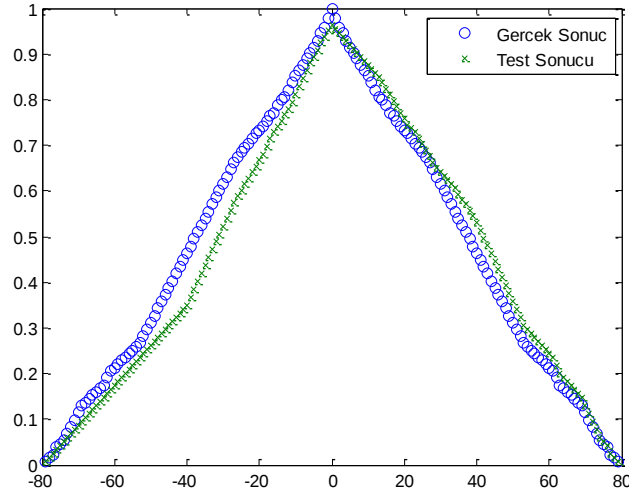
DVM Pozitif Eğitim Verileri			DVM Negatif Eğitim Verileri		

Tablo 4.3. DVM’ de kullanılan örnek test verileri

DVM Pozitif Eğitim Verileri			DVM Negatif Eğitim Verileri		
					
					
					
					

Tablo 4.4. Önerilen yöntemin performans sonuçları

	Ray Hattının Bulunması	DVM Eğitim İşlemi	DVM Test İşlemi
Görüntü Boyutu	230x210	80x80	80x80
Ortalama Geçen Süre (sn)	0,05	0,29	0,01
Doğruluk Oranı (%)	88,80	DVM performans ölçütleri • Doğruluk: 0,8125 • Kesinlik: 0,724 • Duyarlılık: 1,0 • Özgünlük: 0,629 • Hata Oranı: 0,18 • F-measure: 0,839 • True Positive Rate(TPR): 1 • False Positive Rate(FPR): 0.37 • True Negative Rate(TNR): 0.62 • False Negative Rate(FNR): 0	



Şekil 4.17. DVM’ de elde edilmesi gereken gerçek sonuç ve test sonucu

4.4.Bölüm Değerlendirmesi

Tezin bu bölümünde makas geçişlerinin tespiti için temassız görüntü işleme tabanlı yeni bir yöntem sunulmuştur. Makas geçişlerinin tespiti için önerilen yönteme giriş olarak verilen görüntüler trenin üzerindeki yerleştirilen kameradan alınan görüntülerden oluşmaktadır. Bu görüntüler farklı iklim koşulları ve saatlerden elde edilen görüntülerdir. Böylece görüntülerdeki çeşitliliğin olması yönüyle yöntem test edilmiştir. Yöntemdeki görüntülerde kameranın geniş bir görüş açısı olduğundan öncelikle trenin seyrettiği rayın tespit edilerek geri kalan planın görüntüde gürültü olarak kabul edilerek yok edilmesi önemli bir aşamadır. Görüntüdeki bahsedilen bu gürültülerin yok edilmesi için ray hattının belirginleştirilmesi yapılmıştır. Ray hattının görüntüde daha belirgin hale getirilmesi için demiryolu görüntüsüne Sobel kenar çıkarma tekniği, Search algoritması ile ray hattının netleştirilmesi, gürültülü olan piksellerin yok edilmesi ve Hough dönüşümü kullanılarak trenin seyrettiği rayın ufuk noktası hesaplanarak görüntüden rayın kırılması işlemleri yapılmıştır. Giriş görüntüsündeki gürültülerin yok edilerek sadece ray nesnesinin bırakılmasının ardından görüntüdeki ray hattının daha net hale getirilmesi için Morfolojik genişletme ve doldurma işlemleri uygulanmıştır. DVM’ de eğitilmek ve test edilmek üzere bu görüntüler kullanılmıştır. DVM’ de kullanılan bu görüntülerde makas geçişlerinin daha doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için DVM’ eğitilmesi için kullanılan görüntüde ray hattının daha belirgin ve gürültülü piksellerin de olmamasına özen gösterilmiştir. DVM birçok alanda da nesne sınıflandırma işlemi için farklı senaryolarda da kullanılabilir.

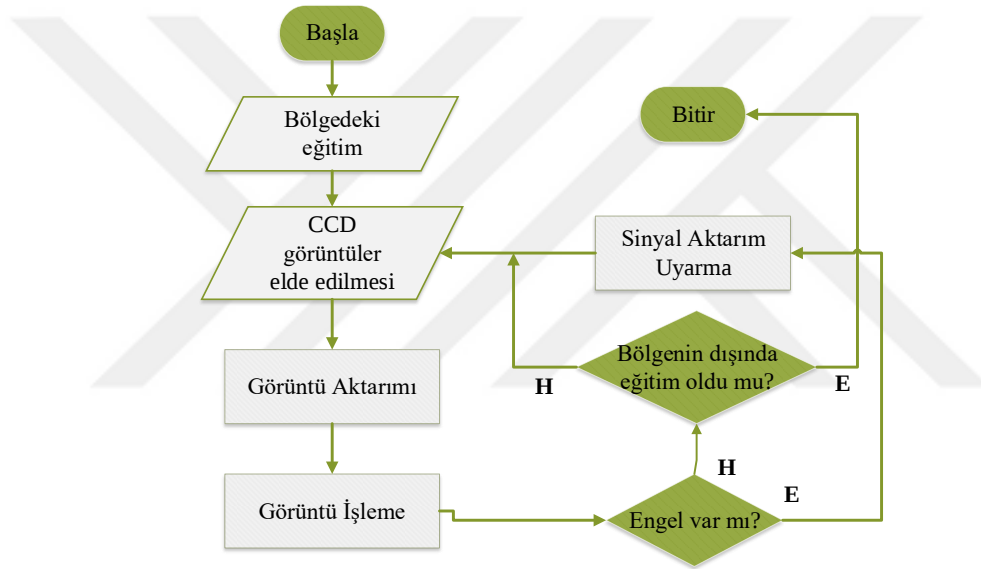
5. HEMZEMİN GEÇİTLERİN TESPİTİ İÇİN ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Tezin bu bölümünde, demiryolu ve karayolu ulaşımında önemli bir yere sahip olan hemzemin geçitlerin temassız görüntü işleme tabanlı tespiti sağlayan yeni bir yöntem sunulmuştur. Trenin üzerine yerleştirilen kamera ile alınan demiryolu görüntüleri sayesinde hemzemin geçitler tespit edilmiştir. Hemzemin geçidin tespit edilmesinin ardından hemzemin geçitte bulunan ve kazaya sebep olabilecek nitelikte olan yabancı nesneler tespit edilmiştir. Geliştirilen bu çalışma ile hemzemin geçitlerde yaşanan kazaların önlenmesi hedeflenmiştir.

5.1. Giriş

Demiryolu ve karayolu ulaşımında ortak kullanım bölgesi olan hemzemin geçitler her iki ulaşım türü için de oldukça önemlidir. Hemzemin geçitler bu sebeple hem demiryolu ulaşımının hem de karayolu ulaşımının güvenliği için sıklıkla kontrol edilmelidir. Sürücülerin dikkatsiz olması ya da sürücülerin kurallara uymaması durumlarında hemzemin geçitlerde ciddi kazalar meydana gelebilmektedir. Hemzemin geçitlerde yabancı nesnelerin bulunması ulaşımın güvenliğini tehdit etmektedir. Hemzemin geçitlerin görüntü işleme tabanlı olarak tespit edilebilmesi için literatürde geliştirilen çalışmalar bulunmaktadır. Amaral ve diğerleri [103] 2-boyutlu lazer tarayıcı ve 3-boyutlu noktalı bulutlardan demiryolundaki hemzemin geçitlerde engel tespiti için bir yöntem önermişlerdir. Önerilen bu yöntem demiryolunun yakınında bulunan kayalar gibi küçük engellerin tespitine izin vererek yüksek yoğunluk ve doğru bulut kümelerini elde edebilmiştir. Eğitim aşaması devre dışındayken bu sistem nokta bulutlarının bir kümesinden hemzemin geçidin arka plan modelini öğrenmiştir. Daha sonra çevrimiçi olarak hemzemin geçitler arka plan modeliyle karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Heavisides ve diğerleri [104] Birleşik Krallık'taki mevcut, yüksek profilli, bir dizi endüstri programının konusu olan hemzemin geçitlerin riskini sunmuştur. Bu çalışma, hemzemin geçitlerinde risk modellemesi ve tüm geçitlerin değerlendirilmesi için ortak bir temel oluşturmak için uyumlu bir çaba ile ilgilidir. Bu çalışmanın diğer amacı, tren sürücüsünün ray üzerindeki bir nesneye yaklaşması için erken bir uyarı sağlamak için engel tespiti kullanılmasıdır.

Pu ve diğerleri [105] ileri bir sistem geliştirmek için bir çalışma tasarlamıştır. Bu sistem demiryolu hemzemin geçitlerinde hareketli engeller bulunduğunu tespit edebilmiştir. Bu çalışmada grayscale CCD kamera kurulmuştur ve hemzemin geçit görüntülerini işlemek için grafiksel bir arayüz geliştirilmiştir. Hareketli engelleri takip etmek için segmentasyon, görüntü fark alma, ikili renk uzayına dönüştürme, morfolojik dönüşüm gibi işlemler bu çalışmada uygulanmıştır. Farklı renklere sahip model otomobiller için çeşitli aydınlatma koşulları altında geliştirilen sistem üzerindeki deneyler, aydınlatma seviyesinin ortalama uyarı doğruluğunu etkileyen önemli bir faktör olduğunu ancak araçların renginin olmadığını göstermiştir. Bu çalışmada kullanılan akış diyagramı Şekil 5.1’ de gösterilmiştir [105].



Şekil 5.1. Hemzemin geçitteki engellerin tespiti yapan çalışmanın akış diyagramı [105]

Silar ve Dobrovolny [106] hemzemin geçit bölgesinde nesne tespit ve takibi için bir yöntem önermişlerdir. Nesne takibi işlemi görüntü eşleştirme ve mutlak farklılıkların toplamı tabanlıdır. Bu çalışmanın sonuçları iki adet hemzemin geçit içeren gerçek trafik senaryolarında denenmiştir. Kim ve Cohn [107] lokomotifin önüne hemzemin geçit kazalarını incelemek için bir kamera yerleştirmişlerdir. Trenin önünden geçen araçların etkinliğini saptayarak olası kaza sonrası sahneleri otomatik olarak çıkaran bir bilgisayar görme sistemi sunmuşlardır.

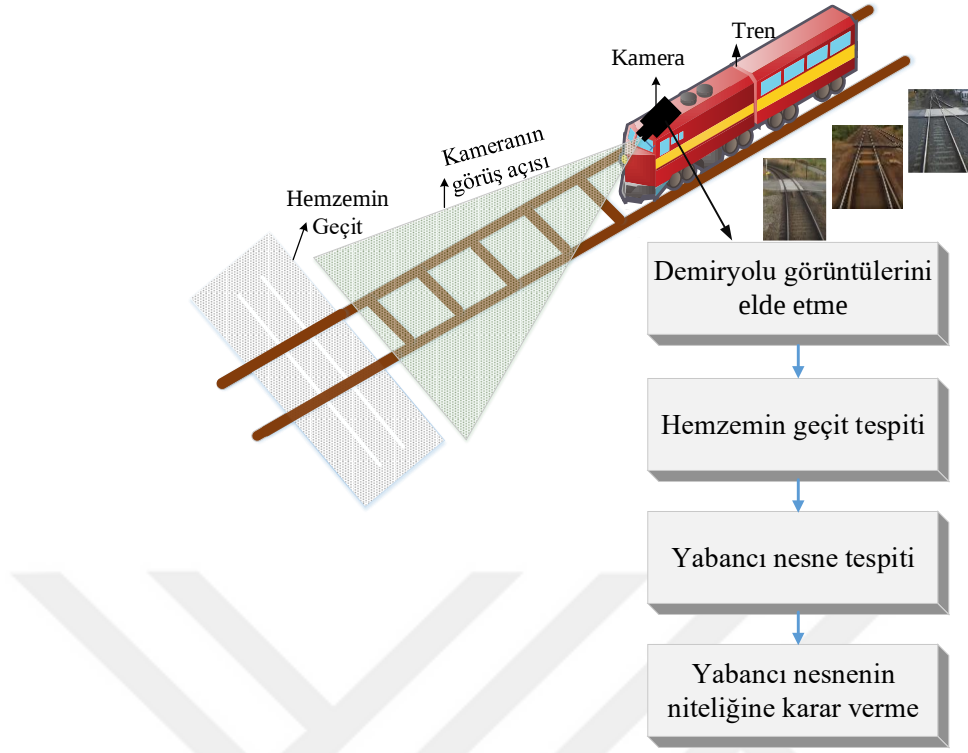
Dwarakanath ve diğerleri [108] hemzemin geçitlerde otomatik geçiş kapı kontrolü sunmuşlardır. Raydaki engellerin tespitiyle ilgilenmişlerdir. Trenin varış yeri, rayların yanına yerleştirilen sensörler tarafından tespit edilmiştir. Demiryolu hattındaki engeli tespit

etme işlemi iki adımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki öncelikle trenin ön ucuna yerleştirilmiş olan sensörler kullanılarak pistteki herhangi bir engeli algılamaktadır ve ardından engel tespiti mesajını GSM teknolojisi kullanılarak yakındaki tren istasyonuna iletilmiştir.

Bu çalışmada, hemzemin geçitlerin tespiti için temassız görüntü işleme tabanlı teknikler sunulmuştur. Hemzemin geçitte kazaya sebep olabilecek ya da ulaşımı aksatabilecek nitelikte yabancı nesne olup olmadığı tespit edilmiştir. Hemzemin geçidin tespiti sürecinde önışleme, özellik çıkarımı Hough dönüşümü, gürültülü piksellerin yok edilmesi ve bazı görüntü işleme teknikleri uygulanmıştır. Hemzemin geçitlerin doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için giriş olarak alınan demiryolu görüntülerindeki gürültülerin yok edilmesi gerekmektedir. Gürültülü olan piksellerin yok edilmesi sırasında hemzemin geçit için önemli olan piksellerin korunması gerekmektedir. Bu işlemi gerçekleştirmek için görüntü işleme filtreleri uygulanmıştır.

5.2. Önerilen Yöntem

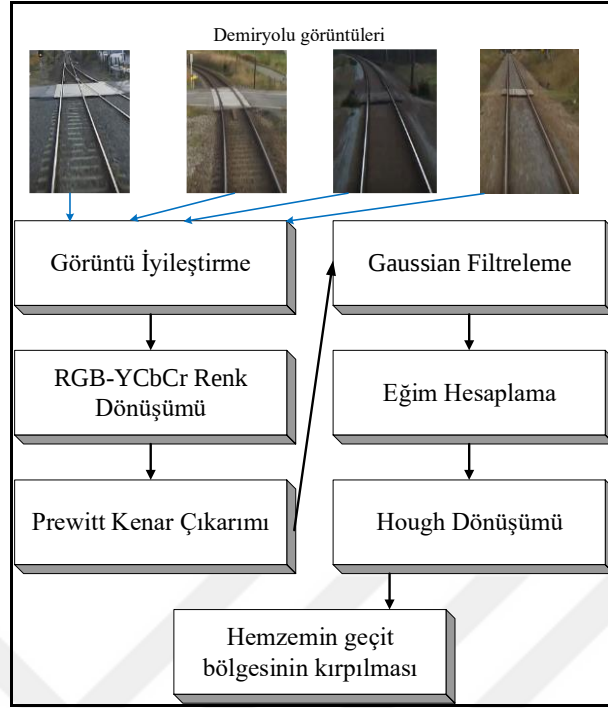
Tezin bu bölümünde hemzemin geçitlerin görüntü işleme yöntemleriyle tespiti için bir çalışma sunulmuştur. Trenin önündeki kameradan alınan demiryolu görüntülerinde öncelikle hemzemin geçit tespiti yapılmaktadır. Daha sonra ise tespit edilen hemzemin geçitte kazaya sebep olabilecek ya da ulaşımı aksatacak nitelikteki engeller tespit edilmektedir. Hemzemin geçidin tespitinde Matlab yazılım geliştirme ortamından faydalanılmıştır. Önerilen yaklaşımın blok diyagramı Şekil 5.2' de verilmiştir. Demiryolu görüntülerinde hemzemin geçidin raylara dik bir açıyla bulunması ve görüntüde yatay konumda bulunması göz önünde bulundurularak geliştirilen algorithmada işlemler geliştirilmiştir. Yatay konumda bulunan hemzemin geçitlerin tespitinde Morfolojik özellik çıkarım tekniklerinden faydalanılmıştır.



Şekil 5.2. Hemzeminin geçit tespiti için önerilen yöntemin blok şeması

5.2.1. Hemzemin Geçidin Tespit Edilmesi

Önerilen yönteme giriş olarak alınan demiryolu görüntüsündeki hemzemin geçitlerin tespit edilmesi için birkaç görüntü işleme adımı görüntüye uygulanmıştır. Uygulanan görüntü işleme adımları sırasıyla görüntü iyileştirme, renk dönüşümü, kenar çıkarımı, Gaussian filtreleme, eğim hesaplama ve Hough dönüşümüdür. Hemzeminin geçit tespiti için önerilen yöntemin akış diyagramı Şekil 5.3’ te gösterilmiştir. Hemzeminin geçidin tespitinde ilk işlem görüntü iyileştirmedir. Görüntüye bu işlem sırasında görüntü keskinleştirme ve kontrast iyileştirme uygulanmıştır. Görüntü keskinleştirme (netleştirme) işlemi özellikleri ortaya çıkarmak için parlak ve koyu bölgeler arasındaki kontrastı artırmaktadır [109]. Kontrast, görüntü kalitesinin sübjektif değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. Kontrast, iki bitişik yüzeyden yansıyan parlaklık farkıyla oluşturulur [110]. Başka bir deyişle, kontrast, nesneyi diğer nesnelerden ve arka plandan ayırt edebilen görsel özellikler arasındaki farktır. Görsel algıda, kontrast, nesnenin renk ve parlaklığındaki fark ile belirlenmektedir [110].



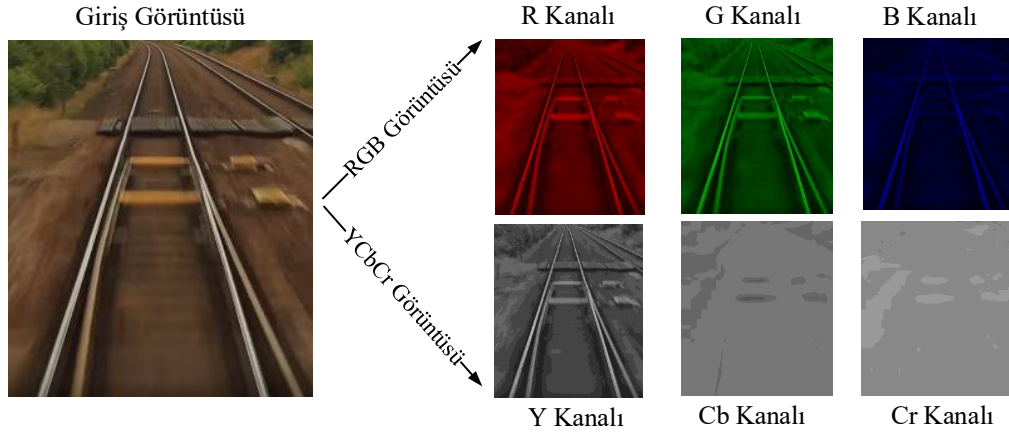
Şekil 5.3. Hemzemin geçit tespitinin akış diyagramı

Görüntüde iyileştirme işlemi uygulandıktan sonra RGB renk uzayı formatında bulunan görüntü YCbCr renk uzayı formatına dönüştürülmüştür. YCbCr renk uzayı genellikle dijital videolar için kullanılmaktadır. Bu renk uzayı bilişimde popüler renk uzaylarından birisidir [111]. Bu renk uzayında parlaklık bilgisi tek bir bileşen (Y) olarak saklanmaktadır. Renk farkı bilgisi, iki renk farkı bileşeni olarak (Cb ve Cr) saklanmaktadır. Cb bileşeni bir referans değeri ve mavi bileşen arasındaki farkı temsil etmektedir. Cr bileşeni ise bir referans değeri ve kırmızı bileşen arasındaki farkı sunmaktadır [112]. Cb ve Cr görüntüdeki renklilik bilgisini ifade etmektedirler. Her kanal sekiz bitlik değerlerle ifade edilmektedir. Şekil 5.4’ te örnek olarak alınan giriş görüntüsünün R, G, B kanalındaki değerleri ve Y, Cb, Cr kanalındaki değerleri gösterilmiştir. RGB renk formatındaki bir görüntünün YCbCr renk uzayına dönüştürülürken kullanılan denklemler aşağıda belirtilmiştir. Her bir kanalın değerinin ayrı ayrı hesaplandığı gösterilmektedir.

$$Y = 0.229R + 0.5878G + 0.114B \quad (5.1)$$

$$Cb = 128 - 0.168R - 0.331G + 0.5B \quad (5.2)$$

$$Cr = 128 + 0.5R - 0.418G - 0.081B \quad (5.3)$$



Şekil 5.4. RGB ve YCbCr renk formatı kanal bilgileri

YCbCr renk uzayına dönüştürülen görüntüde Y kanalındaki görüntü kullanılarak önerilen yöntemin işlem basamakları devam ettirilmiştir. Daha sonraki adımda ise görüntüye Prewitt kenar çıkarma işlemi uygulanmıştır. Prewitt kenar çıkarması sırasında 3x3 boyutunda aşağıdaki x-ekseni ve y-ekseni doğrultusundaki maskeler kullanılmıştır.

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

(a)

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

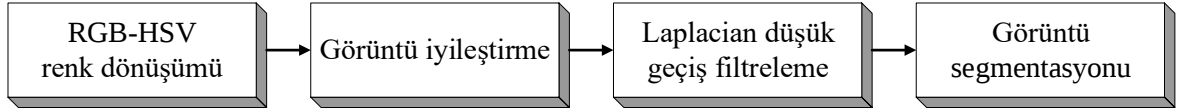
(b)

Şekil 5.5. Prewitt kenar çıkarma maskeleri (a) x-ekseni yönündeki maske (b) y-ekseni yönündeki maske

Kenar çıkarma işleminden sonra ise görüntüdeki eğim büyüklüğü ve yatay ve dikey yöndeki eğimleri hesaplanmaktadır. Eğimleri hesaplandıktan sonra görüntüde hemzemin geçit yatay konumda olması sebebiyle dikey yöndeki eğim değeri bulunan görüntü kullanılarak işlemlere devam edilmiştir. Daha sonra ise görüntüye Gaussian filtresi uygulanmıştır. Bu filtreleme ile görüntüdeki gürültülerin kaldırılması sağlanmıştır. Hough dönüşümü uygulanarak görüntüdeki yatay doğrultuda uzanan hemzemin geçidin tespiti yapılmıştır.

5.2.2. Hemzemin Geçitte Yabancı Nesnelerin Tespit Edilmesi

Giriş görüntüsünde hemzemin geçit tespit edildikten sonra hemzemin geçit üzerinde yabancı nesne olup olmadığı belirlenmiştir. Görüntü işleme uygulamalarında yabancı nesnelerin tespit edilmesi yaygın bir uygulamadır. Yabancı nesne tespitinde kullanılan blok diyagramı Şekil 5.6’ da verilmiştir. Bu yöntem ön işleme, özellik çıkarımı ve nesne tespiti gibi adımlardan oluşmaktadır. Renk dönüşümü, görüntü filtreleme ve segmentasyon gibi görüntü işleme teknikleri giriş olarak alınan hemzemin geçit görüntüsüne uygulanmıştır. Yöntemin ilk adımında RGB formatında alınan görüntü HSV renk uzayına dönüştürülmektedir. HSV renk uzayı üç adet kanal bilgisi içermektedir. Bu kanallar renk tonu (Hue), doygunluk (Saturation) ve değer (Value)’ dir. Hue kanalı yeşil, mavi, sarı vb. renklerin baskın dalga boylarını tanımlamaktadır. Buna ek olarak, bu kanal 0-360 derece açı değeri arasında bir değere sahiptir. Saturation kanalı rengin canlılığını tanımlamaktadır. Yüksek doygunluk canlı renklerin oluşmasına sebep olurken düşük doygunluk ise rengin gri tonlarına yaklaşmasını sağlar. Value kanalı renk içindeki beyaz oranı tanımlamaktadır. Bu nedenle, rengin parlaklığını ifade etmektedir. Bu çalışmada V kanal görüntüsü kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Yabancı nesne tespitinde kullanılan blok şeması

RGB renk uzayındaki bir görüntü HSV renk formatına çevrilmek istendiğinde aşağıdaki denklemler takip edilmelidir. Hue, Saturation ve Value değerlerinin her birinin ayrı ayrı olarak nasıl hesaplandığı aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$V = \max(R, G, B) \quad (5.4)$$

$$S = \frac{255(V - \min(R, G, B))}{V} \quad \begin{matrix} \text{if } V \neq 0 \\ \text{else } 0 \end{matrix} \quad (5.5)$$

$$H = \begin{cases} \frac{60(G-B)}{S} & \text{if } V = R \\ 180 + \frac{60(B-R)}{S} & \text{if } V = G \\ 240 + \frac{60(R-G)}{S} & \text{if } V = B \end{cases} \quad (5.6)$$

$$\text{if } H < 0 \text{ then } H = H + 360 \quad (5.7)$$

Bu denklemlerin yardımıyla görüntü HSV formatına dönüştürülmektedir. HSV formatındaki görüntünün Value kanalı ile işlemlere devam edilmiştir. Bu görüntü üzerinde kontrast iyileştirme ve görüntü netleştirme yapılmıştır. Laplacian düşük geçiş filtresi görüntüye uygulanmaktadır. Düşük geçiren filtre, düşük frekanslı bilgileri tutma eğilimindeyken yüksek frekanslı bilgileri kaldırmaktadır. Laplacian filtresi komşu piksellerdeki varyasyonu bulmaktadır. Laplacian alçak geçiren filtre, yakındaki piksel ve piksel değerlerinin ortalaması arasındaki uyumsuzluğu azaltarak görüntüyü yumuşatmaktadır. Bu işlemlerden sonra ise görüntüye Watershed dönüşüm segmentasyonu uygulanarak yabancı nesne barındıran bölgeler tespit edilmiştir. Yabancı nesneler tespit edildikten sonra yabancı nesnenin boyutuna göre filtreleme yapılmıştır. Boyutu büyük olan cisimlerin yabancı nesne olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 5.7. Gürültülü piksellerin yok edilmesi işlemi

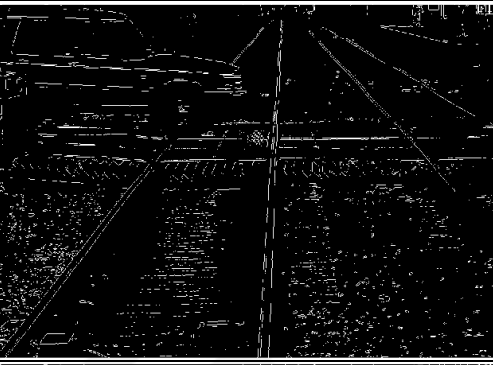
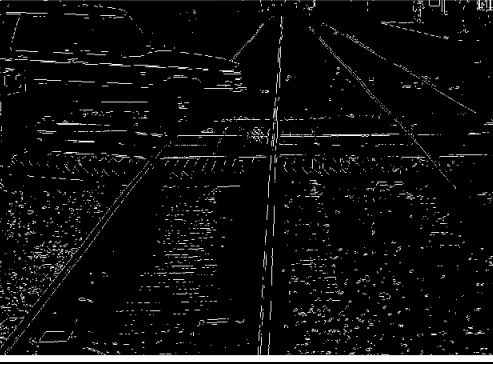
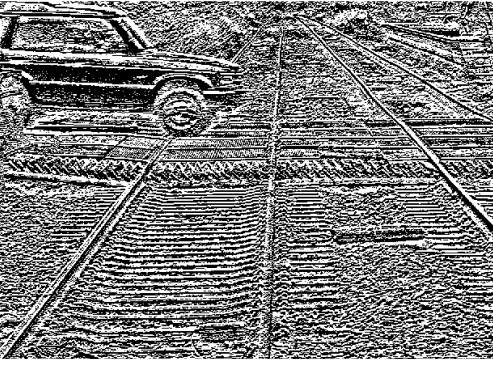
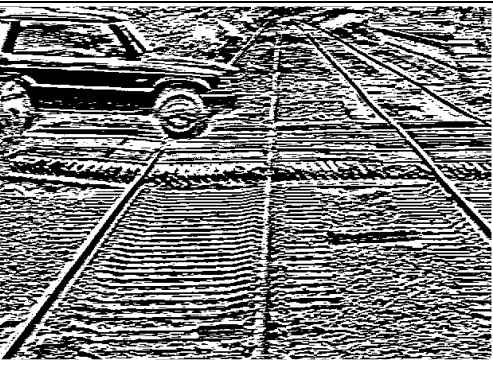
5.3. Deneysel Sonuçlar

Demiryollarındaki hemzemin geçitlerin trenin üzerine yerleştirilmiş kameradan alınan görüntüler kullanılarak tespit edilmesi için görüntü işleme tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Görüntüye uygulanan ilk işlem hemzemin geçidin bulunduğu bölgenin belirlenmesi

ardından ise görüntüdeki hemzemin geçidin üzerinde yabancı nesne olup olmadığı durumuna bakılmasıdır. Hemzemin geçidin tespit edilmesi aşamasında uygulanan görüntü işleme adımları Tablo 5.1’ de listelenmiştir. Tablo 5.2’de hemzemin geçidin tespit edilmesine yönelik olarak giriş görüntüleri ve elde edilen çıktı görüntüleri verilmiştir. Görüntüdeki hemzemin geçit tespit edildikten sonra hemzemin geçidin üzerindeki bölge incelenmiştir. Yabancı nesnelerin incelendiği yöntemin işlem basamakları Tablo 5.3’ te gösterilmiştir. Görüntüdeki hemzemin geçidin tespit edilmesi için geçen süre ortalama 0.75 sn ve başarı oranı ise %83 olarak hesaplanmıştır.

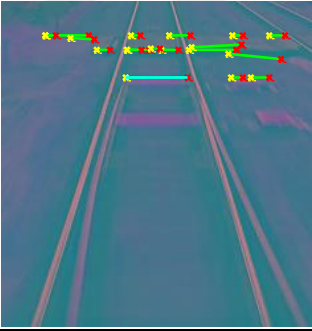
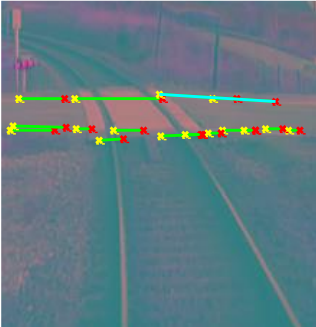
Tablo 5.1. Hemzemin geçidin tespitinde önerilen yöntemin uygulama adımları

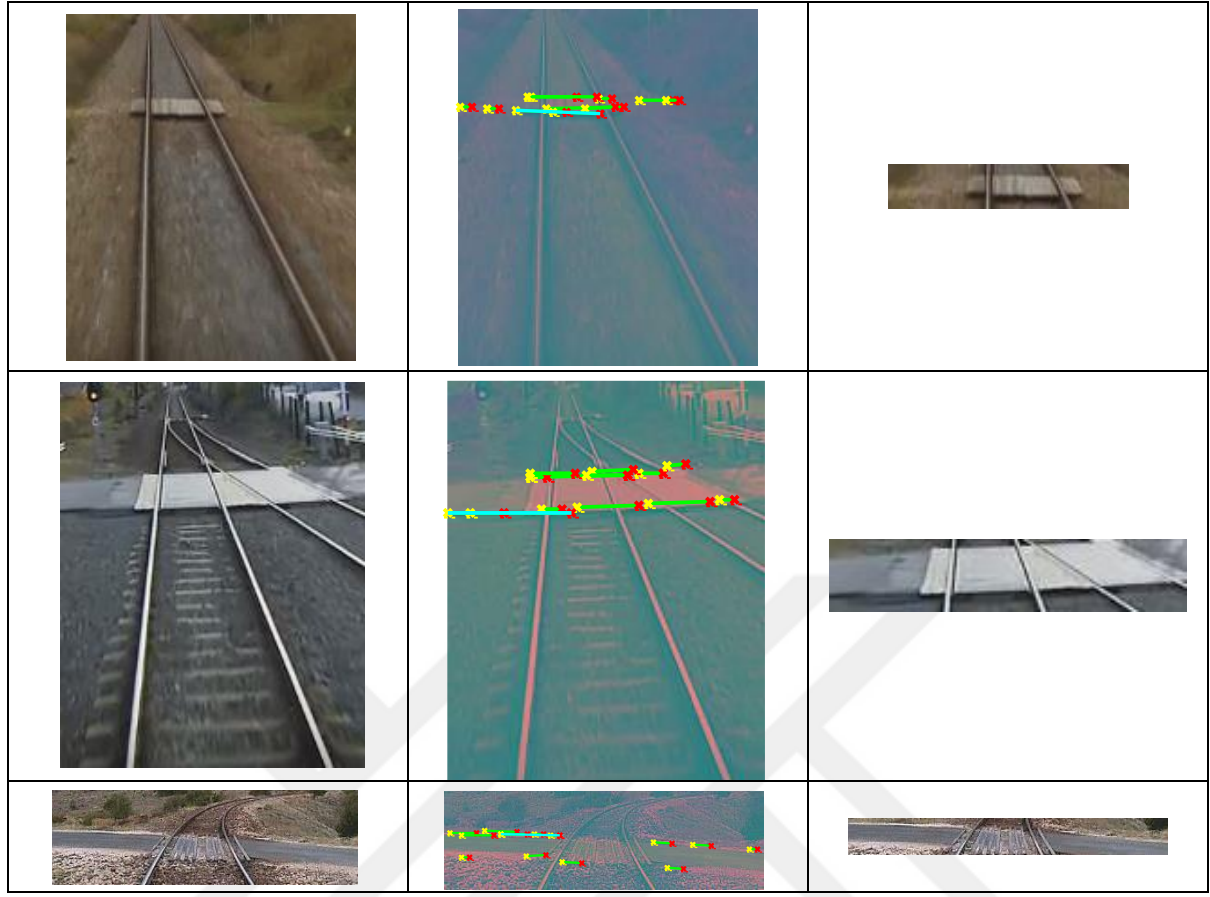
Yöntemde Uygulanan Teknik	Tekniğin Uygulanmasıyla Elde Edilen Sonuç
Giriş görüntüsü	
Görüntü netleştirme	
RGB-YCbCr renk dönüşümü	

Y kanalına ait görüntünün elde edilmesi	
Prewitt kenar çıkarma uygulanması	
Gaussian filtreleme	
Eğim yönü ve büyüklüğü hesaplama (y-ekseni yönündeki eğim kullanılmıştır.)	
Görüntüye Motion filtreleme uygulanması	

Hough dönüşümü uygulanarak görüntüdeki çizgilerin belirlenmesi	
Hemzemin geçidin kırılarak çıkarılması	

Tablo 5.2. Hemzemin geçidin tespit yönteminin test işlemi

Giriş Görüntüsü	Tespit Edilen Hemzemin Geçit	Sonuç Görüntüsü
		
		
		



Tablo 5.3. Yabancı nesne tespitinde önerilen yöntemin işlem basamakları

Yöntemde Uygulanan Teknik	Tekniğin Uygulanmasıyla Elde Edilen Sonuç
Giriş görüntüsü	
RGB-HSV renk dönüşümü (V kanal bilgisi kullanılmıştır.)	
Sobel kenar çıkarımı	
Morfolojik genişletme işlemi	
Morfolojik doldurma işlemi	

Gürültülü piksellerin yok edilmesi	
Segmentasyon işlemi	

Tablo 5.4. Hemzemin geçit tespiti için önerilen yöntemin performans sonuçları

Görüntü No	Geçen Süre (sn)	Doğruluk Oranı (%)	Görüntü Çözünürlüğü (piksel/inç)	Görüntü Boyutu (piksel)
Görüntü 1	0.35	100	96	248x118
Görüntü 2	0.41	90	72	633x188
Görüntü 3	0.77	80	72	935x668
Görüntü 4	0.70	85	72	800x600
Görüntü 5	0.34	100	96	276x85
Görüntü 6	0.37	75	96	235x247
Görüntü 7	0.36	60	96	220x231
Görüntü 8	0.35	100	96	177x212
Görüntü 9	0.35	100	96	169x213

5.4. Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde, demiryollarındaki hemzemin geçitlerin trenin üzerine yerleştirilmiş kameradan alınan görüntüler kullanılarak tespit edilmesi bir temassız görüntü işleme tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Hemzemin geçitler hem demiryolu hem de karayolu ulaşımında kullanılmakta olan önemli bölgelerdir. Bu alanlarda dikkatsizlik ve kurallara uyulmaması sonucunda ciddi kazalar meydana gelmektedir. Hemzemin geçitlerin trenin seyrettiği rayla 90 derecelik açı yapacak şekilde yatay konumda bulunmaları hemzemin geçitlerin tespitinde önemli bir nokta olmuşlardır. Yatay doğrultuda uzanan hemzemin geçitlerin tespiti için filtreleme teknikleri, renk dönüşümü, morfolojik özellik çıkarımı ve Hough dönüşümü uygulanmıştır. Giriş olarak RGB formatında alınan görüntü YCbCr renk formatına dönüştürülmüş ve ardından bu görüntünün Y kanal bilgisi ile işlemlere devam edilmiştir. Çünkü bu kanal görüntünün parlaklık bilgisini içermektedir. Görüntüye uygulanan Gaussian yumuşatma filtresi ile görüntüdeki gürültü yok etme işlemi gerçekleştirilmiştir. Tespit edilen hemzemin geçitteki engellerin tespiti sırasında ise HSV renk dönüşüm işlemi uygulanmıştır. HSV renk uzayının V kanalı kullanılarak işlemlere

devam edilmiştir. Ardından Laplacian düşük geçiş filtreleme ile komşu pikseller arasındaki değişim miktarları gözlemlenmiştir. Bu durum dikkate alınarak engeller tespit edilmiştir. Tespit edilen engeller içinde boyutu küçük olanlar çalışma kapsamında göz ardı edilmiştir. Farklı senaryolarla elde edilmiş görüntüler önerilen yöntemde test edilmiştir. Bu görüntülerin farklı boyut ve çözünürlüklerle elde edilmesi durumu göz önünde bulundurulmuştur. Görüntülerin çözünürlükleri açısından yöntem değerlendirildiğinde 70 ppi/dpi çözünürlük değerinden düşük olan çözünürlüklerde görüntündeki hemzemin geçitlerin tespiti zorlaşmakta ve başarı oranı da düşmektedir. Ayrıca görüntünün boyutu büyüdükçe önerilen yöntemin hemzemin geçidi tespit etme süresi de uzamaktadır.



6. SONUÇLAR

Demiryolu ulaşımında önemli bileşenlerden olan raylar, makas geçişleri ve hemzemin geçitler tez çalışması kapsamında incelenmiştir. Demiryolu ulaşımındaki temel bileşenlerden, bu bileşenlerin türlerinin neler olduğundan, raylarda oluşabilecek arızalardan ve ray arızalarının oluşma sebeplerinden bahsedilmiştir. Demiryolu ulaşımı için ray arızalarının erken tespit edilmesinin önemli olması nedeniyle temassız görüntü işleme tabanlı yöntemler arızaların tespit edilmesi için geliştirilmiştir.

Ray arızalarının, makas geçişlerinin ve hemzemin geçitlerin tespit edilebilmesi için literatürde var olan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda eksiklikler gözlemlenerek geliştirilen yöntemde uygulanmıştır. Literatürdeki çalışmalar karşılaştırıldığında ray arızalarını tespit edebilmek için birçoğunun donanım gereksinimleri bulunmaktadır. Birçoğunda ise ray arızalarının sadece belirli türleri için yöntem geliştirildiği görülmüştür. Tez çalışmasında ray arızalarının tespit edilebilmesi için ilave donanıma gerek duyulmaksızın ve birçok ray arıza türünün tespit edilebilmesi için görüntü işleme tabanlı uygulamalar geliştirilmiştir. Kenar çıkarım teknikleri, Hough dönüşümü, matematiksel morfolojik operatörlerle özellik çıkarımı ve görüntü filtreleme teknikleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ray yüzeyindeki arızaların incelenmesi sürecinde görüntü işleme tekniklerinin kullanılması hakkında bilgi edinilmiştir.

Trenin üzerine sabitlenen kamera yardımıyla alınan demiryolu görüntülerinden ray hattının öncelikle tespit edilebilmesi için yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem ile demiryollarındaki farklı aydınlatma ve farklı hava koşullarına karşılık ray hattının tespiti sağlanmıştır. Demiryolu görüntüsünde ray hattı tespit edildikten sonra ray yüzeyindeki mevcut arızalar incelenmiş ve bu arızaların tespiti görüntü işleme tabanlı tekniklerle sağlanmıştır. Ray yüzeyindeki arızaların incelenmesi aşamasında görüntü iyileştirme, görüntü netleştirme, kenar çıkarma, Laplacian düşük geçiş filtreleme ve morfolojik özellik çıkarımı teknikleri uygulanmıştır. Görüntüdeki ray yüzeyi arızalarının tespitinde dikkat edilmesi gereken nokta ise görüntüdeki gürültülü piksellerin yok edilmesidir.

Demiryollarındaki makas geçişlerinin tespiti için trenin üzerine yerleştirilen kameradan alınan görüntüler kullanılmıştır. Makas geçişlerinin tespiti için kenar çıkarım algoritması, gürültülerin yok edilmesi, morfolojik özellik çıkarımı ve Hough dönüşüm teknikleri kullanılarak görüntüdeki ray hattı belirlenmiştir. Tespit edilen ray hattı görüntüleri ikili

tabana dönüştürülerek 80x80 ölçüsüyle boyutlandırılmıştır. Daha sonra ise bu görüntüler DVM ile eğitilmiştir. Eğitim ve test verisi olarak 160 adet demiryolu görüntüsü kullanılmıştır. Bu görüntüler farklı hava koşulları, farklı saatler gibi senaryolardan elde edilmiştir. DVM ile eğitimi tamamlanan bu yöntemde sisteme birçok test görüntüsü verilmiş ve bu test verileriyle yüksek doğruluk, kesinlik ve duyarlılıkla sonuçlar elde edilmiştir. DVM ile geliştirilen makas geçişlerinin tespit yöntemi farklı uygulama alanları için de uyarlanabilir.

Karayolu ve demiryolu ulaşımında önemli bir yere sahip olan hemzemin geçitlerin tespit edilebilmesi için görüntü işleme tabanlı yöntem geliştirilmiştir. Hemzemin geçitler ciddi kazaların yaşandığı alanlar olduğundan bu alanlara görüntü işleme tabanlı tekniklerle durum izlemesi uygulanmalıdır. Hemzemin geçitlerin demiryolu görüntülerinde tespit edilebilmesi için görüntü işleme tabanlı yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem YCbCr renk uzayı dönüşümü, kenar çıkarımı, Gaussian filtreleme, eğim hesaplama ve Hough dönüşümü gibi teknikleri demiryolu görüntüsüne uygulayarak hemzemin geçidin olduğu alanı tespit etmiştir. Tespit edilen hemzemin geçitte engel olup olmadığı görüntü işleme teknikleriyle belirlenmiştir.

Demiryollarının hızla yaygınlaşmasının sonucunda demiryollarının gelişen teknolojiyle kontrol edilmesi gerekli hale gelmiştir. Ray arızalarının görüntü işleme tabanlı tespit edilmesinde trenin alt tarafında ray yüzeyini görecektir şekilde yerleştirilen kameralarla görüntüler elde edilerek tespit edilebilmektedir. Makas geçişleri ve hemzemin geçitlerin tespitinde görüntünün elde edilmesi için trenin üzerine kamera yerleştirilmektedir. Farklı aydınlatma koşulları göz önünde bulundurularak görüntünün standart bir görünümü olabilmesi adına trenin altına yerleştirilen kameraların yanına ışık kaynakları eklenebilmektedir. Saatteki hızı 300 km/sa olan bir yüksek hızlı trenden elde edilen görüntülerde önerilen yöntemler uygulanabilmektedir. Tez kapsamında geliştirilen yöntemler Matlab yazılım geliştirme ortamı ve OPENCV kütüphanesinden faydalanılarak yazılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Hogerwaard, J., Zamfirescu, C.,** 2015. Rail Transportation, *Clean Rail Transportation Options, Green Energy and Technology*, s. 39-56.
- [2] **Tastimur, C., Akin, E., Karakose, M., Aydin, I.,** 2015. Detection of Rail Faults Using Morphological Feature Extraction Based Image Processing, *2015 23th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, s. 1244-1247.
- [3] **Sambo, B., Bevan, A., Pislaru, C.,** 2016. A novel application of image processing for the detection of rail surface RCF damage and incorporation in a crack growth model, *The International Conference on Railway Engineering (ICRE) 2016*, s. 1-9.
- [4] **Karaduman, G., Karakose, M., Akin, E.,** 2012. Experimental Fuzzy Diagnosis Algorithm Based on Image Processing for Rail Profile Measurement, *Mechatronika 15th International Symposium*, s. 1-6.
- [5] **Karaköse, M., Aydın, İ. and Akin, E.,** 2010. The Intelligent Fault Diagnosis Frameworks Based on Fuzzy Integral, *IEEE Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion Conference(SPEEDAM 2010)*, s. 1634-1639.
- [6] **Wang, L., Hang, Y., Luo, S., Luo, X., Jiang, X.,** 2011. Deblurring Gaussian-blur images: A preprocessing for rail head surface defect detection, *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics*, s. 451 - 456.
- [7] **Deutschl, E., Gasser, C., Niel, A., Werschonig, J.,** 2004. Defect detection on rail surfaces by a vision based system, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2004, s. 507 - 511.
- [8] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2013. Raylı Sistemler Teknolojisi, Ray Arızaları, Ankara.
- [9] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011. Raylı Sistemler Teknolojisi, Demiryolu İnşaatı 582YIM282, Ankara.
- [10] **Thompson, D.,** 2008. Railway Noise And Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control, *Elsevier*.
- [11] **Bocciolone, M., Caprioli, A., Cigada, A., Collina, A.,** 2007. A measurement system for quick rail inspection and effective track maintenance strategy, *Mechanical Systems and Signal Processing*, **21**, s. 1242-1254.
- [12] **Rose, J.,** 2010. Introduction to Railroad Infrastructure, *University of Kentucky*.

- [13] **Calla, C.**, 2003. Two Layered Ballast System for Improved Performance of Railway Track, *A thesis submitted in partial fulfilment of the University's requirements for the Degree of Doctor of Philosophy*, Coventry University, İngiltere.
- [14] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2014. Raylı Sistemler Teknolojisi, Makaslar, Ankara.
- [15] **Ekim, O.**, 2007. Yüksek Hızlı Demiryolları için Geometrik Özellikler ve Altyapı, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] www.wikipedia.org, Concrete sleeper, 2010.
- [17] **Caprioli, A., Cigada, A., Raveglia, D.**, 2007. Rail inspection in track maintenance: A benchmark between the wavelet approach and the more conventional fourier analysis, in *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21(2), s. 631-652.
- [18] **Yilmaz, Y.**, 2013. The Railway Accidents on The Level Crossingsin Turkey And suggestions and Regulationsto Reduce Them, (M.Sc. Thesis), Gazi University Institute of Science and Technology, Ankara.
- [19] **Deutschl, E., Gasser, C., Niel, A. and Werschonig J.**, 2014. Defect Detection on Rail Surfaces by a Vision based System, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium University of Parma*, s. 507-511, Italy.
- [20] **Hou, Z. and Gupta, M.**, 2004. A Rail Damage Detection and Measurement System Using Neural Networks, *CIMSA 2004 - IEEE Intemational Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Appljcations Boston*, s. 4-9, USA.
- [21] **Jie, L., Siwei, L., Qingyong, L., Hanqing, Z. and Shengwei, R.**, 2009. Real-time Rail Head Surface Defect Detection: a Geometrical Approach, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2009)*, Korea.
- [22] **Wei Q., Zhang X., Wang Y., Feng N. and Shen Y.**, 2013. Rail defect detection based on vibration acceleration signals, *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013 IEEE International. IEEE*.
- [23] **Guo, Y., Wei, X., Jia, L. and Liu, H.**, 2013. Fault Detection of Rail Vehicle Suspension System Based on CPCA, *2013 Conference on Control and Fault-Tolerant Systems*, France.
- [24] **Espino, C., Jorge , Stanciulescu B. and Forin, P.**, 2013. Rail and turnout detection using gradient information and template Matching, *Intelligent Rail Transportation (ICIRT), 2013 IEEE International Conference on. IEEE*.

- [25] **Kaleli, F. and Akgun, Y.S.**, 2009. Vision-Based Railroad Track Extraction using Dynamic Programming, *Proceedings of the 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, USA.
- [26] **Shah, M.**, 2010. Automated Visual Inspection/ Detection of Railroad Track, *Computer Vision Lab, Final Report*.
- [27] **Alippi, C., Casagrande, E., Fumagalli, M., Scotti, F., Piuri, V. and Valsecchi, L.**, 2002. An Embedded System Methodology for Real-Time Analysis of Railways Track Profile, *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Anchorage, s. 747-751, AK, USA.
- [28] **Chen, L., Liang, Y. and Wang, K.**, 2010. Inspection of Rail Surface Defect Based on Machine Vision System, *Information Science and Engineering*, s. 3793-3796, China.
- [29] **Trinh, H., Haas, N., Li, Y., Otto, C. and Pankanti, S.**, 2012. Enhanced Rail Component Detection and Consolidation for Rail Track Inspection, *Applications of Computer Vision*, s. 289-295, Breckenridge, CO.
- [30] **Li, Y., Trinh, H., Haas, N., Otto, C. and Pankanti, S.**, 2012. Rail Component Detection, Optimization, and Assessment for Automatic Rail Track Inspection, *Intelligent Transportation Systems*, s. 760-770, USA.
- [31] **Vijaykumar, V.R., Sangamithirai, S.**, 2015. Rail Defect Detection using Gabor filters with Texture Analysis, *2015 3rd International Conference on Signal Processing, Communication and Networking (ICSCN)*, s. 1-6.
- [32] **Ho, T.K., Liu, S.Y., Ho, Y.T., Wong, K.K., Lee, K.Y., Tam, H.Y., Ho, S.L.**, 2008. Signature Analysis On Wheel-Rail Interaction For Rail Defect Detection, *Railway Condition Monitoring, 2008 4th IET International Conference on*.
- [33] **Roohi, F. S., Hajizadeh, S., Núñez, A., Babuska, R., De Schutter, B.**, 2016. Deep convolutional neural networks for detection of rail surface defects, *Neural Networks (IJCNN), 2016 International Joint Conference on*, s. 2584-2589.
- [34] **Hu, G., Xiong, L., Tang, J.**, 2015. Heavy rail surface defects detection based on the morphology of multi-scale and dual-structure elements, *Chinese Automation Congress (CAC)*, s. 2126-2129.
- [35] **Mehel-Saidi, Z., Bloch, G., Aknin, P.**, 2008. A subspace method for detection and classification of rail defects, *Signal Processing Conference, 2008 16th European*, s. 1-5.
- [36] **Li, Q., Ren, S.**, 2012. A Visual Detection System for Rail Surface Defects, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part C: Applications And Reviews*, **42(6)**.

- [37] **Jie, L., Siwei, L., Qingyong, L., Hanqing, Z., Shengwei, R.,** 2009. Real-time rail head surface defect detection: A geometrical approach. *Industrial Electronics, 2009. ISIE 2009. IEEE International Symposium on*, s. 769-774.
- [38] **Mandriota, C., Stella, E., Nitti, M., Ancona, N., Distante, A.,** 2001. Rail corrugation detection by Gabor filtering, *Image Processing, 2001, Proceedings, 2001 International Conference on*, 2, s. 626-628.
- [39] **Bettemir, O. H.,** 2015. Detection of railway track from image by heuristic method, *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015 23th*, s. 1366-1369.
- [40] **Feng, H., Jiang, Z., Xie, F., Yang, P., Shi, J., Chen, L.,** 2014. Automatic fastener classification and defect detection in vision-based railway inspection systems, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **63(4)**, s. 877-888.
- [41] **Rowshandel, H., Nicholson, G. L., Davis, C. L., Roberts, C.,** 2014. A combined threshold and signature match method for the automatic detection of rail RCF cracks using an ACFM sensor, *6th IET Conference on Railway Condition Monitoring (RCM 2014)*, s. 1-6.
- [42] **Li, Q., Zhong, Z., Liang, Z., Liang, Y.,** 2015. Rail inspection meets big data: methods and trends, *Network-Based Information Systems (NBIS), 2015 18th International Conference on*, s. 302-308.
- [43] **Yin, X., Wei, X., Jia, L.,** 2015. Detection of railway track squats by using bogie acceleration measurement, *Control Conference (CCC), 2015 34th Chinese*, s. 6297-6302.
- [44] **Yaman, O., Karaköse, M., Akın, E., Aydın, İ.,** 2015. Image processing based fault detection approach for rail surface, *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015 23th*, s. 1118-1121.
- [45] **Molodova, M., Li, Z., Núñez, A., Dollevoet, R.,** 2014. Automatic detection of squats in railway infrastructure, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **15(5)**, s. 1980-1990.
- [46] **Wang, L., Hang, Y., Luo, S., Luo, X., Jiang, X.,** 2011. Deblurring Gaussian-Blur Images: A Preprocessing For Rail Head Surface Defect Detection, *Service Operations, Logistics, and Informatics (SOLI), 2011 IEEE International Conference on*, s. 451-456.
- [47] **Trinh, H., Haas, N., Pankanti, S.,** 2012. Multisensor evidence integration and optimization in rail inspection, *Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on*, s. 886-889.

- [48] **Liu, Z., Wang, W., Zhang, X., Jia, W.,** 2010. Inspection of Rail Surface Defects Based on Image Processing, *Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR), 2010 2nd International Asia Conference on* ,(1), s. 472-475.
- [49] **Liu, Z., Li, W., Xue, F., Xiafang, J., Bu, B., Yi, Z.,** 2015. Electromagnetic tomography rail defect inspection, *IEEE Transactions on Magnetics*, 51(10), s. 1-7.
- [50] **Espino, J. C., Stanciulescu, B.,** 2013. Turnout detection and classification using a modified HOG and template matching, *Intelligent Transportation Systems-(ITSC), 2013 16th International IEEE Conference on*, s. 2045-2050.
- [51] **Ross, R.,** 2012. Track and turnout detection in video-signals using probabilistic spline curves, *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2012 15th International IEEE Conference on*, s. 294-299.
- [52] **Shen, L., Wei, X., Jia, L.,** 2015. Surface defects detection of railway turnouts, *Control Conference (CCC), 2015 34th Chinese*, s. 6285-6290.
- [53] **Zhang, K., Du, K., Ju, Y.,** 2014. Algorithm of railway turnout fault detection based on PNN neural network, *Computational Intelligence and Design (ISCID), 2014 Seventh International Symposium on*, (1) , s. 544-547.
- [54] **Chen, R., Wang, P., Xu, H.,** 2013. Integrated monitoring system for rail damage in high speed railway turnout, *Digital Manufacturing and Automation (ICDMA), 2013 Fourth International Conference on*, s. 704-708.
- [55] **Eker, O. F., Camci, F., Guclu, A., Yilboga, H., Sevkli, M., Baskan, S.,** 2011. A simple state-based prognostic model for railway turnout systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(5), s. 1718-1726.
- [56] **Yan, D., Yuqian, Z., Hongzhu, L., Po, D.,** 2015. Size measuring of the end surface of turnout rail parts based on machine vision, *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2015 Seventh International Conference on*, s. 991-994.
- [57] **Ross, R.,** 2010. Vision-based track estimation and turnout detection using recursive estimation, *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference on*, s. 1330-1335.
- [58] **Tastimur, C., Yaman, O., Karakose, M.,** 2017. Image Processing Based Inspection of Rail Surface and Connection Element in Railways, *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium'17 (IDAP17)*, Malatya, Türkiye.

- [59] **Tastimur, C., Karakose, M., Akin, E.,** 2017. A Comparison Study of Rail Fault Detection Methods in the Literature, *International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE)*, Elazig, Türkiye.
- [60] **Tastimur, C., Karakose, M., Akin, E.,** 2017. Detection of Foreign Objects in Railway Level Crossings Using Image Processing Techniques, *International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'17)*, İstanbul, Türkiye.
- [61] **Tastimur, C., Yetis, H., Karakose, M., Akin, E.,** 2016. Rail Defect Detection and Classification with Real Time Image Processing Technique, *International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE)*, **5(12)**, s. 291-296.
- [62] **Tastimur, C., Karakose, M., Akin, E.,** 2016. A Vision Based Condition Monitoring Approach for Rail Switch and Level Crossing using Hierarchical SVM in Railways, *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC)*, **4**, s. 319-325.
- [63] **Tastimur, C., Karakose, M., Akin, E.,** 2016. A Vision Based Detection Approach for Level Crossing and Switch in Railway, *International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16)*, 1-3 Eylül, Konya, Türkiye, s. 217-223.
- [64] **Tastimur, C., Karakose, M., Akin, E.,** 2016. Rail defect detection with real time image processing technique, *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 18-21 Haziran, Fransa, s. 411-415.
- [65] **Tastimur, C., Akin, E., Karakose, M., Aydin, I.,** 2015. Detection of rail faults using morphological feature extraction based image processing, *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2015 23th, Malatya, Türkiye, s. 1244-1247.
- [66] www.cgcrail.com/index.php?sayfa=Raylarin-Teskili, Rayların Teşkili, 2017.
- [67] The American Railway Bridge and Building Association (AREMA), 2017. Practical Guide To Railway Engineering, Basic Track.
- [68] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2013. Raylı Sistemler Teknolojisi, Raylar ve Bağlantılar, Ankara.
- [69] www.planete-tp.com/en/grooved-rail-a603.html, Grooved rail, 2008.
- [70] www.commonswikimedia.org/wiki/File:Rail_profile.svg, Rail profile.svg, 2008.
- [71] **Choudhury, C.,** 2011. Transportation Engineering Engineering II: Highway Highway Design & Design & Railways Railway, *Lecture 7 Ballast & Subgrade*.

- [72] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2013. Raylı Sistemler Teknolojisi, Balast ve Travers, Ankara.
- [73] **Major, Z.**, 2017. Road And Railway Construction, *Msc Course 2016/2017 Autumn Semester*, Széchenyi István University.
- [74] www.railroadfastenings.com/blog/comparison-of-three-types-of-railway-sleepers.html, How Much Do You Know About Rail Sleepers, 2017.
- [75] **Mauricio J., Gutierrez Romero, J., Edwards, R., Christopher P.L., Wilson B., Mediavilla, J.**, 2010. Advancements in Fastening System Design for North American Concrete Crossties in Heavy-Haul Service, *AREMA 2010 Annual Conference & Exposition*7.
- [76] www.railsistem.com/demiryolu-hemzemin-gecitleri-risk-olcum-modeli, Railway Level Crossing Transition: Risk Measuring Model, 2014.
- [77] **Y. Yilmaz**, 2013. The Railway Accidents On The Level Crossingsin Turkey And suggestions And Regulationsto Reduce Them, *M.Sc. Thesis*, Gazi University Institute of Science and Technology, Ankara, Turkey.
- [78] **Wilson A., Kerr, M.**, 2013. Surface Defects in Rails, *Engineering Manual Track*, RailCorp Engineering Manual - Track.
- [79] **Kumar, S.**, 2006. Study of Rail Breaks: Associated Risks and Maintenance Strategies, *Technical Report*.
- [80] **Ekberg, A., Kabo**, 2005. E., Fatigue of Railway Wheels and Rails Under Rolling Contact and Thermal Loading – An Overview, *Wear*, **258**, s. 1288-1300.
- [81] **Hugenschmidt, J.**, 2000. Railway Track Inspection Using GPR, *Journal of Applied Geophysics*, **43**, s. 147-155.
- [82] **Aydın, İ., Karaköse, M., Akın, E.**, 2013. A Robust Anomaly Detection in Pantograph-Catenary System Based on Mean-Shift Tracking and Foreground Detection, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, s. 4444-4449.
- [83] **Aarnink, R. G., Rosette, J. M. C. H., Feitz, Wouter F. J., Debruyne, F. M. Wijkstra, H.**, 1997. A Preprocessing Algorithm for Edge Detection with Multiple Scales of Resolution, *European Journal of Ultrasound*, **5**, s. 113-126.
- [84] **Ziou, D. ve Tabbone, S.**, 1997. Edge Detection Techniques – An Overview, *Technical Report*, 195, Dept. Math & Informatique, Universit de Sherbrooke.

- [85] **Maini, R., Aggarwal, H.**, 2009. Study and comparison of various image edge detection techniques, *International journal of image processing (IJIP)*, **3(1)**, s. 1-11.
- [86] **Kalyoncu H., B.**, 2006. Hiz Kontrolü Amaci İle Demiryolu Dönüş Şiddetinin Lokomotif Üzerindeki Bir Kamera İle Belirlenmesi, *Yüksek lisans tezi*, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, s. 89.
- [87] **Bin, L., Yeganeh, M. S.**, 2012. Comparison for image edge detection algorithms, *IOSR Journal of Computer Engineering*, **2(6)**, s. 1-4.
- [88] **Ma, T., Ma, J.**, 2016. A sea-sky line detection method based on line segment detector and Hough transform, *In Computer and Communications (ICCC), 2016 2nd IEEE International Conference on*, s. 700-703.
- [89] **Baker, L., Mills, S., Langlotz, T., Rathbone, C.**, 2016. Power line detection using Hough transform and line tracing techniques, *In Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ), 2016 International Conference on*, s. 1-6.
- [90] **Bin, L., Yeganeh, M. S.**, 2012. Comparison for image edge detection algorithms, *IOSR Journal of Computer Engineering*, **2(6)**, s. 1-4.
- [91] **Acar, U., Bayram, B.**, 2009. Morfolojik Görüntü Filtreleri ile İkonos Görüntülerinden Otomatik Bina Çıkarımı, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- [92] www.yildiz.edu.tr/~bayram/sgi/saygi.htm, Sayısal Görüntü İşleme, 2017.
- [93] **Ghosh, M., Mukhopadhyaya, S.**, 2012. Cache oblivious algorithm of average filtering in image processing, *in Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), 2012 International Conference on*, s. 149-154.
- [94] **Gungor, M. A., Karagoz, I.**, 2016. The effects of the median filter with different window sizes for ultrasound image, *in Computer and Communications (ICCC), 2016 2nd IEEE International Conference on*, s. 549-552.
- [95] **Santur, Y., Dilmen, H., Makinist, S., Talu, M. F.**, 2014. Mean Shift Ve Gaussian Filtre İle Gölge Tespiti Shadow Detection With Mean Shift And Gaussian Filter, *Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*.
- [96] **Balcılar, M., Sönmez, A. C.**, 2016. Geometrik Düzeltme ve Gabor Filtreleriyle Araç Plaka Tespiti Localization of Licence Plate using Geometric Correction and Gabor Filter.
- [97] **Gonzalez, R.C., Woods, R.E.**, 2002. Digital Image Processing, *Prentice Hall, Second Edition*.

- [98] Mainline (MAINtenance, renewal and Improvement of rail transport iNfrastructure to reduce Economic and environmental impacts), 2014. Deliverable 3.3: Rail Switches and Crossings. Development of new technologies for replacement.
- [99] **Özışık, O.**, 2010. Robot Takımı ile Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [100] **Schölkopf, B., Tsuda, K. and Vert, J.P.**, 2004. Kernel Methods in Computational Biology. MIT Press series on Computational Molecular Biology. MIT Press, ABD.
- [101] **Osowski, S., Siwekand, K., and Markiewicz, T.**, 2004. MLP and SVM Networks – a Comparative Study, *Proceedings of the 6th Nordic Signal Processing Symposium*, Norsig.
- [102] **Ayhan, S., Erdoğan, Ş.**, 2014. Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, **9(1)**.
- [103] **Amaral, V., Marques, F., Lourenço, A., Barata, J. and Santana, P.**, 2016. Laser-Based Obstacle Detection at Railway Level Crossings, *Journal of Sensors*, Vol: 2016.
- [104] **J. Heavisides, J. Barker and M. Woods**, 2006. Hot topics in controlling risk at level crossings, *Arthur D. Little, UK and 2Rail Safety & Standards Board*, UK.
- [105] **Pu, Y.R., Chen, L.W and Lee, S. H.**, 2014. Study of moving obstacle detection at railway crossing by machine vision, *Y.-R. Pu. Information Technology Journal*, **13.16**, s. 2611-2618.
- [106] **Silar, Z. and Dobrovoly, M.**, 2015. Objects Detection and Tracking on the Level Crossing, *Computational Collective Intelligence. Springer International Publishing*, s. 245-255.
- [107] **Kim Z.W. and Cohn, T. E.**, 2004. Pseudoreal-Time Activity Detection for Railroad Grade-Crossing Safety, *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, No. 4.
- [108] **Dwarakanath, S. K., Sanjay, S. B., Soumya, G. B., Arjun, V., Vivek, R.**, 2016. Arduino Based Automatic Railway Gate Control and Obstacle Detection System, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 5, Issue 5.
- [109] **Lee S.L. and Tseng, C. C.**, 2016. Image sharpening using matrix Riesz fractional order differentiator and discrete sine transform, *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*, doi: 10.1109/ICCE-TW.2016.7520915, s. 1-2, 5.

- [110] www.sisu.ut.ee/imageprocessing/book/5, University of Tartu, Digital Image Processing, 2014.
- [111] www.roman10.net/2011/08/18/ycbcr-color-spacean-intro-and-its-applications, Roman10 A Journey to Software Craftsmanship, 2011.
- [112] **Chelali, F. Z., Cherabit, N. and Djeradi, A.**, 2015. Face recognition system using skin detection in RGB and YCbCr color space, *2015 2nd World Symposium on Web Applications and Networking (WSWAN)*, doi: 10.1109/WSWAN.2015.7210329, s. 1-7.
- [113] **Tastimur, C., Karakose, M., Akin, E.**, 2017. Image Processing Based Level Crossing Detection and Foreign Objects Recognition Approach in Railways, *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC)*.
- [114] **Tastimur, C., Karakose, M., Akin, E.**, 2017. Hierarchical Fuzzy System Based Classification Approach for Railway Components Using Vision Inspection, *The 5th International Fuzzy Systems Symposium (FUZZYSS'17)*, October 14-15, Ankara, Turkey.
- [115] **Tastimur, C., Celik, Y., Karakose, M., Akin, E.**, 2016. Image processing based traffic sign detection and recognition with fuzzy integral, *2016 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, May 22-25, Bratislava, Slovakia Republic.
- [116] **Tastimur, C., Karakose, M., Akin, E.**, 2016. Improvement of relative accreditation methods based on data mining and artificial intelligence for higher education, *2016 15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, September 07-10, Istanbul, Turkey.

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Elazığ'da doğan Canan TAŞTİMUR ilköğretim ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 2009 yılında Balakgazi Lisesini bitirdikten sonra 2013 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2014 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans yapma hakkı kazandı. 2015 yılında Erzincan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Aynı yıl içerisinde 35. Madde görevlendirmesi ile Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde görevine devam etmektedir.