



**İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) İLE
YOL ÜSTYAPI BOZULMALARININ TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kadir KURT

Danışman

Prof. Dr. Cahit GÜNER

İkinci Danışman

Prof. Dr. Murat UYSAL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2024

Bu tez çalışması 22.FEN.BİL.40 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) İLE
YOL ÜSTYAPI BOZULMALARININ TESPİTİ

Kadir KURT

Danışman

Prof. Dr. Cahit GÜRER

İkinci Danışman

Prof. Dr. Murat UYSAL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Kadir KURT tarafından hazırlanan “İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Yol Üstyapı Bozulmalarının Tespiti” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 22 / 05 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Cahit GÜNER

İkinci Danışman : Prof. Dr. Murat UYSAL

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin AKBULUT
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Cahit GÜNER
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Murat UYSAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Mustafa YALÇIN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Meltem SAPLIOĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... / / tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08 / 07 / 2024

Kadir KURT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) İLE YOL ÜSTYAPI BOZULMALARININ TESPİTİ

Kadir KURT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cahit GÜRER

İkinci Danışman: Prof. Dr. Murat UYSAL

Üstyapı durumunun değerlendirilmesi, gelecekteki ekonomik kayıpları azaltmak ve yapısal güvenilirliği ve dayanıklılığı artırmak için her türlü girişimde son derece önem arz etmektedir. Kaplamanın mevcut durumunun değerlendirmesinden elde edilen veriler, üstyapı performansının bir fonksiyonu ve bunların işlevselliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için önemli bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, özellikle bozulmalardan sonra, değerlendirme ile ilgili maliyet, güvenlik sorunları ve erişilebilirlik kısıtlamaları nedeniyle kaplama durumu değerlendirmesi zorlaşmaktadır. Bu araştırma, kaplamada meydana gelen enine çatlak, boyuna çatlak, timsah sırtı çatlak ve yama bozulmaları olmak üzere 4 önemli bozulmayı hızla sınıflandırmak için otomatik bir sınıflandırma modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır. Afyon Kocatepe Üniversitesi Ahmet Necdet Sezer kampüsü içerisinde İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanılarak esnek kaplamalar için enine çatlak, boyuna çatlak, timsah sırtı çatlak ve yama bozulmalarını temsil eden yüksek çözünürlüklü görüntüler toplanmıştır. Görüntü sınıflandırma modeli, nesne algılama görevleri için geliştirilen ve bir görüntüyü aynı anda birçok bölgeye bölerek nesneleri algılamak ve sınıflandırmak için tasarlanan Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Network (CNN)) mimarisi olan YOLOv5 kullanılarak geliştirilmiştir. Kullanılan YOLOv5m modelinin de 70 epok ve 16 parti boyutu için yapılan eğitim sonucu karmaşıklık matrisi incelendiğinde 88,25 oranında bir başarı yakalandığı görülmüştür. Tüm bu sonuçlar doğrultusunda YOLOv5 modelinin, test

sonuçları ve tespit süreleri incelendiğinde en optimum sonuç veren model olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen modelin arkasındaki metodoloji, yerinde bulunma ihtiyacını azaltmaya, güvenliğı artırmaya ve meteorolojik olaylardan sonra alınacak en güvenli rotaya karar vermede acil müdahale etme konusunda karar verici kurum ve kuruluşlara yardımcı olacaktır. Ek olarak, modelin uygulanması, ulaştırma mühendislerinin kaplama bozulmalarını hızlı bir şekilde değerlendirmelerine, yol onarımı ve geri kazanımı ve uygun bakım-onarım yöntemini belirlemeleri için hızlı kararlar vermeleri amacıyla yol gösterici olacaktır.

2024, xiv + 90 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yol Üstyapı Bozulmaları, İnsansız Hava Aracı (İHA), Derin Öğrenme, Yol Üstyapı Yönetimi

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETECTION OF ROAD PAVEMENT DISTRESSES BY USING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)

Kadir KURT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Cahit GÜRER

Co-Supervisor: Prof. Dr. Murat UYSAL

Assessing pavement condition is crucial for reducing future economic losses and improving structural reliability and durability. Data from assessing pavement condition is used to evaluate pavement performance and reliability. Assessing the condition of pavement is challenging because it is expensive, poses safety concerns, and has accessibility limitations, especially once it starts to deteriorate. The objective of this research is to create an advanced classification model that can swiftly categorize four significant types of pavement distresses: transverse cracks, longitudinal cracks, alligator cracks, and patch deteriorations. High resolution images representing transverse cracks, longitudinal cracks, crocodile cracks and patch deteriorations for flexible pavements were collected using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) within Afyon Kocatepe University Ahmet Necdet Sezer campus. The image classification model utilizes YOLOv5, a cutting-edge CNN architecture designed specifically for object detection. It divides the image into multiple regions to detect and classify objects. When the complexity matrix of the YOLOv5 model used was examined for 70 epoks and 16 batch size, it was seen that a success rate of 88,25 was achieved. Based on these results, the YOLOv5m model emerged as the optimal choice, delivering superior performance in both test results and detection times. The methodology behind the developed model will help decision-making institutions and organizations to reduce the need for on-site presence, increase safety, and respond urgently to decide the safest route to take after meteorological events.

Furthermore, implementing this model will enable transportation engineers to swiftly assess pavement degradation, expedite decision-making regarding road repairs and recovery, and determine the most suitable maintenance and repair approach.

2024, xiv + 90 pages

Keywords: Road Pavement Deteriorations, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Deep Learning, Road Pavement Management



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Cahit GÜNER ve ikinci tez danışmanım Prof. Dr. Murat UYSAL'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Burak Enis KORKMAZ ve Arş. Gör. Şule YARCI hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Bu tez çalışmasını 22.FEN.BİL.40 proje ile AKÜ-BAPK tarafından destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesine teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Kadir KURT
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Karayolu	4
2.2 Karayolu Üstyapısı	4
2.2.1 Esnek Üstyapı	9
2.2.2 Rijit Üstyapı.....	10
2.3 Üstyapı Yönetim Sistemi.....	10
2.3.1 Ağ Düzeyinde Üstyapı Yönetimi.....	11
2.3.2 Proje Düzeyinde Üstyapı Yönetimi	12
2.3.3 Üstyapı Yönetiminde Performans Değerlendirmesi	12
2.3.3.1 Kaplama Durum İndeksi (Pavement Condition Index - PCI)	13
2.4 Amerika Test ve Malzemeler Birliği Standardı (ASTM) Bozulma Kılavuzu.....	14
2.5 Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Bozulmalar	15
2.5.1 Timsah Sırtı Çatlak	15
2.5.2 Kusma	17
2.5.3 Blok Çatlak	18
2.5.4 Kabarma ve Oturma.....	19
2.5.5 Ondülasyon	21
2.5.6 Çökme	22
2.5.7 Kenar Çatlağı	24
2.5.8 Yansıma Çatlağı.....	25
2.5.9 Kenar/Banket Düşüklüğü.....	26

2.5.10 Boyuna ve Enine Çatlak	28
2.5.11 Yama.....	29
2.5.12 Cilalanma	30
2.5.13 Oyulma.....	31
2.5.14 Demiryolu Geçişi	32
2.5.15 Tekerlek izi deformasyonu	33
2.5.16 Toplanma	34
2.5.17 Kayma Çatlakları	35
2.5.18 Kabarma.....	36
2.5.19 Aşınma ve Sökülme	37
2.6 Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	39
2.6.1 İnsansız Hava Aracı ile Üstyapı Bozulma Tespiti	41
2.6.2 YOLO (You Only Look Once) Nesne Algılama Yaklaşımı	45
2.6.2.1 YOLO Mimarisi	45
2.6.2.2 YOLO Mimarisi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	46
3. MATERYAL ve METOT	50
3.1 Materyal.....	50
3.2 Yöntem	51
3.2.1 PCI Hesaplaması.....	52
3.2.1.1 Arazi Çalışması İle PCI Hesaplama	52
3.2.1.2 Bilgisayar Ortamı İle PCI Hesaplama.....	53
3.2.1.3 PCI Değeri Hesaplama.....	54
3.2.2 İHA ile Yapılan Uçuşlar ve Alınan Fotoğraflar Üzerinde Bozulma Tespit Çalışmaları.....	60
3.2.2.1 Uçuş Yüksekliği.....	60
3.2.2.2 Uçuş Hızı.....	62
3.2.2.3 Uçuş Görevi	62
3.2.2.4 Görsel Veri Seti Oluşturulması	62
3.2.2.3 Veri Setinin Hazırlanması ve Modelin Eğitilmesi	64
4. BULGULAR	66
4.1 PCI Sonuçları.....	66
4.1.1 PCI Yer Çalışması Sonuçları	66

4.1.2 PCI Autocad Ortamı İnceleme Sonuçları	68
4.2 Görüntü Sınıflandırma Modeli Sonuçları	74
4.2.1 YoloV5s Derin Öğrenme Modeli Sonuçları	75
4.2.2 YoloV5m Derin Öğrenme Modeli Sonuçları.....	78
4.2.3 YoloV5x Derin Öğrenme Modeli Sonuçları.....	80
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	83
6. KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	90



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
m	Metre
mm	Milimetre
m ²	Metre Kare

Kısaltmalar

2B	2 Boyut
3B	3 Boyut
AASHTO	Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği
ASTM	Amerikan Deney ve Malzeme Derneği
CNN	Konvolüsyonel Sinir Ağı
DIP	Dijital Görüntü İşleme
IoU	Birleşim Üzerinden Kesişme
İHA	İnsansız Hava Aracı
mAP	Ortalama ortalama hassasiyet
MLC	Maksimum Olabilirlik
MP	Megapiksel
PCC	Portland Çimento Betonu
PCI	Kaplama Durum İndeksi
RGB	Kırmızı Yeşil Mavi
SVM	Destek Vektör Makinesi
ÜYS	Üstyapı Yönetim Sistemi
YOLO	Yalnızca Bir Kez Bak

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yurt içi yolcu taşıma oranları (2000-2021).....	6
Şekil 2.2 Yurt içi yük taşıma oranları (2000-2021)	7
Şekil 2.3 Tipik karayolu enkesiti.....	8
Şekil 2.4 Esnek üstyapı şematik kesiti	9
Şekil 2.5 Rijit üstyapı şematik kesiti	10
Şekil 3.1 ANS Kampüsünde çalışmaların gerçekleştirildiği yol kesimi	50
Şekil 3.2 İş akış şeması	51
Şekil 3.3 PCI değerlendirmesi için hazırlanan veri formu	55
Şekil 3.4 PCI hesaplama formu.....	56
Şekil 3.5 Sonuç değer grafiği – sökölme ve ayrışma (ASTM D 6433-03, 2006)	57
Şekil 3.6 Asfalt kaplamalı yollar için düzeltilmiş sonuç değer eğrileri (Shahin 2002)..	59
Şekil 3.7 PCI Değerlendirme ölçeği.....	59
Şekil 3.8 Minimum uçuş yüksekliği.....	61
Şekil 3.9 Veri setinin işlenmesi ile ilgili akış şeması	65
Şekil 4.1 Kesimlere göre PCI Sonuçları.....	67
Şekil 4.2 PCI karşılaştırma grafiği	69
Şekil 4.3 1. Kesim (0-50m) tespit edilen bozulmalar (adet)	69
Şekil 4.4 2. Kesim (50-100m) tespit edilen bozulmalar (adet)	70
Şekil 4.5 3. Kesim (100-150m) tespit edilen bozulmalar (adet)	70
Şekil 4.6 4. Kesim (150-200m) tespit edilen bozulmalar (adet)	71
Şekil 4.7 5. Kesim (200-250m) tespit edilen bozulmalar (adet)	71
Şekil 4.8 6. Kesim (250-300m) tespit edilen bozulmalar (adet)	72
Şekil 4.9 7. Kesim (300-350m) tespit edilen bozulmalar (adet)	72
Şekil 4.10 8. Kesim (350-400m) tespit edilen bozulmalar (adet)	73
Şekil 4.11 9. Kesim (400-450m) tespit edilen bozulmalar (adet)	73
Şekil 4.12 YoloV5m modelinin de 70 epok ve 16 parti boyutu değeri için yapılan eğitim sonucu karmaşıklık matrisi.....	74
Şekil 4.13 YoloV5m modelinin 70 epok için karmaşıklık matrisi ve grafikleri	75
Şekil 4.14 YoloV5s modeli karmaşıklık matrisi	77
Şekil 4.15 YoloV5m modeli karmaşıklık matrisi.....	80
Şekil 4.16 YoloV5x modeli karmaşıklık matrisi.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 ASTM bozulma sınıflandırması (Shahin 2002)	15
Çizelge 3.1 DJI Mini 2 İHA teknik özellikleri	51
Çizelge 3.2 M ve q sonuçları	58
Çizelge 3.3 Toplam SD, q ve DSD sonuçları	58
Çizelge 3.4 Görsel ölçekleme katsayısı	61
Çizelge 4.1 PCI Yer çalışması sonuçları	66
Çizelge 4.2 PCI Sonuçları	68
Çizelge 4.3 Veri setinin sınıflara göre dağılımı	74



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Düşük şiddetli timsah sırtı çatlak (Gürer 2014).....	16
Resim 2.2 Orta şiddetli timsah sırtı çatlak (Gürer 2014)	16
Resim 2.3 Yüksek şiddetli timsah sırtı çatlak (Gürer 2014)	17
Resim 2.4 Düşük şiddetli kuma (Gürer 2014).....	17
Resim 2.5 Orta şiddetli kuma (Gürer 2014)	18
Resim 2.6 Yüksek şiddetli kuma (Gürer 2014)	18
Resim 2.7 Düşük şiddetli blok çatlak (Gürer 2014).....	19
Resim 2.8 Orta şiddetli blok çatlak (Gürer 2014)	19
Resim 2.9 Yüksek şiddetli blok çatlak (Gürer 2014).....	19
Resim 2.10 Düşük şiddetli kabarma ve oturma (Gürer 2014)	20
Resim 2.11 Orta şiddetli kabarma ve oturma (Gürer 2014).....	20
Resim 2.12 Yüksek şiddetli kabarma ve oturma (Gürer 2014).....	21
Resim 2.13 Düşük şiddetli ondülasyon (Gürer 2014).....	21
Resim 2.14 Orta şiddetli ondülasyon (Gürer 2014)	22
Resim 2.15 Yüksek şiddetli ondülasyon (Gürer 2014)	22
Resim 2.16 Düşük şiddetli çöküntü (Gürer 2014)	23
Resim 2.17 Orta şiddetli çöküntü (Gürer 2014).....	23
Resim 2.18 Yüksek şiddetli çöküntü (Gürer 2014).....	23
Resim 2.19 Düşük şiddetli kenar çatlağı (Gürer 2014).....	24
Resim 2.20 Orta şiddetli kenar çatlağı (Gürer 2014)	24
Resim 2.21 Yüksek şiddetli kenar çatlağı (Gürer 2014).....	25
Resim 2.22 Düşük şiddetli yansıma çatlağı (Gürer 2014)	25
Resim 2.23 Orta şiddetli yansıma çatlağı (Gürer 2014).....	26
Resim 2.24 Yüksek şiddetli yansıma çatlağı (Gürer 2014).....	26
Resim 2.25 Düşük şiddetli kenar/banket düşüklüğü (Gürer 2014).....	27
Resim 2.26 Orta şiddetli kenar/banket düşüklüğü (Gürer 2014)	27
Resim 2.27 Yüksek şiddetli kenar/banket düşüklüğü (Gürer 2014)	27
Resim 2.28 Düşük şiddetli boyuna ve enine çatlak (Gürer 2014)	28
Resim 2.29 Orta şiddetli boyuna ve enine çatlak (Gürer 2014).....	28
Resim 2.30 Yüksek şiddetli boyuna ve enine çatlak (Gürer 2014).....	29
Resim 2.31 Düşük şiddetli yama (Gürer 2014).....	29
Resim 2.32 Orta şiddetli yama (Gürer 2014)	30

Resim 2.33 Yüksek şiddetli yama (Gürer 2014).....	30
Resim 2.34 Cıllanma (Gürer 2014)	30
Resim 2.35 Düşük şiddetli oyuk (Gürer 2014)	31
Resim 2.36 Orta şiddetli oyuk (Gürer 2014).....	31
Resim 2.37 Yüksek şiddetli oyuk (Gürer 2014)	31
Resim 2.38 Düşük şiddette demiryolu geçişi (Gürer 2014).....	32
Resim 2.39 Orta şiddette demiryolu geçişi (Gürer 2014)	32
Resim 2.40 Yüksek şiddette demiryolu geçişi (Gürer 2014)	32
Resim 2.41 Düşük şiddette tekerlek izi derinliği (Gürer 2014)	33
Resim 2.42 Orta şiddette tekerlek izi derinliği (Gürer 2014).....	33
Resim 2.43 Yüksek şiddette tekerlek izi derinliği (Gürer 2014)	34
Resim 2.44 Düşük şiddette toplanma (Gürer 2014).....	34
Resim 2.45 Orta şiddette toplanma (Gürer 2014)	35
Resim 2.46 Yüksek şiddette toplanma (Gürer 2014).....	35
Resim 2.47 Düşük şiddetli kayma çatlağı (Gürer 2014).....	36
Resim 2.48 Orta şiddetli kayma çatlağı (Gürer 2014)	36
Resim 2.49 Yüksek şiddetli kayma çatlağı (Gürer 2014)	36
Resim 2.50 Düşük şiddetli kabarma (Gürer 2014)	37
Resim 2.51 Orta şiddetli kabarma (Gürer 2014).....	37
Resim 2.52 Yüksek şiddetli kabarma (Gürer 2014).....	37
Resim 2.53 Düşük şiddetli aşınma ve sökölme (Gürer 2014).....	38
Resim 2.54 Orta şiddetli aşınma ve sökölme (Gürer 2014)	38
Resim 2.55 Yüksek şiddetli aşınma ve sökölme (Gürer 2014).....	39
Resim 3.1 Proje çalışması kapsamında kullanılan DJI Mini 2 İHA görseli.....	50
Resim 3.2 Güzergah işaretlemesi.....	52
Resim 3.3 Güvenlik önlemleri	52
Resim 3.4 Saha çalışmaları	53
Resim 3.5 Kesimlerin Autocad ortamına aktarılması	54
Resim 3.6 Autocad ortamında bozulma alanlarının tespiti	54
Resim 3.7 Yol bozulmaları; A) Ayrışma - Yüksek şiddetli, B) Enine çatlak - Orta şiddetli	56
Resim 3.8 Veri seti toplama uçuşundan örnek bir görsel.....	63
Resim 3.9 Veri etiketleme işlemi	63
Resim 3.10 Yapay zeka ile tespit edilen bozulmalar	65

Resim 4.1 YoloV5s modeli örnek tespit görseli -1	75
Resim 4.2 YoloV5s modeli örnek tespit görseli -2	76
Resim 4.3 YoloV5s modeli örnek tespit görseli -3	76
Resim 4.4 YoloV5s modeli örnek tespit görseli -4	77
Resim 4.5 YoloV5m modeli örnek tespit görseli -1	78
Resim 4.6 YoloV5m modeli örnek tespit görseli -2	78
Resim 4.7 YoloV5m modeli örnek tespit görseli -3	79
Resim 4.8 YoloV5m modeli örnek tespit görseli -4	79
Resim 4.9 YoloV5x modeli örnek tespit görseli -1	80
Resim 4.10 YoloV5x modeli örnek tespit görseli -2	81
Resim 4.11 YoloV5x modeli örnek tespit görseli -3	81
Resim 4.12 YoloV5x modeli örnek tespit görseli -4	82

1. GİRİŞ

Medeniyetlerin gelişmesiyle insanların ulaşımına olan ihtiyaçları artmıştır. Modern yaşamda ulaşım başlangıçta bireysel gelişimde rol oynamış, daha sonra sosyal alana da yayılmıştır. İnsan ve eşyaların belirli hedefler doğrultusunda bir yerden başka bir yere nakledilmesi anlamına gelen ulaşım kavramı, ülkelerin kalkınmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Şehirlerin altyapısının gelişimindeki en önemli bileşenlerden biri karayolu ulaşımıdır. Bunun nedeni ülke vatandaşlarının günlük etkinliklerinin ve diğer ulaşım türlerine erişimlerinin önemli ölçüde karayolu ağına bağlı olmasıdır. Dolayısıyla bir bölgenin sahip olduğu karayolu ağının gelişmişliği, bölgenin ekonomik ve sosyal refah düzeyi ile doğrudan ilişkilidir. Güçlü bir karayolu ağı, ülke çapındaki yolları birbirine bağlamanın yanı sıra hareket özgürlüğünü desteklemekte ve gereken ürün, hizmet ve pazarlara da erişim sağlamaktadır. Ancak karayolu ulaşımının verimli bir şekilde gerçekleşmesi için güvenli, ekonomik, konforlu ve hızlı olması gerekmektedir. Ulaşımında güvenlik, can ve mal kaybını önlemeyi; ekonomiklik, milli kaynakların verimli bir şekilde yönetilmesi ve tasarruflu kullanımı; konfor, yol kullanıcılarının daha rahat ve kolay bir kullanım deneyimini; hız, en kısa sürede en az hasarla istenen yere varılmasını ifade etmektedir.

Karayolu taşıtlarının teknolojiye bağlı olarak gelişimiyle karayolu üstyapısında zaman içerisinde deformasyonlar oluşmaya başlamış ve artan karayolu yapım maliyetleriyle birlikte üstyapı bakım ve onarımı zorunluluk haline gelmiştir. Uygun şekilde ve doğru zamanda planlanmış ve uygulanmış bir bakım ve onarım programı karayolu üstyapısının beklenen hizmet ömrünü tamamlaması için kritiktir. Bununla birlikte üstyapı durumunun değerlendirilmesi, gelecekteki ekonomik kayıpların azaltılması ve üstyapı performansının iyileştirilmesi konusunda önem arz etmektedir. Değerlendirme sonrası ortaya çıkan veriler, üstyapı performansını değerlendirmek ve bunların işlevselliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için bir kayıt olarak kullanılmaktadır. Üstyapı durumunun değerlendirilmesine ilişkin geleneksel yaklaşımlarda, uzmanların görsel incelemesi ve spesifik bilgilerin yanı sıra özel ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, bu geleneksel yaklaşımlar, özellikle kaza ve doğal afet gibi öngörülemeyen olayların sonrasında yapılacak değerlendirme döneminde, güvenlikle ilgili problemler olduğunda

ya da erişilebilirlik konusundaki kısıtlamaların varlığında zor ve maliyetli olmaktadır (Chawla vd. 2023). Ayrıca bu değerlendirme prosedürleri sıklıkla altyapının rutin işleyişini kesintiye uğratmakta, gözlemciye bağlı olduğundan oldukça subjektif kalmakta, gözlemcileri karmaşık ve güvensiz çalışma ortamlarına maruz bırakmaktadır. Keza gözleme dayalı değerlendirme yöntemleri, inşaat altyapılarının denetiminde ve bakımında çok önemli bir rol oynamaktadır. Söz konusu yöntemlerin zorluğu ve çeşitli sakıncaları nedeniyle, modern yaklaşımlar geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Çoklu görüntüleme ve algılama sistemleriyle donatılmış dron ve insansız hava aracı (İHA) gibi otomasyon destekli teknolojiler, geleneksel gözleme dayalı değerlendirmede oluşan bu sorunlardan bazılarını ele almak için geliştirilmiştir (Agnisarman vd. 2019).

İHA kullanımının, havadan keşif yoluyla hızlı veri toplanmasına yardımcı olduğu, acil müdahale ve insani yardım sağladığı, özellikle erişilemeyen alanlar için havadan izleme ve hasar değerlendirmesini kolaylaştırdığı ve operasyonel ve ekonomik faydalar sağladığı kanıtlanmıştır (Chawla vd. 2023). Yol üstyapısına ilişkin verileri toplamak için de İHA'ların kullanılmasının birçok önemli avantajı vardır:

- İHA'lar, yerinde veri toplama için deneyimli araştırma ve gözlem ekibinin ölçümü ile karşılaştırıldığında çok daha ucuz bir işletme maliyeti sunmaktadır.
- İHA'lar, geleneksel araç sensörlerine göre çok daha geniş bir alanı yakalama yeteneğine sahip olduğundan, veri toplama işlemini oldukça verimli bir hale getirmektedir.
- İHA'ların uzaysal çözünürlükleri uydu görüntülerine göre daha doğru veriler sağlamaktadır.

Farklı tip ve konfigürasyonlarda İHA'lar edinmenin maliyeti farklılık gösterse de bu araçların yol üstyapısı verilerini toplamak için kullanılması uzun vadede son derece uygun maliyetli, zaman tasarrufu sağlayan ve güvenli bir çözüm olarak değerlendirilmektedir (Lee 2019).

Etkinliği yüksek bir üstyapı değerlendirmesi sağlamak ve bunu ekonomik bir şekilde gerçekleştirmek için görüntü işleme teknolojilerinden yararlanılan bu çalışmada, aynı zamanda kaynak ve iş gücü açısından da verimli bir sistem uygulanması amaçlanmıştır.

Yapılan uygulamada, esnek üstyapıdaki bozulmaların İHA ile toplanan görüntü verileri kullanılarak tespit edilmesi ve sınıflandırılması konusunda yüksek doğruluk elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, literatürden farklı olarak, İHA ile elde edilen hava fotoğrafları kullanılarak PCI hesabı için gerekli ölçümlerin daha hızlı bir şekilde bilgisayar yardımı ile ölçülerek uzman değerlendirmesi yapılmak suretiyle PCI değeri hesaplanmış ayrıca YOLO (You Only Look Once) Nesne Algılama Yaklaşımı kullanılarak bazı bozulma türleri tespit edilebilmiştir. İHA fotoğrafları üzerinden birden fazla uzman değerlendirmesi sonuçları yer değerlendirmesi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Karayolu

Karayolu, her türlü kara taşıtı ve yayanın ulaşım ihtiyacını karşılamak amacıyla düzenlenmiş ve trafik akışını mümkün kılmak amacıyla kamu yararına açık olan arazi alanlarıdır (Yayla 2011, Karayolu Teknik Şartnamesi 2013). Ülkemizde 2000 yılı ile 2021 yılları arasında belirlenmiş olan ulaşım türüne göre yolcu taşıma oranları Şekil 2.1’de ve yurt içi yük taşıma oranları Şekil 2.2’de verilmiştir.

2.2 Karayolu Üstyapısı

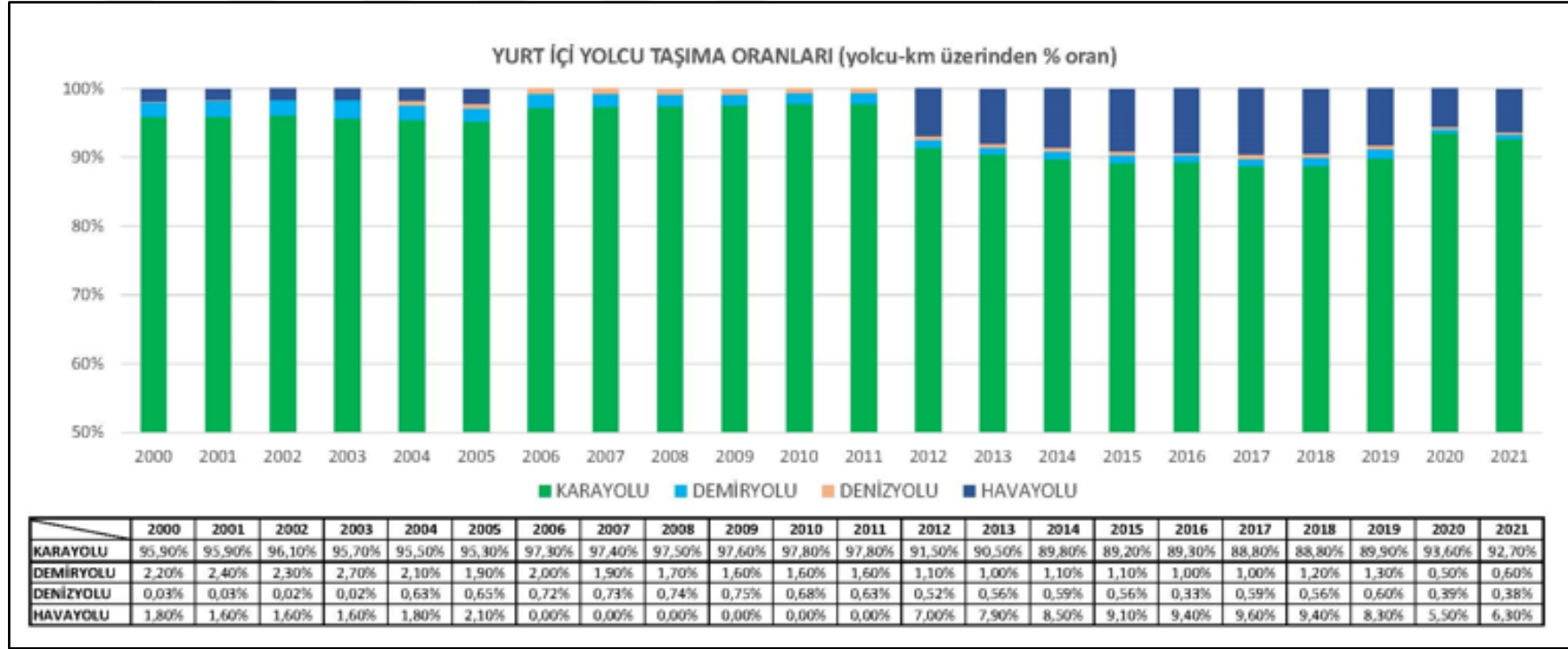
Karayolu üstyapısı, trafikten kaynaklanan ve taşıtın hareketi sırasında basınç oluşturan yükleri taban zeminine dağıtan, tabakalardan oluşan, çevre koşullarına ve trafik etkisiyle tekrarlı dingil yüküne maruz kalan yapı olarak tanımlanmaktadır (Sağlık ve Güngör 2008). Tipik bir karayolu enkesiti Şekil 2.3’te sunulmuştur.

Karayolu üstyapısının türünün belirlenmesine ilişkin süreç, yeni bir karayolu için en dayanıklı, uygun maliyetli, en yüksek performanslı kaplama yapısını belirlemek ve seçmek amacıyla, devlet ulaştırma bakanlıkları ve karayolu inşaatından sorumlu diğer kurumlar tarafından yürütülmektedir. Bu süreçlerle, zemin türü, iklim, trafik hacmi, yaşam döngüsü, inşa edilebilirlik ve maliyet gibi çevresel ve performans faktörlerinin analitik bir incelemesini sağlaması amaçlanmaktadır. Tüm bu faktörler ışığında, vergi mükellefleri için büyük bir değere sahip ve kamu yatırımından maksimum getiri sağlayan bir hizmet ömrüne sahip en iyi kaplama tipinin seçilmesi amaçlanmaktadır (İnt. Kyn. 1). Karayolu üstyapı tipinin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken temel faktörler, planlanan ya da halihazırda kullanılan karayolundaki hâkim trafik yükü ve konfigürasyonu, karayolunun altyapısını oluşturan taban zeminin özellikleri, iklim koşulları, yapım ve yönetim aşamaları, geri dönüşüm açısından oluşacak fırsatlar ve ekonomik imkanlardır. Bununla birlikte, bölgedeki benzer kaplamaların performansı, bitişik mevcut kaplamalar, malzeme ve enerji tasarrufu, yerel malzemelerin varlığı veya trafik güvenliği de kaplama seçiminde önem arz eden faktörlerdir (TxDOT 2021).

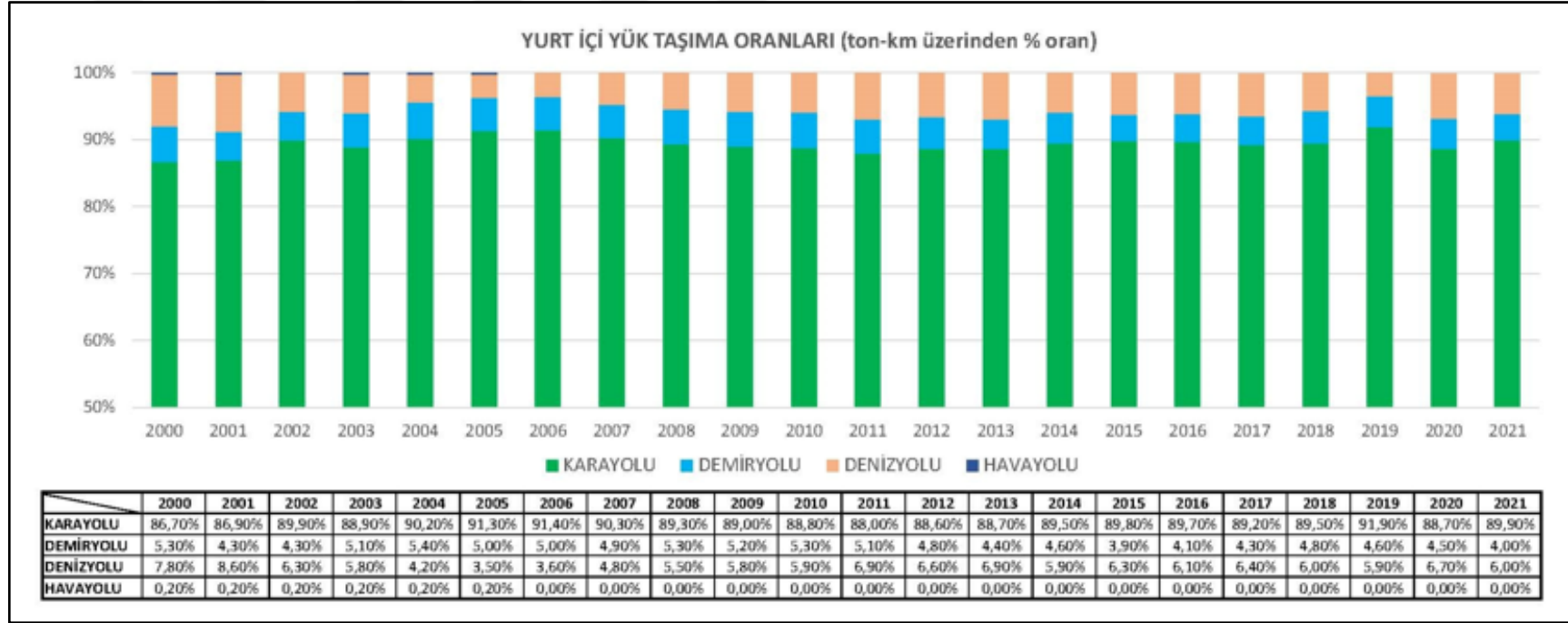
Karayolu  st yapıları, bağlayıcı olarak çimentonun kullanıldığı rijit  st yapı ve bağlayıcı olarak bitümün kullanıldığı esnek  st yapı olmak üzere iki temel şekilde oluşturulmaktadır.

Rijit ve esnek  st yapı arasındaki temel yapısal fark, her kaplama tipinin trafik yüklerini taban zeminine dağıtma şeklidir. Rijit  st yapı, yüksek bir sağlamlık düzeyine sahip olup yükleri nispeten daha geniş bir alana dağıtmakta ve yapısal kapasitesinin büyük bir kısmı beton plak tarafından sağlanmaktadır. Esnek  st yapı, y k taşıma kapasitesinin tabakalı bir sistemin yük dağıtım özelliklerine dayandığı kaplama tipidir (TxDOT 2021).

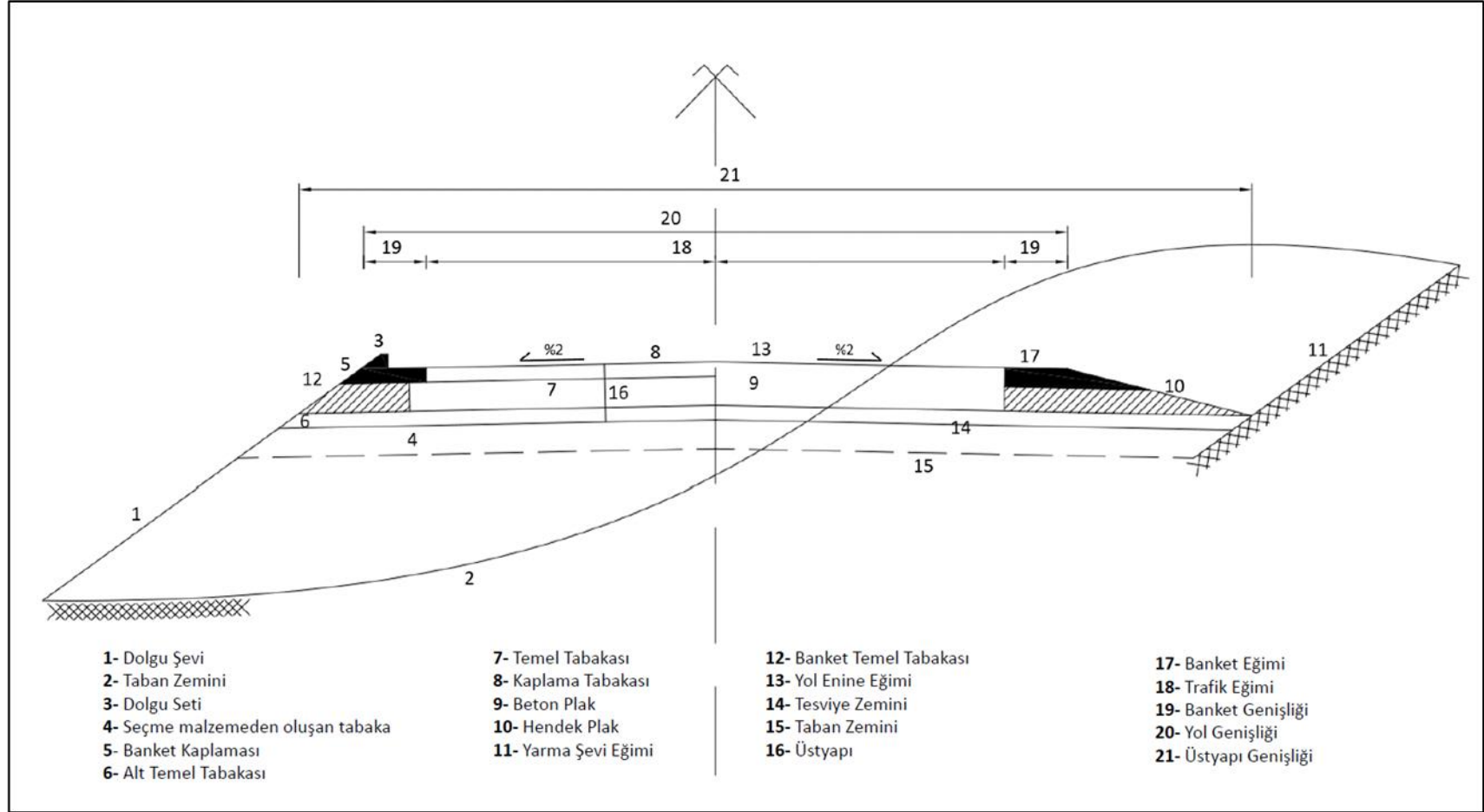




Şekil 2.1 Yurt içi yolcu taşıma oranları (2000-2021)



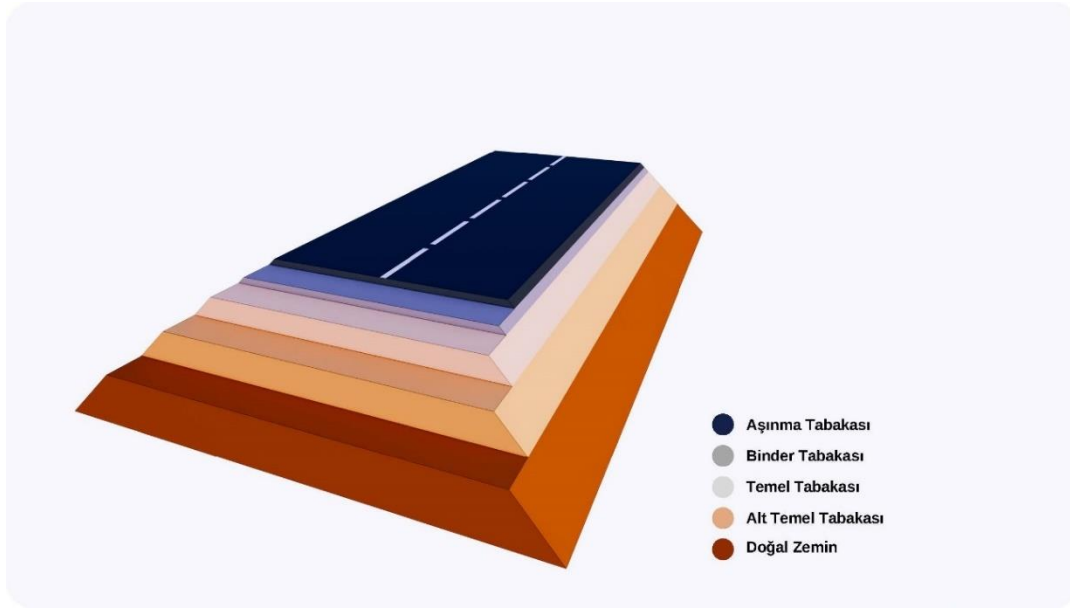
Şekil 2.2 Yurt içi yük taşıma oranları (2000-2021)



Şekil 2.3 Tipik karayolu enkesiti

2.2.1 Esnek Üstyapı

Maruz kaldığı trafik yüklerini, yapısında barındırdığı tabakalı yapıdan geçirerek, yüzeysel temasının çok iyi olduğu taban zeminine ileten, aşağıdan yukarıya doğru taşıma gücü ve kalite açısından daha iyi malzemelerden inşa edilen ve aynı zamanda trafiği güvenli ve ekonomik şekilde taşımak zorunda olan üstyapı tipi “esnek üstyapı” olarak tanımlanır. Şekil 2.4’te bir esnek üstyapısının temsili örneği verilmiştir.



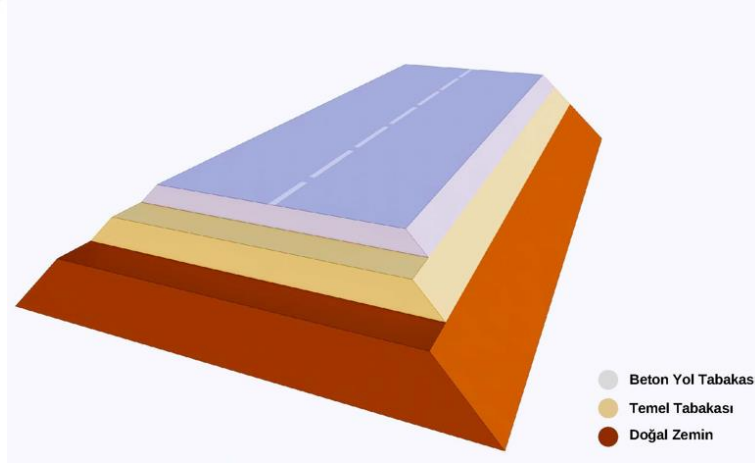
Şekil 2.4 Esnek üstyapı şematik kesiti

Esnek bir üstyapı, çekme kuvvetine karşı düşük mukavemete sahip tabakalardan oluştuğu için hareketli yükler, bu tabakalardan geçerek taban zeminine iletilmektedir. Tekerlek yükleri altında deforme olan esnek üstyapı üzerine gelen bu yükü bir alttakine biraz daha yayarak aktarmaktadır. Böylece, ilgili yük, taban zeminine ulaştığında büyük bir alana yayılmış olmaktadır.

Esnek üstyapıda kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri, meydana gelen gerilme değerleri yolun en üst tabakasından aşağıya inildikçe düştüğü için, gerilme dağılımına uygun olarak seçilmektedir. Esnek üstyapının kaplama tabakası, iklim ve trafiğin bozucu etkilerine direkt maruz kaldığı için, geçirimsizlik ve kayma direnci özellikleri yanı sıra yüksek elastisite modülüne de sahip olmalıdır (Morova 2013).

2.2.2 Rijit Üstyapı

Yapım aşamasında bağlayıcı olarak çimento kullanılan üstyapı kaplamasına “rijit üstyapı” adı verilmektedir. Tipik bir rijit üstyapı kesiti Şekil 2.5’te verilmiştir. Rijit üstyapı, trafik etkisiyle oluşmuş tekil yükleri zemine iletme ve aynı zamanda minimum zemin deformasyonunu sağlamak için plak görevi görmektedir. Bu görevi yerine getirilirken, betonun sertliğinden yararlanılmaktadır. Beton kaplamanın performansı üzerinde çeşitli faktörlerin etkisi bulunmaktadır. Bu faktörler; uygulanan beton tabakaların sayısını, alt tabakaları ve mevcut zeminin özelliklerini içermektedir. Tasarım aşamasında beton kaplamanın performansını etkileyen zemin özellikleri, temel malzemesi, kum, çimento, agrega ve donatı gibi malzemelerin fiziksel özelliklerinin analiz edilmesi önem arz etmektedir. Rijit üstyapılarda kullanılan beton döşemelerin elastik modülü, zeminin sahip olduğu elastik modülden çok daha yüksektir ve bu durum, bir kirişin elastik bir temel üzerine oturtulduğunda gösterdiği davranış ile benzerlik göstermektedir. Çekme gerilmesi, basınç gerilmesinden çok daha düşük olan beton malzeme çatlak ve hasarlara karşı savunmasız hale gelmektedir (İnt. Kyn. 2).



Şekil 2.5 Rijit üstyapı şematik kesiti

2.3 Üstyapı Yönetim Sistemi

1960 yılların sonlarında Amerikan Karayolu ve Ulaştırma Çalışanları Derneği (American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO) tarafından başlatılan çalışmalar, Ulusal İş Birliği Karayolu Araştırma Programı aracılığıyla yol testi sonuçlarını

genişletmeyi, teorik bir temel oluşturmayı ve kaplama alanında yeni gelişmeler yapmayı amaçlamıştır. Bu çabalar sonucunda, "Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS)" terimi, tüm araştırmacı gruplar tarafından kaplamalarla ilgili faaliyetleri tanımlamak için yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır (Haas ve Hudson 1978, Hudson vd. 1979).

Etkili bir üstyapı yönetimi, sistemli bir yaklaşım gerektirmenin yanı sıra işlerin günlük olarak düzenli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayan bir bütündür. Üstyapı yönetimi, geniş kapsamlı bir şekilde planlama, programlama, tasarım, inşa, bakım, onarım ve yenileme işlemlerini içeren bir çalışma programını ifade etmektedir. Bu sistem, belirli bir zaman çerçevesinde, karar veren yetkililer için en uygun bakım ve onarım takvimini belirleme sürecinde kullanılan araçları ve yöntemleri düzenlemektedir.

ÜYS'den beklenen temel görevler;

- İlgili kurumlar arasında koordinasyonu sağlamak,
- Karar alma süreçlerine katkıda bulunmak,
- Alınan kararların sonuçlarını değerlendirmek
- Aynı organizasyon içinde farklı yönetim seviyelerinde verilen kararların tutarlılığını sağlamak olarak sıralanmaktadır (Morova 2013).

Üstyapı yönetim sistemi, ağ seviyesi ve proje seviyesi olmak üzere iki farklı düzeyde faaliyet gösteren bir sistemdir. Ağ seviyesinde yönetim, planlanan işleri yol ağı üzerinde önceliklendirerek iş programını oluşturmayı hedeflerken; proje seviyesindeki yönetim, gerçekleştirilmesine karar verilen işleri detaylı bir şekilde projelendirmeyi amaçlamaktadır (Haas vd. 1994).

2.3.1 Ağ Düzeyinde Üstyapı Yönetimi

Ağ Düzeyi Yönetim için üstyapı ile ilgili yüzeysel bilgiler yeterli olmakta ve ağ seviyesinde bir yönetim sistemi aşağıda verilen adımları içermektedir:

- Kesimlere ayırma, veri toplama, veri işleme
- Minimum kabul edilebilir hizmet düzeyi, maksimum yüzey bozulması, minimum yapısal yeterlik gibi kriterleri belirleme

- Bugün ve gelecek ihtiyaçlarının belirlenmesi, bütçe ihtiyaçları ve seçeneklerinin belirlenmesi
- Alternatiflerin belirlenmesi, öncelikli program ve iş planlarının hazırlanması (Haas vd. 1994).

2.3.2 Proje Düzeyinde Üstyapı Yönetimi

Proje Düzeyi Yönetim için Ağ Düzeyi Yönetim’e göre daha detaylı bilgilere duyulmakta ve proje seviyesinde bir yönetim sistemi aşağıda verilen adımları içermektedir:

- Alt kesimlere ayırma, hazırlanan iş programlarının detaylandırılması, veri işlenmesi
- Proje alternatifleri arasında teknik ve ekonomik analizlerin yapılması
- En iyi alternatiflerin seçilmesi, miktarların detaylı şekilde belirlenerek maliyetlendirilmesi ve programlanması
- Uygulama (bakım, onarım, yenileme ve yeniden yapım) (Haas vd. 1994).

2.3.3 Üstyapı Yönetiminde Performans Değerlendirmesi

Kaplamanın performansı, yapısal parametrelerinin (malzemeler ve katman kalınlığı, inşaat kalitesi, bakım faaliyetleri ve alt zemin) özelliklerine bağlıdır. Esnek kaplama, çeşitli katmanları farklı şekilde etkileyen trafik yükü altında deformasyona uğramaktadır. Esnek kaplamalarda, her tabakanın mukavemeti farklı olduğu için yük dağılım şekilleri bir tabakadan diğerine değişkenlik göstermektedir. Herhangi bir tabakadaki mukavemetin düşmesi toplu olarak çatlak oluşumuna ve tekerlek izi bozulmasına neden olmakta ve sonuçta kaplamanın hasar görmesine neden olmaktadır. Trafik yükü, araç tiplerine bağlı olarak farklı aks yükü kombinasyonları yoluyla kaplama gövdesinin derinliklerine ve zayıf noktalarına aktarılmaktadır. Bu nedenle, bu yapısal parametrelerin, trafik yükünün ve çevrenin kaplama performansı üzerindeki göreceli etkisini ve etkinliğini belirlemek gereklidir (Bhandari vd. 2023). Bozulma tespitinde; görsel muayenenin sübjektifliğini ortadan kaldırmak, yöntemin tekrarlanabilirliğine katkı sağlamak, konunun uzmanları arasındaki iletişimi güçlendirmek ve bozulma şiddetini belirlemek, bozulmanın türünü tanımlamak ve genel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla ortak bir dil oluşturmak için pek çok kriter bulunmaktadır.

Bu kriterler;

- Değerlendirme indeksleri,
- Tekerlek izi bozulmasının derinliği,
- Çatlak oluşumları
- Defleksiyondur (Ilıcalı vd. 2001, Ragnoli vd. 2018).

Yol üstyapılarının hizmet ömürleri boyunca maruz kaldıkları tüm etkiler sonucunda yapısal ve fonksiyonel açıdan beklentileri karşılayamadıkları durumlarda, üstyapıların bütünlüğünde, sürekliliğinde ve direncinde meydana gelen kayıpların tamamı “bozulma” olarak tanımlanabilir (Yarcı 2021). Esnek üstyapılar iyi projelendirilmezse; aşağıdaki iki nedenden biri yolun tahrip olmasına sebep olmaktadır:

- Taban zemininde veya yol üstyapısını oluşturan tabakaların birinde meydana gelen gerilmelerin, malzemenin sınır gerilme değerlerini aşması ve iç dengenin bozulması ile ortaya çıkan kayma.
- Taban zemininde veya yol üstyapısı tabakalarının birindeki yüksek basınç gerilmeleri ve nem oranındaki önemli değişimler altında büyük oturmaların ortaya çıkması, üst tabakaların oturmalarla uyum sağlamaması sonucunda oluşan çatlaklar, kopmalar.

2.3.3.1 Kaplama Durum İndeksi (Pavement Condition Index - PCI)

Kaplama Durum İndeksi (Pavement Condition Index- PCI), bir yol ağının yüzeyinin durumunu derecelendirmek amacıyla kullanılan bir göstergedir.

PCI, karayolu ağındaki yol bölümlerinin durumu için sayısal bir derecelendirme sağlamaktadır; skalada 0 mümkün olan en kötü durumu, 100 ise en iyi durumu göstermektedir.

PCI üstyapı kaplaması ile ilgili iki koşulu değerlendirmektedir:

- Kaplama yüzeyindeki bozulmaların türü, kapsamı ve şiddeti (tipik olarak çatlaklar ve tekerlek izleri)
- Yolun düzgünlüğü ve sürüş konforu

PCI, inceleme ve gözleme dayalı subjektif bir değerlendirme yöntemidir. Bilgi ve deneyim sahibi gözlemciler, yol ağını yönetmek suretiyle üstyapının durumunu sistematik bir şekilde

değerlendirmektedir. Gözlemler, değerlendirme ve kullanım için bir veri tabanına girilmektedir. Yol koşullarındaki değişikliklerin değerlendirilebilmesi için PCI yıllık olarak uygulanmaktadır.

Kaplama bozuklukları, “fonksiyonel bozulma” ve “yapısal bozulma” iki farklı kategoride sınıflandırılmaktadır. Fonksiyonel bozulma kavramı, kaplamanın yolculara rahatsızlık vermeden veya araçlarda yüksek stres yaratmadan amaçlanan işlevini yerine getirmemesi ile açıklanabilir. Yapısal bozulma kavramı, kaplama yapısının çökmesini veya kaplamanın bir veya daha fazla bileşeninin, kaplamanın yüzeyine uygulanan yükleri taşıyamayacak hale gelecek büyüklükte parçalanması ile açıklanabilir (Smith vd. 1979).

2.4 Amerika Test ve Malzemeler Birliği Standardı (ASTM) Bozulma Kılavuzu

Yollar için tanımlanan üstyapı bozulma kılavuzu olan ASTM 1999 yılı içerisinde D 6433-99 kodu ile yayınlanmıştır. Yayınlanan bu kılavuzda bozulma türleri oluşma sebepleri nedeniyle iklim, yük ve diğer nedenler olmak üzere üç ana başlık altında toplanmıştır. (Kırbaş 2007)

Bir üstyapının tasarım aşaması sırasında yolu oluşturan tabakaların ve kaplama tabakasının kalınlığı, seçilen standart dingil yükünün belli bir zaman içerisindeki tekrar sayısına bağlı olarak belirlenir. Bir yoldan hedeflenenden çok trafiğin geçmesi veya standart dingil yüküne göre hesaplanandan daha ağır dingil yüküne sahip taşıtların geçmesi yolda yükten kaynaklanan bozulmaların oluşmasına sebep olur. Ayrıca, gün içerisinde veya mevsimler arasında sıcaklık farklarından dolayı üstyapıda iklimden kaynaklanan bozulmalar oluşmasına sebep olur. Bu sebeplerden başka, yapım ve bakım hataları, malzeme özellikleri, kaplama üzerinde seyreden taşıtlardan sızan/akan mazot, benzin, yağ gibi kimyasal maddeler, soğuk iklime sahip bölgelerde buzlanmayı engellemek için kullanılan tuzlar gibi diğer nedenlerle de üstyapılarda zaman içerisinde bozulmalar meydana gelebilmektedir (Kırbaş 2007).

2.5 Esnek Üstyapıda Meydana Gelen Bozulmalar

Esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmaları ASTM bozulma tanımlama kılavuzuna göre 19 türe ayırabiliriz (Shahin 2002). Çizelge 2.1’de ASTM kılavuzuna göre tanımlanan 19 bozulma tipi verilmiştir.

Çizelge 2.1 ASTM bozulma sınıflandırması (Shahin 2002)

No	Bozulma Türü	Ölçüm Birimi	Bozulma Nedeni
1	Timsah Sırtı Çatlak	m ²	Yük
2	Kusma	m ²	Diğer
3	Blok Çatlak	m ²	İklim
4	Kabarma ve Oturma	m	Diğer
5	Ondülasyon	m ²	Diğer
6	Çökme	m ²	Diğer
7	Kenar Çatlağı	m	Yük
8	Yansıma Çatlağı	m	İklim
9	Kenar/Banket Düşüklüğü	m	Diğer
10	Boyuna ve Enine Çatlak	m	İklim
11	Yama	m ²	Diğer
12	Cilalanma	m ²	Diğer
13	Oyulma	Sayı	Yük
14	Demiryolu Geçışı	m ²	Diğer
15	Tekerlek İzi	m ²	Yük
16	Toplanma	m ²	Yük
17	Tabaka Kayması Çatlağı	m ²	Diğer
18	Kabarma	m ²	Diğer
19	Aşınma ve Sökülme	m ²	İklim

2.5.1 Timsah Sırtı Çatlak

Temel zeminin stabil olmaması yüklenmeye veya tekrarlı yüklere bağlı olarak zamanla problemlere yol açabilir. Zaman içerisinde oluşan enine ve boyuna çatlakların birleşmesiyle oluşur. Çatlaklar parçalanmamış ise, çatlak genişliği 6mm’den küçükse ve

çatlaklar arası maksimum mesafe 328 mm ise düşük şiddetli bozulma olarak değerlendirilir (Resim 2.1). Çatlaklarda bir desen veya ağa benzer büyüme görülüyorsa, $6 \text{ mm} < \text{çatlaklar} \leq 19 \text{ mm}$ ise ve desendeki çatlaklar arası mesafe 150 mm'den fazla değilse orta şiddetli bozulma olarak değerlendirilir (Resim 2.2). Çatlaklar gözle görülür bir biçimde parçalanmış ise ve bazı parçalar trafik hareketi sırasında yer değiştiriyorsa yüksek şiddetli bozulma olarak değerlendirilir (Resim 2.3) (Gürer 2014).



Resim 2.1 Düşük şiddetli timsah sırtı çatlak (Gürer 2014)



Resim 2.2 Orta şiddetli timsah sırtı çatlak (Gürer 2014)



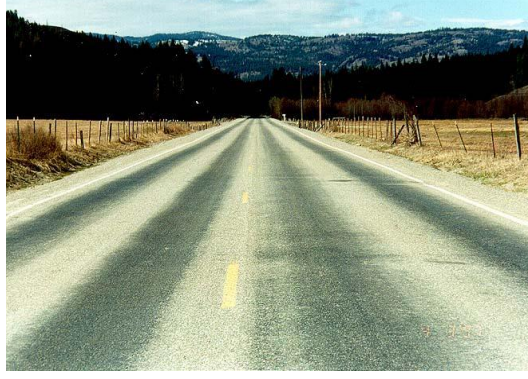
Resim 2.3 Yüksek şiddetli timsah sırtı çatlak (Gürer 2014)

2.5.2 Kuma

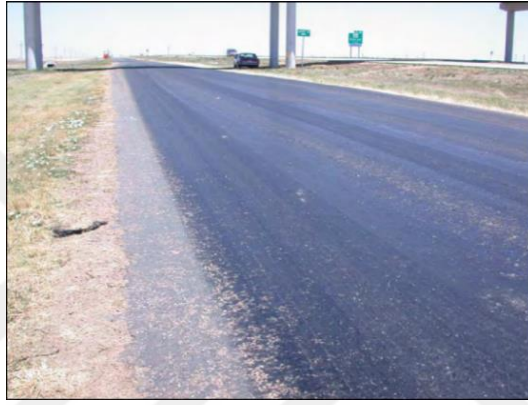
Yüksek sıcaklıktaki havalarda kaplama içerisinde bitümün fazla bulunması sebebiyle ya da kaplama içerisindeki hava boşluğunun az olması nedeniyle bitümün yüzeye çıkması ile meydana gelir. Bozulma türü kuma olarak değerlendirilirse cilalı agrega bozulması sayılmamalıdır. Kaplama yüzeyinin rengi, yapışkan olmayan yılın birkaç günü fark edilebilir derecede değiştiğinde düşük şiddetli olarak değerlendirilir (Resim 2.4). Kaplama yüzeyinin yapısı kaybolup yüzeye çıkan bitüm ayakkabılara ve araçlara yapışıyor ise orta şiddetli bozulma olarak değerlendirilir (Resim 2.5). Ancak, asfalt parlak bir yüzey ortaya çıkardığında, agreganın görünürlüğü son derece önemli hale gelir. Tekerlek izlerinin açıkça görülebildiği aşırı sıcak koşullarda, bu görsel göstergelerin önemi artar ve yüksek şiddetli kuma olarak değerlendirilir (Resim 2.6) (Gürer 2014).



Resim 2.4 Düşük şiddetli kuma (Gürer 2014)



Resim 2.5 Orta şiddetli kuma (Gürer 2014)



Resim 2.6 Yüksek şiddetli kuma (Gürer 2014)

2.5.3 Blok Çatlak

Kaplamayı yaklaşık olarak dikdörtgen parçalara bölen birbirine bağlı çatlaklardır. Bu tür bozulmalar yükten dolayı meydana gelmez, çoğunlukla asfaltın sertleşmesi ve rötre nedeniyle meydana gelir. Çatlağın ortalama genişliği 6mm'den küçük ise düşük şiddetli blok çatlak (Resim 2.7), çatlağın ortalama genişliği 19mm'den küçük 6mm'den büyük ise orta şiddetli blok çatlak (Resim 2.8), parçaların şekli belirgin, kenarları dökülmüş ve bazı parçalar trafik hareketi altında sallanıyorsa yüksek şiddetli blok çatlak (Resim 2.9) olarak değerlendirilir (Gürer 2014).



Resim 2.7 Düşük şiddetli blok çatlak (Gürer 2014)



Resim 2.8 Orta şiddetli blok çatlak (Gürer 2014)

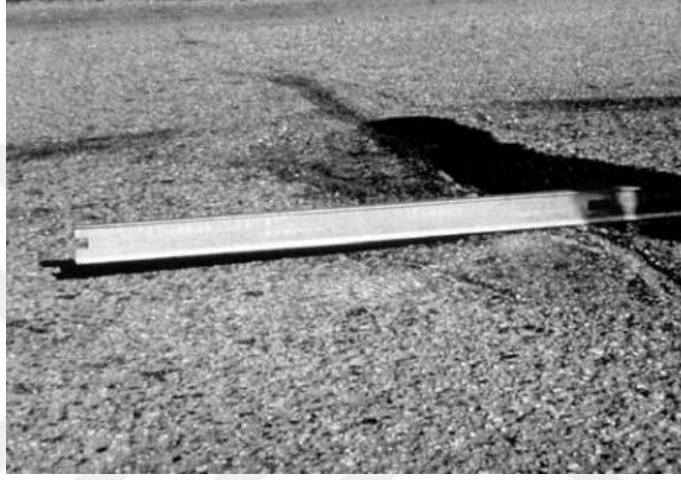


Resim 2.9 Yüksek şiddetli blok çatlak (Gürer 2014)

2.5.4 Kabarma ve Oturma

Kabarma, yol yüzeylerinin yerel yukarı doğru yer değiştirmesidir. Oturma ise zemin yüzeyinin ani ve aşağı doğru kaymasıdır. Eğer kabarma bir çatlak ile meydana geliyorsa

çatlak da kayıt altına alınır. Kabarmanın trafik akışına dik bir düzende ve 3 m'den daha az aralıklarla oluşuyorsa, bu bozulma “ondülasyon” olarak adlandırılır. Kaplama yüzeyinin geniş alanlarında meydana gelen ve kaplamada büyük veya uzun çukurlara ya da her ikisine birden neden olan bozulma ve yer değiştirme “şişme” olarak değerlendirilmelidir. Resim 2.10'da düşük şiddetli kabarma ve oturma, Resim 2.11'de orta şiddetli kabarma ve oturma, Resim 2.12'de ise yüksek şiddetli kabarma ve oturma verilmiştir (Gürer 2014).



Resim 2.10 Düşük şiddetli kabarma ve oturma (Gürer 2014)



Resim 2.11 Orta şiddetli kabarma ve oturma (Gürer 2014)



Resim 2.12 Yüksek şiddetli kabarma ve oturma (Gürer 2014)

2.5.5 Ondülasyon

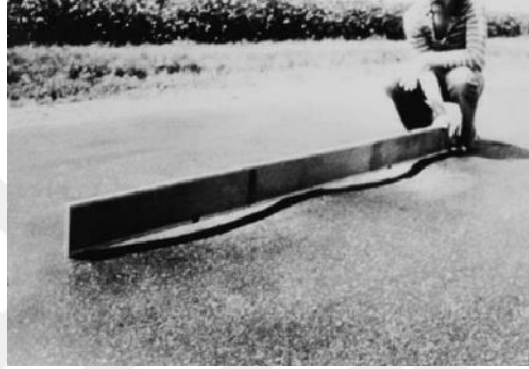
Genellikle kaplama boyunca 3 m'den daha az olmak üzere düzenli aralıklarla meydana gelen bir dizi yakın aralıklı sırt ve vadilerdir (dalgalardır). Dalgalar trafik yönüne dik olarak gerçekleşmektedir. Dengesiz bir kaplama yüzeyi veya tabanı ile ani trafik hareketlerinden kaynaklanır. Yüksekliği 5 mm'den daha az olanların düşük şiddetli (Resim 2.13), 5 mm ile 10 mm yüksekliğinde olanların orta şiddetli (Resim 2.14), 10 mm'den daha fazla yüksekliğinde sahip olanların ise yüksek şiddetli bozulma (Resim 2.15) olduğu kabul edilir (Gürer 2014).



Resim 2.13 Düşük şiddetli ondülasyon (Gürer 2014)



Resim 2.14 Orta şiddetli ondülasyon (Gürer 2014)



Resim 2.15 Yüksek şiddetli ondülasyon (Gürer 2014)

2.5.6 Çökme

Daha düşük kaplama yüksekliğine sahip bir bozulma türüdür. Eğer çöküntü genişliği maksimum 3 m ise çöküntü üzerine düz bir master koyulup maksimum çöküntü derinliği hesaplanabilir. Fakat çöküntü genişliği 3m'den büyükse çöküntü içerisi su ile doldurulup maksimum çöküntü derinliği hesaplanabilir. Çöküntü derinliği 3-13 mm arasında ise düşük şiddetli çöküntü (Resim 2.16), 13-25 mm arasında ise orta şiddetli çöküntü (Resim 2.17), 25mm'den büyük ise yüksek şiddetli çöküntü (Resim 2.18) olarak değerlendirilir (Gürer 2014).



Resim 2.16 Düşük şiddetli çöküntü (Gürer 2014)



Resim 2.17 Orta şiddetli çöküntü (Gürer 2014)



Resim 2.18 Yüksek şiddetli çöküntü (Gürer 2014)

2.5.7 Kenar Çatlağı

Kaplama kenarından yaklaşık 30-50cm içerisinde meydana gelen yola gidiş yönüne paralel boyuna çatlaklardır. Sökülme ve ayrışma olmadan orta seviyede çatlaklar varsa düşük şiddetli kenar çatlağı (Resim 2.19), orta seviyeli çatlaklar ile sökülme ve ayrışma gözlemleniyorsa orta şiddetli kenar çatlağı (Resim 2.20), kenar boyunca gözle görülür sökülme ve kırılmalar varsa yüksek şiddetli kenar çatlağı (Resim 2.21) olarak sınıflandırılır (Gürer 2014).



Resim 2.19 Düşük şiddetli kenar çatlağı (Gürer 2014)



Resim 2.20 Orta şiddetli kenar çatlağı (Gürer 2014)



Resim 2.21 Yüksek şiddetli kenar çatlağı (Gürer 2014)

2.5.8 Yansıma Çatlağı

Eski asfalt kaplamasında meydana gelen bozulmaların üstteki esas asfalt kaplamasına yansımasıyla meydana gelen bozulma türüdür. Bu çatlaklar enine, boyuna ve bloklar şeklinde gözlemlenebilir. Kırıkların genişliği 6 mm'den küçük ise düşük şiddetli yansıma çatlağı (Resim 2.22), 6 mm'den büyük 19 mm'den küçük ise orta şiddetli yansıma çatlağı (Resim 2.23), 19 mm'den büyük ise yüksek şiddetli yansıma çatlağı (Resim 2.24) olarak kabul edilir (Gürer 2014).



Resim 2.22 Düşük şiddetli yansıma çatlağı (Gürer 2014)



Resim 2.23 Orta şiddetli yansıma çatlağı (Gürer 2014)



Resim 2.24 Yüksek şiddetli yansıma çatlağı (Gürer 2014)

2.5.9 Kenar/Banket Düşüklüğü

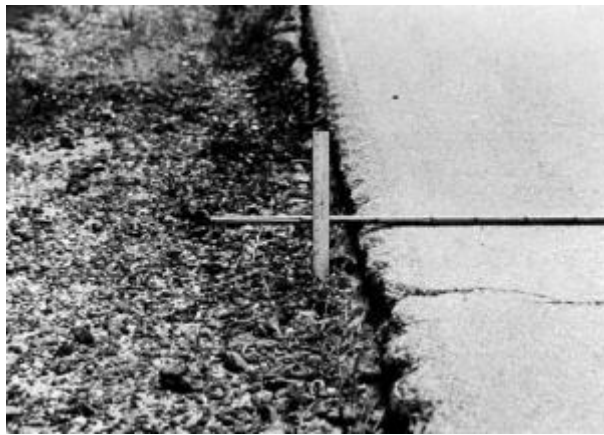
Yol yüzeyi ile banket yüzeyi arasında genellikle yüzey malzemeleri farklılıklarından kaynaklanan bozulma çeşididir. 25 mm < kaplama kenarı ile banket arası yükseklik farkı < 50 mm ise düşük şiddetli kenar/banket düşüklüğü (Resim 2.25), 50 mm < kaplama kenarı ile banket arası yükseklik farkı < 100 mm ise orta şiddetli kenar/banket düşüklüğü (Resim 2.26), kaplama kenarı ile banket arası yükseklik farkı > 100 mm ise yüksek şiddetli kenar/banket düşüklüğü (Resim 2.27) olarak değerlendirilir (Gürer 2014).



Resim 2.25 Düşük şiddetli kenar/banket düşüklüğü (Gürer 2014)



Resim 2.26 Orta şiddetli kenar/banket düşüklüğü (Gürer 2014)



Resim 2.27 Yüksek şiddetli kenar/banket düşüklüğü (Gürer 2014)

2.5.10 Boyuna ve Enine Çatlak

Boyuna çatlaklar kaplamanın merkez hattına paralel olan çatlaklardır. Enine çatlaklar kaplama boyunca merkez hattına dik olan çatlaklardır. Çatlak tüm uzunluğu boyunca aynı önem derecesine sahip değilse her bir kısım ayrı değerlendirilmelidir. Bu tarz çatlaklar yükten dolayı oluşmazlar. Kötü inşa edilmiş derzler, sıcaklıktan kaynaklı yüzey büzülmeleri ve taban zemininin oturması gibi nedenlerden dolayı oluşurlar. Çatlak genişliği $<10\text{mm}$ ise düşük şiddetli boyuna ve enine çatlak (Resim 2.28), $10 <$ çatlak genişliği $< 75\text{mm}$ ise orta şiddetli boyuna ve enine çatlak (Resim 2.29), $75 <$ çatlak genişliği ise yüksek şiddetli boyuna ve enine çatlak (Resim 2.30) olarak değerlendirilir (Gürer 2014).



Resim 2.28 Düşük şiddetli boyuna ve enine çatlak (Gürer 2014)



Resim 2.29 Orta şiddetli boyuna ve enine çatlak (Gürer 2014)



Resim 2.30 Yüksek şiddetli boyuna ve enine çatlak (Gürer 2014)

2.5.11 Yama

Kaplama yüzeyine orijinal inşaattan sonra kaldırma, yer değiştirme ve ilave malzemeler uygulanmasıdır. Bir yama ne kadar iyi performans gösterirse göstereceği bir kusur olarak kabul edilir. Resim 2.31’de düşük şiddetli yama, Resim 2.32’de orta şiddetli yama, Resim 2.33’te ise yüksek şiddetli yama örneği verilmiştir (Gürer 2014).



Resim 2.31 Düşük şiddetli yama (Gürer 2014)



Resim 2.32 Orta şiddetli yama (Gürer 2014)



Resim 2.33 Yüksek şiddetli yama (Gürer 2014)

2.5.12 Cilalanma

Bu bozulma tipi, kaplama yüzeyinde bulunan agrega danelerinin pürüzsüz ve cilalı hale gelme olayıdır. Bu tip bozulmalar kırılmamış pürüzsüz agrega kullanımından trafiğin aşınma etkisinden kaynaklanır. Resim 2.34’te cilalanma örneği verilmiştir (Gürer 2014).



Resim 2.34 Cilalanma (Gürer 2014)

2.5.13 Oyulma

Genellikle çapı 750mm'den küçük kâse şeklindeki bozulma tipidir. Eğer oyulmalar yüksek şiddette timsah sırtı çatlağıyla oluşuyorsa bunlar ayrışma olarak değil çukur olarak tanımlanmalıdır. Resim 2.35'te düşük şiddetli oyuk, Resim 2.36'da orta şiddetli oyuk, Resim 2.37'de yüksek şiddetli oyuk örneği verilmiştir (Gürer 2014).



Resim 2.35 Düşük şiddetli oyuk (Gürer 2014)



Resim 2.36 Orta şiddetli oyuk (Gürer 2014)



Resim 2.37 Yüksek şiddetli oyuk (Gürer 2014)

2.5.14 Demiryolu Geçişi

Bunlar rayların etrafında veya arasında meydana gelen bozulmalardır. Eğer raylardan geçiş sürüş kalitesini etkilemiyorsa değeriendirilmemelidir. Resim 2.38’de düşük şiddette demiryolu geçişi örneği, Resim 2.39’da orta şiddette demiryolu geçişi örneği, Resim 2.40’da yüksek şiddette demiryolu geçişi örneği verilmiştir (Gürer 2014).



Resim 2.38 Düşük şiddette demiryolu geçişi (Gürer 2014)



Resim 2.39 Orta şiddette demiryolu geçişi (Gürer 2014)



Resim 2.40 Yüksek şiddette demiryolu geçişi (Gürer 2014)

2.5.15 Tekerlek izi deformasyonu

Tekerlek izi, tekerlek izlerinin yoğunlaştığı kısımlardaki uzunlamasına yüzey çöküntüsüdür. 6 mm < ortalama tekerlek izi derinliği < 13 mm ise düşük şiddette tekerlek izi derinliği (Resim 2.41), 13 mm < ortalama tekerlek izi derinliği < 25 mm ise orta şiddette tekerlek izi derinliği (Resim 2.42), ortalama tekerlek izi derinliği > 25 mm ise yüksek şiddette tekerlek izi örneği (Resim 2.43) olarak değerlendirilir (Gürer 2014).



Resim 2.41 Düşük şiddette tekerlek izi derinliği (Gürer 2014)



Resim 2.42 Orta şiddette tekerlek izi derinliği (Gürer 2014)



Resim 2.43 Yüksek şiddette tekerlek izi derinliği (Gürer 2014)

2.5.16 Toplanma

Kaplama yüzeyinin belirli bir alanda uzunlamasına yer değiştirmesidir. Genellikle araçların fren yapması veya hızlanması nedeniyle oluşur ve genellikle tepelerde, virajlarda veya kavşaklarda bulunur. Aynı zamanda dikey yer değiştirmeye de ilişkili olabilir. Parçalar halinde meydana gelen yüzey ondülasyonu, ayrı bir bozulma olarak değil, yamanın derecelendirilmesinde dikkate alınır. Resim 2.44’te düşük şiddette toplanma örneği, Resim 2.45’te orta şiddette toplanma örneği, Resim 2.46’da yüksek şiddette toplanma örneği verilmiştir (Gürer 2014).



Resim 2.44 Düşük şiddette toplanma (Gürer 2014)



Resim 2.45 Orta şiddette toplanma (Gürer 2014)



Resim 2.46 Yüksek şiddette toplanma (Gürer 2014)

2.5.17 Kayma Çatlakları

Genellikle ilerleme yönüne çapraz olan hilal veya yarım ay şeklindeki çatlaklar. Tekerleklerin frenlenmesi veya döndürülmesi kaplama yüzeyinin kaymasına veya deforme olmasına neden olduğunda oluşurlar. Ortalama çatlak genişliği <10 mm ise düşük şiddetli kayma çatlağı (Resim 2.47), 10 mm $<$ ortalama çatlak genişliği < 40 mm ise orta şiddetli kayma çatlağı (Resim 2.48), 40 mm $<$ ortalama çatlak genişliği ise yüksek şiddetli kayma çatlağı (Resim 2.49) olarak değerlendirilir (Gürer 2014).



Resim 2.47 Düşük şiddetli kayma çatlağı (Gürer 2014)



Resim 2.48 Orta şiddetli kayma çatlağı (Gürer 2014)



Resim 2.49 Yüksek şiddetli kayma çatlağı (Gürer 2014)

2.5.18 Kabarma

Kaplamanın yüzeyinde, 3 m'den daha uzun, uzun, kademeli bir dalga olan yukarı doğru bir çıkıntı ile karakterize edilir. Yüzey çatlakları da eşlik edebilir. Genellikle taban zeminindeki don etkisinden veya toprağın şişmesinden kaynaklanır. Yükseklik farkı < 19 mm ise düşük şiddetli kabarma (Resim 2.50), $19 \text{ mm} < \text{yükseklik farkı} < 38 \text{ mm}$ ise orta

şiddetli kabarma (Resim 2.51), yükseklik farkı >38 mm ise yüksek şiddetli kabarma (Resim 2.52) olarak değerlendirilir (Gürer 2014).



Resim 2.50 Düşük şiddetli kabarma (Gürer 2014)



Resim 2.51 Orta şiddetli kabarma (Gürer 2014)



Resim 2.52 Yüksek şiddetli kabarma (Gürer 2014)

2.5.19 Aşınma ve Sökülme

Kaplama yüzeyinin aşınması agrega parçacıklarının yerinden çıkması ve asfalt bağlayıcının kaybından kaynaklanır. Petrol sızıntısı nedeniyle yüzeyin yumuşaması ve

agregaların yerinden çıkması da sökölme kapsamına dahildir. Orta veya yüksek şiddette sökölme kaydedilmişse hava koşulları (yüzey aşınması) kaydedilmez.

Düşük şiddetli aşınma ve sökölme örneğinde agrega veya bağlayıcı aşınmaya ve bazı bölgelerde yüzey çukurlaşmaya başlamıştır. Yağ dökülmesi durumunda yağ lekesi görülebilir ancak yüzey sert olduğundan bozuk para ile delinemez. Resim 2.53'te düşük şiddetli aşınma ve sökölme örneği verilmiştir (Gürer 2014).



Resim 2.53 Düşük şiddetli aşınma ve sökölme (Gürer 2014)

Orta şiddetli aşınma ve sökölme örneğinde agrega veya bağlayıcı aşınmaya başlamıştır ve yüzey dokusu orta derecede pürüzlü ve çukurludur. Yağ sızıntısı durumunda yüzey yumuşaktır ve madeni parayla delinebilir. Resim 2.54'te orta şiddetli aşınma ve sökölme örneği verilmiştir.



Resim 2.54 Orta şiddetli aşınma ve sökölme (Gürer 2014)

Yüksek şiddetli aşınma ve sökölme örneğinde agrega veya bağlayıcı önemli ölçüde aşınmış, yüzey dokusu çok pürüzlü ve ciddi derecede çukurludur. Çukurlu alanların çapı

10 mm'den az ve derinliği 13 mm'den azdır; Bundan daha büyük çukurlu alanlar çukur olarak sayılır. Yağ dökülmesi durumunda asfalt bitüm bağlayıcı özelliğini yitirmiş ve agregalar gevşemiştir. Resim 2.55'te yüksek şiddetli aşınma ve sklme rneği verilmiştir.



Resim 2.55 Yüksek şiddetli aşınma ve sklme (Gürer 2014)

2.6 Konuyla İlgili Yapılmış alışmalar

Zhang (2008), çalışmasında asfaltsız yolların durumunu incelemek için uzaktan algılama teknolojisini uygulama potansiyelini araştırmıştır. Tipik olarak tarım topluluklarının yakınlarındaki kasabalardaki düşük hacimli asfaltsız yollarda meydana gelen hasarları incelemiştir. Araştırmada otonom uçuş kartına sahip 768x576 piksel kameraya sahip yakıtlı bir helikopter kullanılmıştır. Kullanılan insansız hava aracı ile ilk veri toplama Güney Dakota, Rapid City yakınlarında bir test sahasında yaklaşık 50m yükseklikte uçarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen alışmalar sonrasında insansız hava aracı görüntüleri kullanılarak asfaltsız yolların durumunu incelemek için gerekli birçok parametreyi çıkarmanın uygun olduğu grlmştir.

Inzerilloa vd. (2018), çalışmalarında yerel ve kentsel yol ağlarının bakım, rehabilitasyon ve yeniden yapılandırma stratejileri için süregelen kıt kaynak sorunu, yol kaplama bozulmaları tespiti için zayıf teknikler kullanılmasına yol açarak verimsiz sonuçlar ortaya çıkardığından bahsetmiştir. Bu nedenle hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli değerlendirme yapabilecek araçlara sahip olunması gerektiğinden bahsedilmiştir. Palermo'daki niversite yerleşkesi içerisinde yıpranmış bir yol kesimi belirlenmiştir. 12MP znrlğe sahip GoPro Here 3 kamera takılı insansız hava aracı ile 5m yükseklikten 29

adet görüntü elde edilmiştir. Aynı kesimde bir de Nikon D5200 fotoğraf makinası ile 0.50 – 1.2m aralığında 50 adet fotoğraf çekilmiştir. Çekilen görüntüler ile 3D model oluşturulup yüksek hassasiyetli lazer ile oluşturulan 3D model ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kaplama yönetim stratejilerini optimize etmek için yenilikçi bir yaklaşımın kaplama sıkıntılarını yeterli düzeyde doğruladığını göstermiştir.

Kırbaş ve Karaşahin (2018), bir karayolu üstyapısının mevcut performansını gösteren PCI değerleri ile araç içinde oluşan düşey titreşim parametreleri arasındaki ilişkiler araştırarak tahmin modeli oluşturmuşlardır. Böylelikle, üstyapının performansını belirlemede kullanılan PAVER sisteminin zor ve meşakkatli olan arazi çalışmaları minimuma indirilerek, ülkemizde yerel yönetimlerin üstyapı yönetiminde kullanabileceği hale getirilmiştir.

Naddaf vd. (2019), çalışmalarında görüntü tabanlı tehlike verilerini gerçek zamanlı olarak toplamak, analiz etmek ve haritalamak için otonom bir araştırma şeması sunmaktadırlar. Birkaç tür çatlağı sınıflandıran evrişimsel sinir ağı kullanılarak toplanan görüntülerden çatlak belirlemek için açıklayıcı bir yaklaşım düşünülmüştür. Çalışmada kullanılan veri tabanı 6695 görüntüden oluşmaktadır. Bu çalışmada evrişimli sinir ağı Bayesian optimizasyon algoritması kullanılarak optimize edilmiştir.

Santosa vd. (2020), çalışmalarında Cape Verde'deki Sal adasında bulunan Amilcar Cabral uluslararası havaalanının ana pistinde uygulanan havaalanı asfalt kaplama tehlikesi verisi toplamak için iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Test için kullanılan iki yöntem, görsel inceleme ve görüntü yakalama ve kaydetme, lazerler ve konum değerlendirme cihazları ile donatılmış bir araç kullanılan yöntemdir. Bu çalışmanın amacı havaalanı kaplama durum incelemesi için düşük maliyetli bir araç geliştirmesi ve kaplama denetim sisteminin yarı otomatik hale getirilmesidir. Toplanan tehlike verilerinden kaplama durumunu değerlendirmek ve müdahale stratejilerini belirlemek mümkün olduğundan bu sistem önemli bir bileşendir. Her iki yöntemle elde edilen kaplama durumu indeksinin (PCI) istatistiksel olarak karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan önemli farklar olmadığı önerilen yöntemin doğruluğunu göstermiştir.

Yol kaplamaları, güvenlik üzerinde olumsuz etkilerle birlikte işlevselliği olumsuz etkileyen çeşitli bozulma biçimlerine maruz kalmaktadır. En yüksek kaliteyi sağlamak için, yol idarecileri tarafından tüm bozulmalar uygun şekilde tanımlanmalı ve ölçülmelidir. Verimliliği artırmak ve araştırma maliyetlerini ve sürelerini azaltmak için, değişken sonuçlarla yüzey bozulmalarını tespit etmek, sınıflandırmak ve ölçmek için çeşitli yenilikçi yöntemler önerilmiştir. Bu bağlamda, yazarlar, yenilikçi bir yüksek performanslı ekipman kullanılarak elde edilen, kaplama yüzeylerinin 3 boyutlu verilerinin işlenmesi yoluyla otomatik çukur tespiti için bir algoritma önermektedir. Bilgisayar görüşünden türetilen algoritma, yol bölümlerindeki çukurları yalnızca alan, çevre olarak tanımlamakla kalmaz aynı zamanda derinlik açısından da güvenilir bir şekil ve şiddet tahmini ve çeşitli pratik faydalar sağlar. Sayısal sonuçlar, alternatif geleneksel metodolojilerle karşılaştırıldığında bile önerilen algoritmanın olağanüstü performansını göstermektedir. Presisyon, Geri Çağırma ve F-Skoru açısından sırasıyla %89,75, %92,95 %91,28'e eşit ortalama değerler bulunmuştur. Doğrulama, diğer yaklaşımlardan önemli ölçüde daha düşük, ortalama %5,15 bir değerle alan hata oranı açısından da gerçekleştirildi. Algoritma, geleneksel yaklaşımlara güvenilir bir alternatif sunar ve yol yöneticilerinin bakım ve yol işlevselliğini optimize etmek için veri türetmesine olanak tanır (Bosurgi vd. 2022).

2.6.1 İnsansız Hava Aracı ile Üstyapı Bozulma Tespiti

Kim et al. (2015), inşaat altyapısının, sünme, büzülme, çeşitli doğal yüklemeler, yaşlanma ve donatının korozyonu nedeniyle beton çatlaklarından zarar görebileceğini belirtmişlerdir. Beton çatlaklar, beton yapıların mevcut durumunu analiz ederken önemli özelliklerden biridir. Beton çatlaklarına ilişkin şekil, uzunluk ve genişlik bilgileri ile yapı güvenliği için bir ön bakım yapmak mümkündür. Genellikle yapılardaki beton çatlakları, beton yapıların yüzeyindeki görsel hasarları gözlemleyerek ve ölçerek yapı sağlığını değerlendiren denetçi tarafından denetlenir. Ancak görsel inceleme zaman alıcı ve maliyetlidir, uzmanlar için tehlikelidir ve uygun olmayan ortamlar değerlendirme hatalarına neden olabilir. Son zamanlarda, dijital görüntü işleme (DIP), görsel incelemeye alternatif bir otomatik çatlak değerlendirmesi olarak tanıtıldı. Bununla birlikte, görüntü işlemenin zaman, maliyet ve güvenlik açısından büyük ölçekli altyapının çatlak

tanımlamasını gerçekleştirmede bazı sorunları vardır. İHA teknolojilerindeki son gelişmeler, çeşitli teknolojilerde benimsenebilecek düşük maliyetli, yüksek performanslı İHA'ları mümkün kılmıştır. Bu yazıda, beton çatlakları belirlemek için İHA tabanlı görüntü işlemenin bir prototipi önerilmiştir. Saha deneyinden, hesaplanan çatlak genişliği, çatlak ölçerlerle ölçülen çatlak genişliğine benzer elde edilmiştir.

Nappo vd. (2021), çalışmalarında heyelandan etkilenen bölgelerdeki asfalt kaplı yolların yarı otomatik şekilde hasar değerlendirmesi için kullanıma hazır bir araçtan bahsetmiştir. İnsansız hava aracı tabanlı fotogrametriden yeniden oluşturulmuş 3B modellerin ve 2B görüntülerin kullanımı, yol kaplamasındaki boyuna ve enine çatlakları tespit etmek ve heyelan alanlarındaki şiddetini değerlendirmek için geleneksel araziye hızlı, sistematik, objektif ve daha az zahmetli bir alternatif olarak araştırılmaktadır.

Grandsaert'e (2015) göre eskiyen yol varlıklarının en iyi şekilde nasıl yönetileceği konusunda bilinçli kararlar vermek için verimli, güvenilir veriler gereklidir. Yapılan araştırmada, insansız Hava Araçları ve Bilgisayarla Görme teknolojisini kullanarak ulaşım ağlarının toplanmasını, işlenmesini ve analizini otomatikleştirmek için yeni bir yöntemi araştırılmıştır. Yol değerlendirmelerini manuel ve yarı otonom olarak gerçekleştirmek için mevcut metodolojiler olsa da bu araştırma, çok az veya hiç insan etkileşimi gerektirmeyen bir vizyonla yol değerlendirmesini daha hızlı ve daha ekonomik nasıl yapılabileceği hakkında bir kavram sunmaktadır. Bu araştırma, İHA teknolojisinin üstyapı değerlendirmelerine uygulanmasının güçlü yanlarını değerlendirir ve daha fazla çalışmanın nerede gerekli olduğunu belirler. Ayrıca, varlık yöneticilerine eskiyen yol varlıklarını sürdürmelerinde yardımcı olmak için, İHA'ların kaplama bilgilerini toplamaya yönelik uygun bir yol olarak kullanılmasını doğrular. Sistem, yarı otomatik kaplama durum indeksi (PCI) işlemeye uygun yol fotoğrafları çekebildi, ancak algoritma maksimum %40 F-testi ile sonuçlandı. Bu sonuç düşüktür ve algoritmanın tam otomatik PCI sınıflandırması için yeterli olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte bilgisayarla görme kullanarak yol kusurlarını doğru bir şekilde tespit etmek, gelecekteki araştırmalar için zorlu bir sorun olmaya devam etmektedir. Ancak, verileri toplamak için Otonom İHA'ların kullanılmasının, veri toplama için uygun bir yol olduğu ve otoyol hızlarında mevcut yöntemlerden teorik olarak daha hızlı olduğu gösterilmiştir.

Leonardi vd. (2018), çalışmalarında üst yapı bozulmalarını belirlemek için mobil, üç boyutlu (3B) haritalama verilerini hızlı ve otonom şekilde işleyebilen bir insansız hava aracı sisteminin performansını değerlendirmişlerdir. Çalışma sırasında trafikten kaçmak için Reggio Calabria limanındaki bir alanda havadan inceleme yapılmıştır. Havadan otonom şekilde görüntü alabilmek için DJI Mavic Pro modeli Pix4d yazılımını ile kullanılmıştır. 30m yükseklikte yapılan uçuşlar ile elde edilen görüntüler Agisoft Photoscan programı kullanılarak 3B hale dönüştürülmüştür. Oluşturulan dijital yükselti modeli ile nokta bulutu kullanılarak kaplama üzerindeki çukurların ölçümleri yapıp sonuçlar gerçek ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda dijital yükselti modeli ve gerçek ölçümler arasında ortalama 0,020 hata payı olduğu sonucuna varılmıştır.

Leonardi vd. (2018), çalışmalarında drone ile çekilen fotoğraflar yardımıyla kaplama yüzeyindeki çukurları ve çatlakları tespit etmek için görüntü işleme yönteminden bahsetmişlerdir. Hava araştırılması Reggio Calabria'nın bir bölgesinde 25m yükseklikte DJI Mavic Pro kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Drone ile elde edilen görüntüler Matlab programında algoritma ile işlenerek siyah beyaz görüntüye dönüştürülmüştür. Bu çalışma sayesinde trafik akışına müdahale etmeden kaplama üzerindeki çukurlar ve çatlaklar belirlenebilmiştir. Bu yöntem ekonomik ve zaman maliyetlerini azaltmıştır.

Kaplamalar için zemine dayalı geleneksel değerlendirme yöntemleri zaman alıcı ve pahalıdır. Kaplama verilerinin toplanması için kullanılan dron, karayolu ağ analizi için saha süresini azaltan ve daha ayrıntılı bilgilerle geniş bir alanı kapsayan, kaynak tasarrufu sağlayan ve verimli bir araçtır (DroneDeploy 2018).

Kaplama yüzeyindeki bozulmaların havadan görüntüler ve görüntü sınıflandırma yöntemleri kullanılarak tanımlanmasına yönelik çok sayıda farklı çalışma yapılmıştır. Schnebele vd. (2015), saha ziyaretleri ve manuel inceleme ihtiyacını azaltarak daha kısa sürede daha geniş alanı kapsayarak kaplamaların hızlı değerlendirilmesinde uzaktan algılama tekniklerinin (örneğin İHA, LIDAR) olası faydalarını gözden geçirmiştir.

Zhang (2008), desen tanıma ve görüntü sınıflandırma yoluyla 2B ve 3B görüntü özelliklerini birleştirerek asfaltsız yolların ve kullanılan bilgilerin durum değerlendirmesi için İHA tabanlı bir fotogrametrik haritalama sistemi sunmuştur. Sonuçlar, İHA görüntülerinin asfaltsız yolların durumunu izlemek için gereken parametrelerin çoğunu yeterince çıkarabildiğini göstermiştir.

Daha sonraki bir çalışmada Zhang vd. (2012), görüntü işleme algoritmalarını kullanarak yüzey bozulmasının 3 boyutlu modellerini oluşturmak adına, kırsal yollar için veri toplamak amacıyla dijital görüntü tabanlı bir sistem geliştirmiş ve performansı test etmek için çıkarılan 3 boyutlu bilgileri kaplama bozukluklarının sahada ölçümleriyle karşılaştırmıştır. Sahadaki bozulmaların 3 boyutlu olarak yeniden yapılandırılması, bilgisayar uygulamasında kaplama bozulmasının 16 özelliği için 0,5 cm'lik sapma ile doğru ölçümlere olanak tanımıştır ve geliştirilen sistemin umut verici sonuçlarını göstermiştir.

Li vd. (2019), asfalt kaplamada meydana gelen bozulmaları belirlemek için Rastgele Orman Sınıflandırması (Random Forest Classification, RFC) kullanarak İHA LIDAR nokta bulutu verilerini analiz ederek bu veriler aracılığıyla, RFC modelini geliştirmek için kaplama bozulmalarının spektral ve mekansal bilgileri çıkarılmıştır. Toplam 48 özellik (örneğin yükseklik, yoğunluk, pürüzlülük, eğrilik, geometrik) modele dahil edilmiş ve bu bilginin kaplama bozulmalarının tespitinde etkili olduğu keşfedilmiştir. İHA LIDAR verilerinin kaplama durumu değerlendirmesinde etkili bir araç olduğu sonucuna varılmıştır. RFC yöntemiyle yapılan analizin doğruluğu, Destek Vektör Makinesi (SVM) ve Maksimum Olabilirlik (MLC) sınıflandırmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve RFC sonuçlarının daha doğru olduğu görülmüştür. Bozulma tanımlamasının genel doğruluğunun önemli olduğu kanıtlandı ve kaplama durumunu büyük ölçüde değerlendirme ve bakım uygulama yönteminin stabilitesini doğrulamıştır.

Helali vd. (2008), hem Sıcak Karışım Asfalt (HMA) hem de Portland Çimento Betonu (PCC) kaplamalar için, kasırga olaylarından önce ve sonra, kaplama yapısına verilen hasarı gösteren istatistiksel teknikler (T-testi ve ANOVA) yoluyla değerlendirildiğini

gösteren kaplama verilerinin karşılaştırmalı bir analizini gerçekleştirmiştir. Kasırga öncesi veriler, kaplama durumu hakkında önemli bilgiler sağlayan Üstyapı Yönetim Sistemi'nden alınmıştır. Her bölümün tahmin edilen performansı ile gerçek performansı karşılaştırarak bozulma oranı değerlendirilmiş ve geçmiş verilere dayanarak ortalama bozulma oranı belirlenmiştir. Fonksiyonel analizin sonuçları, su basmış kaplamaların PCC kaplamalarına göre önemli ölçüde daha fazla hasar gördüğünü ve HMA kaplamalarının daha fazla hasar gördüğünü göstermiştir.

Inzerillo vd. (2018), otomatik bozulma algılama sürecinde iyileştirme sağlamak amacıyla kaplamalar için 3 boyutlu yeniden yapılandırma modelleri oluşturmak amacıyla Yapı Biçimi Hareketi (Structure Form Motion- SfM) (sırasıyla İHA -SfM ve N-SfM) ile doğrudan operatörler tarafından alınan İHA hava görüntülerini kullanmıştır. Ortaya çıkan SFM modelleri, metrik ve görsel doğruluğu incelemek için karasal lazer taramalı modellerle karşılaştırılmıştır. Toplanan veriler, yeniden oluşturulan modelleri işlemek ve görselleştirmek için bir bilgisayar uygulaması olan Photoscan'a aktarılmıştır. N-SfM modeli için metrik doğruluğun daha yüksek olduğu sonucuna varılmış, ancak İHA-SfM, kaplama bozulmalarının ve yol durumunun büyük ölçekte hızlı bir şekilde tanımlanmasına olanak sağlamıştır. Bu nedenle, İHA-SfM modellerinin yolların ön incelemesi için faydasının olabileceği, N-SfM modellerinin detaylı değerlendirmeler için oluşturulabileceği önerisinde bulunulmuştur.

2.6.2 YOLO (You Only Look Once) Nesne Algılama Yaklaşımı

2.6.2.1 YOLO Mimarisi

YOLO (You Only Look Once), nesne algılama literatüründeki en iyi fikirlerin çoğunu kapsayan oldukça etkili bir nesne algılama yaklaşımıdır. İki aşamalı nesne dedektörlerinden farklı olarak YOLO, sınırlayıcı kutu koordinatlarını ve sınıf olasılıklarını uçtan uca türevlenebilir bir ağda doğrudan görüntü piksellerinden algılama yapmaktadır. Güven skorları, modelin kutunun bir nesne içerdiğine ve tahmin edilen kutunun doğru olduğuna dair kesinliğini yansıtır. Daha da önemlisi, bir nesnenin merkezinin düştüğü ızgara hücresi, o nesnenin algılanmasından sorumludur (Redmon vd.

2016). Son zamanlarda birçok Nesne Algılama Algoritması üstyapı değerlendirmesi yapan araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu algoritmaya ilişkin süreçler, sınırlayıcı kutuları ve sınıf olasılıklarını doğrudan tahmin etmek için tek bir sinir ağı kullanarak görüntüyü bir kez işlemektedir. Bu yaklaşım YOLO'yu son derece hızlı hale getirmektedir.

YOLO modeli, bir görüntüdeki nesnelerin türünü ve konumunu bir bakışta tahmin etmenize olanak tanıyan bir yapıyla karakterize edilir. “Yalnızca bir kez bak” mantığında çalışan model, hızlı tespit işlemi gerçekleştirdiği için bu ismi almıştır. YOLO modeli, sınırlayıcı kutu ve belirlenen sınıflardaki kategori olasılıklarını tahmin etmek için tek bir sinir ağı kullanmaktadır. Tek bir ağ kullanmak, sınıflandırma sürecini daha hızlı ve daha doğru hale getirmektedir. YOLO modeli, nesne tespitini bir regresyon problemine dönüştürerek her bir sınıfı ayrı ayrı ele alma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Bu regresyon işlemi, görüntüye bir kez bakarak çıktının sınıfını ve koordinatlarını tahmin etmemizi sağlamaktadır. Bu yaklaşım nesne algılamayı ve konumunu öğrenmeyi hızlandırmaktadır. Diğer nesne algılama modelleriyle karşılaştırıldığında YOLO modelinin nesne algılama süresi önemli ölçüde azdır. YOLO modeli, veri kümesindeki her görüntüyü kare hücrelere bölerek işlemektedir. Bir nesnenin merkezi bir ızgara hücresinin içindeyse, bu ızgara hücresi nesneyi algılar. Her bir ızgara hücresi, B sınırlayıcı kutularını ve bu kutular için güven değerlerini tahmin etmektedir. Güven değeri, modelin ne kadar kendinden emin olduğunu ve görüntünün nesneyi içerip içermediğini ne kadar doğru tahmin ettiğini göstermektedir. Kutu hiçbir nesne içermiyorsa güven değeri 0, eğer nesne içeriyorsa güven değeri 1’dir (Jiang vd. 2022).

2.6.2.2 YOLO Mimarisi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Mandal vd. (2018) ve Majidifard vd. (2020) tarafından yürütülen her iki çalışmada da YOLOv2’nin otomatik şekilde kaplama bozulmalarını analiz sistemlerinde kullanılarak üstyapıda oluşan çatlakların tespitini gerçekleştirmesi amaçlanmıştır.

Nie ve Wang (2019), gelişmiş bir gerçek zamanlı performans elde etmek ve daha iyi algılama doğruluğu sağlamak amacıyla YOLOv3’ü benimsemişlerdir.

Sarmiento (2021) tarafından yürütülen çalışmada hem üstyapıdaki bozulmaların tespiti hem de segmentasyon için derin öğrenmenin etkililiğinin ikili bir gösteriminde YOLOv4'e yer vermiştir.

Romero-Chambi vd. (2020), kaplama bakımının en uygun hizmet koşullarını sağlamayı amaçladığı ve bakımdan önce, yapılacak onarıma karar vermede çok önemli bir adım olan gözlem yoluyla kaplamanın durumunun bilinmesi gerektiği fikrinden yola çıkılarak insansız hava araçlarını (İHA'lar) üstyapı değerlendirmesinde kullanmışlardır. Yürütülen araştırmada, İHA tarafından elde edilen fotoğraflarla oluşturulan 3B modelleri kullanarak çukurları ölçmek ve bunları Motion-MultiView Stereo (SfM-MVS) tekniğine dayalı bir yazılım kullanarak işlemek için bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmanın katkısı, modellerin gerçekleştirilmesine yönelik fotoğrafların edinilmesine yönelik öneriler sunulması olarak ifade edilmiştir. Bu önerileri geliştirmek için, uçuş planlama parametrelerinin ve veri yakalamanın varyasyonu ve kombinasyonundan elde edilen görüntülerle 3B modellerin yeniden yapılandırılmasındaki doğruluğun değerlendirilmesi için bir deney gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu önerileri doğrulamak için, kaplamanın engebeli bir bölümü SfM-MVS yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Çalışma ile, 10 ve 15 m yükseklikler için bu metodolojinin kullanımının çukurların genişliği ve derinliğinin ölçümü için uygulanabilir olduğunu sonucu çıkarılmıştır.

Zhu vd. (2022), çalışmalarında yol kaplaması tehlikelerinin tespiti ve bakım planlanmasının karar verilmesinde yüksek çözünürlüklü insansız hava aracı (İHA) kullanılarak görüntü toplanmasını önermiştir. Görüntülerin toplanması için yüksek çözünürlüklü kamera insansız hava aracına monte edilip optimum görüntü kalitesi için uçuş ayarları yapılmıştır. Toplanan 3151 adet görüntü model eğitimi için işlenmiştir. Son teknoloji nesne algılama algoritmaları R-CNN, YOLOv3, YOLOv4 kullanılarak elde edilen fotoğraflar ile oluşturulan veri seti ile model eğitilmiştir. Yapılan çalışma sonrası %56 hassasiyetle YOLOv3'ün en iyi performans gösterdiği sonucu ortaya konulmuştur.

Kaplama sıkıntısı tespiti, bakım planlamasına yönelik karar vermede çok önemlidir. İnsansız hava araçları (İHA'lar) kaplama görüntülerinin toplanmasında yardımcı olur. Bu makale, yüksek çözünürlüklü bir kameraya sahip bir İHA kullanarak kaplama bozulma

bilgilerinin toplanmasını önermektedir. Kaplama görüntülerinin toplanmasına yönelik bir İHA platformu oluşturulmuş ve optimum görüntü kalitesi için uçuş ayarları üzerinde çalışıldı. Toplanan görüntüler model eğitimi için işlenmiş ve açıklamalar eklendi. Veri setini eğitmek için son teknoloji ürünü üç nesne algılama algoritması (Daha Hızlı R-CNN, YOLOv3 ve YOLOv4) kullanılmış ve tahmin edilen performansları karşılaştırılmıştır. Altı tür bozulmayı içeren bir kaplama görüntüsü veri seti oluşturulmuştur. YOLOv3, %56,6 ortalama hassasiyet (MAP) ile üç algoritma arasında en iyi performansı göstermiştir. Bu çalışmanın bulguları, tahribatsız otomatik kaplama koşullarının incelenmesine yardımcı olmaktadır (Zhu vd. 2022).

Çatlak, kazalara neden olmak gibi yol durumunu kötü yönde etkileyebilecek endişelerden biridir. Çatlakların erken tespiti, istenmeyen sorunların önlenebileceği ve önlenebileceği yol bakım sürecini iyileştirir. Genel olarak çatlak tespit işlemi insan muayenesi ile gerçekleştirilir. Ancak bu manuel teknik sıkıcı, zaman alıcı, zahmetli ve risklidir. Bu çalışma, derin öğrenmeyi kullanarak İnsansız Hava Aracı (İHA) görüntülerini kullanan otonom bir çatlak tespit sistemi önermiştir. Malezya'daki eyalet başkentlerini birbirine bağlamak için kullanılan federal yollara odaklanıyor. Tespiti gerçekleştirmek için Yalnızca Bir Kez Bakarsınız (YOLO) adı verilen derin öğrenme yaklaşımı uygulanır. Tespit işleminden önce eğitim amaçlı veri seti (görüntü) hazırlamak ve miktarını artırmak için çok sayıda görüntü ön işleme tekniği uygulanır. Bu aşamalar, derin öğrenmede veri hazırlığı, derin öğrenme tespit performansının ve genelleme yeteneğinin artırılması açısından çok önemlidir. Bir YOLOv4, bir MATLAB ortamı kullanılarak oluşturulur ve sağlanan İHA görüntülerindeki çatlakları tespit etmek üzere eğitilir. Önerilen stratejinin etkinliğini incelemek ve değerlendirmek için kesinlik, geri çağırma, F1 Puanı ve Ortalama Hassasiyet gibi istatistiksel ölçümlerden yararlanılır. İHA'nın manevrası için 10 m ve 20 m olmak üzere iki irtifa kullanıldı. Simülasyon bulguları, önerilen stratejinin YOLOv3 için 10 m yükseklikte %82,02 Ortalama Hassasiyet (AP) elde ettiğini ve YOLOv4 için 10 m yükseklikte %87,98 elde ettiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla YOLOv4'ün 10 m yükseklikteki İHA görüntülerinden kaplama çatlaklarını tespit etmede YOLOv3'ten daha iyi performans gösterdiği ifade edilebilir (Mahmud vd. 2023).

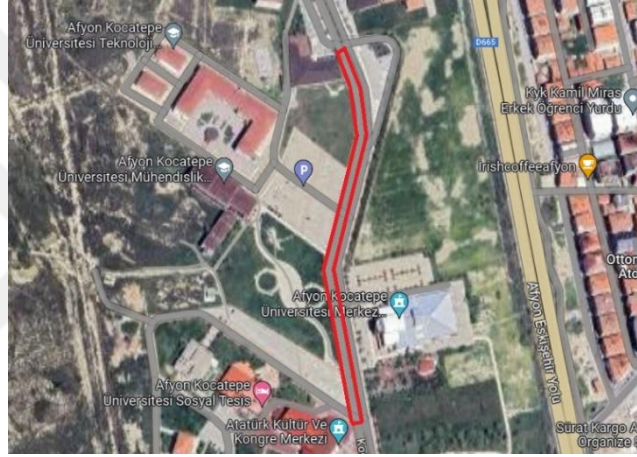
Karayolu çatlak tespiti açısından insansız hava araçları (İHA) ve derin öğrenme ağlarının kombinasyonu güçlü bir tespit aracı haline geldi. Ancak gerçek tespit, tespit verimliliğini hesaba katmak için, tespit alanının yeterince büyük olmasını sağlamak gerekir; bu da çatlağın görüntüde birkaç pikseli kaplamasına ve görüntü arka planının karmaşık olmasına neden olur. Bu nedenle bu çalışmada DJI Mavic3 görüntü veri setini oluşturmak için kullanılmıştır. Karayolu kaplaması karmaşık arka plan altında çatlaklar ve YOLOV5 derin öğrenme modeli, bir transformatör yapısı ve çift yönlü özellik piramit ağı özellik piramidi eklenerek geliştirildi. Geliştirilmiş YOLOV5 modeli %90 algılama doğruluğu ve 43,5 FPS algılama hızıyla gerçek zamanlı piksel düzeyinde algılama elde etti. Çatlak tespit yeteneği açısından geliştirilen YOLOV5'in doğruluğu dört piksele ulaşıyor ve yapılan deneyde 1,2 mm'lik çatlaklar tespit edilebilmiştir. YOLOV7 modeli ile karşılaştırıldığında geliştirilmiş YOLOV5 modelinin tespit doğruluğu %15,4 oranında artırılmıştır. YOLOV6 modeliyle karşılaştırıldığında geliştirilmiş YOLOV5 modelinin hesaplanan parametreleri %59,25 oranında azaltılmıştır. Önerilen modelin çatlak tespitinde diğer gelişmiş modellerden üstün olduğu görülmüştür (Xing vd. 2023).

Yollar zamanla hasar gören, ekonomik kalkınmayı ve sosyal faaliyetleri etkileyen temel ulaşım altyapılarından biridir. Bu nedenle, çatlak gibi yol hasarlarının doğru ve hızlı bir şekilde tespit edilmesi, daha fazla hasarın önlenmesi ve zamanında onarılması için gereklidir. Çatlakları tespit etmek için kullanılan geleneksel yöntemler, çeşitli sensörlerle donatılmış araştırma araçlarının kullanılması, yol yüzeyinin görsel olarak incelenmesi ve görüntü işlemede tanıma algoritmalarıdır. Ancak tanıma işlemlerinin bu yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmesi yüksek maliyet, düşük doğruluk ve hız ile ilişkilidir. Son yıllarda derin öğrenme ağlarının nesne tanıma ve görsel uygulamalarda kullanımı artmış ve bu ağlar geleneksel yöntemlere uygun bir alternatif haline gelmiştir. YOLOv4 derin öğrenme ağı, 2000 RGB görünür görüntüden oluşan bir dizi kullanarak enine, boyuna, timsah tipi ve eğik çatlakların dört tipini tanımak için kullanıldı. Çoklu evrişim katmanlarına sahip önerilen ağ, girdi görüntülerinden doğru anlamsal özellik haritaları çıkarır ve yol çatlaklarını dört sınıfa sınıflandırır. Bu ağ, eğitim aşamasında %1 hata ve %77 F1-Skor, %80 hassasiyet, %77 hatırlama ve %81 birleşim üzerinden kesişme (IoU) ile tanıma işlemini gerçekleştirmektedir (Samadzadegan vd. 2023).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

Çalışmalar ANS kampüsü içerisinde TUAM – Mühendislik Fakültesi kavşağı arasındaki 450m uzunluğundaki yol gözlem yolu olarak belirlenmiştir. Şekil 3.1’de gözlem yolunun Google Haritadan alınan uydu resmi görülmektedir. 50 m’lik kesimlere ayrılması amacıyla çelik şerit metre ve güzergah mesafe şablonu kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan çelik şerit metre, İnşaat Mühendisliği Bölümü envanterinden temin edilmiştir.



Şekil 3.1 ANS Kampüsünde çalışmaların gerçekleştirildiği yol kesimi

Bu çalışmada DJI firmasının ürettiği 249 gr ağırlığındaki 4 motorlu DJI Mini 2 modeli kaplama veri seti oluşturulması için kullanılmıştır. Kullanılan İHA’nın görselleri Resim 3.1’de, teknik özellikleri ise Çizelge 3.1’de verilmiştir (İnt. Kyn. 3).



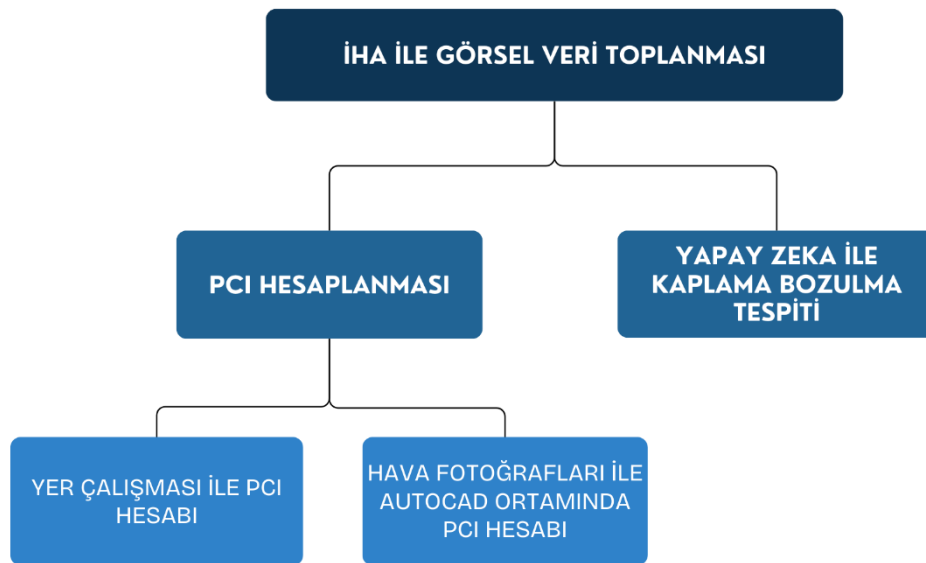
Resim 3.1 Proje çalışması kapsamında kullanılan DJI Mini 2 İHA görseli

Çizelge 3.1 DJI Mini 2 İHA teknik özellikleri

Ölçüler	139x81x55 mm
Kalkış Ağırlığı	249 mm
Fotoğraf	1/2.3" CMOS, 12 MP, JPEG/RAW
Video	4K/30 fps
Maksimum Hız	57,6 km/h
Maksimum Uçuş Süresi	31 dk
Engel Algılama	Alt
Maksimum İletim Mesafesi	10 km
Rüzgar Direnci	Seviye 5

3.2 Yöntem

Bu çalışma kapsamında İHA yardımı ile yol üzerinden toplanan görsel verilerden sonra iki farklı metotla PCI hesabı yapılmıştır. İlk olarak yer gözlemcileri tarafından yapılan PCI sonuçları hava fotoğraflarının bilgisayar ortamında AutoCAD programı yardımıyla hesaplanan PCI sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca İHA ile elde edilen veriler üzerinden YoloV5 derin öğrenme modelleri kullanılarak eğitilen bozulma çeşitlerinin otomatik tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya ait iş akış şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.

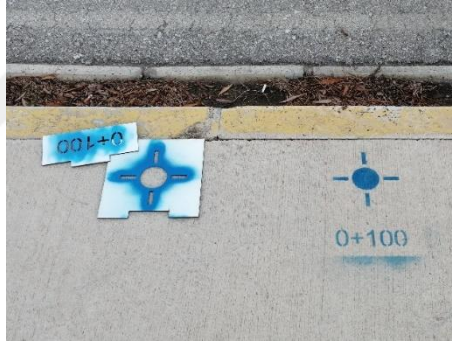


Şekil 3.2 İş akış şeması

3.2.1 PCI Hesaplaması

3.2.1.1 Arazi Çalışması İle PCI Hesaplama

Araştırmada güzergâh olarak seçilen Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü içerisindeki yolun 450 m'lik kısmı, 50 m'lik bölümlere ayrılıp her 50 m'de bir spreyl boya ve güzergâh mesafe şablonu kullanılarak işaretleme yapılmıştır (Resim 3.2). Belirlenen güzergâhlar neticesinde 50 m'lik kesimlerin PCI değerlerinin hesaplanması için trafik güvenliği göz önünde bulundurulmuştur. Teknik personel görünürlüğü arttırmak amacıyla fosforlu yelek giymiş olup çift şeritli yolun bir şeridi dikkat-yavaş uyarı levhaları yerleştirildikten sonra trafik dubaları ile trafiğe kapatılarak güvenlik önlemleri alınmıştır (Resim 3.3). Gerekli güvenlik önlemleri alındıktan sonra saha ekibi ile belirlenen 50 m'lik kesimlerin PCI hesabı görsel inceleme metoduyla yapılmıştır (Resim 3.4).



Resim 3.2 Güzergâh işaretlemesi



Resim 3.3 Güvenlik önlemleri

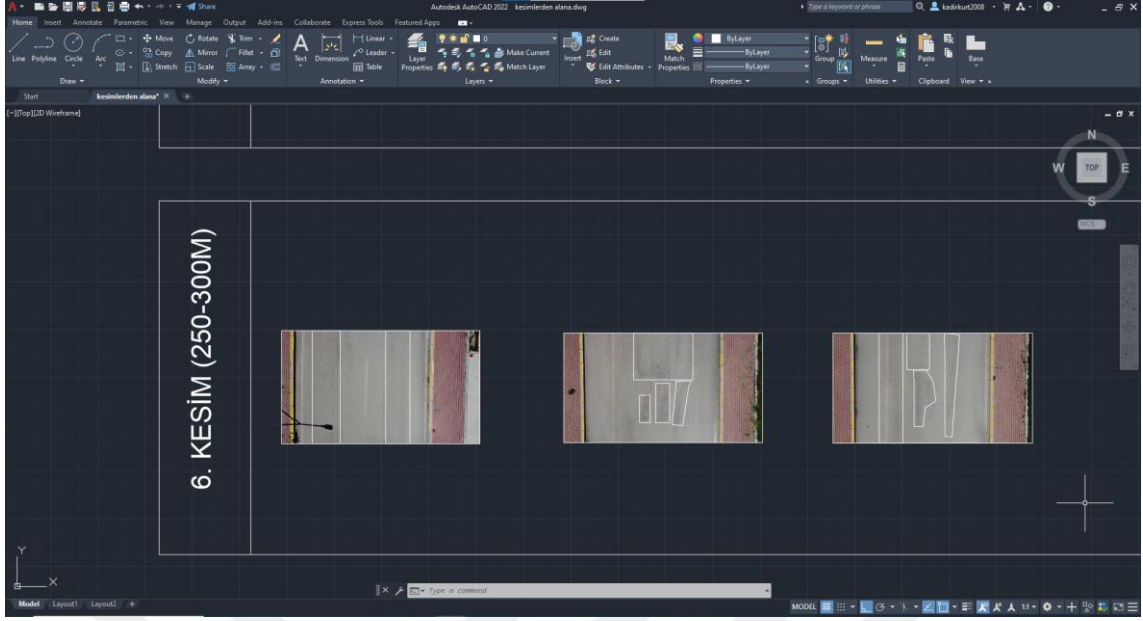


Resim 3.4 Saha alışmaları

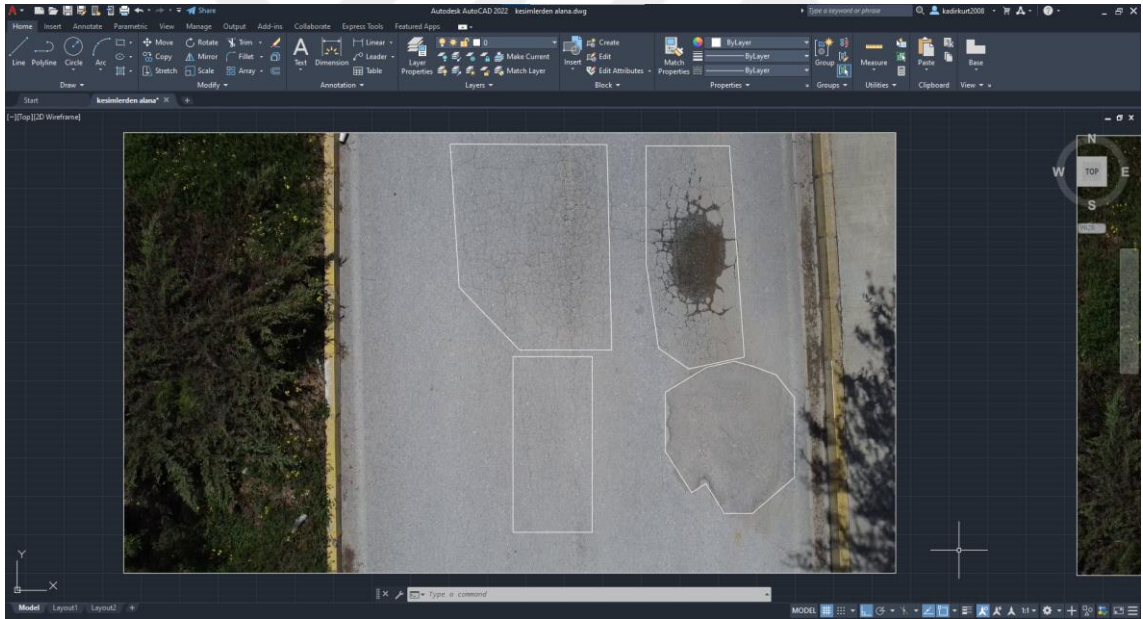
Gözlem yolu 50 m’lik 9 farklı kesime ayrılarak PCI (Kaplama Durum İndeksi) değeriendirilmesi ASTM 6433-03’a standardına göre gerçekleştirilmiştir (ASTM D 6433-03, 2005)

3.2.1.2 Bilgisayar Ortamı İle PCI Hesaplama

Kullanılan insansız hava aracı ile elde edilen videolar üzerinden png formatında çıktı alınan fotoğraflar kullanılarak inceleme yapılacak 9 kesimin görselleri bilgisayar ortamında PCI değeriendirilmesi için Autocad programına aktarılmıştır (Resim 3.5). Aktarılan görseller ölçüsü sabit nesnelere göre ölçeklenip (kaldırım taşı vb.) fotoğraflar üzerinden bozulma alan tespiti gerçekleştirilmiştir (Resim 3.6).



Resim 3.5 Kesimlerin Autocad ortamına aktarılması



Resim 3.6 Autocad ortamında bozulma alanlarının tespiti

3.2.1.3 PCI Değeri Hesaplama

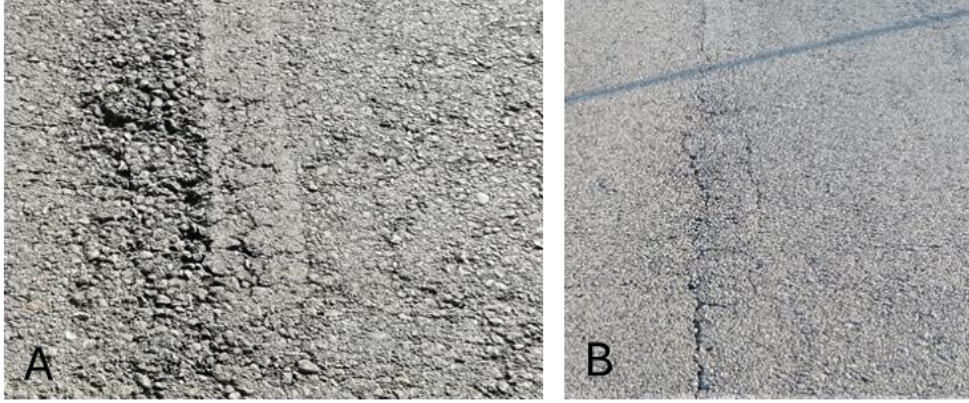
Arazi çalışması sırasında, bölüm incelenerek bozulmalar şiddet seviyelerine göre tanımlanıp sınıflandırılmıştır. Ölçümler standartlara uygun olarak alınıp ve her bir bozulma türü için fotoğraflar çekilmiştir. Veriler, bozulma numaralarını içeren, önceden

düzenlenmiş bir saha veri formuna dikkatlice kaydedildi. Örnek veri formu Şekil 3.3'te verilmiştir.

ASFALT KAPLAMALI YOLLAR VE PARK ALANLARINDA ÖRNEK ALAN İÇİN ÜST YAPI DURUM İNCELEME SAYFASI				KROKİ:		
BÖLÜM: AKÜ KESİM: 07 ÖRNEK ALAN: İNCELEYEN: KADİR KURT TARİH: 18/02/2023 ALAN: 350,5m ²				Çalışma Yönü → 7.02m (7.01*50) m ² 7.00m		
1. Timsa Sırtı Çatlağı (m ²) 6. Çökme (m ²) 11. Yama (m ²) 16. Toplanma (m ²) 2. Kusma (m ²) 7. Kenar Çatlağı (m) 12. Cilalanma (m ²) 17. Tabaka kayması çatlağı (m ²) 3. Blok çatlak (m ²) 8. Yansıma Çatlağı (m) 13. Oyulma (sayı) 18. Şişme (m ²) 4. Kabarma ve oturma (m) 9. Kenar/Banket Düşüklüğü (m) 14. Demiryolu geçişi (m ²) 19. Sökülme ve ayrışma (m ²) 5. Ondülasyon (m ²) 10. Boyuna ve enine çatlak (m) 15. Tekerlek izi (m ²)						
#	Bozulma Tipi	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Alan (m ²)	0+00 olan mesafe (m)	Foto No
1	19D	7,70	0,50	3,52	300,00	1407
			0,45			
			0,42			
		7,70	0,46			
2	19D	4,60	0,58	2,62	300,00	1334
			0,57			
			0,49			
			0,61			
			0,63			
			0,56			
			0,54			
		4,60	0,57			
3	10	1,50	1,10	1,65	307,40	1846
4	1D	7,60	1,47	11,40	310,50	3021
			1,50			
			1,53			
		7,60	1,50			
5	19D	8,50	0,60	4,48	310,50	3026
			0,58			
			0,40			
		8,50	0,53			

Şekil 3.3 PCI değerlendirmesi için hazırlanan veri formu

Sahada fotoğrafı çekilen örnek yol bozulmaları Resim 3.7’de verilmiştir.



Resim 3.7 Yol bozulmaları; A) Ayrışma - Yüksek şiddetli, B) Enine çatlak - Orta şiddetli

Arazi çalışması tamamlandıktan sonra, her bozulma türü için toplam miktarlar, her bozulmanın ayrı ayrı alanları toplanarak belirlenmiştir (Şekil 3.4)

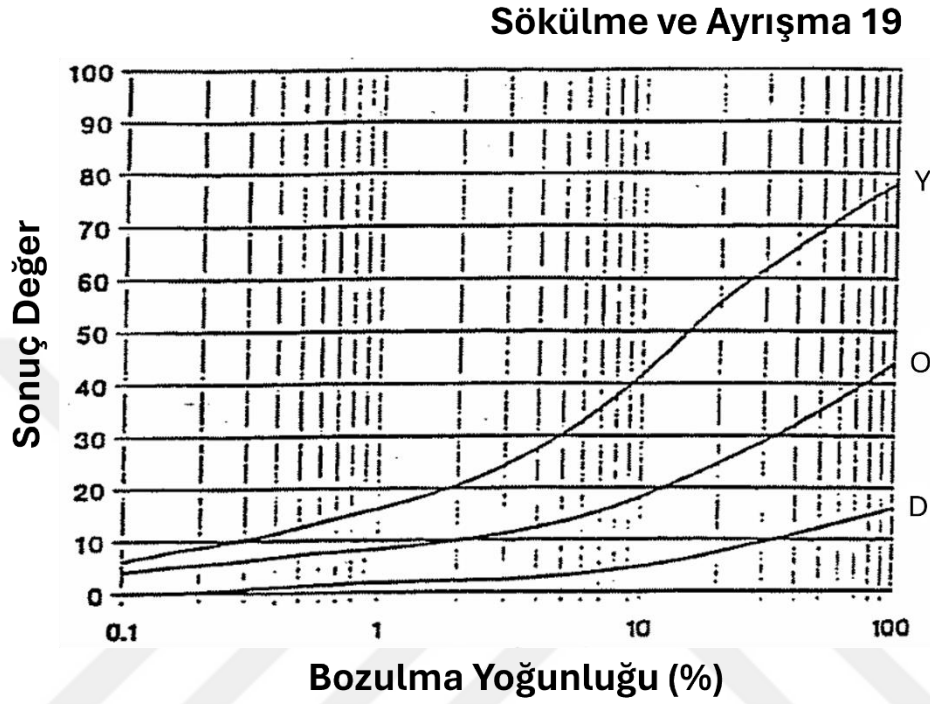
ASFALT KAPLAMALI YOLLAR VE PARK ALANLARINDA ÖRNEK ALAN İÇİN ÜST YAPI DURUM İNCELEME SAYFASI							KROKİ:			
BÖLÜM: AKÜ		KESİM: 07		ÖRNEK ALAN:			7.10m	Çalışma Yönü → 356,5 m ²		7.16m
İNCELEYEN: Kadir TARİH: 18/02/2023 ALAN: 350,50 m ²							50m			
1. Timsa Sırtı Çatlağı (m ²)		6. Çökme (m ²)		11. Yama (m ²)		16. Toplanma (m ²)				
2. Kusma (m ²)		7. Kenar Çatlağı (m)		12. Cilalanma (m ²)		17. Tabaka kayması çatlağı (m ²)				
3. Blok çatlak (m ²)		8. Yansıma Çatlağı (m)		13. Oyulma (sayı)		18. Şişme (m ²)				
4. Kabarma ve oturma (m)		9. Kenar/Banket Düşüklüğü (m)		14. Demiryolu geçişi (m ²)		19. Sökülme ve ayrışma (m ²)				
5. Ondülasyon (m ²)		10. Boyuna ve enine çatlak (m)		15. Tekerlek izi (m ²)						
BOZULMA TİPİ	MİKTAR							TOPLAM	YÜZDE %	SONUÇ DEĞER
	a	b	c	d	e	f	J			
19D	3,52	2,62	4,48	9,74	1,01	0,90		22,26	6,24	4,50
1D	11,40	20,39	6,74	1,29	0,59			40,41	11,34	35,00
1O	1,65							1,65	0,46	15,00
10D	2,20	17,10						19,30	5,41	5,00
10O	4,60							4,60	1,29	4,50

Şekil 3.4 PCI hesaplama formu

Düşük şiddetteki sökülme ve ayrışma (19D) bozulma türü için toplam miktar tüm alanlar toplanarak 22,26 m² olarak hesaplanmıştır.

Her bozulma tipine ait her şiddet düzeyindeki kayıtların toplamı örnek alanın alan boyutuna bölünerek 100 katı kadar çoğaltılarak bozulmanın örnek alan içindeki ağırlığı hesaplanmıştır. 19D bozulma türü için ağırlık hesabı sonucu %6,24 olarak hesaplanmıştır

Bulunan bu ağırlıklarla bozulma yoğunluk düzeyi bilgisi uygun eğri grafiğinden okunarak Sonuç değerler (SD) elde edilir. Her bozulma türü, SD'yi hesaplamak için özel bir grafik kullanır. Şekil 3.5'te “ Sökülme ve Ayırışma Grafiği” verilmiştir.



Şekil 3.5 Sonuç değer grafiği – sökülme ve ayırışma (ASTM D 6433-03, 2006)

Bulunan sonuç değerler azalan sırayla listeledikten sonra en büyük sonuç değer sayısı (ESD) yardımı ile maksimum kabul edilebilir sonuç sayısı (M) için, denklem (3.1) kullanılmaktadır.

$$M = 1 + (9/98) (100 - ESD) \quad (3.1)$$

SD'lerin sayısı M'den küçük olduğu zaman tüm sonuç değerleri kullanılarak maksimum düzeltilmiş sonuç değeri (DSD) hesaplanmaktadır.

Sonuç değeri 2'den büyük olan sonuç değerlerin sayısı (q) belirlenir. Bu örnekte q = 5'dir. Çizelge 3.2'de M ve q değeri sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.2 M ve q sonuçları

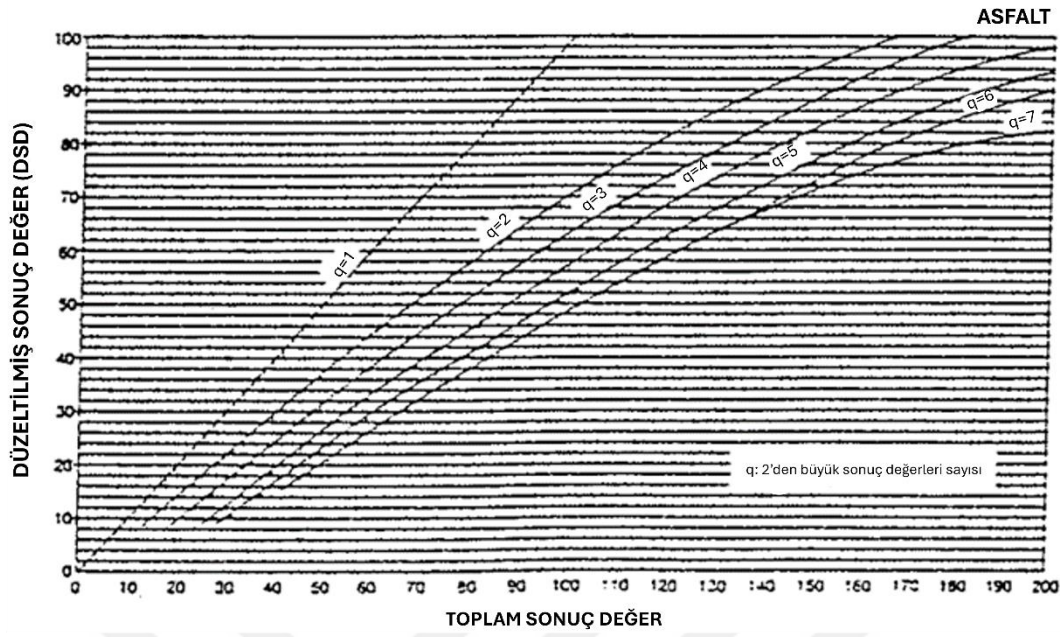
Azalan SD	M*	q
35	6,97	5
15		
5		
4,5		
4,5		

2'den büyük ve 2'ye en yakın sonuç değeri 2 yaparak başlangıç q değeri bir azaltılır. q değeri 1'e eşit oluncaya kadar bu adımlar tekrarlanır. Çizelge 3.3'te toplam sonuç değerler, q ve DSD sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.3 Toplam SD, q ve DSD sonuçları

	SD					Toplam SD	q	DSD
1	35	15	5	4,5	4,5	64,00	5	32,00
2	35	15	5	4,5	2	61,50	4	34,00
3	35	15	5	2	2	59,00	3	37,00
4	35	15	2	2	2	56,00	2	41,00
5	35	2	2	2	2	43,00	1	43,00

Toplam sonuç değeri ile q değeri verileri kullanılarak düzeltilmiş sonuç değerler grafiğinden DSD okunur. Şekil 3.6'da Asfalt kaplamalı yollar için düzeltilmiş sonuç değer eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.6 Asfalt kaplamalı yollar için düzeltilmiş sonuç değer eğrileri (Shahin 2002)

Örnek alana ait PCI sonucu denklem 3.2’de verildiği gibi en büyük düzeltilmiş sonuç değeri (EDSD), 100 ‘den çıkarılarak 57 olarak hesaplanmıştır.

$$PCI = 100 - EDSD \quad (3.2)$$

PCI derecelendirme ölçeğini kontrol ederek, yol durumu 'Vasat' olarak belirlenmiştir. (Şekil 3.7)

• KORUYUCU • DÜZELTİCİ • ACIL	BAKIM	100		İYİ	YÜZEYSEL İŞLEM
		85		TATMİN EDİCİ	
	BÜYÜK ONARIM	70		VASAT	KAZIMA KALDIRMA TAKVİYE
		55		ZAYIF	
YENİDEN YAPIM		40		ÇOK ZAYIF	YAPISAL TABAKALAR
		25		AĞIR	
		10		BİTİK	
		0			

Şekil 3.7 PCI Değerlendirme ölçeği

3.2.2 İHA ile Yapılan Uçuşlar ve Alınan Fotoğraflar Üzerinde Bozulma Tespit Çalışmaları

Gerçekleştirilen tezde yapay zekâ kullanılarak drone uçuşu ile elde edilen videolar ve fotoğraflar üzerinden hasarlı olan yolun tespit işlemi gerçekleştirilmiştir. Eğitim işlemi sonucunda elde edilen model ile videolar üzerinden hasarlı yolun nerede ve ne şekilde hasara sahip olduğu belirlenmiştir. İnsanların göz ile tek tek uzun uğraşlar sonucunda tespit etmesi yerine zamandan ve enerjiden tasarruf ederek daha hızlı ve doğru bir şekilde tespit etme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü içerisinde 50 m'lik 9 kısımdan oluşan toplam 450 m uzunluğundaki yolun PCI hesaplamaları Görsel İnceleme Metoduyla yapıldıktan sonra İnsansız Hava Aracı (İHA) ile optimum uçuş değerlerinin belirlenmesi ve görüntü işleme için veri seti oluşturmak amacıyla uçuşlar yapılmıştır.

Bir İHA kullanılarak kaplama görüntülerini elde etmek için birkaç önemli adım vardır. İHA uçuş parametreleri ve kamera parametreleri de dahil olmak üzere parametreler görüntü kalitesini sağlamak için hesaplanmalıdır. Uçuş görüntüsünde yeterli görüntü kapsama alanı sağlamak için gözlem yolu boyunca uçuş rotası planlamak gerekmektedir.

3.2.2.1 Uçuş Yüksekliği

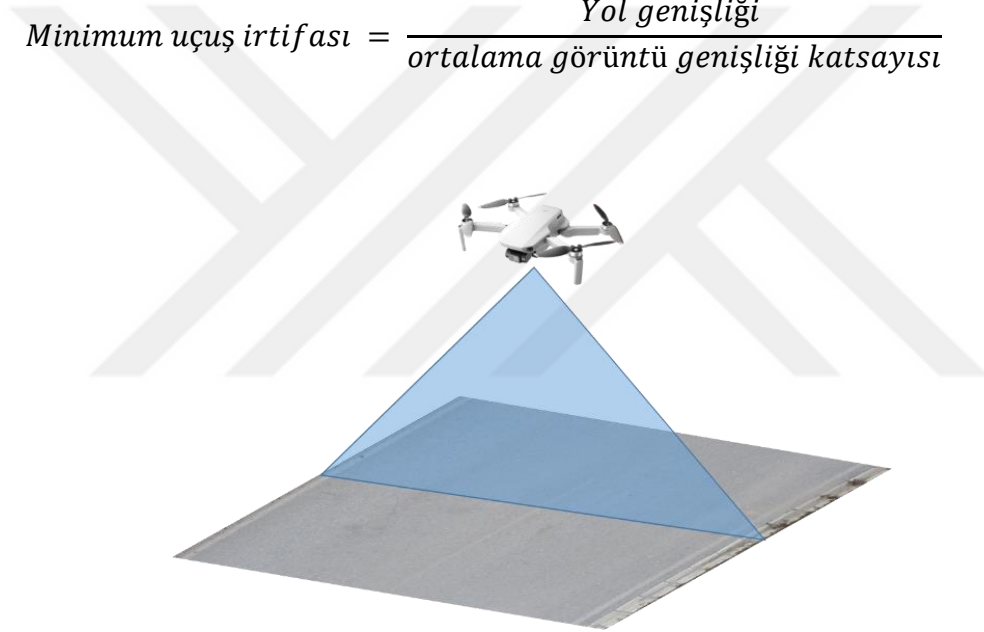
İHA'nın uçuş yüksekliği, özellikle sabit bir kamera odak uzaklığına sahip olduğunda kaplama görüntü boyutunu etkiler. Daha yüksek bir uçuş irtifası görüntüdeki nesne boyutunun daha küçük olmasına neden olur. Yol kaplamasının tüm genişliğini görüntüye almak için minimum bir uçuş yüksekliği gereklidir. Uçuş yüksekliği ve görüntü boyutu arasındaki ilişki görsel ölçekleme yöntemi ile test uçuşları yapılarak tespit edilmiştir. Uçuş yaptığımız gözlem yolu güzergahı üzerindeki tek yön yolun çift şerit genişliği ölçülüp belirli bir irtifadan örnek görüntü alındığında alınan görüntü üzerinden ölçekleme yapılarak irtifaya bağlı olarak ortalama bir görüntü genişliği katsayısı hesaplanıp Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Görsel ölçekleme katsayısı

Uçuş Yüksekliği (m)	Görüntü Genişliği (m)	Genişlik/Yükseklik
7,9	10,51	1,33
8	10,53	1,32
8	10,47	1,31
ORTALAMA:		1,32

Bu hesaba göre ortalama 6 m çift şerit genişliği olan bir yol kesiminde kaplama veri seti oluşturmak için minimum uçuş irtifası denklem (3.3) kullanılarak 4,55 m olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.8’de minimum uçuş yüksekliğinin gösterimi verilmiştir.

$$\text{Minimum uçuş irtifası} = \frac{\text{Yol genişliği}}{\text{ortalama görüntü genişliği katsayısı}} \quad (3.3)$$



Şekil 3.8 Minimum uçuş yüksekliği

Uçuş güzergahı güvenliği, uçuş irtifasında dikkate alınması gereken önemli bir husustur. Bir yol güzergahı üzerinde uçuş sırasında karşılaşılabilecek yaygın engeller arasında trafik işaretleri, ağaçlar, elektrik direkleri ve telleri, aydınlatma direkleri ve sokak hayvanları yer alır. Çarpışmayı engellemek için minimum uçuş yüksekliğinin tespiti gereklidir. ANS kampüsü içerisindeki yollarda karşılaşılabilecek engellerin yükseklikleri tespit edilip optimum uçuş yüksekliği 8 m olarak belirlenmiştir.

3.2.2.2 Uçuş Hızı

İHA ile gerçekleştirilen uçuşlar manuel olarak gerçekleştirildiğinden sabit bir uçuş hızı söz konusu olmamaktadır. İHA pilotunun hassasiyeti düzeyinde uçuşlar 0,4 m/s'lik hız ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.3 Uçuş Görevi

İHA kaplama görüntüleri ANS kampüsü içerisinde TUAM – Mühendislik Fakültesi kavşağı arasındaki 450 m uzunluğundaki gözlem yolundan elde edildi. Bu kaplama kesiminde farklı türde asfalt kaplama sorunları meydana gelmiştir. Kullanılan DJI Mini 2 İHA'da rota planlama özelliği olmadığı için görev uçuşları irtifa ve yatay hız korunmak şartı ile pilot tarafından manuel olarak görev uçuşları gerçekleştirilmiştir.

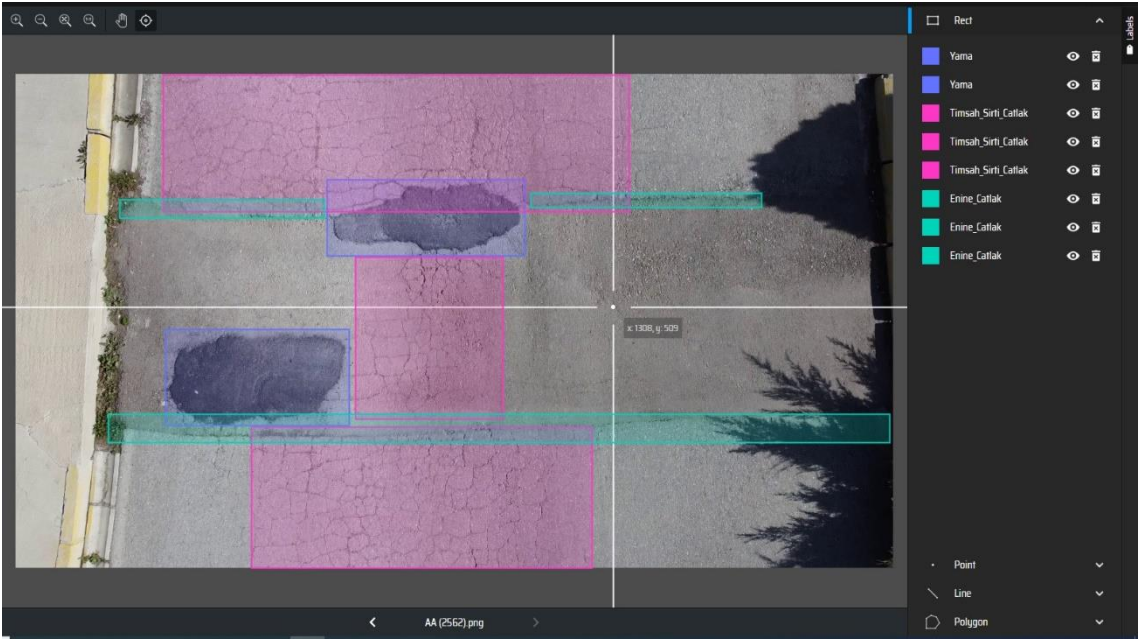
3.2.2.4 Görsel Veri Seti Oluşturulması

Veri seti için gerekli görseller Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü içerisinde gidiş-geliş 4500 m'lik güzergahta toplanmıştır. Uçuşlar 8 m irtifada 0,4 m/s hızda 1080p/30 fps olarak gerçekleştirilmiştir. Toplanan videolar daha sonra Python programlama dili kullanılarak 2 sn'de 1 fps yani 2 sn de 1 fotoğraf alacak şekilde png formatında görsellere ayrılmıştır. Örnek görsel Resim 3.8'de verilmiştir.



Resim 3.8 Veri seti toplama uçuşundan örnek bir görsel

Toplanan bu görüntüler “makesense.ai” sitesi üzerinden tespit edilecek dört farklı sınıf kaplama hasarı (enine çatlak, boyuna çatlak, timsah sırtı çatlak, yama) tiplerine göre sınıflandırılmış, dikdörtgen etiketleme yöntemi kullanılarak veri etiketleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Resim 3.9).

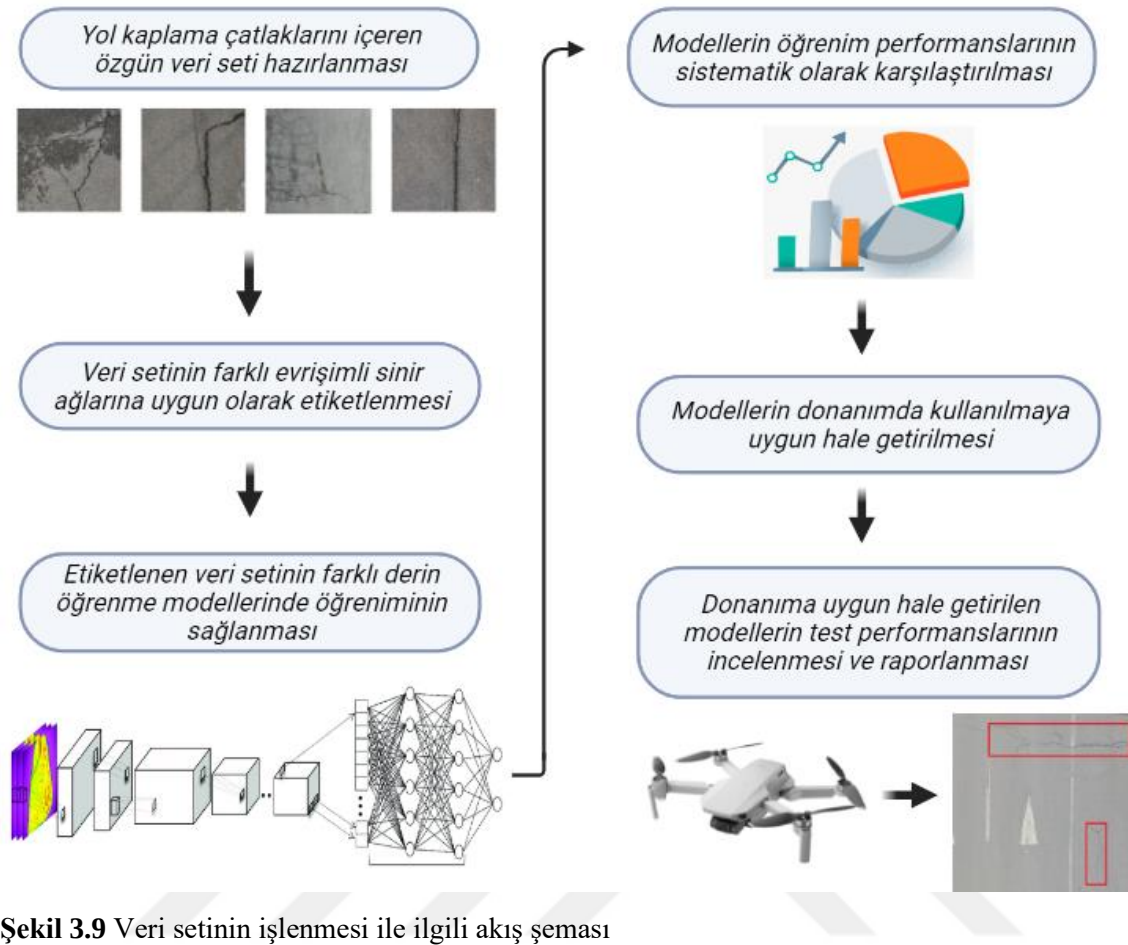


Resim 3.9 Veri etiketleme işlemi

3.2.2.3 Veri Setinin Hazırlanması ve Modelin Eğitilmesi

YOLO modelinin eğitilmesi için öncelikli olarak veri seti hazırlanmıştır. DJI firmasına ait DJI Mini 2 drone ile Afyon Kocatepe Üniversitesi içerisinde bulunan yollarda farklı zamanlarda uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Verilerin daha doğru olması için güneş açısının farklı geldiği zamanlar belirlenerek özellikle o alanlarda uçuşlar yapılmıştır. Drone ile uçuş esnasında Full HD çözünürlükte videolar ve fotoğraflar çekilmiştir. Veri setinin oluşturulacağı alan incelendiğinde 19 farklı bozulma tipi içerinden ağırlıklı olarak 4 tanesinin olduğu gözlemlenmiştir. Uzun sürede oluşturulan veri seti düzenlenerek etiketleme işlemine geçilmiştir. Make Sense AI web sitesi üzerinden “Timsah sırtı çatlak, enine çatlak, boyuna çatlak ve yama” olarak 4 farklı sınıfta etiketleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Etiketleme işlemi ardından YOLOv5s, YOLOv5sm, ve YOLOv5x derin öğrenme modellerinde 70 epok için eğitimler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.9’da verilen akış şeması çalışmanın genel hatlarını ifade etmektedir. İlk aşama da öğrenim aşamasının önemli bir kısmını oluşturacak olan yol kaplama çatlaklarını içeren veri setinin farklı sınıflar (Yama, Enine Çatlak vb.) için özgün olarak hazırlanma işlemi yer almaktadır. Sonraki aşamada 4 farklı sınıfı içeren veri setinin, kullanılacak derin öğrenme modelleri (YoloV5s, YoloV5m, YoloV5x) için farklı etiket işlemlerinin yapılmasıdır. Etiket işlemi kendi içinde dikdörtgen, poligon, nokta, çizgi vb. şekilde ayırım göstermektedir. Bu ayırımın sebebi, derin öğrenme modellerinden istenilen çıktı şeklinin aynı olmamasıdır. Eğitimin çıktıları maskeleme, segmentasyon, tespit gibi uygulamalar ile farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, kullanmak istediğimiz derin öğrenme modellerine uygun etiketleme işlemlerinin yapılması önem taşımaktadır. Etiketleri tamamlandı, öğrenim aşamasına hazır hale getirilen veri setinin farklı derin öğrenme modellerine tanıtılması ile öğrenim aşaması başlatılmaktadır. Deneysel çalışmalar Microsoft Visual Studio Code ortamında Intel (R) Core (TM) i7-10700 CPU 2.90GHz, 128 GB RAM, NVIDIA GeForce RTX 4070 Ekran kartı üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Python programlama dili ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak mevcut bozulmalar hava fotoğraflarından tespit edilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Resim 3.10).



Resim 3.10 Yapay zeka ile tespit edilen bozulmalar

4. BULGULAR

4.1 PCI Sonuçları

4.1.1 PCI Yer Çalışması Sonuçları

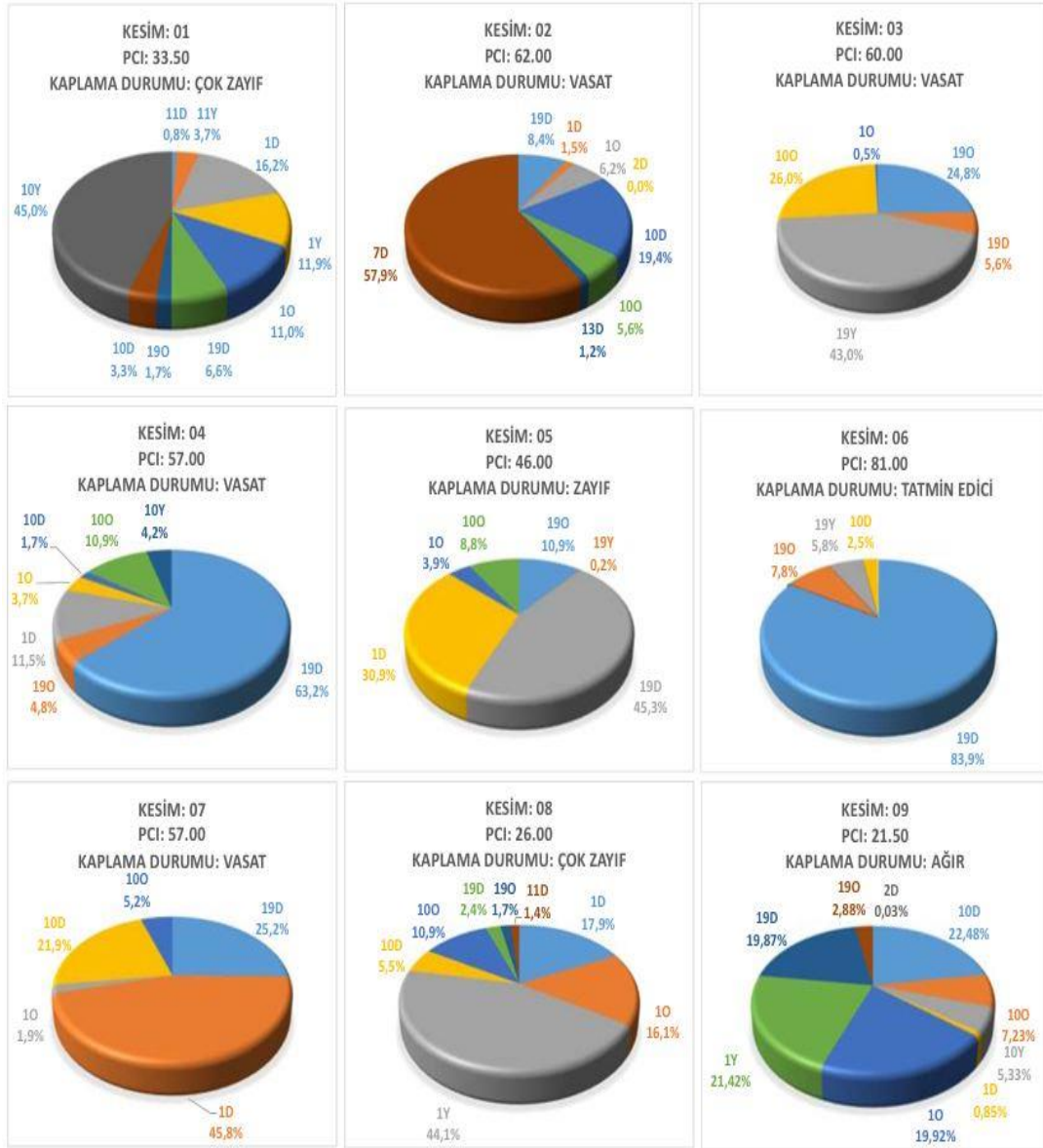
Yapılan saha çalışmaları ve hesaplamalar sonucunda yolun PCI değeri hakkında bilgiler elde edilmiştir. 50 m’lik yol kesimlerinin PCI sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Sonuçların grafik hali ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

02, 03, 04, 05, 06 ve 07 bölümler 'deki PCI'nın ortalama değeri 60,50 olarak hesaplanıp yol durumu “Vasat” durumdadır.

01, 08 ve 09 bölümler 'deki PCI'nın ortalama değeri 27,00 olarak hesaplanıp yol durumu “Ağır” durumdadır.

Çizelge 4.1 PCI Yer çalışması sonuçları

Kesim No	Güzergah	PCI Değeri
1	+0,000 / +0,050	33,5
2	+0,050 / +0,100	62
3	+0,100 / +0,150	60
4	+0,150 / +0,200	57
5	+0,200 / +0,250	46
6	+0,250 / +0,300	81
7	+0,300 / +0,350	57
8	+0,350 / +0,400	26
9	+0,400 / +0,450	21,5



Şekil 4.1 Kesimlere göre PCI Sonuçları

02, 03, 04, 05, 06 ve 07. bölümlerde önleyici bakım önlemlerinin uygulanması önerilir. Örneğin çatlakları kapatma ve bozulmuş yol bölümlerini kazıyıp yerine yenilerini yapma gibi düzenli bakım faaliyetlerini içerir. Yol durumunun kötüleşmesini önlemek için, bu tür onarımlara beş yıl içinde başlamak ve fazla beklememek önemlidir.

01, 08 ve 09 Bölümlerde hemen uygun bakım ve rehabilite çalışmalarının yapılması önerilir. Bu, hasar görmüş malzemenin çıkarılması ve yerine yeni asfalt veya uygun yama

malzemesi koyma gibi işleri içerebilir veya sürüş kalitesini iyileştirmek için uygun drenaj iyileştirmelerini de içerebilir.

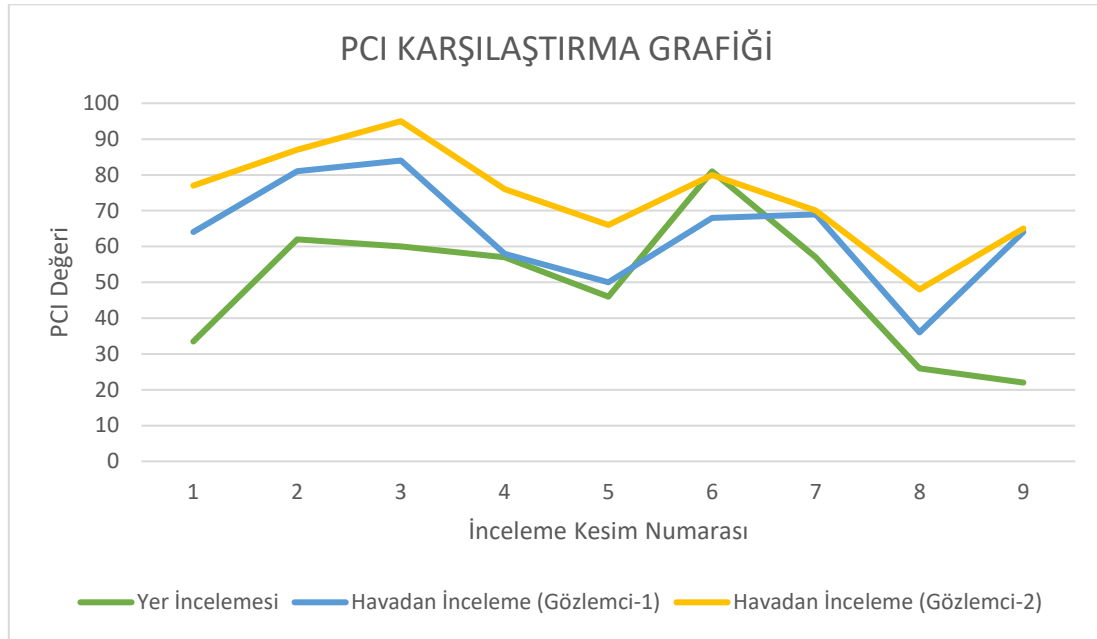
4.1.2 PCI Autocad Ortamı İnceleme Sonuçları

Bilgisayar ortamına aktarılan görüntüler Autocad programı üzerinden ölçeklenip incelendiğinde 2 farklı gözlemci tarafından PCI değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 PCI Sonuçları

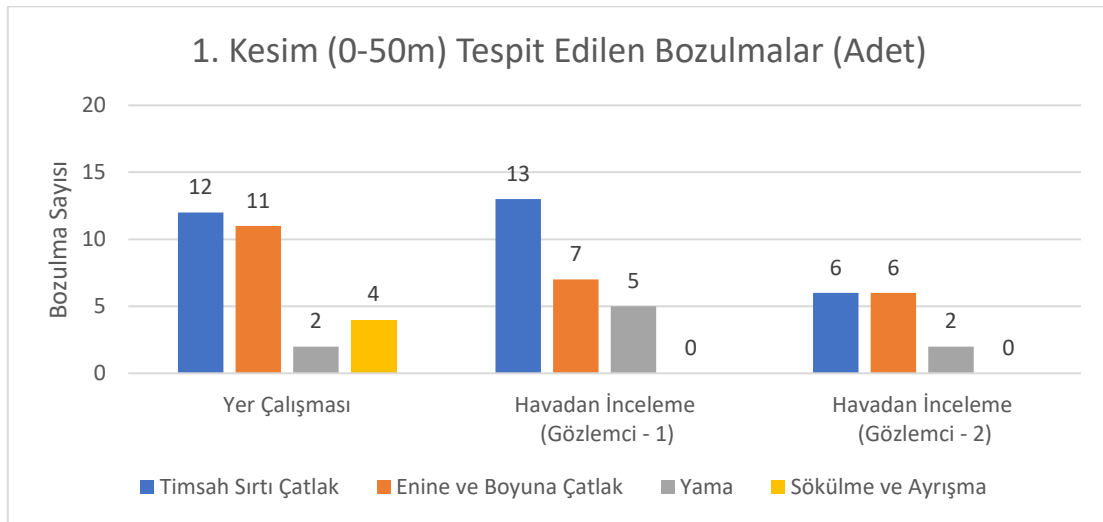
Kesim No	Güzergah	PCI Değeri	Havadan İnceleme (Gözlemci-1)	Havadan İnceleme (Gözlemci-2)
1	+0,000 / +0,050	33,5	64	77
2	+0,050 / +0,100	62	81	87
3	+0,100 / +0,150	60	84	95
4	+0,150 / +0,200	57	58	76
5	+0,200 / +0,250	46	50	66
6	+0,250 / +0,300	81	68	80
7	+0,300 / +0,350	57	69	70
8	+0,350 / +0,400	26	36	48
9	+0,400 / +0,450	21,5	64	65

Şekil 4.2’de PCI karşılaştırma grafiği verilmiştir.



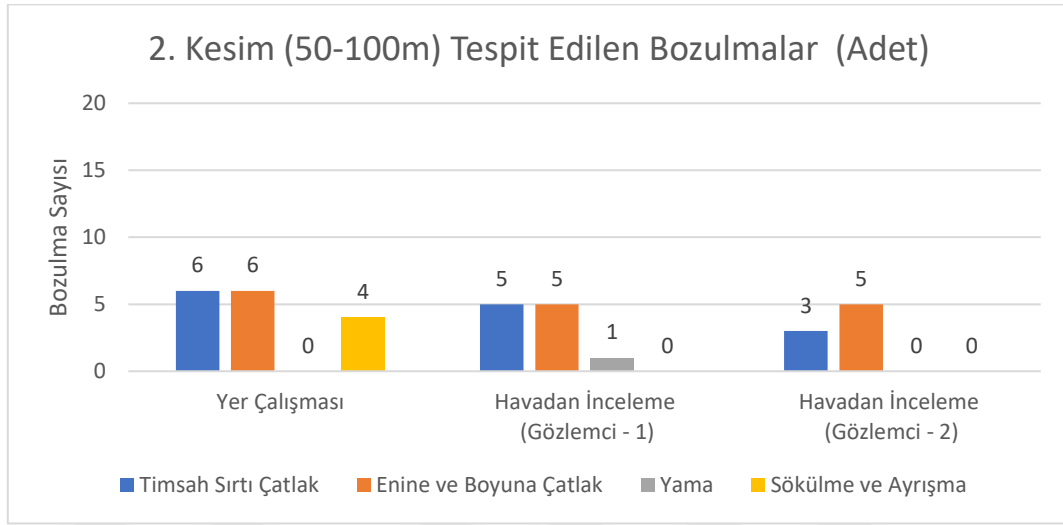
Şekil 4.2 PCI karşılaştırma grafiği

Şekil 4.3’te 1. kesimde tespit edilen bozulmaların sayıları grafiksel olarak verilmiştir.



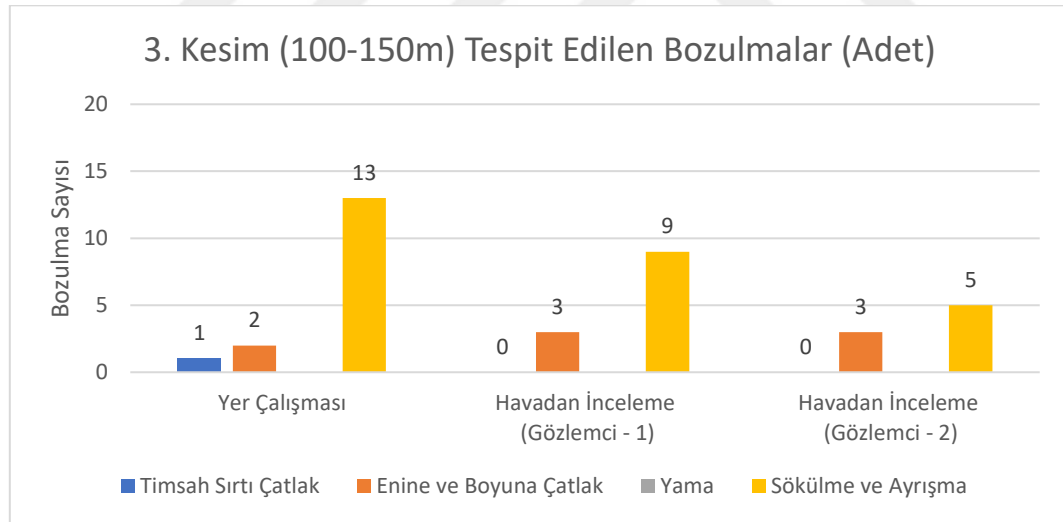
Şekil 4.3 1. Kesim (0-50m) tespit edilen bozulmalar (adet)

Şekil 4.4'te 2. kesimde tespit edilen bozulmaların sayıları grafiksel olarak verilmiştir.



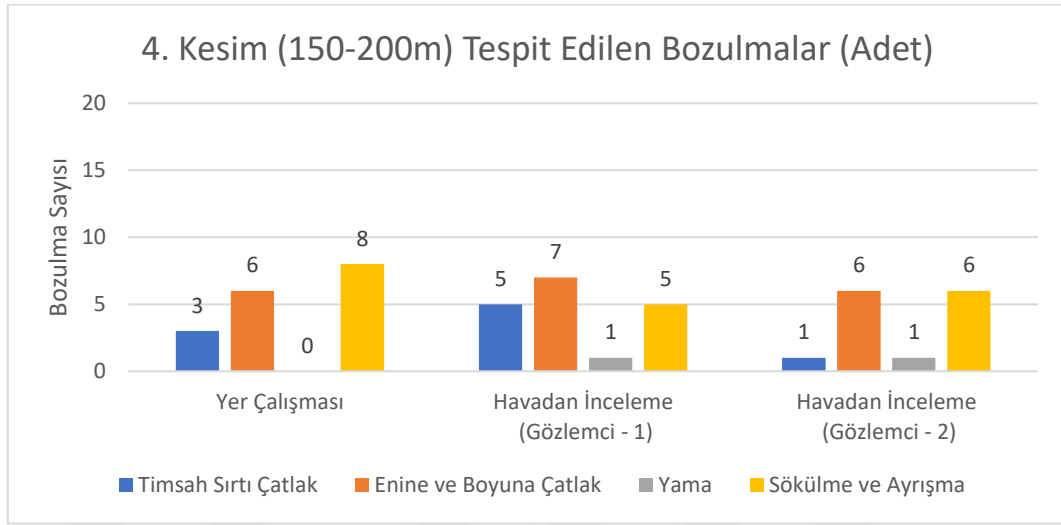
Şekil 4.4 2. Kesim (50-100m) tespit edilen bozulmalar (adet)

Şekil 4.5'te 3. kesimde tespit edilen bozulmaların sayıları grafiksel olarak verilmiştir.



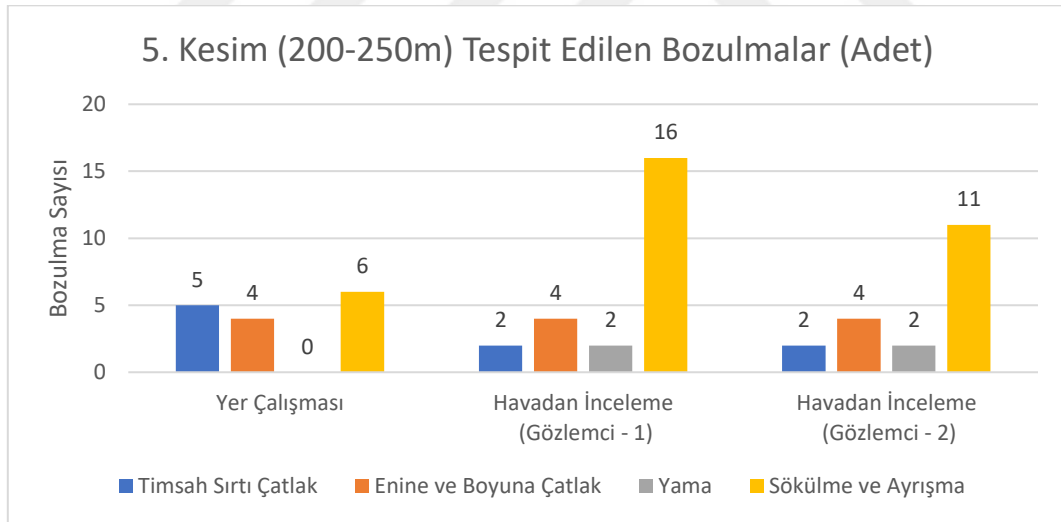
Şekil 4.5 3. Kesim (100-150m) tespit edilen bozulmalar (adet)

Şekil 4.6’da 4. kesimde tespit edilen bozulmaların sayıları grafiksel olarak verilmiştir.



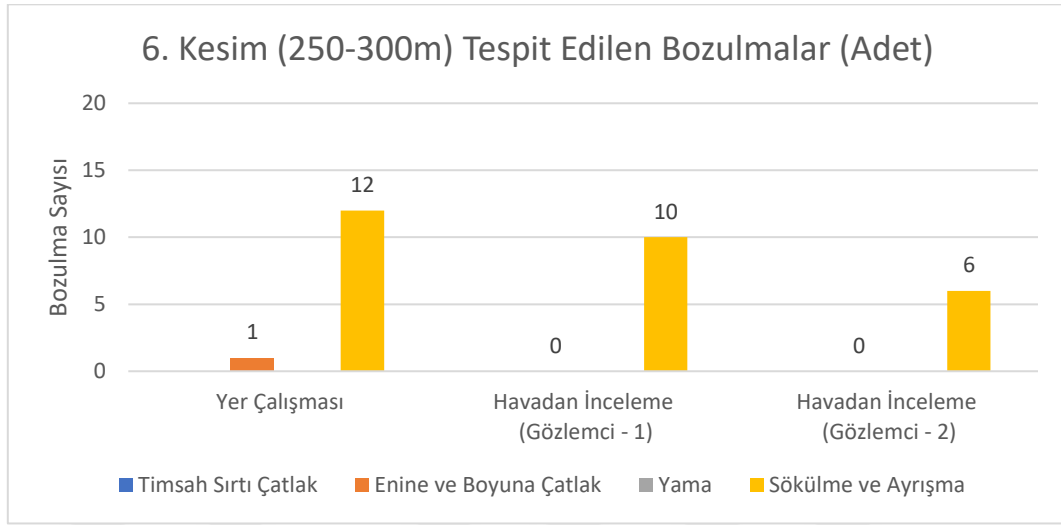
Şekil 4.6 4. Kesim (150-200m) tespit edilen bozulmalar (adet)

Şekil 4.7’de 5. kesimde tespit edilen bozulmaların sayıları grafiksel olarak verilmiştir.



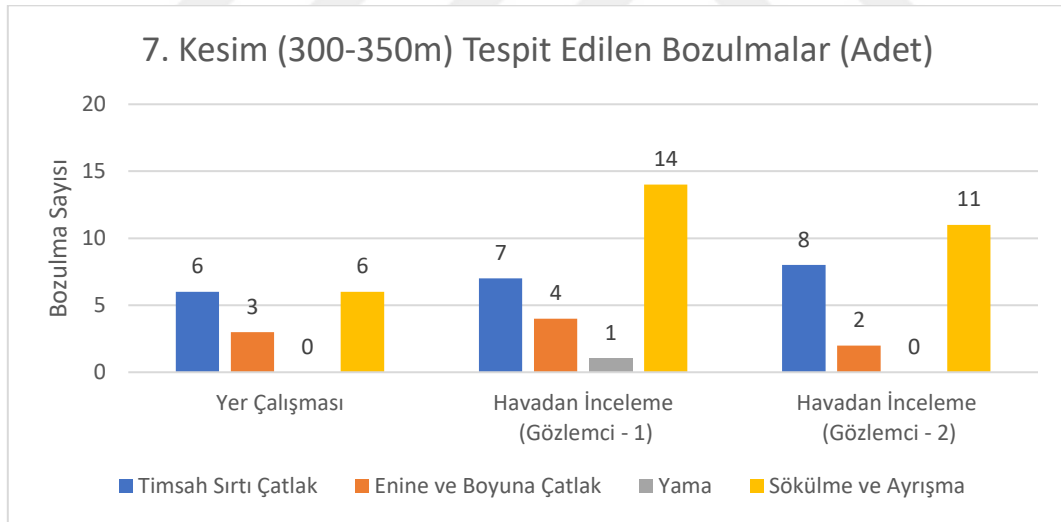
Şekil 4.7 5. Kesim (200-250m) tespit edilen bozulmalar (adet)

Şekil 4.8’de 6. kesimde tespit edilen bozulmaların sayıları grafiksel olarak verilmiştir.



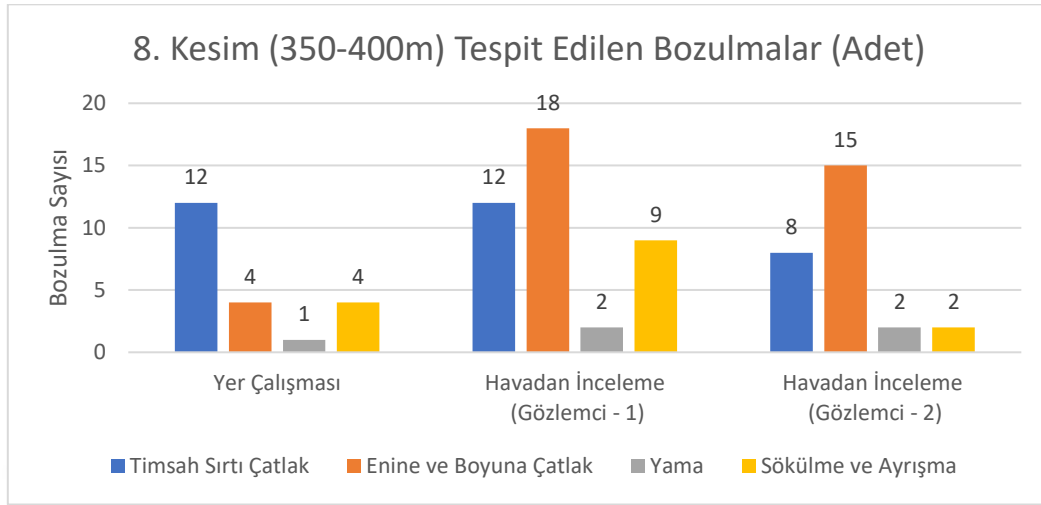
Şekil 4.8 6. Kesim (250-300m) tespit edilen bozulmalar (adet)

Şekil 4.9’da 7. kesimde tespit edilen bozulmaların sayıları grafiksel olarak verilmiştir.



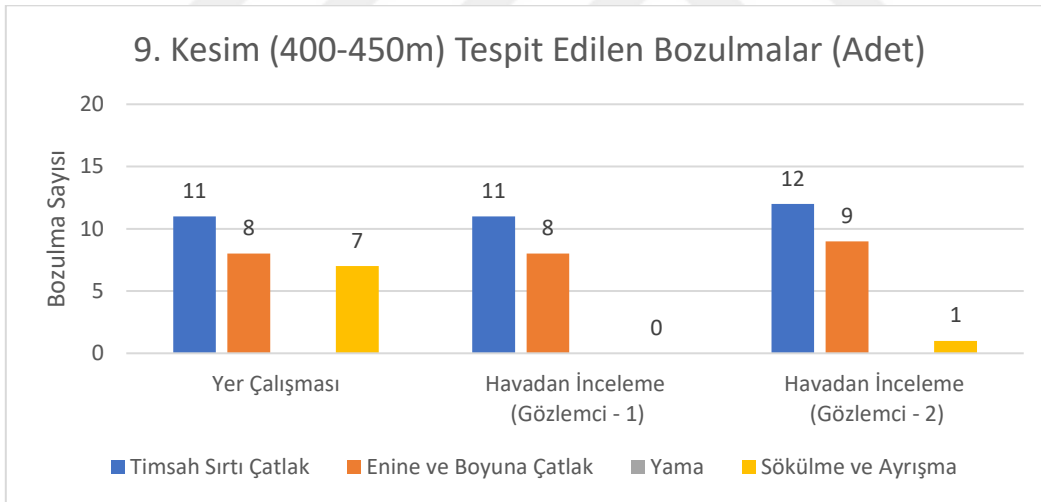
Şekil 4.9 7. Kesim (300-350m) tespit edilen bozulmalar (adet)

Şekil 4.10’da 8. kesimde tespit edilen bozulmaların sayıları grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.10 8. Kesim (350-400m) tespit edilen bozulmalar (adet)

Şekil 4.11’de 9. kesimde tespit edilen bozulmaların sayıları grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.11 9. Kesim (400-450m) tespit edilen bozulmalar (adet)

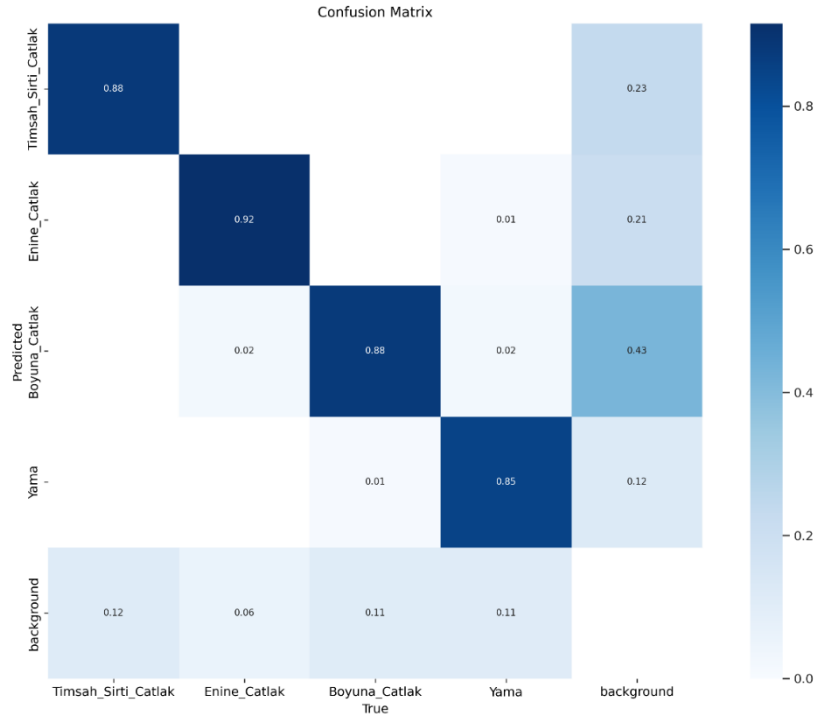
4.2 Görüntü Sınıflandırma Modeli Sonuçları

Veri setinin sınıflara göre dağılımı Çizelge 4.3'te verilmiştir.

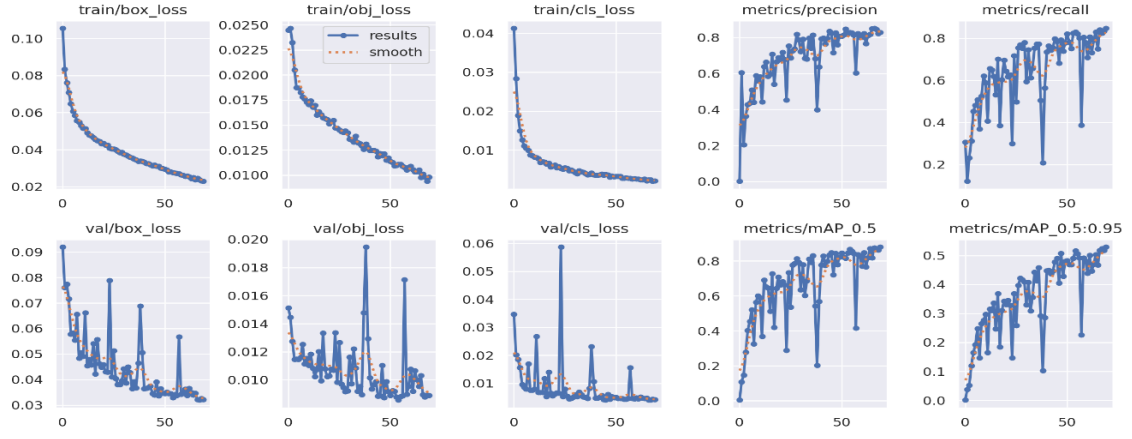
Çizelge 4.3 Veri setinin sınıflara göre dağılımı

Çatlak Çeşitleri	Eğitim + Test veri sayısı
Timsah Sırtı Çatlak	295
Enine Çatlak	322
Boyuna Çatlak	261
Yama	298

Kullanılan YoloV5m modelinin de 70 epok ve 16 parti boyutu değeri için yapılan eğitim sonucu karmaşıklık matrisi incelendiğinde 98,61 oranında bir başarı yakalandığı görülmektedir (Şekil 4.12). Tüm bu sonuçlar doğrultusunda YoloV5m modelinin, test sonuçları ve tespit süreleri incelendiğinde en optimum sonuç veren model olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.12 YoloV5m modelinin de 70 epok ve 16 parti boyutu değeri için yapılan eğitim sonucu karmaşıklık matrisi



Şekil 4.13 YoloV5m modelinin 70 epok için karmaşıklık matrisi ve grafikleri

4.2.1 YoloV5s Derin Öğrenme Modeli Sonuçları

YoloV5s derin öğrenme modeli kullanılarak yapılan eğitimlerde tespit edilen kaplama hasarları tespitlerinin örnekleri aşağıda gösterilmiştir. Resim 4.1’de YoloV5s modeli ile tespit edilen boyuna çatlak bozulması verilmiştir.



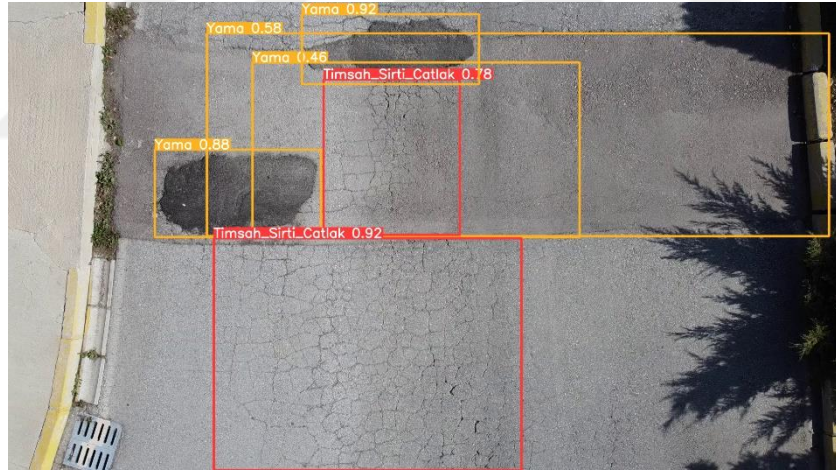
Resim 4.1 YoloV5s modeli örnek tespit görseli -1

Resim 4.2’de YoloV5s modelinin tespit ettiği yama görüntüsü verilmiştir.



Resim 4.2 YoloV5s modeli örnek tespit görseli -2

Resim 4.3’te YoloV5s modelinin tespit ettiği bozulmalar verilmiştir.



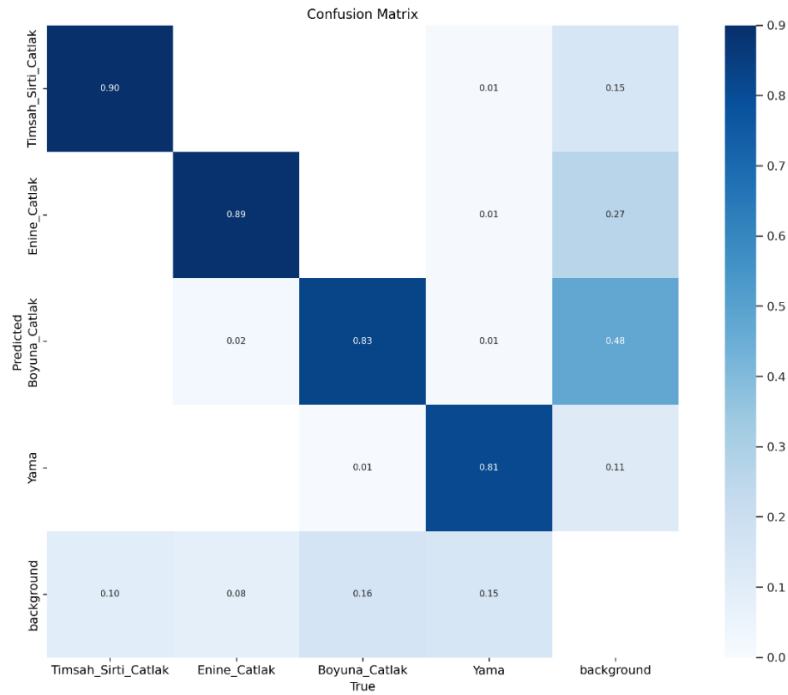
Resim 4.3 YoloV5s modeli örnek tespit görseli -3

YoloV5s modelinin timsah sırtı çatlağı 0,91 doğruluk oranında tespit ettiği örnek görüntü Resim 4.4'te verilmiştir.



Resim 4.4 YoloV5s modeli örnek tespit görseli -4

Kullanılan YoloV5s modelinde 70 epok değeri için yapılan eğitim sonucu karmaşıklık matrisi incelendiğinde 85,75 oranında bir başarı yakaladığı görülmektedir. Şekil 4.1'e göre bakıldığında ise kesinlik (precision) ve duyarlılık (recall) değerleri göz önünde bulundurularak eğitim F1 puanının 0,91 olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.14 YoloV5s modeli karmaşıklık matrisi

4.2.2 YoloV5m Derin Öğrenme Modeli Sonuçları

YoloV5m derin öğrenme modeli kullanılarak yapılan eğitimlerde tespit edilen kaplama hasarları tespitlerinin örnekleri aşağıda gösterilmiştir. Resim 4.5'te YoloV5m modelinin tespit ettiği görseller verilmiştir.



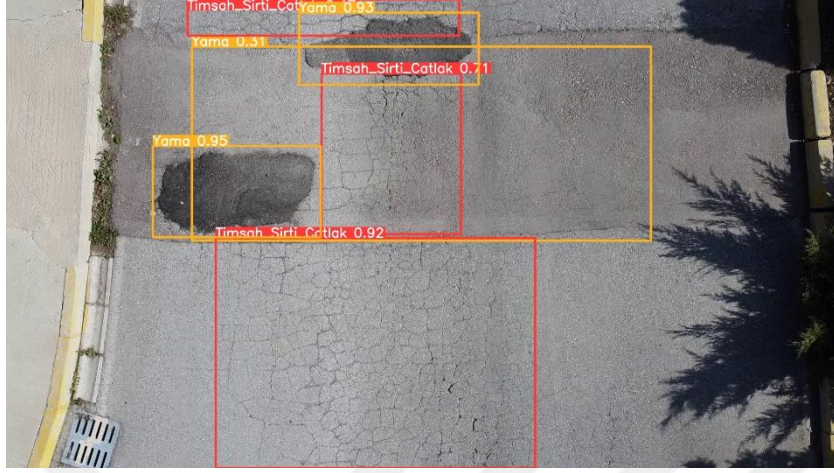
Resim 4.5 YoloV5m modeli örnek tespit görseli -1

Resim 4.6'da YoloV5m modelinin tespit ettiği timsah sırtı çatlak bozulması verilmiştir.



Resim 4.6 YoloV5m modeli örnek tespit görseli -2

Resim 4.7’de YoloV5m modelinin tespit ettiği bozulmalar verilmiştir.



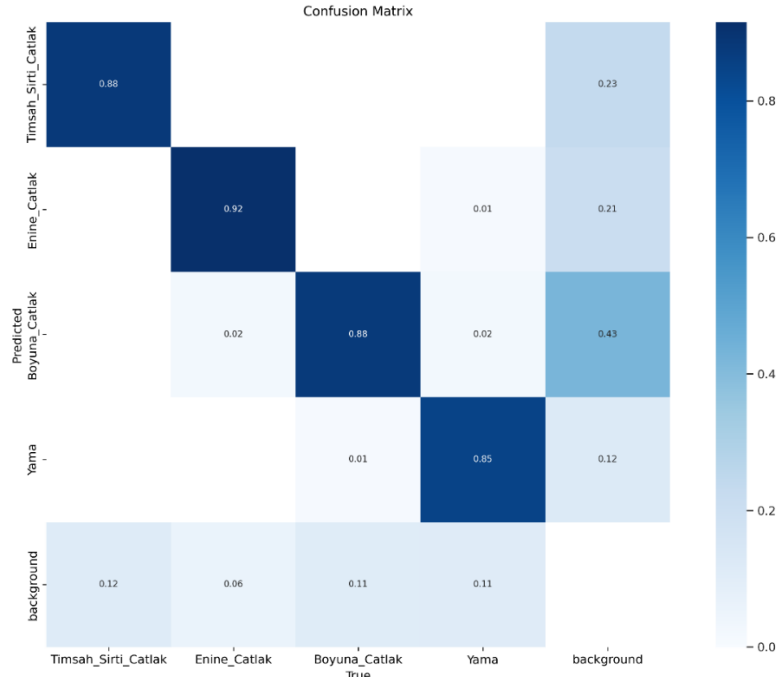
Resim 4.7 YoloV5m modeli örnek tespit görseli -3

Resim 4.8’de YoloV5m modelinin tespit ettiği timsah sırtı çatlak bozulması verilmiştir



Resim 4.8 YoloV5m modeli örnek tespit görseli -4

Kullanılan YoloV5m modelinde 70 epok değeri için yapılan eğitim sonucu karmaşıklık matrisi incelendiğinde 88,25 oranında bir başarı yakaladığı görülmektedir. Şekil 4.14 e göre bakıldığında ise kesinlik (precision) ve duyarlılık (racall) değerleri göz önünde bulundurularak eğitim F1 puanının 0,93 olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.15 YoloV5m modeli karmaşıklık matrisi

4.2.3 YoloV5x Derin Öğrenme Modeli Sonuçları

YoloV5x derin öğrenme modeli kullanılarak yapılan eğitimlerde tespit edilen kaplama hasarları tespitlerinin örnekleri aşağıda gösterilmiştir.

Resim 4.9'da YoloV5x modelinin tespit ettiği yama bozulması verilmiştir



Resim 4.9 YoloV5x modeli örnek tespit görseli -1

Resim 4.10’da YoloV5x modelinin tespit ettiği timsah sırtı çatlak ve enine çatlak bozulması verilmiştir



Resim 4.10 YoloV5x modeli örnek tespit görseli -2

Resim 4.11’de YoloV5x modelinin tespit ettiği bozulmalar verilmiştir



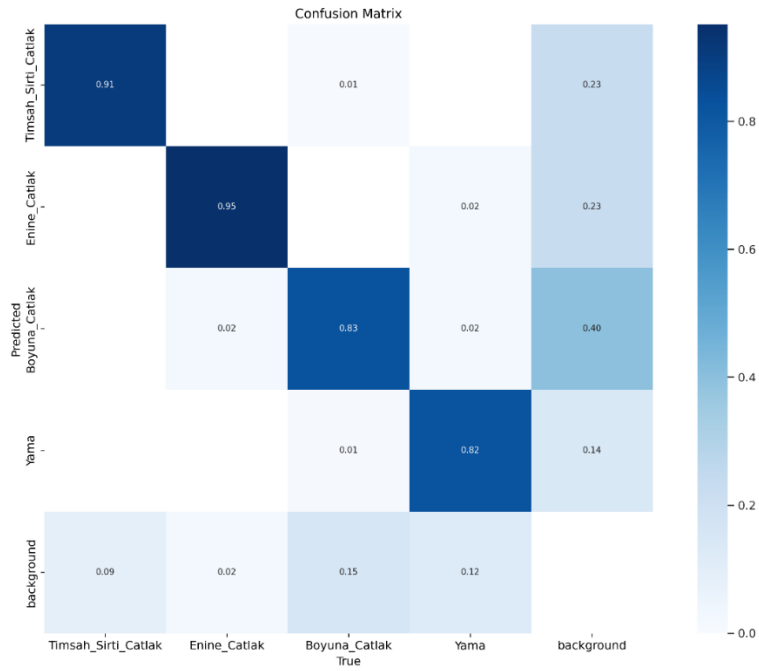
Resim 4.11 YoloV5x modeli örnek tespit görseli -3

Resim 4.12’de YoloV5x modelinin tespit ettiği boyuna çatlak bozulması verilmiştir



Resim 4.12 YoloV5x modeli örnek tespit görseli -4

Kullanılan YoloV5x modelinde 70 epok değeri için yapılan eğitim sonucu karmaşıklık matrisi incelendiğinde 85,75 oranında bir başarı yakaladığı görülmektedir. Şekil 4.16’ya göre bakıldığında ise kesinlik (precision) ve duyarlılık (racall) değerleri göz önünde bulundurularak eğitim F1 puanının 0,90 olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.16 YoloV5x modeli karmaşıklık matrisi

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmanın genel amacı, asfalt kaplamaların performansını daha iyi anlamak ve hızlı ve kararlı esnek üstyapı durum değerlendirmesine olanak tanıyan bir yöntem geliştirerek esnek üstyapı inceleme yöntemlerinde geliştirme sağlamaktır.

Bu amaca ulaşmak için üç temel amaç belirlenmiştir;

- 1) Mevcut kaplamanın gözlemciler tarafından yer çalışması yapılarak PCI durum değerlendirmesinin yapılması,
- 2) İHA kullanılarak kaplama durumunun daha hızlı bir şekilde tespit edilmesi (Burada YOLOv5 yapay zeka aracı ve aynı zamanda elde edilen görüntülerle uzman değerlendirmesi yöntemleri kullanılmıştır),
- 3) Yer çalışması ile elde edilen verilerin, İHA ile elde edilen veriler ile karıştırılarak üzerinde çalışılan yöntemin doğruluk oranının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda belirlenen üstyapı durumunun izlenip uygun zamanda doğru müdahalenin gerçekleştirilebilmesi için bir model önerisi yapılmış olup, bozulma durum tespit sürelerini kısaltan ve üstyapı yönetim sistemlerine büyük ölçüde fayda sağlayacak bir çalışma sunulmuştur.

Çalışma sonucunda uzman değerlendirmesi sonucunda farklılıklar olabileceği bununla birlikte YOLOv5 gibi yapay zekâ araçları ile yapılan değerlendirmelerde bu tip farklılıkların olmayacağı ya da çok düşük seviyelerde kalacağı bu durumun yol yönetim sistemlerinde önemli avantaj oluşturabileceği anlaşılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan İHA modelinin kamera çözünürlüğünün düşük olması çalışma açısından kısıtlayıcı bir unsur olmuştur. Özellikle sökölme/ayırışma gibi bozulmalar tespit edilememiş ya da sınırlı sayıda tespit edilebilmiş bu da yer gözlemleri ve hava fotoğraflarımdan uzman değerlendirmesi, YOLOv5 arasında bir fark oluşmasına neden olmuştur. Bundan sonra yapılacak benzer çalışmalarda daha yüksek kamera çözünürlüğüne sahip bir İHA kullanılarak bu tip sorunların oluşması önlenabilir.

İHA kullanarak havadan gerçekleştirilen çalışmalar sayesinde yol kaplamasında meydana gelen bozulmaların tespiti, çok sayıda eğitilmiş personele gerek kalmadan, hızlı ve yüksek doğruluk oranı ile sağlayan ayrıca ileriki aşamalarda daha gelişmiş İHA'lar ile çok daha uzun yol kesimlerinde daha yüksek doğruluk oranları ile tespit yapılabilecek bir sistem olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Agnisarman S, Lopes, S, Madathil, K C, Piratla K, Gramopadhye A, 2019, A survey of automation-enabled human-in-the-loop systems for infrastructure visual inspection, *Automation in Construction*, 97, 52-76.
- ASTM D 6433-03, 2006, Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys, PA, US.
- Bhandari S, Luo X, Wang F, 2023, Understanding the effects of structural factors and traffic loading on flexible pavement performance, *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12(1), 258-272.
- Bosurgi G, Modica M, Pellegriono O, Sollazzo G, 2022, An automatic pothole detection algorithm using pavement 3D data, *International Journal of Pavement Engineering*. <https://doi.org/10.1080/10298436.2022.2057978>.
- Chai M, Li G, Ma W, Chen D, Du Q, Zhou Y, Qi S, Tang L, Jia H, 2022, *International Journal of Pavement Engineering*. <https://doi.org/10.1080/10298436.2022.2038381>.
- Chawla V, Massarra C, Sadek H, Zhu Z, Sadeq M, 2023, Pavement Automated Condition Assessment Model Using Unmanned Aerial Vehicle and Convolutional Neural Network, No. 9731, EasyChair.
- Grantsaert P J, 2015, Integrating pavement crack detection and analysis using autonomous unmanned aerial vehicle imagery, Air Force Institute of Technology, MSc Thesis, Ohio, US.
- Gürer C, 2014, Bitümlü Karışımlar, Yayınlanmamış Lisansüstü Ders Notları, Afyonkarahisar.
- Haas R, Hudson W R, 1978, *Pavement Management Systems*, 461s, USA.
- Helali K, Robson M, Nicholson R, Bekheet W, 2008, Importance of a pavement management system in assessing pavement damage from natural disasters: a case study to assess the damage from Hurricanes Katrina and Rita in Jefferson Parish,

- Louisiana, Paper presented at the 7th International Conference on Managing Pavement Assets, Calgary, Alberta, Canada.
- Hudson W R, Haas R, Pedigo R D, 1979, NCHRP Report: Pavement Management System Development, 0077-5614.
- Inzerillo L, Di Mino G, Roberts R, 2018, Image-based 3D reconstruction using traditional and UAV datasets for analysis of road pavement distress. *Automation in Construction*, 96, 457-469. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.010>.
- Inzerillo L, Di Mino G, Roberts R, 2018, Image-based 3D reconstruction using traditional and UAV datasets for analysis of road pavement distress, *Automation in Construction*, 96, 457-469.
- Jiang P, Ergu D, Liu F, Cai Y, Ma B, 2022, A Review of Yolo algorithm developments, *Procedia Computer Science*, 199, 1066-1073.
- Karayolu Teknik Şartnamesi, 2013, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kırbaş U, Karaşahin M, 2018, Şehiriçi Yollarda Üstyapıların Mevcut Performansını Belirlemek İçin Bir Yöntem, *Teknik Dergi*, 8459-8467, 507.
- Kim H, Sim S H, Cho S, 2015, Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-powered Concrete Crack Detection based on Digital Image Processing, 6th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, IL, US.
- Lee J K, 2019, UAV-based pothole identification: A photogrammetric approach (Doctoral dissertation).
- Leonardi G, Barrile V, Palamara R, Suraci F, Candela G, 2018a, Road degradation survey through images by drone, *International Symposium on New Metropolitan Perspectives*, Springer, 222-228.
- Leonardi G, Barrile V, Palamara R, Suraci F, Candela G, 2018b, 3D mapping of pavement distresses using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *International Symposium on New Metropolitan Perspectives*, Springer, 164-171.
- Li Z, Cheng C, Kwan M-P, Tong X, Tian S, 2019, Identifying asphalt pavement distress using UAV LiDAR point cloud data and random forest classification, *ISPRS*

International Journal of Geo-Information, 8(1), 39.
doi:<https://doi.org/10.3390/ijgi8010039>.

Mahmud M N, Sabri N N N A, Osman M K, Ismail A P, Mohamad F A, Idris, M, Rabiain, A H, 2023, Pavement Crack Detection from UAV Images Using YOLOv4. In International Conference on Artificial Intelligence & Industrial Applications (pp. 73-85). Cham: Springer Nature Switzerland.

Majidifard H, Adu-Gyamfi Y, & Buttlar W G, 2020, Deep machine learning approach to develop a new asphalt pavement condition index. Construction and building materials, 247, 118513.

Morova N, 2013, Coğrafi bilgi sistemleri ile gerçek zamanlı üstyapı yönetim sistemi geliştirilmesi.

Naddaf-Sh M, Hosseini S, Zhang J, Brake N A, Zargarzadeh H, 2019, Real-time road crack mapping using an optimized convolutional neural network, Complexity, 2019.

Nappo N, Mavrouli O, Nex F, van Westen C, Gambillara R, Michetti A M, 2021, Use of UAV-based photogrammetry products for semi-automatic detection and classification of asphalt road damage in landslide-affected areas, Engineering Geology, 294, 106363.

Nie M, Wang C, 2019, Pavement Crack Detection based on YOLO v3. In 2019 2nd international conference on safety produce informatization (IICSPI) (pp. 327-330). IEEE.

Redmon J, Divvala S, Girshick R B, Farhadi A, 2016, You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 779-788.

Romero-Chambi E, Villarroel-Quezada S, Atencio E, Muñoz-La Rivera F, 2020, Analysis of optimal flight parameters of unmanned aerial vehicles (UAVs) for detecting potholes in pavements. Applied Sciences, 10(12), 4157.

Sağlık A, Güngör A, 2008, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, 159s, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

- Samadzadegan F, Dadrass Javan F, Hasanlou M, Gholamshahi M, Ashtari Mahini F, 2023, Automatic Road Crack Recognition Based on Deep Learning Networks from Uav Imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10, 685-690.
- Sarmiento J A, 2021, Pavement distress detection and segmentation using YOLOv4 and DeepLabv3 on pavements in the Philippines. arXiv preprint arXiv:2103.06467.
- Schnebele E, Tanyu B, Cervone G, Waters N, 2015, Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment. *European Transport Research Review*, 7(2), 7. doi:10.1007/s12544-015-0156-6.
- Shahin M Y, 2002, *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*, Kluwer Academic Publishers, London.
- Smith R E, Darter M I, Herrin S M, 1979, *Highway Pavement Distress Identification Manual*. Federal Highway Administration, United States.
- TxDOT, 2021, *Pavement Manual*, Texas Department of Transportation, Texas, USA.
- Xing J, Liu Y, Zhang G Z, 2023, Improved YOLOV5-Based UAV Pavement Crack Detection, *IEEE Sensors Journal*.
- Yang L, Li B, Li W, Liu Z, Yang G, Xiao J, 2017, Deep concrete inspection using unmanned aerial vehicle towards CSSC database.
- Yarçı Ş, 2021, Karayolu esnek üstyapılarında termal alan yöntemi ile performans tahmini (Master's thesis, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yayla N, 2011, *Karayolu Mühendisliği*, 285s, Birsen Yayınevi, Ankara.
- Zhang C, Elaksher A, 2012, An Unmanned Aerial Vehicle-Based Imaging System for 3D Measurement of Unpaved Road Surface Distresses. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 27(2), 118-129. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2011.00727.x>
- Zhang C, 2008, An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci*, 37, 627-632. doi:10.1.1.150.8490&rep=rep1&type=pdf.

- Zhang C, 2008, An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci, 37, 627-632.
- Zhu J, Zhong J, Ma T, Huang X., Zhang W, Zhou Y, 2022, Pavement distress detection using convolutional neural networks with images captured via UAV, Automation in Construction, 133, 103991.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.acplm.net/pavement-type-selection/>, 03.12.2023
- 2- <https://www.sanalsantiye.com/karayollarinda-kullanilan-ustyapi-turleri-rijit-ustyapi-esnek-ustyapi-kompozit-ustyapi/>, 03.08.2023
- 3- <https://www.furkanhobi.com/urun/dji-mini-se-fly-more-combo>, 05.10.2023