

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MOBİL HARİTALAMA YÖNTEMİNİN YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ İLE
BİRLİKTE ULAŞIM ENVANTER VE VARLIK YÖNETİM SİSTEMLERİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİ VE DOĞRULUK ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Hüseyin KURŞUN

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

MART 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MOBİL HARİTALAMA YÖNTEMİNİN YAPAY ZEKA TEKNOLOJİLERİ İLE
BİRLİKTE ULAŞIM ENVANTER VE VARLIK YÖNETİM SİSTEMLERİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİ VE DOĞRULUK ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

**Hüseyin KURŞUN
(501982602)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Reha Metin ALKAN

MART 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**USABILITY AND ACCURACY ANALYSIS OF MOBILE MAPPING METHOD
IN TRANSPORTATION INVENTORY AND ASSET MANAGEMENT
SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES**



Ph.D.THESIS

**Hüseyin KURŞUN
(501982602)**

Department of Geomatics Engineering

Geomatics Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Reha Metin ALKAN

MARCH 2024

İTÜ, Geomatik Mühendisliği 501982602 numaralı Doktora Öğrencisi Hüseyin KURŞUN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MOBİL HARİTALAMA YÖNTEMİNİN YAPAY ZEKA TEKNOLOJİLERİ İLE BİRLİKTE ULAŞIM ENVANTER VE VARLIK YÖNETİM SİSTEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ VE DOĞRULUK ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof.Dr. Reha Metin ALKAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. Mustafa YANALAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Engin GÜLAL
İstanbul Atlas Üniversitesi

Prof.Dr. Serdar EROL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Halil ERKAYA
İstanbul Okan Üniversitesi

Teslim Tarihi : 31 Ağustos 2023
Savunma Tarihi : 29 Mart 2024





Eşim Dilek ve kızım Sevde Naz'a,



ÖNSÖZ

Bu doktora çalışmam süresince bana gösterdiği sonsuz sabır ve ilgiden, yardımlarından ve verdiği engin tecrübe, bilgi ve desteklerinden dolayı tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Reha Metin ALKAN hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Değerli zamanlarını, bilgilerini ve tecrübelerini paylaşarak faydalandığım Tez İzleme Jüri üyesi Prof.Dr. Mustafa YANALAK ve Prof.Dr. Engin GÜLAL Hocalarıma ayrı ayrı teşekkür ederim.

Çalışmalarımın karayolu envanter üretimi ve standardizasyonu ile ilgili konularda desteğini esirgemeyen Doç.Dr. Murat ERGÜN hocam, çalışmalarım esnasında saha çalışmalarında destek veren Ankageo ailesindeki tüm meslektaşlarıma, arkadaşlarıma ve iş ortağım Dr. Şenol PAZAR’a teşekkür ederim.

Son olarak; çalışmam boyunca sürekli yanımda olan ve beni destekleyen eşim Dilek’e, en büyük motivasyon kaynağım olan, bu süreçte doğan, büyüyen ve İTÜ’de okumaya başlayan kızım Sevde Naz’a sevgilerimi sunarım.

Mart 2024

Hüseyin KURŞUN
(Geomatik Yüksek Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
1.2.1 Karayolunun ulaşım/taşımacılık açısından insanlık için önemi.....	2
1.2.2 Yol envanterinin Karayolu ve demiryolu için önemi ve yeri.....	9
1.2.3 Yol envanterinin çıkartılma yöntemlerinin genel bir değerlendirilmesi ...	12
1.3 Hipotez	17
2. MOBİL HARİTALAMA SİSTEMLERİ.....	19
2.1 Mobil Haritalama Sistemlerinin Tarihçesi	19
2.2 Mobil Haritalama Sistemlerine Genel Bir Bakış.....	25
2.2.1 Konumlandırma sensörleri	26
2.2.2 Küresel Konumlandırma Uydu Sistemi (GNSS) Alıcısı.....	26
2.2.3 Atalet ölçüm ünitesi (IMU).....	27
2.2.4 Mesafe ölçüm cihazı (DMI)	28
2.2.5 Veri toplama sensörleri	28
2.2.6 Işık algılama ve ölçme (LiDAR).....	28
2.2.7 Görüntüleme sistemleri ve kameralar	30
2.3 Mobil Haritalama Sistemleri ve Platformlar	33
2.4 MHS İş Akışı ve Veri İşleme Süreci	34
2.5 MHS’de LiDAR ve Kamera Görüntülerinin Geo-Referanslanması	35
2.6 MHS’nin Avantaj ve Dezavantajları	36
3. UYGULAMA.....	39
3.1 Karayolu Uygulama Alanı (Uygulama 1)	39
3.2 Veri Toplama.....	40
3.3 Verilerin İşlenmesi ve Obje Belirleme	44
3.4 MHS’nin Doğruluk Analizi (Uygulama 2)	61
3.5 Nokta Konum ve İç Doğruluk Karşılaştırması ve Analizi	66
4. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	81



KISALTMALAR

2B	: 2-Boyutlu
3B	: 3-Boyutlu
AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
CAD	: Computer Aided Design
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CCD	: Charged Coupling Devices
CNN	: Convolutional Neural Network
Dİ	: Dijital İkiz
DMI	: Distance Measuring Indicator
ECEF	: Earth Center Earth Fixed
GIS-T	: Geographic Information System in Transportation
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
HD Map	: High Definition Map
IMU	: Inertial Measurement Unit
INS	: Inertial Navigation System
ITS	: Intelligent Transportation System
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KKN	: Kontrol Kesim Noktası
KOH	: Karesel Ortalama Hata
LİDAR	: Light Detection and Ranging
MHS	: Mobil Haritalama Sistemi
MMS	: Mobile Mapping System
SSD	: Single Shot Dedector
TUSAGA-Aktif	: Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı-Aktif



SEMBOLLER

X_P, Y_P, Z_P	: P noktasının ECEF Koordinat sistemindeki konumu
$R_{IMU}^M(\omega, \varphi, \kappa)$	: IMU ve ECEF arasındaki dönme matrisi
$R_S^{IMU}(\Delta\omega, \Delta\varphi, \Delta\kappa)$	: IMU ve lazer tarayıcı arasındaki dönme matrisi
$X_{GNSS}, Y_{GNSS}, Z_{GNSS}$	: GNSS anteninin ECEF Sistemindeki konumu
L_X, L_Y, L_Z	: Navigasyon ve IMU konumunun lazer tarayıcı konumu arasındaki mesafe
$\overset{G}{L}_X^I, \overset{G}{L}_Y^I, \overset{G}{L}_Z^I$	: IMU konumun GNSS konumu arasındaki uzaklıklar
R_S^{INS}	: Lazer tarayıcı ve IMU arasındaki dönme matrisi
r_P^S	: Lazer tarayıcı koordinat sisteminde P noktasının bağıl konum vektörü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : MHS de kullanılan yazılımlar ve özellikleri.	41
Çizelge 3.2 : MHS de kullanılan donanımlar ve özellikleri.	42
Çizelge 3.3 : MHS deki araç içi kayıt ünitesinin özellikleri.....	43
Çizelge 3.4 : Yapay Zekâ (YZ) ile üretilen trafik işaret ve levhaları.	57
Çizelge 3.5 : Yapay Zekâ (YZ) algoritmasının çıkarttığı levha oranları (%).	58
Çizelge 3.6 : MHS verilerinin mesafe, hız ve zaman bilgisine göre KOH değerleri	67
Çizelge 3.7 : Farklı parametrelerle 25 farklı veri setinin nokta konum doğruluğu ...	68



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : İpek Yolu ve Kızıldeniz rotası.	5
Şekil 1.2 : Dünyada taşımacılığın navlun bazlı sektörel dağılımı.	6
Şekil 1.3 : Türkiye ulaştırma ve haberleşme sektörü bütçesinin 2024 yılı dağılımı (Url-1).	7
Şekil 1.4 : 2023 yılı Türkiye tiplerine göre yol ağı (Url-2).	8
Şekil 1.5 : Yol envanteri üretiminin gelişim süreci (Silyanov ve diğ, 2020).	17
Şekil 2.1 : Mobil Haritalama Sisteminin Mimarisi.....	21
Şekil 2.2 : Mobil haritalama sistemleri genel konsepti.	23
Şekil 2.3 : IMU’nun kaydettiği dönüklük açılarının gösterimi.	27
Şekil 2.4 : Farklı marka ve modellerdeki LiDAR modelleri.	29
Şekil 2.5 : İlk geliştirilen düşük çözünürlüklü panoramik kamera örnekleri.	31
Şekil 2.6 : MHS de kullanılan yüksek çözünürlüklü panoramik kameralar.	31
Şekil 2.7 : Yeni nesil MHS platformlarına örnekler.....	33
Şekil 2.8 : MHS’de iş akışı ve veri işleme süreci.	35
Şekil 2.9 : MHS geometrik ölçüm koordinat sistemi görseli.	35
Şekil 3.1: Karayolu uygulama güzergâhının uydu görüntüsü, haritası, sokak görüntüsü, LiDAR verisi ve panoramik fotoğrafları.	40
Şekil 3.2: LiDAR’lı MHS aracı ve sistemin şematik görüntüsü, araç içi donanımlar ve sahadaki ölçme esnasındaki görüntüsü.	40
Şekil 3.3 : Yapay zekâ ile çıkartılmak üzere seçilmiş olan trafik levhaları.....	44
Şekil 3.4 : MHS’nin sahadan veri toplama sürecinden objelerin detekte edilme süreci.	45
Şekil 3.5 : Web tabanlı MHS yazılımı.	48
Şekil 3.6 : MHS web uygulama yazılımında LiDAR ve panoramik görüntü.....	48
Şekil 3.8: Algoritmaların nesne büyüklükleri ve doğruluk açısından karşılaştırması (Url-11).	50
Şekil 3.9 : Derin Öğrenme Platformları (Sunitha, 2021).....	52
Şekil 3.10 : Seçilen KGM trafik levhaları.	54
Şekil 3.11 : Seçilen KGM trafik levhaları.	55
Şekil 3.12 : Yapay zekâ algoritması ile tespit edilen levhaların tespit yöntemi.....	56
Şekil 3.13 : Yapay zekâ algoritması ile tespit oranlarına göre trafik levha türleri. ...	59
Şekil 3.14 : Eksik levhalar ve yapay zekâ ile tespit edilen levhalar.	60
Şekil 3.15 : Sahada yeri yanlış olan levhalar ve yapay zekâ ile tespiti yapılan levhalar.....	60
Şekil 3.16 : İTÜ Ayazağa Kampüsü Uygulaması.....	61
Şekil 3.17 : LiDAR’sız MHS aracı, sistemin şematik görüntüsü ve sahadaki çekim anı ve cadde görüntüsü.	62
Şekil 3.18 : MHS aracı ile fotoğraf çekim aralıkları, araç hızları ve kamera ile ölçülen detay noktalarına olan uzaklıklar.	63
Şekil 3.19 : Applanix POSpac yazılımı ekran görüntüleri ve veri şleme ekranları...	64
Şekil 3.20 : İTÜ Maslak Kampüsü Jeodezik ölçmeler.	65

Şekil 3.21 : Başakşehir Sular Vadisi ölçme güzergâhı.	66
Şekil 3.22 : Kent mobilyalarında yapılan ölçmelerden örnekler.	66
Şekil 3.23 : 20 km/sa Hızla elde edilen MHS verilerinin KOH değerleri.	67
Şekil 3.24 : 40 km/sa Hızla elde edilen MHS verilerinin KOH değerleri.	68
Şekil 3.25: MHS verileri ile yapılan ölçümlerin rölatif konum doğrulukları(KOH).	69



MOBİL HARİTALAMA YÖNTEMİNİN YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ İLE BİRLİKTE ULAŞIM ENVANTER VE VARLIK YÖNETİM SİSTEMLERİNDE KULLANABİLİRLİĞİ VE DOĞRULUK ANALİZİ

ÖZET

Trafik işaret ve levhaları sürüş güvenliğini ve sürüş konforunu tehlikeye atmadan, taşıt hızlarını, hız sınırlamasını ve yol güvenliğini sağlamaktadır. Eğer sürücüler trafik işaret ve levhalarına dikkat etmeden süratlerini ve dikkatlerini belirlenmiş olan hız limitleri ile uyumlu olarak sürdürmezlerse, sürüş güvenliği ve sürücü tarafından algılanan sürüş konfor düzeyi kesinlikle düşecektir. Trafik işaret ve levhaları sürücünün hızlanma hevesi üzerinde caydırıcı bir role de sahiptir. Karayolları yol güvenliği açısından bu envanterlerin bir varlık yönetim sistemi içerisinde değerlendirilerek yönetilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde yol envanter eksiklikleri birçok hatalara, kazalara ve diğer başka olumsuzluklara yol açabilecektir.

Karayolları trafik işaret ve levhalarının klasik yöntemlerle sahadan ölçülerek üretilmesi, bilgisayar ortamına aktarılması ve yönetilmesi oldukça zaman alıcı, yüksek maliyetli olmakla beraber, veri üretimi hem zor hem de işçi sağlığı ve iş güvenliği bakımından da birçok riskleri bulundurmaktadır. Son yıllarda hızlı veri toplama teknolojilerindeki gelişmeler, farklı ve yeni araştırma konu ve uygulamalarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Temelde üç boyutlu (3B) altlıkların hazırlanmasında ve özellikle yol envanterinin çıkarılması, ileriye dönük olarak envanter bilgilerinde revizyon yapılması ve yapılacaksa bunların çok hızlı bir şekilde araziye gitmeksizin üç boyutlu modellerle planlanması, çeşitli simülasyonlarla yeni senaryolar için ve otonom sürüş teknolojileri için kullanılan High Definition (HD) Map üretimi başta olmak üzere çok farklı amaçlar için sahadan hızlı veri toplama imkanı sunan Mobil Haritalama Sistem (MHS) teknolojileri bu kapsamda çok önemli bir çözüm aracı olarak öne çıkmaktadır. Tüm dünyada çok geniş kullanım alanı bulan MHS'leri yol envanter üretiminde önemli roller üstlenmeye başlamıştır.

Bu çalışmanın temel amacı; MHS'nin yol envanteri üretiminde kullanılabilirliği ile sistemin doğruluk analizinin yapılması ve yapay zekâ teknolojileri uygulanarak MHS verilerinden karayolu envanter üretiminin yapılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla Mobil Haritalama Sistemi (MHS) ile sahada yapılan gerçek uygulamalardan elde edilen verilerden yararlanarak bir karayolu güzergâhındaki mevcut seçilen belirli bir yol envanterinin çıkartılması için yapay zekâ teknolojisinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yol envanteri belirlemek için yapılan uygulama kapsamında bölünmüş devlet yolu olan Karayolları Genel Müdürlüğü İstanbul 1. Bölge Müdürlüğü'nün Mimar Sinan Bölge şefliği sınırlarındaki D-100 karayolunda Kontrol Kesim Numarası (KKN) 100-04 olan ve Büyükçekmece Gölü-Silivri Merkez arasındaki karayolu güzergâhında gidiş-geliş olarak toplam 40 km'lik bir kısım seçilmiştir. Yapılan ölçüm çalışmaları esnasında MHS aracı, trafiğin akış hızına bağlı olarak yaklaşık 70 ile 90 km/sa arasında. Yapay zekâ ile belirlenmek istenilen 23 farklı trafik levhası KGM Trafik İşaretleri El Kitabından seçimi yapılmış ve bu trafik tabelaları uygulamada

dikkate alınmıştır. Çalışmada trafik levhalarının üçgen, kare, dikdörtgen, sekizgen, içerisinde yazı olan ve küçük farklı renklerde seçilerek, işaretlerin renk farklılıkları da dikkate alınmaya çalışılmıştır. MHS ile sahadan 5 m aralıklarla 30 megapiksel panoramik fotoğraflar çekilmiş ve saniyede 600.000 nokta ölçmesi yapılarak LiDAR cihazı ile ölçümler tamamlanmıştır. Geo-koordinatlandırılması tamamlanan panoramik fotoğraflar ve LiDAR verileri yapay zekâ algoritmalarının doğruluk ve hız parametreleri açısından doğruluk kriteri dikkate alınarak Faster-RCNN model seçilerek tarafımızca geliştirilmiş ve algoritma eğitimleri yapılarak trafik levha çıkartma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen panoramik fotoğrafların yapay zekâ eğitimleri 3 aşamada yapılmıştır. Her bir veri seti ile yapılan yapay zekâ eğitimden sonra seçilen karayolu güzergâhındaki 23 farklı trafik levhası yeniden çıkartılmıştır. Toplamda 18.000 fotoğraf ile eğitimler tamamlanmış ve seçilmiş olan trafik levhalarının %80 oranındaki doğrulukla çıkartılabildiği görülmüştür.

MHS ile elde edilen yol envanterinin nokta konum doğruluğunu belirlemek ve MHS'nin farklı alanlarda kullanılabilirliği için bir performans analizi yapılmıştır. Bu kapsamda İTÜ Ayazağa Kampüsünde seçilen 250 metrelik güzergâh boyunca bir dizi ölçme gerçekleştirilmiştir. MHS ölçmelerinin nokta konum hassasiyeti ölçmeleri için ölçme güzergâh alanı boyunca kaldırımlarda, bina köşesi ve detaylarında, yönlendirme levhalarında, aydınlatma direklerinde, korkuluklar vb. 40 noktada detay noktaları tesis edilmiştir. Bu güzergâhta MHS aracı ile iki farklı günde sabah, öğle ve ikindi olmak üzere farklı saatlerde, 20 ve 40 km/sa hızlarla ve 3, 5, 10 m aralıklarla panoramik fotoğraflar çekilmiştir. İki farklı günde çalışma yapılmış olup 1. Günde saat 14:00'da ve 16:50'de; 2. Günde ise 9:30, 12:30 ve 16:50'de olmak üzere 2 günde 5 farklı zaman aralığında sahadan farklı parametrelerle 25 farklı ölçme kaydı gerçekleştirilmiştir.

MHS'nin iç doğruluğunun analizini yapmak için katı model objelerin yoğunlukta olduğu Başakşehir Sular Vadisi'de 800 m'lik bir güzergâh uygulama alanı olarak seçilmiştir. Elde edilen veriler geo-koordinatlandırıldıktan sonra mobil haritalama yazılımına aktarılmış ve yazılım içerisinde belirlenen katı model kenar ölçümleri yazılım içerisinde fotogrametrik yöntemle yapılmıştır. Seçilen objelerin kenar uzunluk ölçmeleri çelik metre ve endüstriyel tipli kumpas ile yapılarak karşılaştırılmış ve buradan hareketle ölçme doğrulukları belirlenmiştir.

İç doğruluk için yapılan çalışmalar neticesinde kamera mesafesi 20 m'ye kadar olan alan içerisinde 0.5-0.7 cm hassasiyetinde doğruluklara erişilmiş olup özellikle geometrik şekillerin ölçüm sonuçlarına göre oldukça yüksek doğruluklara ulaşılmıştır. 20-30 m mesafelerdeki alanlarda ise 1.25 cm hassasiyetinde doğruluklara erişilmiştir. Elde edilen doğruluklara göre tekniğin yüksek doğruluk gerektiren pek çok uygulamada başarıyla uygulanabileceğini göstermiştir.

Nokta konum doğruluğu için yapılan çalışmalar neticesinde MHS ile fotoğraf çekme aralığının 3 m, 5 m ve 10 m olmasının ölçme farklılaşmasına neden olmadığı görülmüştür. Özellikle 3 m ve 5m fotoğraf aralıklı ölçmeler birbirine yakın doğruluklarda çıkmıştır. Günün farklı zamanlarda olmasında (sabah, öğle, akşam) sonuçları etkilememiş ve değiştirmemiştir. Genel olarak konum doğrulukları 2 dm'nin altında seyretmiştir.

Çalışmada giriş bölümünü takiben, konu ile ilişkili kapsamlı bir literatür çalışması yer almaktadır. İkinci bölümde Mobil Haritalama Sistemleri ve uygulama alanları hakkında geniş kapsamlı literatür çalışması ile beraber avantaj ve dezavantajları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise yapay zekâ teknolojileri kullanılarak MHS ölçümlerinden trafik levha üretimi uygulaması yapılmıştır. MHS'nin nokta konum

doğruluğunu belirlemek ve MHS'nin farklı alanlarda kullanılabilirliği için bir performans analizi yapılmıştır. Dördüncü ve son bölümde ise, sonuçlar ve öneriler yer almaktadır. Bu bölümde çalışmanın sonuçları ile ilgili bilgiler verilmiş ve gelecekte konuyla ilgili yapılacak benzer çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.





USABILITY AND ACCURACY ANALYSIS OF MOBILE MAPPING METHOD IN TRANSPORTATION INVENTORY AND ASSET MANAGEMENT SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

SUMMARY

Traffic signs and signals ensure driving safety and comfort by regulating vehicle speeds, speed limits, and road safety without jeopardizing driving security and comfort. If drivers do not adhere to traffic signs and signals, maintaining their speed and attention in line with established speed limits, both driving safety and the perceived level of driving comfort will undoubtedly decrease. Traffic signs and signals also play a deterrent role against the drivers' tendency to speed. It is essential for road safety that these inventories are evaluated and managed within an asset management system. Otherwise, deficiencies in road inventory can lead to numerous errors, accidents, and other adverse consequences.

The traditional methods of producing, digitizing, and managing road traffic signs and signals through field measurements are not only time-consuming and costly but also challenging in terms of data production and pose various risks to worker health and safety. In recent years, advancements in rapid data collection technologies have led to the emergence of different and new research topics and applications. Mobile Mapping Systems (MMS), which offer rapid data collection capabilities from the field, have become a crucial solution in this context. These systems are particularly important for creating three-dimensional (3D) basemaps, extracting road inventory, updating inventory information for future purposes, and planning these updates quickly without field visits using 3D models. Additionally, MMS technologies are extensively used for various purposes, including the production of High Definition (HD) Maps for new scenarios and autonomous driving technologies through various simulations. MMS technologies have started to play significant roles in road inventory production worldwide. The primary aim of this study is to assess the usability of Mobile Mapping Systems (MMS) for road inventory production, analyze the accuracy of the system, and investigate the feasibility of using artificial intelligence technologies to produce road inventory from MMS data. To this end, the applicability of artificial intelligence technology was investigated using data obtained from real-world applications conducted with the MMS in the field to extract a specific road inventory on a selected highway route.

The application to determine the road inventory was carried out on a divided state highway, specifically on a 40 km section of the D-100 highway between Büyükçekmece Lake and Silivri Center, designated as Control Section Number (CSN) 100-04, within the boundaries of the Mimar Sinan Regional Office of the 1st Regional Directorate of the General Directorate of Highways (GDH) in Istanbul. During the measurement studies, the MMS vehicle operated at speeds ranging from

approximately 70 to 90 km/h depending on traffic flow speed. Twenty-three different traffic signs, intended to be identified using artificial intelligence, were selected from the KGM Traffic Signs Manual, and these signs were taken into consideration in the application.

The study focused on selecting traffic signs with different shapes (triangle, square, rectangle, octagon), text, and small color differences, considering their color variations. Panoramic photographs were taken at 5-meter intervals using a 30-megapixel camera, and measurements were completed with a LiDAR device, capturing 600,000 points per second. Georeferenced panoramic photos and LiDAR data were processed using artificial intelligence algorithms, with a focus on accuracy criteria concerning the parameters of accuracy and speed. The Faster-RCNN model was selected and developed for this purpose, and algorithm training was conducted to extract the traffic signs. The artificial intelligence training of the panoramic photographs obtained in the study was performed in three stages. After each training session with each dataset, the 23 different traffic signs on the selected highway route were re-extracted. Training was completed using a total of 18,000 photographs, and it was observed that the selected traffic signs could be extracted with an accuracy of 80%.

A performance analysis was conducted to determine the point position accuracy of the road inventory obtained with Mobile Mapping Systems (MMS) and to assess the usability of MMS in different areas. In this context, a series of measurements were conducted along a 250-meter route selected at ITU Ayazağa Campus. For the point position accuracy measurements of MMS, 40 detail points were established along the route, including sidewalks, building corners, detail points, directional signs, lighting poles, railings, etc. Panoramic photographs were taken with the MMS vehicle at speeds of 20 and 40 km/h and at intervals of 3, 5, and 10 meters at different times of the day—morning, noon, and afternoon two different days. The measurements were carried out at 14:00 and 16:50 on the first day and at 9:30, 12:30, and 16:50 on the second day, resulting in a total of 25 different measurement recordings across 5 different time intervals over two days.

To analyze the internal accuracy of MMS, an 800-meter route in Başakşehir Sular Vadisi, an area dense with solid model objects, was selected as the application area. After geo-referencing the obtained data, they were transferred to mobile mapping software, and the edge measurements of solid models identified within the software were performed using photogrammetric methods. The edge lengths of selected objects were measured and compared using a steel tape measure and industrial calipers, allowing for the determination of measurement accuracies.

The internal accuracy studies showed that, within an area up to 20 meters from the camera, accuracies of 0.5-0.7 cm were achieved, particularly demonstrating high accuracy for geometric shapes. In areas 20-30 meters away, accuracies of 1.25 cm were obtained. These results indicate that the technique can be successfully applied in many applications requiring high accuracy.

For the point position accuracy studies, it was found that the photo capture intervals of 3 meters, 5 meters, and 10 meters with MMS did not lead to significant measurement differences. Measurements with photo intervals of 3 meters and 5 meters yielded similar accuracies. The different times of the day (morning, noon, evening) did not affect or change the results. Overall, position accuracies remained below 2 decimeters.

Following the introduction, the study includes a comprehensive literature review related to the topic. The second chapter presents an extensive literature review on Mobile Mapping Systems (MMS) and their application areas, along with their advantages and disadvantages. In the third chapter, an application of traffic sign production using MMS measurements with artificial intelligence technologies is described. A performance analysis was conducted to determine the point position accuracy of MMS and to assess its usability in different areas. The fourth and final chapter presents the results and recommendations. This section provides information on the findings of the study and offers suggestions for similar future studies related to the topic.





1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, Mobil Haritalama Sistemi (MHS) ile yapılan ölçmelerden elde edilen karayolu envanterinin yapay zekâ yöntemleri kullanılarak tanınması ve sistemin doğruluk performansının araştırılarak, bu tür sistemlerin varlık yönetim sistemlerinde hızlı, verimli ve doğru bir alternatif olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

Karayollarında emniyetli bir seyir için, trafiği düzenleyen pek çok farklı türdeki trafik işaret ve levhalarının mevcudiyetlerinin kontrolü, ek olarak doğru ve yeterli (ve yerinde) olduğunun standartlara göre tespit edilmesi gerekmektedir. Yol envanterleri yalnızca güvenli sürüş için değil, yakın zamanda hayatımıza daha fazla girecek olan otonom sürüş için de son derece önemli bir role sahiptir. Diğer yandan mevcut envanterlere dayalı olarak yapılacak trafik simülasyonları ile geleceğe dönük ulaşım politikalarının geliştirilmesi için envanterin doğru bir şekilde belirlenmesi (haritalanması) gerekmektedir. Ülkemizde yaklaşık 96.000 km karayolu ağı ve bu yollara ait 4 milyonun üzerinde trafik işaret ve levhası mevcuttur. Bu yol envanterinin hızlı, doğru ve güvenli bir şekilde üretilebilmesi ve güncellenebilmesi için MHS sistemi 2018'den beri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında başlatılan ilk çalışmalar sonucunda ortaya çıkan sistem ile Karayolları Genel Müdürlüğü'nde (KGM) bir ilk olarak mobil haritalama sistemi ile envanter ölçümleri ve büro ortamında envanter çıkartılması işlemleri başarıyla yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında ise, tarafımızca geliştirilen MHS aracılığıyla gerçek bir saha ölçmesinden elde edilen farklı verilerden (video, fotoğraf) bir yapay zekâ algoritması olan Tensorflow ve Faster RCNN Inception v2 COCO kullanılarak otomatik obje tanınması konusu ele alınmıştır. Sistemin performans analizi için de, İstanbul il sınırları içerisinde bulunan bir otoyolda yaklaşık 40 km'lik bir güzergah boyunca yapılan ölçmelere dayalı olarak yapılan obje belirleme çalışmasının doğruluk analizi yapılmıştır.

Yukarıda bahsedilen sistem, özellikle LiDAR donanımının kullanılması nedeniyle görece pahalı bir sistem haline gelmektedir. Bu sisteme daha ucuz bir alternatifin, yani oluşturulan sistemin en pahalı bileşenlerinden biri olan LiDAR olmaksızın kullanılabilirliği de araştırılmıştır. Bunun için de bir uygulama yapılarak, sistemin doğruluk performansı test edilmiştir. Bu kapsamda İTÜ Ayazağa kampüsünde 250 m’lik bir güzergâhta bir test ölçümü yapılmıştır. Güzergâh boyunca mevcut olan 4 farklı türdeki 40 objenin hangi doğrulukla elde edildiği yersel ölçmelerle yapılan karşılaştırma ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

1.2.1 Karayolunun ulaşım/taşımacılık açısından insanlık için önemi

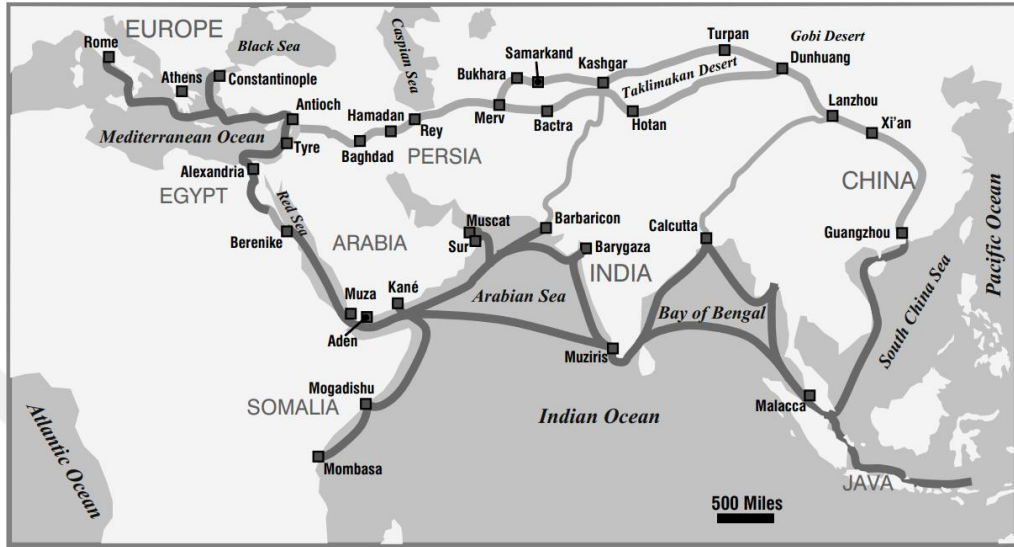
Ulaştırma altyapısı, ülkelerin ekonomik faaliyetlerinin etkin ve verimli bir şekilde yapılabilmesi için son derece önemlidir. Karayolları, demiryolları, su yolları, havayolları ve boru hatları ile desteklenen ulaştırma altyapısı; hammaddelerin, bitmiş ürünlerin ve diğer yüklerin uygun maliyetle, güvenli ve hızlı bir şekilde pazara ve üretim/satış noktalarına ulaştırılmasını sağlar. Etkin, verimli ve güvenli olmayan bir altyapı ise ekonomiyi aksatır, üretim verimliliğini azaltır ve fiyatların/maliyetlerin artmasına neden olur. Ulaşım, ekonomiye etkisinin yanı sıra insanların hareketliliğine imkân vererek sosyal ve kültürel gelişimi de destekler. Hem şehir içi gibi kısa mesafelere hem de yurt içi/yurt dışı noktalara erişim sağlar ve eğitim, sağlık, eğlence, turizm ve ticari amaçlarla vatandaşların rahatça hareket edebilmesine olanak tanır. Böylece ulaşım, toplumların ekonomik, sosyal ve kültürel gelişimi için gerekli altyapıyı oluşturmuş olur. Ulaştırma sektörünün genel ekonomi üzerindeki gücünü ve etkisini anlamak için sektörün GSMH içindeki payı, sektördeki çalışan sayısı ve bu çalışanların toplam istihdama oranı gibi değerlere bakılmaktadır. Ulaştırma sektörünün toplam hizmet ihracatı ve ithalatındaki oranı da sektörün gelişmişliğine ilişkin önemli öngörüler sunmaktadır. Ülkelerin ulaştırma sektörünün kalitesini ve performansını analiz etmek için Lojistik Performans İndeksi’ne (LPI) bakılmaktadır. LPI ile ülkenin ulaştırma alanındaki üstün ve zayıf yönlerini görebilir, fırsat ve tehditleri tanımlayabilir ve gerekli politikaları uygulama imkânına kavuşur (Lin ve diğ, 2017).

Taşımacılık dünya çapında en önemli insan faaliyetlerinden birini temsil eder. Ekonomik açıdan vazgeçilmez bir bileşendir ve konumlar arasındaki mekansal ilişkilerde önemli bir rol oynar. Taşımacılık, kıtalar, ülkeler ve bölgeler arasında ve ekonomik faaliyetler arasında değerli bağlantılar oluşturur, insanlar ile dünya arasında bağlantılar kurar. Taşımacılık, önemi çok boyutlu olan bir faaliyettir. Ulaşım, yük, insanlar veya bilgilerin coğrafi özelliklerini, bir başlangıç noktasından bir varış noktasına dönüştürmek ve bu süreçte onlara ek bir değer kazandırmaktır. Taşımacılık ve ulaşım uygarlıklarının yükselişinde (örneğin Mısır, Roma ve Çin), toplumların gelişiminde (sosyal yapıların oluşturulması) ve aynı zamanda ulusal savunmada (örneğin Roma İmparatorluğu, Amerikan karayolu ağı) çeşitli tarihsel roller oynamıştır. Sağlık hizmetlerinden, refaha ve kültürel veya sanatsal etkinliklere erişimi kolaylaştırarak sosyal hizmetler sunar. İnsanların hareketliliğini destekleyerek veya engelleyerek sosyal etkileşimleri şekillendirir. Dolayısıyla taşımacılık, sosyal yapıları destekler ve hatta şekillendirebilmektedir. Hükümetler, yatırım kaynakları ve düzenleyiciler olarak taşımacılıkta kritik bir rol oynar. Taşımanın siyasi rolü, hükümetlerin sık sık nüfuslarının hareketliliğini (karayolları, toplu taşıma vb.) teşvik etmeleri nedeniyle göz ardı edilemez. Çoğu taşıma talebi ekonomik zorunluluklarla ilgili olsa da, ulusal erişilebilirlik veya istihdam sağlamak gibi siyasi nedenlerle birçok iletişim ve ulaşım koridoru inşa edilmiştir. Dolayısıyla taşımacılık, ulus inşası ve milli birlik üzerinde etkisi olan, aynı zamanda siyasi bir araçtır. Taşımanın evrimi her zaman ekonomik kalkınma ile bağlantılı olmuştur. Taşıma altyapılarının inşası aynı zamanda buna karşılık gelen bir taşıma endüstrisinin gelişmesine izin vermiştir (otomobil üretimi, hava taşımacılığı şirketleri vb.). Taşıma sektörü aynı zamanda mal ve hizmet üretiminde ekonomik bir faktördür. Ekonomik faaliyetlerin katma değerine katkıda bulunur, ölçek ekonomilerini kolaylaştırır, arazi (gayrimenkul) değerini ve bölgelerin coğrafi uzmanlaşmasını etkilemektedir. Taşıma, ekonomik faaliyetleri şekillendiren bir faktördür, ancak aynı zamanda onlar tarafından şekillendirilir. 20. yüzyıl, insanların ve taşınabilir ihtiyaçların hareketliliği ile ilgili olarak taşıma talebinin önemli ölçüde arttığı bir yüzyıldır. Büyüyen ekonomilerle beraber daha fazla yolcu ve yükün taşınmasının yanı sıra, taşıma mesafelerinin de uzaması sonucudur. Son yıllarda çeşitli ulaşım taleplerini karşılayan birçok alanda yolculuk sayısının çoğalmasında yol açan sürekli bir mobilite büyüme sürecini vurgulamaktadır (Rodrigue, 2020).

1970'lerden itibaren küreselleşme, birçok coğrafi ve bölgesel kalkınma araştırmadaki taşımanın merkeziliğini sorgulamıştır. 1970'ler ve 1980'lerde taşıma, ekonomik coğrafyada az temsil edilmiştir, hatta insan ve yük hareketliliği ve düşük taşıma maliyetleri ticaret ve üretimin küreselleşmesinin arkasındaki önemli faktörler olarak görülmüştür. 1990'lardan sonra taşımacılık, üretim ve dağıtım konularının karmaşık bir coğrafi ortamda ilişkilendirildiği göz önüne alındığında, taşıma coğrafyası yeniden ilgi görmüştür. Artık taşımanın çekirdek unsurları olan ulaşım ağları, kavşaklar ve talep arasındaki karmaşık ilişkileri dikkate alan bir sistem olduğu kabul edilmektedir. İnsanların, yüklerin ve bilginin hareketine olan talep, çeşitli sosyo-ekonomik faaliyetlerin türetilmiş bir fonksiyonu olarak görülmektedir (Rodrigue, 2020).

Sanayi Devrimi öncesi taşımacılık, yüklerin verimli bir şekilde dağıtmak ve insanları taşımak, imparatorluklardan modern ulus devletlerine kadar imparatorluğun bütünlüğünü sağlamak için her zaman önemli bir faktör olmuştur. Teknolojik ve ekonomik gelişmelerle, böyle bir hedefe ulaşmanın yolları önemli ölçüde evrim geçirmiştir. Taşımacılığın evrimi çok karmaşıktır ve ekonomik sistemlerin mekansal evrimi ile ilgilidir. 18. yüzyılın sonunda sanayi devrimi tarafından getirilen büyük teknik dönüşümlerden önce, motorlu taşımacılık mümkün değildi. Taşıma teknolojisi, kara taşımacılığı için hayvan iş gücünü ve deniz taşımacılığı için rüzgarı kullanmaktan ibaretti. Taşıman miktarlar çok sınırlıydı ve insanlar ile yüklerin hareket ettiği hız da çok düşüktü. At arabası ile karadaki ortalama hız 8 ile 15 km/sa arasında deniz de ise biraz daha fazla idi. Su yolları, mevcut en verimli taşıma sistemleriydi ve nehirlerin yanındaki şehirler daha uzun mesafelerde ticaret yapabilir ve daha büyük bir toprak parçası üzerinde siyasi, ekonomik ve kültürel bütünlüğü koruyabilirdi. Tarım amaçlı olduğu kadar ticaret amaçlı da ilk medeniyetlerin nehir sistemlerinin olan Dicle-Fırat, Nil, İndus, Ganj ve Huang He nehirlerinin yanında ortaya çıktığı bilinmektedir. Bu dönemlerde kara yük taşımacılığının verimliliği düşük olduğundan, ticaretin ezici çoğunluğu yerel düzeydeydi. Bölgesel ekonomik organizasyon açısından şehirlerin dayandığı dayanıklı tarım ürünlerinin sağlanması en fazla 50 kilometrelik bir yarıçapla sınırlıydı. Şehirlerin boyutları da zamanla sabit kaldı. Sanayi Devrimi öncesi en büyük şehirler, Roma, Pekin, İstanbul veya Venedik gibi, hiçbir zaman 20 kilometrekarelik bir alanı aşmadılar. Uluslararası ticaret var oldu, ancak ticaret yapılan mallar baharatlar, ipek, şarap ve parfüm gibi yüksek değerli (lüks) mallardı. Özellikle insanlık

tarihindeki en kalıcı ticaret yollarından biri olan yaklaşık 1500 yıl boyunca kullanılmış olan 6.400 km uzunluğundaki adını Asya'dan Orta Doğu ve Avrupa'ya akan değerli Çin tekstilinden almış olan ve bir dizi patikadan oluşan İpek Yolu boyunca karayolu ile bunların ticareti yapılmaktaydı (Şekil 1.1) (Rodrigue, 2020).



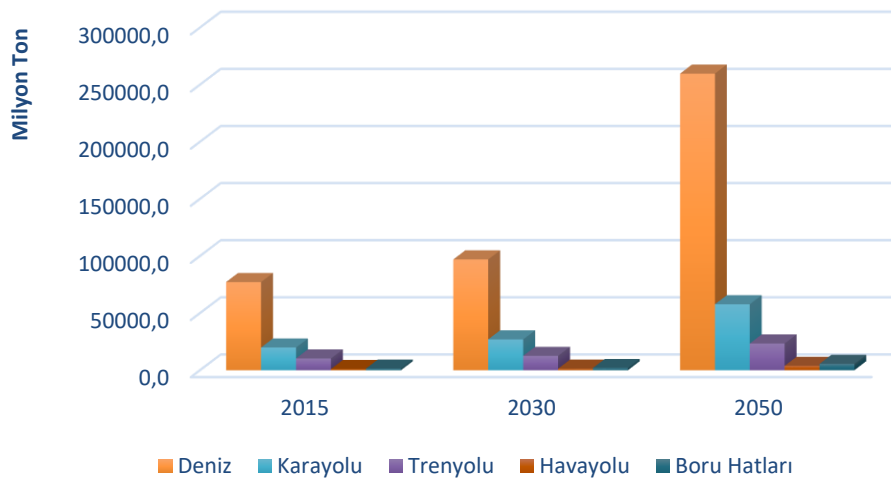
Şekil 1.1 : İpek Yolu ve Kızıldeniz rotası.

Sanayi devrimi dönemi (1800-1870) sırasında, kanal sistemlerinin gelişimi ve ikincisi demiryollarının gelişimiyle beraber deniz ve demiryolu ulaşım sistemlerine önemli bir coğrafi genişleme sağladı. Kara taşımacılığı açısından erken sanayi devrimi dönemi, iç kısımlarda dağıtımın artan miktarda hammadde ve mamul malları taşıma sorunlarıyla karşılaştı. 1814'te buharlı demiryolu teknolojisi ile beraber Manchester'dan Liverpool'a uzanan hat 1830'da (40 mil mesafede) hizmete girdi. İlk ticari demiryolu hattı olan ve kısa bir süre sonra demiryolu hatları gelişmiş ülkelerde imal edilmeye başlandı.

Sanayi devrimi sonrası kara taşıtlarındaki teknolojik gelişmelerle birlikte karayolu taşımacılığı da gelişmeye başlamıştır. 1950'lerden sonra otomobil üretiminde büyük bir değişim yaşanmıştır ve Amerika Birleşik Devletleri bunun öncülüğünü yapmıştır. 1960'larda Japonya ve Almanya otomobil endüstrisinde iki büyük oyuncu olarak ortaya çıkmıştır. Bu dönem aynı zamanda fosil yakıtlara bağımlılıktan ve petrol fiyatlarındaki artıştan ve karayolu taşımacılığı egemen hale gelmiş olmasından dolayı bir ulaşım krizi dönemi başlamıştır. Bu enerji tüketiminin azaltılmasının ve alternatif enerji kaynaklarının aranmasının teşvik edilmesine yol açmıştır. Ancak, 1980'lerin ortalarından 1990'ların sonuna kadar petrol fiyatları düşmüş ve bu girişimlerin

öneminin azalmasına neden olmuştur. 2000'li yıllardan sonra ülkeler elektrikli araçlara teşviklerini başlatmış ve günümüzde ise elektrikli araçlar azımsanamayacak kadar yollarda yerini almaya başlamıştır. Sanayi devrimi sonrasında karayolu ve demiryolları ağı gün geçtikçe taşımacılıktaki ağırlığını arttırmıştır.

Yük taşımacılığında başlıca kullanılan modlar, deniz (genellikle deniz yoluyla, ancak iç su yollarında da), karayolu ve demiryolu, boru hatları ve hava taşımacılığının ise daha az katkısı bulunmaktadır. Bu sonuncu mod, maliyetinin diğer rekabetçi modlara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek olduğu yükler için sınırlıdır. Ton-kilometre olarak ölçülen yük taşımacılığı talebi, genellikle deniz taşımacılığı tarafından büyük ölçüde domine edilmektedir ve toplam talebin 2050'ye kadar üç katından fazla artması beklenmektedir (ITF, 2019). Karayolu ve demiryolu paylarının azalmasıyla birlikte deniz taşımacılığı payını artırarak 2050'ye kadar toplam talebin dörtte üçünü oluşturması beklenmektedir. Bu projeksiyonlar, ekonomik büyüme tahminlerine ağır şekilde bağımlıdır ve bu nedenle, belirsizlik ortamında, önemli ölçüde değişkenlik gösterebilirler. Başka bir önemli faktör ise, özellikle Asya'da önemli bir potansiyele sahip ülkelerde ticaret kapasitesinin genişlemesidir (ITF, 2019). Dünyada öngörülen navlun bazlı taşımacılığın 2050 yılına kadarki sektörel dağılımları Şekil 1.2'de verilmiştir.

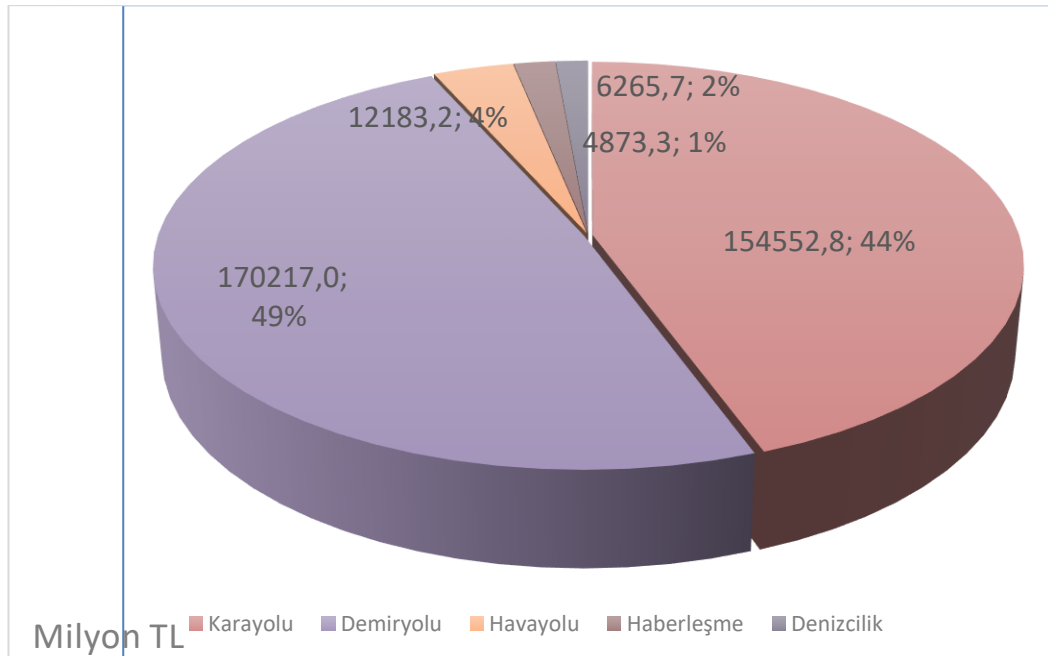


Şekil 1.2 : Dünyada taşımacılığın navlun bazlı sektörel dağılımı.

Ülkelerin sosyo-ekonomik gelişimi için karayolu altyapısının önemi bilinmektedir. Nakamura ve diğ. (2019) tarafından kırsal yolların hanehalkı tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve kırsal yolların, hanehalkı tüketimini %16.1 arttırdığı, El Nino gibi

felaketlere karşı direnci arttırdığı ve yoksulluğa düşme olasılığını %14.4 azalttığı sonucuna varılmıştır. Genel olarak, kırsal toplulukları piyasalara bağlayarak kırsal yolların, kırsal hanehalkının refahını ve dayanıklılığını önemli ölçüde artırdığı sonucuna varılmıştır.

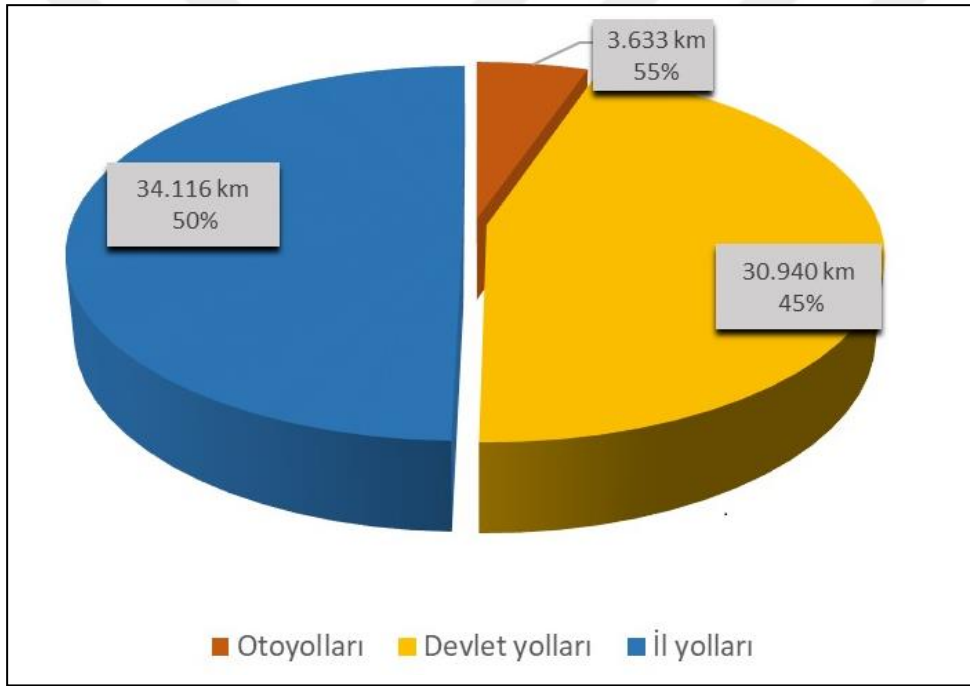
Şekil 1.3'de verilen TC Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2024 yılı bütçe verilerine göre Türkiye ulaştırma altyapısına yatırım bütçesi olarak 348.09 milyar TL tutarında yatırım yapılacaktır. Türkiye'nin ulaşım sistemini güçlendirmek için hedeflenen adımlar için önemli bir kaynak tahsisi ortaya koyarak ulaştırma yatırımlarına ne derece önem verdiğini ortaya koymuştur (Url-1). Bu stratejik kaynak tahsisi, altyapının sürdürülmesini, karayolu ağının sorunsuz bir şekilde genişletilmesini ve karayolu yönetim sisteminin iyileştirilmesini destekleyerek önemli faydalar sağlamayacağı aşıkardır. Karayolu sektörüne önemli kaynaklar tahsis edilmiş olduğu net olarak kendini göstermektedir. Değerlendirmeye değer olan, 154.5 milyar TL'lik bir bütçenin karayolu gelişimi için ayrıldığıdır. Bu finansal bağlılık, Türkiye'nin geniş karayolu ağını etkin bir şekilde yönetmek için önemli araçlar olan bilgi ve karar destek sistemlerinin hızla uygulanmasını hedeflemektedir. Ancak, çarpıcı rakamları düşündüğümüzde durum farklı bir hal almaktadır.



Şekil 1.3 : Türkiye ulaştırma ve haberleşme sektörü bütçesinin 2024 yılı dağılımı (Url-1).

Türkiye’de TUIK verilerine göre Mart 2024’ün sonunda kayıtlı araçların toplam sayısı dikkate değer derecede artmış ve 29,142,942’ye ulaşmıştır (Url-2). Bu istatistiklerde kara araçları belirgin bir şekilde öne çıkmaktadır. Bu önemli araç hacminin, devamlı artan bir trafik yoğunluğuna ve dolayısıyla da kazalarda da artışa neden olacağı öngörülebilir. Bu önemli sorun, karayolu ağını genişletmek ve bu yolların yönetim sistemini geliştirmek için hızla harekete geçilmesini gerektirmektedir.

Türkiye’nin geniş coğrafyasında ulaşım sistemi geniş bir karayolu ağı olarak durmaktadır. Şekil 1.4’de TUIK verilerine göre Türkiye karayolu yol uzunluğu, karayolu altyapısı, il bağlantı yolları ve erişilebilirlik açısından önemli bir resmi çizmekte ve ülkenin hareketliliğini ve ekonomik dinamiklerini şekillendirmede kilit bir rol oynamaktadır (Url-2).



Şekil 1.4 : 2023 yılı Türkiye tiplerine göre yol ağı (Url-2).

Türkiye'deki toplam yol uzunluğu 68,689 kilometreyi aşmaktadır ve çift şeritli yolların her iki yönü de dikkate alındığında, 96,047 kilometreye kadar uzanmaktadır. Bu geniş karayolu ağı, binlerce kilometrelik oto korkuluklar, yüz binlerce kilometreyi kapsayan yol işaretleri, yüzlerce kilometrelik tüneller, binlerce köprü, yüz binlerce kavşak, milyonlarca trafik işaret levhası, on binlerce sinyal lambası vb gibi birçok bileşeni içerir. Toplamda, bu unsurlar 4 milyonun üzerinde çeşitli öğeden oluşan kapsamlı bir envanteri oluşturmaktadır.

Ülkemizde ekonomik büyüme için kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla, ulaşım alt yapısı için karayolu uzunlukları alınmıştır. Türkiye’de ulaşım altyapısının ekonomik büyümeye olumlu ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu sonucuna varılabilir. Ekonomik büyüme oranı, karayolu, demiryolu uzunlukları, toplam ulaştırma ile gayrisafi sabit sermaye oluşumu değişkenleri arasında uzun ve kısa dönemde anlamlı bir ilişki olduğunu bilinmektedir. Görüldüğü üzere karayolu ve demiryolu ve bunların taşımacılıkta kullanımı ekonomik, sosyal, gayri safi yurtiçi hasıla, büyüme, ulaştırma ve ülke kalkınması ile yakından ilgilidir.

1.2.2 Yol envanterinin Karayolu ve demiryolu için önemi ve yeri

Geçtiğimiz yüzyıldan bu yana hızla artan nüfus, kentleşme, kaynak ihtiyacı vb. gibi durumlar ulaştırma sektörünü de doğrudan etkilemiş ve özellikle 20. yy ikinci yarısından itibaren yapılan çalışmalar, ulaştırma sistemleri ile ilgili günümüzde gelinen birçok noktanın evveliyatını oluşturmuştur. Ulaşım ihtiyacına olan talebin artması ile Japonya, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkelerinin öncülüğünde ileri teknoloji yol ağları, yüksek standartlı yollar hizmete geçirilmiştir. Ancak gelişmenin kaçınılmaz bir sonucu olan bu durum, taşıt trafiği hacminin artması, yoğun enerji tüketimi, sıklıkla yaşanan trafik kazaları, trafik sıkışıklıkları ve darboğazlar, çevresel etkiler, trafikte uzun kuyruklanmalar, yüksek bakım-onarım giderleri, otopark problemleri, seyahat sürelerinin uzaması gibi bir takım sorunları da beraberinde getirmiştir (Lin ve diğ, 2017).

Günlük sosyo-ekonomik faaliyetin hızlı büyümesi ve ülkelerin uzun vadeli sürdürülebilirliği, en yaygın ulaşım altyapısını oluşturan karayolu ağlarının doğru şekilde kullanılmasına da yakından bağlıdır. Karayolu altyapısı, birçok gelişmekte olan ülkede toplum ve ekonomi için önemli bir finansal varlık olabilir, ancak bu potansiyel genellikle göz ardı edilir. Bu durumun temel nedeni, gerçek değeri konusunda yeterli farkındalığın eksikliğidir. Ayrıca, karayolu bakımına yeterince yatırım yapmanın öneminin, kapsamlı bilgi, derin öngörüler ve değer öneminin anlaşılmasının eksikliği, kronik olarak yetersiz finansman ve kalitede kademeli düşüşe neden olmuştur. Karayolu ağının bozulması, özellikle bağlantıları etkileyerek temel altyapının kaybına yol açar. Bunun yanı sıra, karayolu envanterlerinin kötü yönetimi, kontrolsüz trafik kazalarında artışa ve otonom sürüşler için yüksek çözünürlüklü

haritalama sistemleri için güvenilir veri eksikliği gibi önemli zorluklara yol açmıştır (Natsui ve diğ, 2022).

Haritalama sistemlerinin ürettiği mekânsal veriler harita üretimi dışında CBS için altlık oluşturmada, kent modellemede, navigasyon çalışmalarında, varlık yönetiminde ve envanter oluşturmada kullanılmaktadır. Özellikle de son yıllarda ulaşım sektöründe karayolu ve demiryolu üzerindeki objelerin analizinde ve envanterlerinin üretilmesinde haritalama sistemleri ön plana çıkmaktadır. Bilindiği üzere yollar insan yaşam kalitesi açısından en önemli altyapılardır. Sadece karayolu taşımacılığında değil, aynı zamanda su kanalı, kanalizasyon, elektrik hattı veya telefon hattını belirlemede de kullanılmaktadırlar. Kamu sektörü açısından yol çevresinde bulunan ulaşım envanterlerinin oluşturulması ve güncellenmesi son derece önemlidir (Rau ve diğ, 2011).

Yolların, yük ve yolcuları güvenli ve hızlı bir şekilde kısa veya uzun mesafeler boyunca taşıyan bir ekonominin ana damarları olduğu yaygın bir gerçektir. Yolların güvenli ve iyi durumda kalması için karayolu mühendislerinin mevcut yol durumunu bilmeleri gerekmektedir ki bu da yol verilerinin toplanmasını gerektirir. Çeşitli yol envanter türleri toplanabilir, bunlar arasında yol envanter verileri, yol durumu verileri, maliyet verileri, iklim verileri ve tarihî veriler yer alır. Hangi veri miktarının uygun bir karar vermek için etkili olacağı yol yöneticilerin politikasına bağlıdır. Bazı gelişmiş ülkeler, yol verileri ile ilgili 100'den fazla öge toplamaktadır (Silyanov ve diğ, 2020). Ülkemizde ise KGM 2018 yılından itibaren 300'ün üzerinde karayolu envanter türünü toplayarak 4 milyondan fazla tüm Türkiye'nin karayolu envanterini toplamış ve her yıl envanter güncelleme çalışmalarını yapmaktadır. Toplanan bu envanterlerden de köprü, menfez, tel çit ve oto korkulukların bakım onarımlarını mobil bir uygulama ile gerçekleştirmektedir (Url-3).

Karayolu bakım onarım eksikliğini karayollarının gelişimi ve sürdürülebilirliği için önemli bir engel olarak belirlemiş ve sürekli finansman eksikliğini temel kısıtlama olarak görmüştür (Pinard, 2015). Karayollarının bakım ve onarımı için mevcut kıt kaynaklar teknik ve kurumsal olarak uygun, ekonomik olarak verimli ve finansal olarak uygun bir şekilde kullanılmalıdır. Crist ve diğ, (2013), karayolu ağlarının ulusal ve bölgesel hükümetler tarafından tutulan temel varlık sistemlerinden birini temsil ettiğini ancak varlık durumu ve değeriyle ilgili verilerin birçok yargı süreçlerinde

sürekli eksik olduğunu iddia etmektedir. Bu, karayolu ağının durumunu değerlendirmeyi ve bakım, rehabilite ve yeni yatırımlar için harcamaları optimize etmeyi zorlaştırmaktadır. Varlık yönetimi geniş bir konu olmasına rağmen, temeller bu varlıkların envanterine ve mevcut durumuna sahip olmakla başlar (Bezabih ve diğ, 2020).

Karayolu ve demiryolunda bakım ve onarımın amacı, varlığı korumak, onu yükseltmek değildir. Büyük yol çalışmalarının aksine, bakım düzenli olarak yapılmalıdır. Yol bakımı, asfalt, sanat yapıları, eğimler, drenaj tesisleri ve yol kenarlarında bulunan diğer tüm yapılar ve mülklerin mümkün olduğunca, Yerrell (1994) tarafından belirlendiği gibi, inşaat veya yenilenme durumlarına yakın bir durumda tutulmasına yönelik faaliyetleri içerir. Bunlar, kusurların nedenini ortadan kaldırmak ve bakım çabalarının aşırı tekrarını önlemek için küçük onarımlar ve iyileştirmeleri içerir. Yönetim ve operasyonel kolaylık için, yol bakımı rutin, periyodik ve acil olarak kategorize edilir. Belirli bir yılda inşa edilen ve devredilen bir yol bağlantısı, normal koşullar altında ikinci yıl hizmet verilmesi planlanan rutin bakım ve üçüncü yıl periyodik bakım gibi bir sıraya alınır. Bakım operasyonları, km cinsinden uzunlukta planlanır ve uygulanır. Operasyonların maliyeti, her tür bakım operasyonu için önceden belirlenmiş bir birim fiyat temel alınarak tahminler yapılır. Bakım için seçilen bir yol güzergâhında, operasyonlar tahmin edilen ve belgelenen iş hacmine ve maliyete dayalı olarak planlanmaz ve yürütülmez, bu da bakım işlerinin kalite denetimini ve genel teknik ve mali denetimi olumsuz yönde etkiler. Dahası, bölgesel yol otoritelerinin yol varlıkları, yol uzunluğu, drenaj yapıları ve yol envanterlerinin kapsamlı bir hesabı yoktur (Bezabih, 2020).

Demiryolu ve karayolu envanteri, köprü ve drenaj yapıları da dahil olmak üzere yol özelliklerinin tam bir listesini ifade eder. Bu, yol ağlarını, viyadükleri ve alt geçitleri, yaya tesislerini, drenaj yapılarını, yolun yön bilgilerini ve içindeki kesişimleri vb. içerir. Envanter verileri, zaman içinde belirgin bir şekilde değişmeyen yol sisteminin fiziksel unsurlarını tanımlar. Yol envanterinin amacı, yol ağının ve önemli özelliklerinin mevcut durumunu bilmektir. Böylece bakım ve rehabilitasyon için bütçe sağlamada yolları önceliklendirmeye yardımcı olur. Ayrıca, yollar ve yol özelliklerinin bir veritabanını oluşturulur. Bu da araştırma, yasal konular vb. gibi amaçlar için kullanılabilir. Bir yol ağında yol envanterleri çıkartıldığında, yol ağı sisteminde yeni yolların inşası gibi büyük değişiklikler olmadıkça tekrar tekrar yapılmasına gerek

olmamakla beraber güncellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle yolların envanteri, yol ağıının mevcut durumunu bilmek için ilk ve önemli bir adımdır (Bezabih, 2020). Bir yol ağı envanterini tamamlamak için gerekli olan temel bilgiler; bağlantı adı/yol adı, yolun işlevsel sınıfı, yolun uzunluğu, yolun genişliği, yol sahibi, yolun konumu trafik işaret ve levhaları, kaplama türü, sanat yapıları, drenaj kanalları, aydınlatma direkleri vb. verilerden oluşur. Yol envanteri çıkartılması işi, bakım faaliyetlerinin ve çalışmaların toplam maliyetini en aza indirmeyi hedefleyen yol mühendislerinin yol performansı değerlendirmesi için temel bir unsurdur.

Yol envanterleri özellikle trafik işaret ve levhaları karayolu ve demiryolları için önemi gittikçe artmaya başlamıştır. Özellikle otonom sürüşle beraber hem karayolunda hem raylı sistemlerde hayati bir öneme sahip bulunmaktadır. Yol envanterleri; varlık yönetim sistemlerinde, yeni nesil araçlarda, otonom sürüşlerde, Akıllı Ulaşım Sistemlerinde (AUS), yüksek çözünürlüklü harita (High Definition Map - HD Map) üretiminde, yol güzergâhlarının bakım onarım çalışmalarında ve hukuki süreçlerde yoğun olarak talep edilmeye başlanmıştır. Yol envanterlerinin bir kısmını oluşturan trafik işaret ve levhaları ise; trafiğin ve yolların yönetimi sağlar, güvenli sürüşü sağlar, trafik düzenler, regüle eder, denetimi sağlar, yolun güvenliğini ve yol bilgisini sağlar, yol gösterir, vb. faydaları vardır. Bu sebeple yol envanterlerinin konumsal olarak doğru şekilde çıkartılması, yönetilmesi, güncellenmesi ve ilgili birimlere destek vermesi açısından önemi gittikçe artmaktadır.

1.2.3 Yol envanterinin çıkartılma yöntemlerinin genel bir değerlendirilmesi

Karayolu envanter çalışmaları ile ilgili ilk çalışmalar Hveem (1958)'in karayolu kaplamalarında yaşanan başarısızlıkların tanımı ve birçok durumda terimler konusunda bir uzlaşma olmaması nedeni ile tartışmaları hem ortadan kaldırmak hem de kaplamalarındaki arıza türleri ve nedenleri ile ilgili kargaşanın ortadan kalkması için yaptığı çalışmalarla başlamıştır. Çalışmada bazı karayolundaki olumsuzlukların gruplandırılması ve sınıflandırılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Bu çalışmayı yaparken yol kaplamasındaki hasar türleri, yol kaplama türleri, kaplamanın kalitesi, kaplama yüzeyinin soyulması, dağılması, çatlaması ve kararsızlığı ve yollardaki tabaka kaymalarına ve önleyici önlemlerin veya uygun bakım onarımlarının çalışmaları tipik örnekleri temsil eden fotoğraflar elde etmek karayolu güzergâhlarında

bilgi amaçlı konuma dayalı olmayan fotoğraflar çekerek envanter çıkartma çalışmalarına ilişkin ilk çalışmaları başlatmıştır.

Yol Testi çalışmaları için Amerikan Eyalet Karayolu Yetkilileri Derneği tarafından 1962 yılında başlatılan bir çalışma ile, bilinen özelliklere sahip yol ve köprü yapılarının bilinen büyüklük ve sıklıktaki hareketli yükler altındaki performansının incelenmesi amacıyla bir rapor çalışması başlatılmıştır. Trafik işlemleri ve yol bakımı ve köprü araştırması test çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar esnasında ölçüm programlarını ve veri toplama prosedürlerini, analiz yöntemleri belirlenmiştir. Seçilen test alanında kullanılan tesisleri ve işletme yöntemlerini ve yol performans değerlendirmeleri, esnek ve rijit yol deneme tasarımları ve araştırmaları yapılmıştır. Burada yapılan çalışmalar esnasında ilk defa karayoluna ilişkin envanterlerin toplanması bir ölçüm programı kapsamında yapılmıştır. Bu kapsamda yollardaki geçici yük etkileri, kaldırım profilinde kalıcı değişiklikleri, yüzeyin çatlamasının ve yama yapılması, kaldırım tabaka kalınlığının değişimi ve diğer birçok ölçümlerin periyodik olarak yapılmasını içeriyordu. Bu amaçla istenilen bilgilerin otomatik olarak delikli kağıt bant üzerine kaydedilmesi ve saha analog kayıtlarını okumak ve bilgileri elektronik bir bilgisayara hemen aktarılabilmek için özel elektronik sistemler geliştirildi (Board, 1962).

Gerek yersel fotogrametri çalışmaları gerek ise klasik arazi ölçmeleri doğruluk açısından yeterli olsa da hız ve iş gücü açısından geniş alanlarda veya uzun güzergâhlarda yeterli performans sağlamamaktadır. Bu nedenle hız parametresini ön plana çıkaracak mobil haritalama sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Mobil haritalama kapsamında ilk ilkel çalışmalar 1970'lere kadar uzanmaktadır. Mobil haritalama yöntemleri 1970'lerde, Kuzey Amerika'da birçok karayolu ulaşım birimleri tarafından kullanılan fotoğraf kayıt sistemleri, kaldırım kalitesini, yol bakım verimliliğini, yola engel teşkil eden durumları ve benzeri olayları izlemek için kullanılmıştır. Bu hizmetler genelde iki veya üç yılda bir tekrarlanarak devam etmiştir. Genellikle, bir aracın ön camından fotoğraf çekmek için film kameraları kullanılmıştır. Kayıtları yapılan fotoğrafların anlık konumlarını belirlemek için jiroskoplar ve ivmeölçer gibi atalet aygıtları ve tekerlek sayaçları kullanılmıştır. Her fotoğraf, zaman ve coğrafi konum bilgileri ile ilişkilendirilmiştir. Bu fotoğraflar çoğunlukla karayolu güzergâhının resimsel bir kaydı olarak depolanmıştır (Birge, 1985). Taşıtın nokta konum doğruluğunun düşük olması ve bu sistemlerde sadece tek bir kamera sistemi

olması nedeniyle 3 boyutlu görsellik sağlanmamıştır. Fotoğraf kaydının en büyük sakıncası film tabanlı depolama ve işleme olması idi. Mühendislik, planlama, yasal ya da güvenlik faaliyetleri için fotoğraflara erişmek zaman almaktaydı. Film kırılğan ve işlem maliyeti yüksek bir film üretimi gerektiriyordu (Birge, 1985). Bu yöntem her ne kadar mobil özellik taşısa da doğruluk, maliyet ve hız açısından yeterli değildi. 1970’li yılların ortalarından itibaren uydulardan yeryüzü ve arazi kullanım bilgilerinin elde edilmesi ve 1974 yılında ABD tarafından küresel konumlama sistemi olan Global Positioning System (GPS) tasarlanım kullanılmaya başlandıktan sonra klasik yöntemlerle yapılan ölçüm doğrulukları, ölçüm hızları ve yöntemleri gelişmiş ve değişim göstermiştir (Köktürk, 2004). Saha çalışmaları kullanılan ölçüm metoduna göre maliyet, doğruluk, detay ve hız açısından farklılıklar göstermektedir. Ayrıca teknolojik gelişmelere bağlı olarak ölçme teknikleri ve mekânsal veri elde etme yöntemleri de tarih boyunca teknolojik gelişmelerle de beraber değişim göstermiştir. Yol envanteri toplama, başlangıçta otoyol mühendislerinin kullandığı kağıt tabanlı manuel yaklaşım gibi bir dizi gelişim aşamasından geçer; bu yaklaşım işgücü yoğun, düşük doğruluklu, yetenekli bir değerlendirici gerektirir ve sınırlı veri toplanabilmektedir.

Geleneksel olarak, yol çevresinde bulunan trafik işaretleri, yol sınırları, trafik işaret ve levhaları, bariyerler, tel çitler ve reklam panoları gibi objelere ait coğrafi ve öznelik bilgilerinin edinilmesi büyük ölçekli hava fotoğrafları ve/veya arazi ölçmelerinden gerçekleştirilen topografik haritalama ile gerçekleştirilmektedir. Hava fotoğraflarındaki görsel sınırlamalardan dolayı, zahmetli ve zaman alıcı olan arazi ölçmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek maliyet ve iş gücü gereksinimlerini azaltmak çalışma güvenliğini riske etmemek amacıyla çeşitli çalışma ekipleri oluşturularak yersel mobil haritalandırma sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Çok geniş alanlarda yapılacak olan çalışmalarda mobil haritalama teknolojisi ile çok daha kısa sürede ve daha az işçilik ile mekânsal veriler elde edilebilmektedir (Rau ve diğ, 2011).

Sahadan veri toplayan ölçme aletlerinin pazara girmesi, ölçme verilerinin tutarlılığını geliştirmiştir. 2000’li yılların sonlarında daha hafif ve kolay taşınabilir özellikte olan mekânsal veri toplayıcı el terminalleri, sistematik bir veri toplama yöntemi olarak kabul görmüştür. Bu aletler GNSS ile entegre bir şekilde çalışan sahadan detaylı veri toplamak ve depolamak için kullanılmaktadır. Bu cihazlar konumu kaydeder ve

verileri doğrudan bir sunucuya gönderebilir ya da dahili bir depolama alanına sahip olabilmektedir (De Donatis ve Bruciatelli, 2006). Mobil CBS teknolojisi, yol envanteri toplama için yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Mekansal analiz özelliği içeren mobil uygulamalar piyasada giderek daha fazla ilgi görmektedir. Örneğin; GPS içeren telefonlar, her ne kadar doğruluk değeri düşük olsa da veri toplama açısından hızlı ve basit çözüm sunmaktadır (Pundt, 2002).

Mobil Haritalama Sisteminin (MHS) gelişimin ikinci aşaması, 1980'lerde başlamış ve bu aşamada araç tabanlı yol envanteri toplama sistemleri yavaş yavaş otoyol idareleri tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojideki hızlı gelişmelere bağlı olarak, 1990'lı yılların sonunda klasik ölçme aletleri yerlerini büyük ölçüde tam otomatik ölçme ekipmanlarına, sensörlere ve uydu teknolojisine bırakmıştır. Araç tabanlı yol envanteri toplama sistemleri, bilgisayar işlem gücüne göre gelişmiş ve günümüzde yoldaki pürüzsüzlük, tekerlek izi, kayma direnci, kilometre sayacı, uydu-bazlı konum belirleme sistemleri, yol envanteri ve yol çatlak tespiti için video kaydı yapabilen bir dizi sensöre sahiptir. Modern araç tabanlı yol envanteri toplama sisteminin maliyeti, işlevselliğe bağlı olarak 1 milyon ABD dolarına kadar çıkabilmektedir. Yüksek derecede beceri gerektiren bu yöntemde veri, yüksek doğrulukla elde edilmekte olup, oldukça detaylıdır. Akıllı telefon tabanlı yol envanteri toplama, aracın titreşimini ölçmek için yerleşik bir ivmeölçer kullanılarak başlatılmıştır. Bu titreşim daha sonra bir yol hasarı ve kasisleri endeksine dönüştürülebilmektedir. Zamanla yol ağları arttıkça, yol verilerini araçlar kullanarak toplamak için bir ihtiyaç doğmuştur. Ekipman tabanlı yol veri toplamanın kişisel ve sistematik hataları azalttığı ve güvenliği artırdığı görülmüştür. Bu dönemde, araç tabanlı yol veri toplama sistemlerinin yaygın olarak kullanılmaya başlandığı dönemde, veri toplama sistemleri satıcıları otomatik ve manuel veri kayıt sistemleri sunmaktadır (Benson ve diğ, 1988).

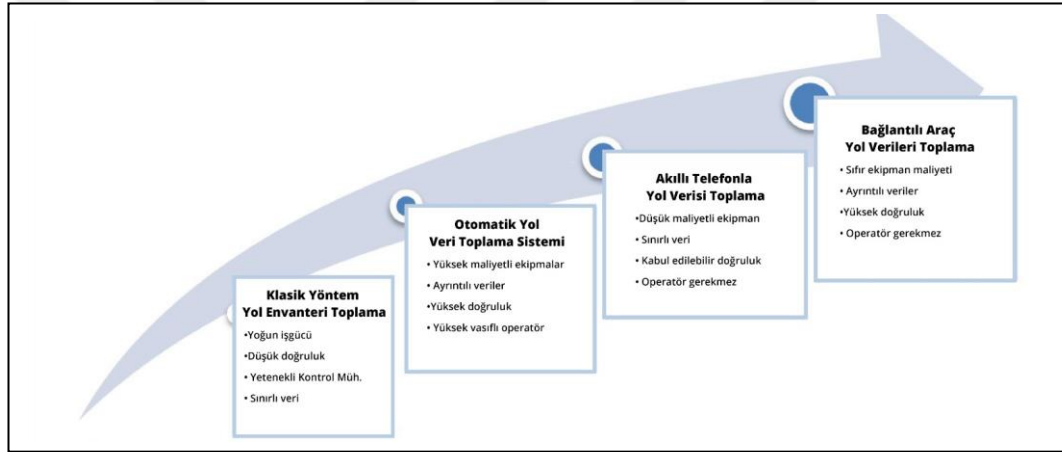
Başlarda CCD kamera veya video kamera kullanan mobil haritalama cihazları, yol envanterinin haritalanması için geliştirilmiştir. Yol işaretlerinin boyutu, şekli ve renk özellikleri, yol işareti çıkarma için önemli göstergeler olarak kullanılmıştır (Broggi, 1995, Veit ve diğ, 2008). MHS teknolojisi, geniş alanlarda hızlı veri toplama ve doğrudan coğrafi referanslama ile karakterize edilen yenilikçi bir yöntem sunmaktadır. Karayolu ve demiryolu güzergâh haritalama, koridor haritalama ve trafik güvenliği değerlendirmesinde yaygın olarak MHS kullanılmaktadır (Chen ve diğ, 2010; Grejner-Brzezinska ve diğ, 2004).

GNSS den alınan konum bilgisi ile panoramik kameralardan elde edilen panoramik görüntüler yardımıyla ulaşım ağına ait şerit sayısı, park alanları, kaplama türü gibi öznitelik bilgileri ve bariyerlerle trafiğe kapalı ya da merdivenli yollar gibi uydu görüntüsüyle tespit edilemeyecek topolojik bilgiler toplanabilmektedir. Panoramik görüntülerle CBS tabanlı sistemlerin entegre edilmesi neticesinde etkin ve sürdürülebilir olarak coğrafi verilerin güncellenmesinde 360 derece panoramik görüntülerin rolü giderek artmaktadır (Eğri ve diğ, 2014).

Teknolojik gelişmeler veri toplama hızını ve kalitesini artırırken görsel veriler hayati önem taşımaktadır. GNSS ve total station gibi geleneksel yöntemlerle veri toplama daha fazla ekip, zaman ve maliyet gerektirir. Ancak bunlar karayolu ağından veri toplamak için verimli değildir, güncellemeler için uygun değildir ve güvenlik riskleri oluşturmaktadır (Keleş ve diğ, 2020). Bu kısıtlamalar ayrıca, simülasyonlar ve otonom sürüş gibi çeşitli veri ihtiyaçlarını da karşılayamamaktadır. Burada belirtilen tüm dezavantajların mobil haritalama sisteminde azaltılması beklenmektedir. Bu sistem, envanter faaliyetlerine ve karayolları ve demiryolları gibi doğrusal rotalardaki bakım ve onarım operasyonlarına yardımcı olabileceği gibi, yapay zekâ teknolojisinin kullanımıyla otomatik envanter üretimi sağlanabilir ve otonom araçlar için sensör olarak kullanılan yüksek çözünürlüklü harita (High Definition Map - HD Map) oluşturulması için kullanılabilir (Elhashash ve diğ, 2022). Ayrıca, bu teknolojinin karayollarındaki çeşitli araç kazalarında olay yerinin incelenmesi ve bilgi çıkarma için kullanılabileceği öngörülmektedir. Bu, veri kalite kontrolünü doğal olarak kolaylaştırır ve karayolu boyunca ilan reklam ekran alanlarının ölçülmesini sağlar ve birçok başka faydaya sahiptir. Ayrıca elde edilen verilerin çeşitli mühendislik projelerinde aktif olarak kullanılabileceği ve veri toplama tarihinden itibaren araştırma amaçları için yeni verilerin üretilebileceği öngörülmektedir. Uzun metrajlı alanlarda ve büyük ölçekli haritalar için, Mobil Haritalama Sistemi (MHS) kullanımı son derece verimli ve uygun bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır.

Ülkemizde ise; son beş yıla kadar klasik yöntemle yol envanterleri toplanmakta iken, 2018 yılından itibaren yukarıda değinildiği gibi tez çalışması kapsamında ilk ortaya konulan yöntemle ölçülmeye başlanmıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) bünyesinde yürütülen Görüntü Tabanlı Bilgi Yönetim Sistemi projesi kapsamında envanter güncelleme çalışmaları mobil haritalama sistemi ile yapılmaya devam edilirken, mobil telefon uygulaması ile de envanter güncelleme ve bakım onarım

çalışmaları yürütülmüştür (Url-3). Cep telefonu ile veri toplama yönteminin avantajları arasında akıllı telefonun düşük maliyeti, operatör için özel gereksinimlerin olmaması, kabul edilebilir doğruluk bulunurken, dezavantajı sınırlı veri toplanabilmesidir. Yol envanteri toplama yöntemlerinin gelişim süreci, teknolojinin verinin nasıl toplandığı, depolandığı ve analiz edildiği şeklini nasıl şekillendirdiğini göstermektedir (Şekil 1.5). Teknolojinin hızla ilerlemesine rağmen, çoğu gelişmekte olan ülke hala manuel (görsel) yol verisi toplama uygulamalarını sürdürmektedir. Bunun nedenleri, yüksek derecede beceri gerektiren operatörlerin eksikliği, aşırı karmaşık yol envanteri toplama sistemleri, tonlarca kaplama durumu verisi ve karmaşık kaplama performans modelleridir. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkelerde basitleştirilmiş bir yol varlık yönetimi yaklaşımının geliştirilmesi gerekmektedir (Silyanov ve diğ, 2020).



Şekil 1.5 : Yol envanteri üretiminin gelişim süreci (Silyanov ve diğ, 2020).

Yol envanteri toplamanın geleceği, yüksek çözünürlüklü LiDAR, kameralar, GNSS ile çok sayıda sensörle donatılmış bağlantılı/otonom araçların gelişimi ile yakından ilgilidir. Avantajlar arasında ek bir ekipman maliyetinin olmaması, detaylı veri, yüksek doğruluk ve operatör gereksiniminin olmamasını söylemek mümkündür. Bağlantılı/otonom araçlar tarafından toplanan verilerin derin öğrenme algoritmaları kullanılarak otomatik olarak kategorize edilip harita üzerinde görselleştirilmesi, herhangi bir karayolu mühendisi tarafından erişilebilen bir şekilde gerçek zamanlı olarak sürekli güncellenen veriler olarak sunulabilecektir (Silyanov ve diğ, 2020).

1.3 Hipotez

Günümüzde karayolları ağı; seyahat, ulaşım ve taşımacılık faaliyetleri için büyük bir öneme sahiptir. Karayolu seyahatlerinde sürüş/yol güvenliğini ve sürüş konforunu

sağlamadaki en önemli unsurlar, trafik işaret levhaları ile diğer yol envanterleridir. Yakın zamanda otonom araçların da yaygın olarak kullanılacak olmasıyla bu tabelalar sürüş için çok daha hayati bir rol oynayacaktır. Dolayısıyla söz konusu bu yol envanterini oluşturan objelerin (trafik işaretleri, yol çizgileri, bariyer vb) mevcut durumlarının ortaya konulması/çıkarılması/belirlenmesi gerekmektedir (örneğin taşınması gereken fiziki koşullara sahip olup-olmadığının belirlenmesi, renk, şekil, geometrik vb açılardan sağlıklı olup-olmadıklarının belirlenmesi gibi). Bunun için klasik yöntemler (yersel yöntemler) yaygın olarak uygulanmaktadır. Ancak başta verimlilik ve hız olmak üzere düşük performans gösteren bu yaklaşım, oldukça maliyetli çalışmaları gerektirmekte olup, iş sağlığı ve güvenliği açısından da pek çok riski beraberinde getirmektedir. Bu noktada günümüzde pek çok farklı ölçme çalışmasında kullanılan güncel bir ölçme teknolojisi olan Mobile Mapping System (MMS), dünyada bu tür çalışmalarda da başarıyla kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında MMS ölçmelerinden elde edilen geo-referanslanmış görüntü ve LiDAR verileri kullanılarak yapay-zekâ temelli ortaya konulacak bir modelin otomatik bir obje belirlemede kullanılıp-kullanılmayacağı araştırılacaktır.

2. MOBİL HARİTALAMA SİSTEMLERİ

2.1 Mobil Haritalama Sistemlerinin Tarihçesi

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak, mekansal verilerin elde edilmesi için ölçüm teknikleri ve yöntemleri de tarih boyunca değişmiştir. Geçmişten günümüze mekansal veriler farklı tekniklerle toplanmakta ve farklı ölçeklerde harita üretilmektedir. Teknolojideki hızlı gelişmelere bağlı olarak 1990'ların sonlarında, klasik ölçüm araçları büyük ölçüde tam otomatik ölçüm ekipmanları, sensörler ve uydu teknolojisi ile değiştirilmiştir. Hem yersel fotogrametri çalışmaları hem de klasik ölçüm cihazları doğruluk açısından yeterli olmasına rağmen, büyük alanlarda ,uzun yollar üzerinde hız ve işgücü açısından yeterli performans sağlamaz durumda idi. Yapılaşma sektöründeki teknolojik gelişmeler ve hızlı üretimler daha fazla veriyi daha hızlı toplamayı ve daha iyi yönetmeyi zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle hız ve fazla veri parametreleri mobil haritalama sistemlerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Kentsel gelişmeler ve ulaşım altyapısındaki büyüme ile inşaat üretim hızındaki gelişmeler, daha verimli ve gelişmiş mobil haritalama tekniklerinin geliştirilmesini gerektirmiştir.

1980'li yıllarda GPS teknolojisinin gelişmesinin yanı sıra video görüntüleme teknolojilerinin de gelişmesiyle sistematik ve yönetilemeyen fotoğraf kayıt sistemlerinin yerini GPS tabanlı video kayıt sistemleri almıştır. Birçok projede GPS tabanlı video kayıt sistemlerinin karayolu envanterine hızlı ve düşük maliyetli bir yaklaşım olarak geliştirilmeye başlanmıştır (Lapucha, 1990). Fakat bu sistemlerin doğruluk açısından kısıtları bulunmaktaydı. Bu amaçla 1980'li yılların sonunda video kayıt sistemlerinden mobil haritalama sistemlerinin evrimi gerçekleşmiştir. Kuzey Amerika'daki iki araştırma grubunun, Ohio State Üniversitesi'nde Haritalama Merkezi'nin ve Kanada'nın Calgary Üniversitesi'ndeki Geomatik Mühendisliği bölümünün çabaları katkıda bulunmuştur (Bossler ve diğ, 1991; Schwarz ve diğ, 1993). Video kayıt sistemleri ile karşılaştırıldığında mobil haritalama sistemleri, gelişmiş çoklu sensör, entegre veri toplama ve işleme teknolojisini kullanarak gerçekleştirilen tam 3 boyutlu haritalama yeteneklerini sunmaktadır (El-Sheimy ve diğ, 1995; Novak, 1995; Tao, 1997). Mobil haritalama sistemleri başlangıçta sadece

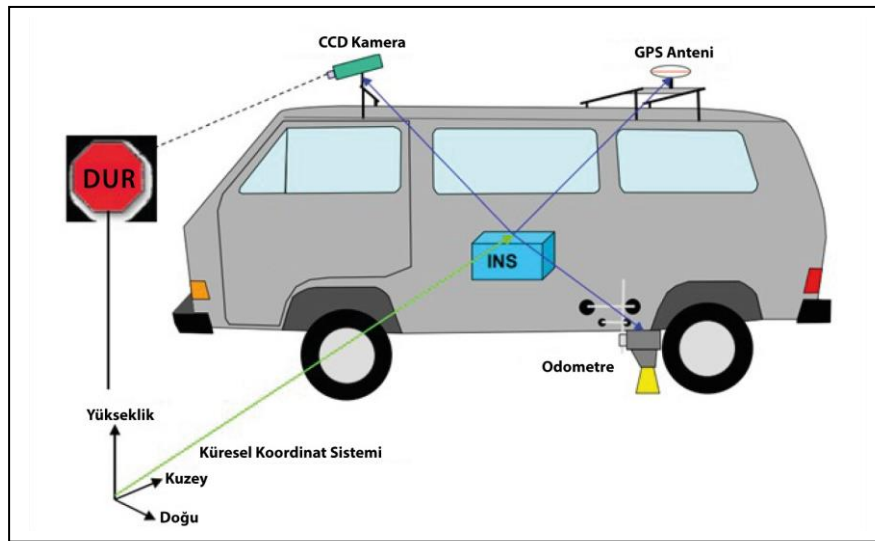
GPS sinyalleri ile konum verisi ve fotoğraf ve videolarla görüntü kaydedilerek ölçümler yapılmıştır. Bu sistemlerin ortak bir özelliği, bir mobil platforma monte edilmiş birden fazla kameranın stereo görüntüleme ve 3 boyutlu ölçümlere izin vermesidir. Ardışık fotoğrafların doğrudan coğrafi referanslanması, çok sensörlü navigasyon ve konumlandırma teknikleri ile gerçekleştirilir. Geo-koordinatlandırma doğruluğunu ve güvenilirliğini geliştirmek için çoklu konumlandırma sensörleri, GNSS, İnertiyel Ölçme Ünitesi-Inertial Measurement Unit (IMU) ve odometre veri işleme için entegre edilir. Geleneksel haritalama için gerekli zemin kontrolü elimine edilmiştir. Sistemler, coğrafi olarak yönlendirilen görüntü dizilerinden ölçülen nesnelerin santimetre doğrulukta araç konumlandırması ve metre veya metre altı 3 boyutlu koordinat doğruluğu elde edebilmiştir (Elhashash ve diğ, 2022).

Mobil Haritalama Sistemlerinin konum ve yönlendirme parametresi GNSS ve IMU tarafından belirlenmektedir. GNSS alıcısının türüne ve kullanılan işleme yazılımına bağlı olarak konumlandırma hassasiyeti metreden santimetreye kadar değişebilmektedir. GNSS tek başına mobil haritalama sisteminin gereksinimlerini karşılamamaktadır, zira köprüler, ağaçlar, tüneller ya da yüksek binalar uydulardan gelen sinyalleri bloklayarak, kesintye uğratmaktadır. Bağımsız bir sistem olan IMU, ivmeölçer ve jiroskoptan oluşmaktadır. Hız ve yön değişikliklerini kısa süreçlerde çok hassas bir şekilde ölçerek kaydetmekte ancak hatası zamanla, hızla ve mesafe ile büyümektedir. GNSS ile IMU entegre kullanımı sistem performansını büyük ölçüde geliştirmiştir. GNSS, IMU sistemini güncellemek için kullanılmaktadır ve IMU doğru konumu, hızı ve sistemin GNSS güncellemeleri arasındaki pozisyonunu vermektedir (He ve Orvets, 2000). Calgary Üniversitesi'nde IMU ile ilgili yapılan bir araştırmada iki farklı IMU sensörü için (Crista 15 ve Honeywell HG 1700) doğruluk açısından kıyaslanmıştır. Hızı 0-70 km/sa arasında değişen araçta, her iki sensörün konumsal karesel ortalama hataya olan etkisi ele alınmıştır. Çalışma alanında yaya yollarının ve trafik lambalarının olması araç hızının sabit olmasını engellemiş ve genellikle düşük hızlarda hareket ederken veri toplama işlemi gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçların karesel ortalama hataya etkisi Crista 15 sensörü için 0.69m, 0.48m, 1.27m (x, y, z), Honeywell HG1700 sensörü için ise 0.48m, 0.44m, 0.72m (x, y, z) olarak hesaplanmıştır (Godha, 2006).

Mobil yersel lazer tarama olarak da adlandırılan lazer tarayıcılar, GNSS ve IMU'nun hareketli bir araç üzerine monte edilerek geliştirilen sistemler olarak hızla

gelişmektedir. Güzergâh haritalarının üretiminde ve hava lazer verilerinin elde edemediği boşluğu doldurması düşünülen projelerde kullanılmak üzere elde edilen mobil lazer verisinin doğruluk kriterleri incelenmiştir (Kaartinen ve diğ, 2012). 2010 yılında yapılan bir çalışmada arazi aracının yavaş hızlarda ilerlerken mikro elektromekanik (MEMS) GNSS/INS georeferanslama sistemlerinin performansı incelenmiştir. GNSS/INS entegreli yersel mobil lazer tarama sisteminde hıza bağlı olarak konum hatası sırasıyla 0.33m, 0.33m, 0.50m (x, y, z) olarak hesaplanmıştır (Niu ve diğ, 2010). 2010 yılında yapılan bir başka çalışmada mobil haritalama için laboratuvar ortamında mobil lazer tarama sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada ayrıca konumlama doğruluğunu etkileyen hata kaynakları üzerinde çeşitli analizler yapılmıştır. Bu analizde hata kaynakları ile ilgili olarak tarama aralığı/tarama açısı hatası, senkronizasyon hatası, enterpolasyon hatası, sistem montaj hatası, koordinat dönüşümü hatası ve GNSS konumlandırma hatası üzerinde detaylı çalışmalar yapılmıştır. Mobil lazer tarama platformunun konumlandırma hatasını hesaplamak için bir test alanı üzerinde mobil lazer tarayıcı ve total station ile ölçmeler yapılmıştır. Ölçme sonuçlarının hedeflenen gereksinimler açısından yeterli olduğu değerlendirilmiştir (Wang ve diğ, 2010).

MHS, bir hareketli platforma monte edilmiş haritalama sensörlerinin entegre bir sistemi olarak tanımlanabilir ve bu sistem, coğrafi verileri toplarken platformun konumunu sağlar. Bir mobil haritalama sisteminin mimarisi ve araç üzerine monte edilmiş hali Şekil 2.1 de görülmektedir(Gilliéron veKonnen, 2003).



Şekil 2.1 : Mobil Haritalama Sisteminin Mimarisi

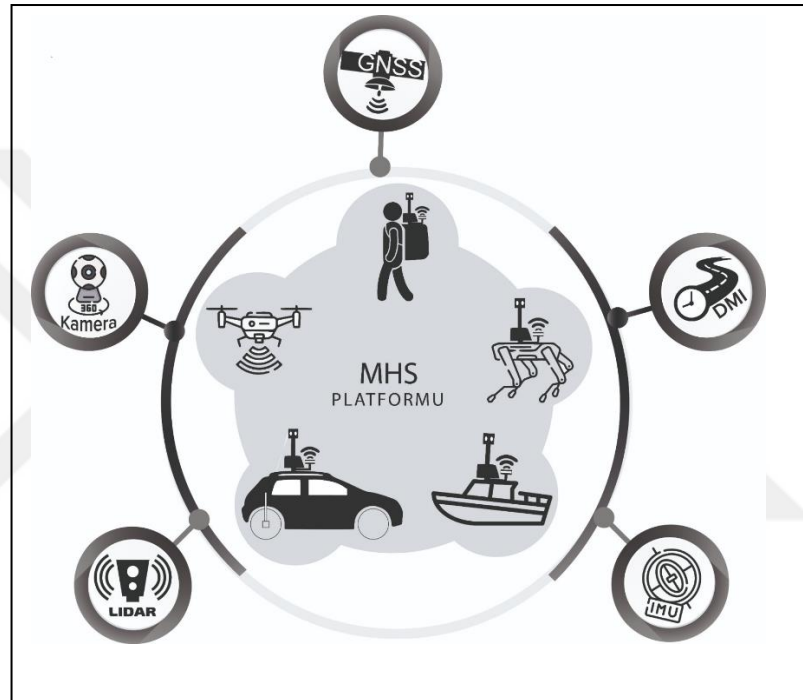
MHS’de araç üzerine montajı yapılan ve sabitlenen ana sensörler olarak LiDAR ve/veya yüksek çözünürlüklü kameralar kullanır. Konumlandırma ve coğrafi referanslama için de diğer sensörlerle entegre edilmiş GNSS alıcısı, mesafe ölçme cihazı (odometre-DMI) ve ataletsel ölçüm ünitesi (INS) kullanılır. Veri toplama sensörleri kalibre edilmiş LiDAR, kameralar ve GNSS’den oluşur.

Gelişmiş LiDAR sensör donanımlarının saniyede 2.400.000 nokta üretebilir duruma geldiği (Url-4ve panoramik kamera ile 360° derece yatay görüş alanını 72 MP çözünürlükle (Url-5) tarayabileceği görülmektedir. Konumlandırma sensörleri, küresel konum bilgisini sağlayan ve yön tayinini belirleyen iki adet GNSS alıcısını içerir; ayrıca, entegre konum düzeltmesi için odometri bilgisi elde eden bir IMU ve mesafe ölçme cihazı (DMI) bulunur. Bu konumlandırma sistemlerinin ölçüm yapılmadan önce kalibre edilmesi gerekmektedir ve küresel olarak tutarlı nokta bulutlarının oluşturulmasında ve fotoğraf çekim noktalarının koordinatlarının hesaplanmasında hayati bir rol oynamaktadır.

Doğru coğrafi referanslama yapmak için, geleneksel mobil haritalama yaklaşımları geniş çaplı işlemlere ve koordinat dönüşümlerine ihtiyaç duyar, örneğin nokta bulutu taramalarının şerit ayarlaması veya yer kontrol noktalarını (YKN'ler) kullanarak görüntülerin geo-koordinatlandırılması gerekir. MHS’deki son gelişmeler, doğrudan coğrafi referanslama yapmak ve çoklu sensör platformunun yeteneklerinden yararlanmak amacıyla veri toplama ve işleme sırasında operatör müdahalesini en aza indirmektir (Chiang ve diğ, 2021; Schwarz ve El-Sheimy, 2004). Kişisel verilerin korunması kapsamında yeni nesil geliştirilen MHS’lerde kamera kayıtlarında çevrim içi/çevrimdışı plaka ve insan yüzü kapama gibi işlemleri gerçekleştirmek için makine öğrenimi/yapay zekâ kullanarak daha da güçlendirilmiştir (Balado ve diğ, 2020; Hirabayashi ve diğ, 2019).

Son yirmi beş yılda fotogrametri, LiDAR teknolojileri ve robotikteki algoritmik gelişmeler ile birlikte mobil haritalama teknolojisinde önemli gelişmeler olmuştur (Wang, 2019). Gelişen teknolojilerle beraber bilgisayar işlemci gücünün artması, depolama kapasitesi ve hızı, veri toplama hızını ve verinin yönetimini daha da kolaylaştırmıştır. Kullanılan cihazlar ve sistemler, kayıt yazılımları ve farklı özelliklere sahip düşük maliyetli ölçüm sensörlerinin üretilmesi ile hem seçenekler artmış hemde rekabet ortamı doğmuştur. Bu da mobil haritalama sistemlerinin daha esnek olmasını ve daha düşük maliyet ve işgücü harcamaları ile karmaşık ortamlarda

(örneğin, tüneller, mağaralar ve kapalı alanlar) veri toplamasını sağlamıştır (Raper, 2009). Tipik olarak, ticari MHS'ler Şekil 2.2'de görüldüğü üzere elde taşınabilir, sırt çantası, el arabası, robotlar ve araç tabanlı olarak sınıflandırılabilir. Bazı platformlar GNSS'ye güvenmeden iç mekanlarda çalışmak üzere SLAM algoritmaları ile geo-koordinatlandırılarak tasarlanmıştır. Diğerleri ise iç ve dış mekanlarda çalışabilir. Mobil haritalama teknolojisi Google ve Apple gibi şirketler tarafından navigasyon ve sanal gerçeklik gibi çeşitli uygulamalar için benimsendiğinde daha fazla ilgi görmüştür (Anguelov ve diğ, 2010; Mahabir ve diğ, 2020; Werner, 2018).



Şekil 2.2 : Mobil haritalama sistemleri genel konsepti.

Son yıllarda lazer teknolojisindeki, panoramik görüntü teknolojisindeki, yazılım teknolojisindeki ve veri iletiminin hızı ile ilgili gelişmeler araçlara ve sırt çantalarına göre ergonomik olarak Geomobil (Talaya, 2004) ve StreetMapper (Hunter, 2006) gibi firmalar (Shi ve diğ, 2008) yeni ürünler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu konuda üniversiteler, Ar-Ge ve teknoloji firmaları yalnız ya da beraberce farklı ürünleri geliştirmeye ve buna bağlı yazılım teknolojilerini geliştirmeye başlamıştır. Bu sistemin en maliyetli kısmı IMU, lazer ve panoramik görüntü cihazlarıdır ki bu sistemin en önemli parçalarıdır. Başlangıçta maliyetleri yüksek olsa da üretimlerin artması neticesinde üretim maliyetlerini belirli ölçüde azaldığı görülmüştür (Hanse, 2004; Geen, 2004). MHS sektöründe birkaç farklı mobil haritalama teknolojisi olmasına rağmen, MHS teknoloji kullanım alanı oldukça farklıdır. Standart bir MHS

de yoktur. Mevcut MHS'lerin çoğu, farklı entegrasyon seviyelerinde farklı sensörler kullanılarak özelleştirilmiştir. Bu nedenle her birinin özelliklerine göre artıları ve eksileri vardır. Görüntüleme, LiDAR, konumlandırma sensörleri ve entegre bilgisayarların hızlı gelişimi ve hızlı veri aktarımı nedeniyle bu temel bileşenlerin güncel kapasiteleri, birkaç entegre sistem aracılığıyla tam olarak yansıtılamayabilir. Sensör takımlarının ve ilgili MHS'lerin geniş kapsamlı kullanım alanlarını kapsayan çalışmaların genel olarak yetersiz olduğu görülmekte olup ihtiyaca göre projelerde kullanımı artmaya başlamıştır. MHS, çok çeşitli alanlarda farklı uygulamalara sahiptir ve geniş bir yelpazedeki teknoloji odaklı kullanım durumları için çok yönlü bir sistem olarak hizmet vermektedir. Örneğin, bakım onarım ve afet yönetimi konusunda, harita güncellemeleri ve sahanın ofis ortamında simüle edilmesi genellikle hızlı bir şekilde ilgili birimlerin taleplerini karşılamak için yeterince etkin olabilir. Büyük ölçekli haritalar genellikle LiDAR verileri, uydu ve hava fotoğrafları ve diğer veri kaynakları kullanılarak güncellenir. MHS teknolojisinin geliştirilmesi ve coğrafi verilerin daha hızlı ve daha fazla toplanması için birçok fayda sağlamıştır. Özellikle büyük projelerin yapımından klasik yöntemle göre kıyaslandığında oldukça düşük maliyet ve mükemmel verimliliği sağlamaktadır. Sahadan hızlı veri toplama yeteneğine sahip bu sistemler panoramik görüntülerden ve LiDAR verilerinden birçok kamu ve özel kuruluş mekansal veri üretimi için saha çalışmalarına ihtiyaç duymaktadır. MHS den elde edilen mekansal verilerin elde edilmesi, işlenmesi, depolanması ve görselleştirilmesine ilişkin süreçlerdeki akış, bilgi sistemleri olarak öne çıkmaktadır. Bu verilerin etkili bir şekilde sunulması, depolanması, analiz ve edilmesi için konuma dayalı bilgi sistemleri olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) içerisinde değerlendirilmektedir (Lusch, 1999).

İnşaat sektöründeki hızlı inşaa süresi ile beraber sahanın yönetimi ve denetimi konusunda düzenli olarak güncellenmiş ve doğru coğrafi verilere olan ihtiyaç katlanarak arttırmıştır. Coğrafi veriler, iç ve dış mekan 3B modelleme, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) verilerinin oluşturulması, afet sonrası mevcut durum haritaları, yüksek çözünürlüklü (HD) haritalar ve otonom araçlar dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için MHS önemli bir sistem olarak hizmet vermektedir. Bu yoğun verinin hızlı bir şekilde ölçüm işlemi, mobil haritalama sistemlerindeki sürekli ilerlemeler sayesinde mümkün hale gelmiştir (Al-Bayari, 2019). Mobil haritalama sistemlerinin toplanan verileri bir coğrafi veri tabanına aktarımı hızlı ve kolay olması bir çok

avantajıda beraberinde getirmektedir. Toplanan geometrik ve öznitelik bilgileri doğrudan bir veri tabanı oluşturup güncellemeler yapılarak kullanılabilir. Hızlı iletişim ve görüntü sıkıştırma teknolojilerinin geliştirilmesi ile, mobil haritalama sisteminden ofis ortamındaki CBS veri tabanına gerçek zamanlı görüntü verileri bağlanabilir ve web, mobil ve masaüstü uygulamalarla canlı olarak çalışılabilir ve güncellenebilir düzeye gelmiştir.

2.2 Mobil Haritalama Sistemlerine Genel Bir Bakış

Klasik bir MHS'de kullanılan temel bileşenlerin iki sınıfı olan konumlandırma ve veri toplama sensörleri, Şekil 2.1'de tasvir edildiği gibi kullanılır. Konumlandırma sensörleri, sensörlerin coğrafi konumlarını ve hareketini elde etmek için kullanılır ve toplanan 3B verileri coğrafi referanslama yapmak için kullanılır. Bu sensörlerin örnekleri arasında GNSS, IMU, DMI (kilometre sayacı) vb. bulunmaktadır. Daha istatistiksel olarak doğru bir konumlandırma elde etmek için, bu sensörlerden gelen ölçümler genellikle bütünleşik olarak kullanılır. Konumlandırma için sensörlerin birleştirme çözümü standart hale gelmiştir, zira ne GNSS alıcısı ne de IMU/DMI tek başına mobil platformlarda hareket halinde iken yeterince doğru ve güvenilir ölçümler sağlayamaz. GNSS ölçümleri genellikle farklı ortamlarda sinyal gücü değişikliklerine tabidir; örneğin, açık alanlarda güçlü bir sinyal alınabilirken tünellerde, dar sokaklarda, ağaç altında, yüksek katlı binaların arasında veya kapalı alanlarda zayıf sinyal veya sinyal kaybına neden olabilir. Diğer taraftan, IMU ve DMI önemli ölçüm hataları birikimiyle karşılaşır ve genellikle GNSS verileri mevcut olduğunda konumlama için yardımcı ölçümler olarak kullanılır. Veri toplama sensörleri genellikle LiDAR ve dijital kameralardan oluşur ve çevresel ortamların ham 3B/2B ölçümlerini sağlar (Otero ve diğ, 2020). Bir MHS'nin 3B ölçümleri, LiDAR sensörlerine dayanırken, görüntüler öncelikle renk ölçüm/spektrofotometrik bilgi sağlamak için kullanılır. Gelişmiş yoğun görüntü eşleştirme yöntemlerinin, geliştirilmesiyle, bu görüntüler ayrıca 3B veri birleştirme ve oluşturmak için ek yoğun ölçümler sağlamak üzere stereoskopik olarak toplanır (Barnes ve diğ, 2010; Han ve diğ, 2020).

2.2.1 Konumlandırma sensörleri

Yukarıda belirtildiği gibi, tipik konumlandırma sensörleri arasında GNSS alıcısı, IMU ve DMI bulunmaktadır. Hata desenleri birbirini tamamlar niteliktedir. Bu nedenle yeni nesil MHS'lerde, doğru konumlandırma bilgisini santimetreye kadar sağlamak için genellikle sensörler birleştirilerek çözüme kavuşturup kullanılırlar (Li ve diğ, 2019). Bununla birlikte, bunların bireysel ölçüm doğrulukları, sonuçta elde edilen 3B haritaların doğruluğu için hala önemlidir.

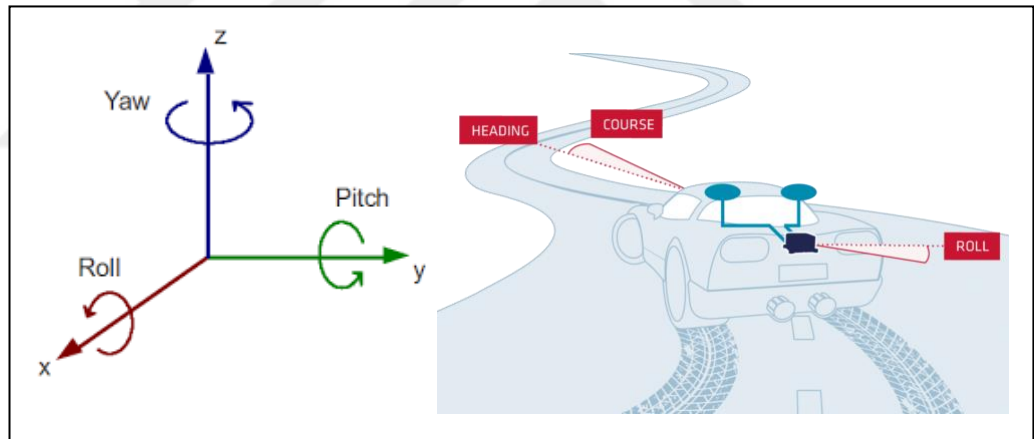
2.2.2 Küresel Konumlandırma Uydu Sistemi (GNSS) Alıcısı

GNSS alıcısı, açık alanlarda mutlak konum, hız ve yükseklik tahmin etmek için kullanılan en önemli kaynaktır. Genellikle küresel bir koordinat sistemine (örneğin, WGS84) referanslanır. En az dört farklı konumlama uydu sistemi tarafından gelen sinyalleri pasif olarak alır ve trilaterasyon yaparak gerçek zamanlı konumlarını hesaplar. Bir sinyal kaynağına olan konum uydularına bağlı olduğu için, GNSS genellikle çok az birikim hatası gösterir veya hiç göstermez. Bu uydu sistemleri Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilen GPS, Rusya tarafından geliştirilen GLONASS, Avrupa Birliği tarafından kurulan Galileo ve Çin tarafından geliştirilen BeiDou uydularıdır. Kaliteli MHS'ler genellikle DGPS veya RTK-GPS gibi artırılmış GNSS çözümleri kullanarak konumlandırma doğruluğunu desimetre ve santimetre seviyelerine kadar hassasiyet içerebilmektedir (Gan-Mor, 2007). DGPS kod tabanlı bir ölçüm kullanır ve başlatma süresine ihtiyaç duymadan tek frekanslı alıcılarla çalışabilirken, RTK-GPS taşıyıcı faz ölçümleri kullanır ve çift frekanslı alıcılar gerektirir. Doğru verileri elde etmek ve dalga sayılarını düzeltmek için yaklaşık bir dakika süre yeterli gelmektedir. DGPS ve RTK-GPS, çeşitli hataları gidermek için bir ağı bağlı bir referans istasyonlarının kullanılmasına dayanır. Geleneksel DGPS yöntemi yatay konumda yarım metre doğruluk sağlarken, daha gelişmiş tekniklerle RTK-GPS, DGPS türü olarak, üç boyutta santimetre seviyesinde doğruluk elde edebilir (Puente, 2013). Bununla birlikte, bu ulaşılabilir doğruluk ölçümleri açık alanlara bağlıdır. Yoğun kentsel alanlarda veya kapalı ortamlarda GNSS sinyalleri engellerden ciddi şekilde etkilenebilmekte ve ölçümlerde hatalara neden olabilmektedir (Shi ve diğ, 2021). Bu nedenle, böyle koşullarda çalışırken diğer tamamlayıcı sensörlere ihtiyaç duyar. Genel olarak, bir MHS'nin konumlandırma platformunun, tamamlayıcı sensörlerin entegrasyonunu dikkate aldığına, otoyolların

maksimum hızına (120-130 km/sa) ulaşabilecek hızlarda 5-50 mm'lik bir doğruluk elde etmesi beklenir.

2.2.3 Atalet ölçüm ünitesi (IMU)

IMU, ana platformun yönünün ve yönsel ivmesinin göreceli konumunu belirleyen dönüklük açılarını (roll, pitch, yaw) kaydeden ekosentrik bir sensördür. GNSS gibi, dış sinyal kaynaklarına bağımlı değildir ve genellikle açık alanlarda GNSS tarafından dinamik olarak sağlanabilen bir referansa göre göreceli konumları kaydeder. Bir IMU, ivmelenme ölçer ve jiroskopdan oluşur ve ivme ve açısal hızı algılamak için bunları kullanır. Bu ham ölçümler, gerçek zamanlı konumlandırma sağlamak için hesaplama algoritması uygulanacak bir tümleşik bilgisayar birimiyle beslenir. Bu nedenle, IMU ve hesaplama birimi, algoritma ile birlikte, genel olarak ataletsel navigasyon sistemi (INS) olarak da adlandırılır. IMU sensörlerinin sınıfı/kalitesi, jiroskop tipine göre farklılaştırılabilir. Şekil 2.3'de IMU'nun kaydettiği dönüklük açılarının gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.3 : IMU'nun kaydettiği dönüklük açılarının gösterimi.

Hafif, tüketici sınıfı IMU'ların çoğu, uygun fiyatlı olmalarına rağmen düşük hassasiyet ve büyük konum hataları taşıyan mikro elektromekanik sistemler (MEMS) kullanır (Ahmed ve Tahir, 2016; Chiang ve diğ, 2021; Petrie, 2010). Hassas konumlama sistemleri için daha kaliteli ve hassas sistemler ve daha doğru jiroskoplar kullanır (Ahmed ve Tahir, 2016). IMU, GPS'nin olmadığı ortamlarda kapalı alanlarda, açık alanlarda ve tünellerde çalışabilir. Ancak, ölü hesaplama konumlama kullandığından, ölçümleri genellikle başlangıç noktasına göre nispeten kısa bir süre için doğru olacaktır. GNSS, açık bir alanda aracın hareket etmesiyle hata birikimlerine sahip

olmadığından ve araç hareket ettiği sürece ölçümleri çoğalmadığından IMU'yla entegre edilir.

2.2.4 Mesafe ölçüm cihazı (DMI)

DMI genellikle platformun kat ettiği mesafeyi ölçen aletler olarak bilinir. Birçok durumda DMI, araç veya bisiklet tabanlı MHS için kilometre sayacı veya tekerlek sensörü olarak da adlandırılır. Tekerleğin dönme sayısına dayanarak mesafeyi hesaplar. DMI yalnızca mesafeyi ölçtüğünden, genellikle GNSS'nin kullanılmadığı tüneller gibi ortamlarda IMU'dan gelen sürüklenmeyi azaltmak ve biriken hataları sınırlamak için GNSS/IMU'ya ek bilgi olarak kullanılmakla beraber kameranın kaç metrede bir fotoğraf çekme tetikleme işlevini de görmektedir (Falco ve diğ., 2017, Url-6).

2.2.5 Veri toplama sensörleri

Veri toplama sensörleri, 3B/2B verileri toplamak için kullanılan önemli bir bileşendir. Genellikle LiDAR ve yüksek çözünürlüklü kameralar gibi sensörler olarak adlandırılırlar ve hem geometri hem de doku bilgisi sağlarlar. Bu sensörler, 3B/2D verilerini dünya koordinat sistemiyle ilişkilendirmek için konum ve yönelim bilgisi kullanılarak sürekli bir şekilde coğrafi referanslandırmaya ihtiyaç duyarlar (Elhashash ve diğ., 2022).

2.2.6 Işık algılama ve ölçme (LiDAR)

LiDAR veya ışık algılama ve ölçme, nesnelerin uzaklıklarını ve konumlarını ölçmek için yönlendirilmiş lazer ışınlarını kullanan bir optik araçtır. 3B bir nesne üzerinde bireysel ve doğru nokta ölçümleri sağlar. Bu nedenle bu ölçümlerin bir araya gelmesi, çevrede bulunan nesnelerin şekli ve yüzey özellikleri hakkında bilgi oluşturur. LiDAR, bir 3B modelde arzu edilen özelliğe sahiptir; çünkü son derece doğru, hızlı bir şekilde yoğun 3B bilgi edinebilir, aydınlatmaya karşı değişmez ve yaprak gibi seyrek nesnelerin kısmen içine girebilir. Küresel 3B noktaları almak için son derece doğru ve iyi kalibre edilmiş bir konumlama sistemine ihtiyaç duyar. Bu konumlama sistemlerinin kurulumu ve maliyeti pahalı olan LiDAR sensörüne ek maliyet getirir. Bu nedenle veri toplamanın yüksek maliyetli bir yol haline gelmesine neden olur. Işınları uzaklık ölçümleri için kullanma kavramı 1930'lardan bu yana var olmuştur (Tao ve Li, 2007).

Lazerin 1960'ta icadından bu yana, LiDAR teknolojisi hızlı bir gelişim yaşamıştır ve hassas haritalama ve otonom sürüş uygulamaları için oldukça popüler hale gelmiştir (Wandinger, 2005). Harita tabanlı yol güvenlik ve uyarı sistemlerinin artması ve uygulamasıyla, otoyol güvenliği ile ilgili verileri ve yol bölümlerinin doğru geometrisini ve topolojisini içeren uygun dijital haritalar LiDAR teknolojisi sayesinde gerçekleştirilmektedir. Günümüzde, arazi ölçümü veya otonom uygulamaları için ticari olarak temin edilebilir LiDAR sensörü bulunmaktadır (Royo ve Ballesta-Garcia, 2019). Tipik olarak arazi ölçümü sınıfı LiDAR, milimetre düzeyinde doğruluğuna ulaşabilmektedir. Daha ucuz LiDAR cihazları genellikle santimetre düzeyinde bir doğruluğa ulaşır (genellikle 1-8 cm). Genellikle engel önleme ve nesne tespiti uygulamalarını karşılar. Bunlar, maliyet ve performans arasındaki iyi bir denge nedeniyle otonom sürüş platformlarında sıkça kullanılır. Bu tür LiDAR sensörlerine Velodyne, Ouster, Luminar Technology ve Innoviz Technologies gibi örnekler verilebilir. Farklı sınıf LiDAR sensörlerinin doğruluk seviyeleri ve maliyetleri, bir LiDAR sensörü seçerken dikkate alınan ana faktörlerdir. Farklı sınıflar arasında büyük bir maliyet farkı Şekil 2.4'de Farklı marka ve modellerdeki LiDAR modellerinden örnekler verilmiştir. LiDAR sensörleri oldukça doğru uzunluk ölçümleri sağlayabilirken, ağır yağmur, kar ve sis gibi zorlu hava koşullarında performansları önemli ölçüde düşer.



Şekil 2.4 : Farklı marka ve modellerdeki LiDAR modelleri.

Genel olarak sensörlerin seçimi uygulamaya ve hareketli platformun karakteristiklerine (örneğin, hız, taşıma kapasitesi, vb.) bağlıdır. Çoğu MHS’de döner LiDAR sensörlerini tercih edilir, ancak diğer kategorilere göre genellikle yüksek maliyetlidirler. Bu nedenle sabit LiDAR'ın kullanılması, döner LiDAR'dan daha düşük maliyetli olması nedeniyle umut vadeden bir yöndür. Araç hızı yüksek olduğunda, veri toplamak için az zaman vardır ve ilgilenilen nesnenin yeterli noktalardan ölçüldüğünden emin olmak için daha fazla ışına ihtiyaç duyulmaktadır (Zhang ve diğ., 2020). Örneğin 32 ışın LiDAR, 50-60 km/sa hızla hareket eden bir araç için yeterli olabilir, ancak daha yüksek hızlar için, 100-110 km/sa'e kadar olan yüksek hızlar için 128 ışına sahip bir LiDAR önerilir. Böylece elde edilen verilerin yeterli çözünürlüğe sahip olması sağlanır. Genel olarak ışın sayısı iki kat arttıkça maliyet genellikle 1.5-2 kat artar. Bu durum ayrıca çalışma aralığı ile pozitif olarak ilişkilidir. Mobil lazer tarayıcıların son yıllarda 3B şehir modelleme, deformasyon ölçümleri, buzul araştırmaları, ormancılık uygulamaları, yol verilerinin toplanması gibi hızlı veri toplama çalışmalarda kullanılması bu teknolojinin popüleritesini daha da artırmaktadır.

2.2.7 Görüntüleme sistemleri ve kameralar

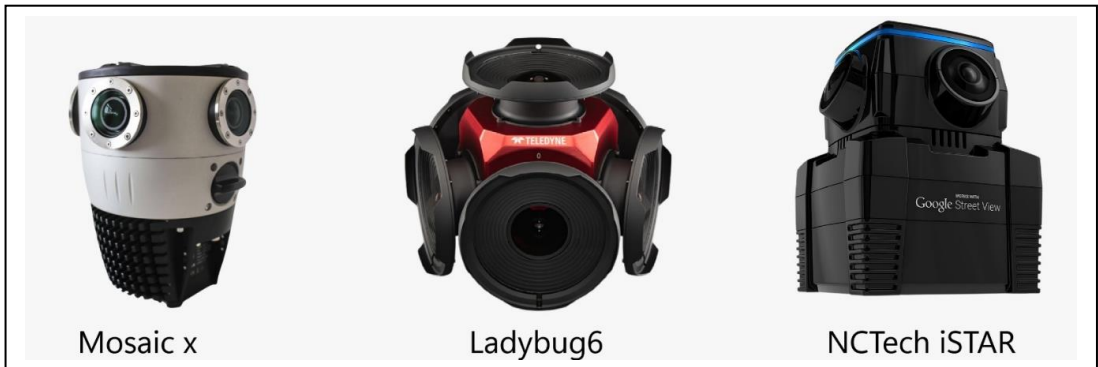
1839'da fotoğrafın icadından kısa bir süre sonra şehirlerin ve manzaraların genel görünümelerini fotoğraflamak fotoğrafçıları panoramalar üretmeye yöneltirken, ilk olarak San Francisco'nun 1851 tarihli 11 fotoğraftan oluşan panoramik fotoğrafı oluşturulmuştur (Url-7). Panoramik fotoğrafla daha fazla detay aynı kareye sığdırılabiliyor olması masaüstü veya web uygulama yazılımları içerisinde bir küre sarmalı şeklinde 360° görülebilmesi kullanıcıların ilgisini çekmiştir. Teknolojideki hızlı gelişmelere bağlı olarak, geniş görüş açısı kazanmak için kameralar ile birlikte özel merceklerin (balıkgözü veya panoramik gibi) kullanıldığı yeni araçlar ortaya çıkmıştır. Çoklu görüntülerin elde edilmesi ve birlikte birleştirilmesi panoramik görüntü elde etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bazı uygulamalar için yüksek çözünürlük avantajı sağlamakla birlikte gerçek zamanlı uygulamalarda önemli miktarda sonradan işleme teknikleri içerdiğinden verilerin kullanılabilir hale getirilmesi zaman almaktadır (Baştanlar, 2005).

2005 yılından bu yana Google Street View, Google Haritalar'ın tamamlayıcı projesi olarak fotoğrafçılığın ve fotoğraf birleştirme algoritmalarının en büyük katalizörü haline gelmiştir. İlk panoramik kamera çalışma örnekleri Şekil 2.5’de görüldüğü gibi düşük çözünürlüklü ürünler olarak geliştirilmiştir.



Şekil 2.5 : İlk geliştirilen düşük çözünürlüklü panoramik kamera örnekleri.

Google, yüksek kaliteli birden fazla kamerayı bir araç üstüne monte edilmiş daire şeklinde bir ekran içine entegre etmiş ve bu araçla dünyanın sokaklarında gezmiştir. Google tarafından dünya çapındaki haritalama projesinde birçok farklı kamera modelleri kullanılarak web tabanlı haritalara yeni bir eklenti getirerek daha cazip hale getirmiştir (Url-8). 2010 yılında PtGrey firması Ladybug panoramik kamera serisini üretmeye başlamasıyla mobil haritalama teknolojilerinde panoramik fotoğraflarla yeni bir boyuta geçilmiş olmuştur (Url-9). Son gelişmelere baktığımızda ise 30 MP, 72 MP, 100 MP ve 150 MP çözünürlüklü fotoğraflar elde edilebilir hale gelmiştir. Şekil 2.6’de son dönemlerde MHS’lerde yaygın olarak kullanılan panoramik kamera örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.6 : MHS de kullanılan yüksek çözünürlüklü panoramik kameralar.

Son dönemlerde en yaygın olarak kullanılanlar ise 30 veya 72 MP kameralardır. Panoramik fotoğraflarda dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan birisi fotoğraflarda titreşimin olmaması ve fotoğraf birleşim kenarlarında distorsiyonların olmaması gerekir. MHS sistemlerinde fotoğraf kayıtları için genellikle panoramik

kameralar kullanılmakla beraber bazı ürünlerde sadece CCD kameraları veya panoramik kamera ve detay kameraları olarak da CCD kameralar kullanılmaktadır (Url-10). Kentteki nesneleri haritaları üretilirken, LiDAR nokta bulutunun çözünürlüğü trafik levhasının kesin anlamını ayırt etmek için yetersiz olduğunda, optik fotoğraflarla analiz edilmesi gerektiği için çözünürlük problem ile karşılaşmıştır. Mobil haritalama sistemlerinin dinamiklerini geliştirmek ve daha iyi anlamak için, katkı sağlayan faktörler ve etkilerine derinlemesine inmek önemlidir (Wen, 2015).

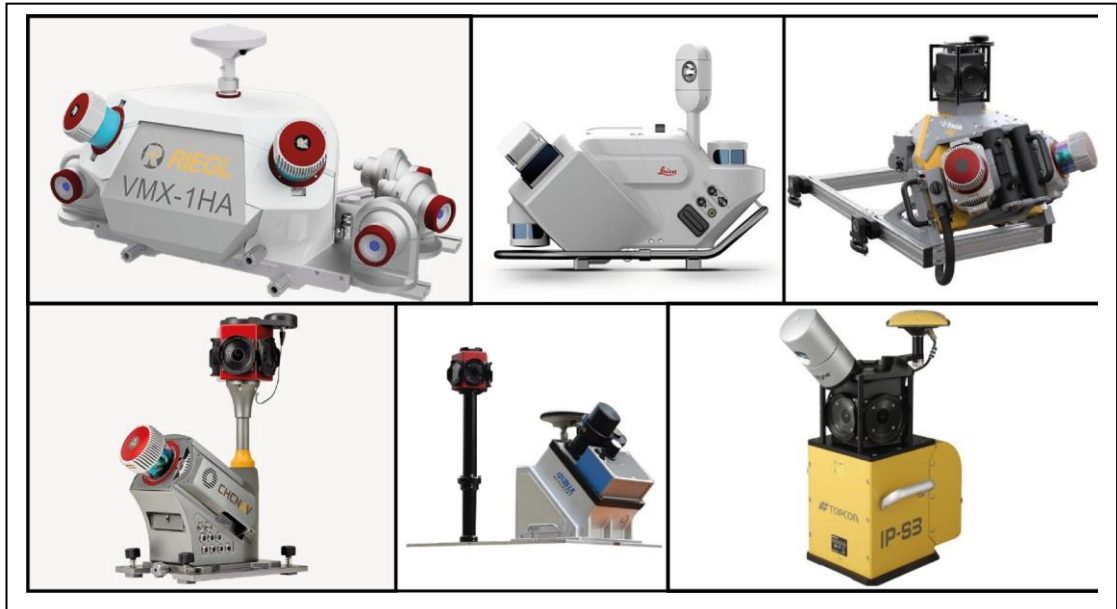
Görüntüleme sistemleri, kameralar gibi, düşük maliyetli olmaları ve yüksek çözünürlüklü doku bilgisi sağlama yetenekleri nedeniyle veri toplama için en popüler sensörlerden biridir. Kameralar genellikle hareketli platformun üstüne veya önüne monte edilir ve çevresel ortam hakkında bilgi yakalamak için kullanılır. Saniyede 30-60 kare almak için tasarlanmışlardır. Kameraların bazı ana amaçları vardır. İlk olarak, sahnenin geometrisini elde etmek için kullanılırlar. Genellikle çiftli/ikili kameralar aracılığıyla elde edilen bir çift görüntüyü işleyerek ve stereo yoğun görüntü eşleştirme yaklaşımlarını kullanarak derinlik bilgisini içeren stereoskopik kameralar mevcuttur (Hirschmuller, 2007; Shen, 2007). İkinci olarak, sahnedeki nesnelerin dokularını elde edebilirler (bir kamera, nesnenin fotonlarını nesnenin doğal görünümü hakkında zengin ve önemli bilgi sağlayan farklı spektral frekanslarda kaydeder) ve panoramik görüntüler ile fotoğraf gerçekçi modeller oluşturmak için kullanılabilirler. Üçüncüsü, kameralar tarafından toplanan doku bilgisi, nesnenin kritik anlamlarını kodlar ve trafik ışıkları, dur işaretleri, işaretler ve yol şeritleri gibi statik nesnelerin tespit edilmesinde kullanılabilir. Ayrıca, yaya ve araçlar gibi hareketli nesneleri tespit edebilirler, bu da modern derin öğrenme yöntemlerinin böyle sorunları çözmek için geliştirilmesiyle giderek daha uygulanabilir hale gelmektedir (Arcos-Garcia, 2017; Balado ve diğ, 2020; Wan ve diğ, 2019).

MHS'lerde kullanım amaçlarına bağlı olarak birçok farklı kamera sensörü ve konfigürasyonu bulunmaktadır (tek gözlü kameralar, ikili kameralar, RGB-D kameralar, çoklu kamera sistemleri, balık gözü kameralar vb.). Tek gözlü kameralar (düşük maliyetli kameralar), herhangi bir ek derinlik bilgisi olmadan tek başına RGB görüntülerinin bir serisini sağlar ve genellikle yüksek çözünürlüklü veya panoramaları toplamak için kullanılır (Anguelov ve diğ, 2010). Ancak 3B ölçeği kurtarmak veya yüksek doğruluğa sahip 3B noktaları oluşturmak için kullanılamazlar. İkili kameralar, derinlik ve ölçeği kurtarmak için senkronize stereo görüntüler yakalayan iki

kameradan oluşur ve görüntü eşleştirme teknikleri aracılığıyla ek bir hesaplama maliyetiyle birlikte ölçekli veri üretilmesini sağlar (Hirschmuller, 2007; Shen, 2007). 3B verilerin performansı ve doğruluğu görüntü eşleştirme yönteminin seçimine bağlıdır. Panoramik görüntüler ayrıca LiDAR tarayıcılarla entegrasyonu kolaylaştırarak görüntü ile LiDAR nokta bulutları arasında %100 örtüşme sağlayabilmektedir. Sonuç olarak, panoramik görüntüler sokak haritalama uygulamaları için uygundur (Elhashash ve diğ, 2022).

2.3 Mobil Haritalama Sistemleri ve Platformlar

MHS kullanım amacına göre kullanılacak sensör ve platformları belirleyen birkaç faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında mevcut sensörler, proje bütçesi, teknik çözümler, işleme stratejileri ve nerede kullanılacağıdır (örneğin, kapalı veya açık alan). Bu faktörler kullanılabilir sensör türünü ve kullanılacak platformları (araç/sırt çantası/bisiklet) belirlemeye yardımcı olur. Örneğin kapalı alanlarda GNSS sinyallerine veya araçlara erişim yoktur. Bu nedenle alternatif çözümlere başvurulabilir (Elhashash ve diğ, 2022). Şekil 2.7’de yeni nesil MHS sistem ve platformlarına örnekler görülmektedir.



Şekil : 2.7 Yeni nesil MHS platformlarına örnekler

Genel olarak MHS platformlarını geniş bir şekilde geleneksel araçlar ve geleneksel olmayan hafif/taşınabilir haritalama cihazları olarak kategorize etmek mümkündür. Geleneksel araç tabanlı MHS'ler genellikle ana yollarda çalışır ve şehir veya bina

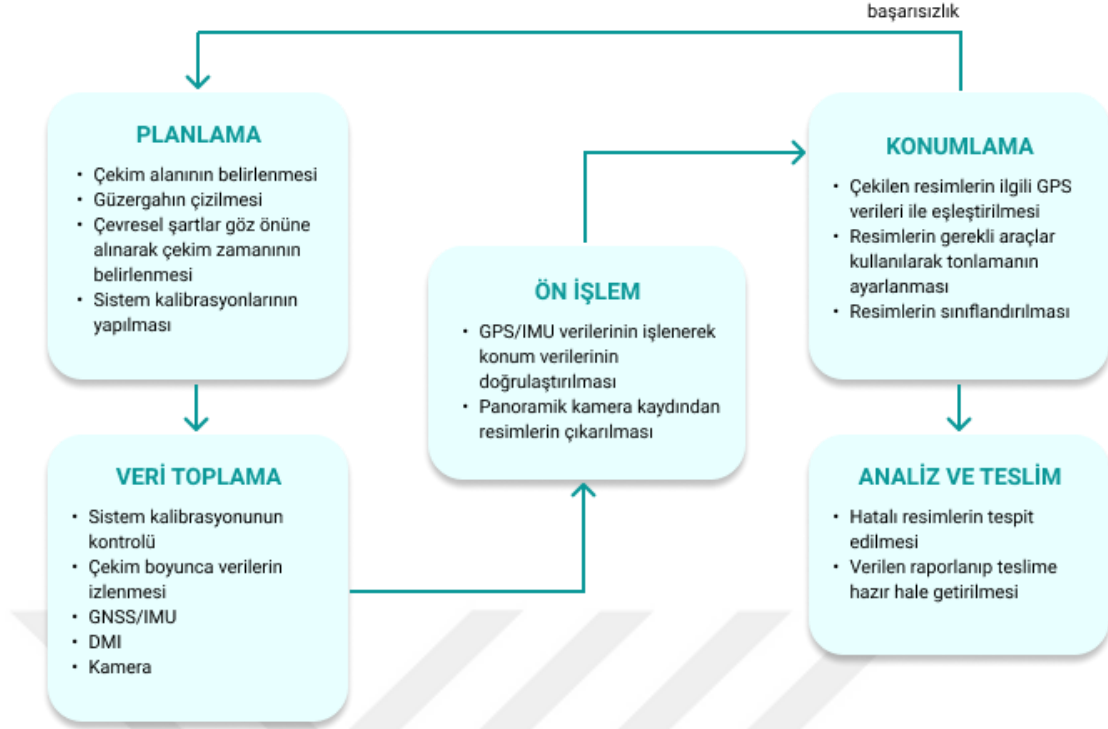
düzeyinde 3B veri toplar. Geleneksel olmayan taşınabilir cihazlar, sırt çantası/taşınabilir sistemler, elde taşınabilir sistemler veya tekerlekli sistemler gibi, uygulamalarına ve görevlerine bağlı olarak kapalı veya GNSS olmayan ortamlarda hem açık alanda hem de kapalı alanlarda kullanılabilir. Açık alan uygulamaları için bu haritalama yöntemleri genellikle araç tabanlı sistemleri tamamlamak için kullanılır. Dar sokakları ve daha büyük araçlarla erişilemeyen alanları haritalarlar (Blaser ve diğ, 2020; Kukko ve diğ, 2012). GNSS'in engellendiği mekanlarda sensör takımları dış mekanda kullanılanlardan oldukça farklı olabilir. Günümüzde SLAM teknolojisi ile iç mekan haritalamada oldukça iyi çözümler elde edilebilmektedir.

Araç üstü sistemler, yoğun nokta bulutlarını yakalamak için sensör takımlarını geniş görüş açısı ile ölçüm yapabilmek için bir aracın üstüne monte edilmesi anlamına gelir. Bu sistemler aracın 20-70 km/sa hızında yüksek bir veri toplama hızı imkanı sağlar. Sensör platformu haritalama uygulamasına bağlı olarak araçlara, trenlere veya tekneler üzerine monte edilebilir. Genel olarak araç üstü sistemler yüksek sınıf sensörleri barındırmalarına imkan tanıyan boyutları ve yük kapasiteleri nedeniyle diğer mobil haritalama platformlarına kıyasla en yüksek doğruluğu elde edebilmektedir (Fassi ve Perfetti, 2019).

Araç üstü MHS'ler kentsel 3B modelleme, dijital ikiz, karayolu/demiryolu varlık yönetimi ve mevcut durum değerlendirmesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Ayrıca otonom sürüş için güncel HD haritaların oluşturulması içinde kullanılabilir. Araç üstü sistemler, mobil haritalama alanında önemli bir rol oynamasına rağmen, nispeten büyük boyutları, dar ara sokaklar ve kapalı ortamlar gibi birçok mekanda veri ölçümü yapılamamaktadır. Kaliteli bir veri üretimi için hız ve geçiş planları sahaya çıkmadan önce planlanmalıdır.

2.4 MHS İş Akışı ve Veri İşleme Süreci

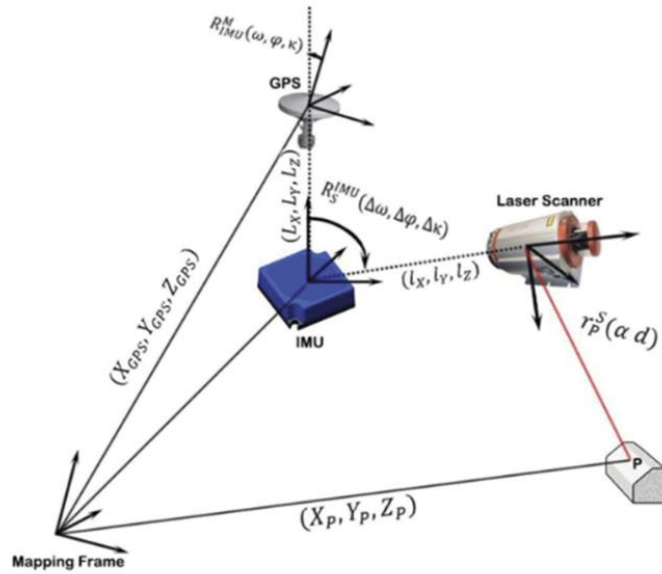
Bir MHS'den gelen ham sensör verileri 3B ürüne dönüştürülmesi için birkaç işlem adımı gereklidir. Şekil 2.8'da görüldüğü gibi bunlar genellikle veri toplama, sensör kalibrasyonu ve veri birleştirme, geo-referanslama ve sahanın dijital ikizinin oluşturulması için veri işleme adımlarını içerir (Elhashash ve diğ, 2022).



Şekil 2.8 : MHS’de iş akışı ve veri işleme süreci.

2.5 MHS’de LiDAR ve Kamera Görüntülerinin Geo-Referanslanması

MHS’ler jeodezik koordinat sisteminde çalışır (Toth, 2009; Olsen, 2013). Mobil LiDAR sistemlerinin koordinatlarının ölçüm prensibi Şekil 2.9’deki şematik gösterimdeki ekipmanlar arasındaki konum hesaplamaları (2.1) de verilen formül ile hesaplanabilir (Glennie, 2007



Şekil 2.9 : MHS geometrik ölçüm koordinat sistemi görseli.

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{GNSS} \\ Y_{GNSS} \\ Z_{GNSS} \end{bmatrix} + R_{IMU}^M(\omega, \varphi, \kappa) \cdot \left(R_S^{IMU}(\Delta\omega, \Delta\varphi, \Delta\kappa) \cdot r_P^S(ad) + \begin{bmatrix} L_X \\ L_Y \\ L_Z \end{bmatrix}_S^{IMU} - \begin{bmatrix} \frac{G}{L_X^I} \\ \frac{G}{L_Y^I} \\ \frac{G}{L_Z^I} \end{bmatrix}_{GNSS}^{IMU} \right) \quad (2.1)$$

Burada; X_P, Y_P, Z_P :P noktasının ECEF Koordinat sistemindeki konumunu;
 $R_{IMU}^M(\omega, \varphi, \kappa)$: IMU ve ECEF (Earth Center Earth Fixed) arasındaki dönüşüm matrisi;
 $R_S^{IMU}(\Delta\omega, \Delta\varphi, \Delta\kappa)$: IMU ve lazer tarayıcı arasındaki dönüşüm matrisi;
 $X_{GNSS}, Y_{GNSS}, Z_{GNSS}$: GNSS anteninin ECEF Sistemindeki konumu;
 L_X, L_Y, L_Z : Navigasyon ve IMU konumunun lazer tarayıcı konumu arasındaki mesafe;
 $\frac{G}{L_X^I}, \frac{G}{L_Y^I}, \frac{G}{L_Z^I}$: IMU konumun GNSS konumu arasındaki uzaklıklar
 R_S^{INS} : Lazer tarayıcı ve IMU arasındaki dönme matrisi;
 r_P^S : Lazer tarayıcı koordinat sisteminde P Noktasının bağıl konum vektörü.

2.6 MHS'nin Avantaj ve Dezavantajları

MHS'nin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Özellikle karayolları ve demiryolları gibi işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından çalışma riskinin yüksek olduğu yerlerde envanter toplanması ve bakım onarım çalışmaları için altlık oluşturma çalışmalarında bu sistemler kullanılabilir,
- Daha az zahmetli veri toplama süreci, sürekli değişen senaryolar için sık sık veri toplama imkanı sağlamaktadır,
- Belediyeler için gelir arttırıcı bir çalışma olan ilan reklam tabela alanlarının ölçümlerinde rahatlıkla kullanılabilmekte ve gelirler müdürlüğünün sistemi ile entegre edilerek vergilendirmede büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir,
- Yapay zekâ kullanılarak kişi tespiti, plaka ve yüz kapamaları, envanter üretimi gibi veriler koordinatlı olarak üretilebilir,

- Özellikle güzergâh boyunca hızlı toplanan verilerden noktasal (trafik işaret ve levhaları, ağaçlar, aydınlatma direkleri, çöp tenekesi, kent mobilyası vb.) ve çizgisel (yol orta çizgisi, şeritler, bariyerler, banket, istinat duvarı, otokorkuluk, refüj, emniyet şeridi, altyapı tesislerinin haritalanması, kaldırım yüksekliği ve kaldırımların genişliği, kaldırımlarda rampaların kullanılabilirliği vb.) verilerin öznitelik bilgileri ve sembolojileri ile beraber toplanabilir,
- Var olan bir MHS verisinden üretilmiş verilerin üzerine yeni bir veriyi aynı doğrulukta aynı veri üzerinden üreterek zaman farkı olmaksızın aynı standartta veri üretilebilir,
- MHS verilerinden üretilen verilerin her zaman kontrolünün yapılmasına imkan vermektedir,
- Fiziki olarak erişilemeyen arazi şartlarından veri elde etmek imkanı vermektedir,
- Üretilen MHS verisini farklı web ve mobil yazılım uygulamaları ile beraber idarelerin ve vatandaşın kullanımına açılacağı farklı bir kazanım olmaktadır,
- Üretilen MHS verisini geçmişe dönük olarak ciddi bir veri arşivi olma niteliği taşımaktadır,
- Özellikle yerel yönetimler açısından saha verilerine sahaya çıkmadan web ortamında istenilen yerde ulaşılabilir, veriler elde edilebilir,
- Özellikle otoyollarda ve çeşitli araç kazalarında olay yeri inceleme ve olay yerinden bilgi çıkarmak için kullanılması mümkündür,
- Büyük çaplı projelerde sahadan veri toplama maliyetlerini ve proje sürelerini oldukça azaltmaktadır,
- HD Map üretimi için kullanılabilir olması ve yapay zekâ uygulamaları kullanılarak farklı obje ve detayların çıkartılmasına imkan vermektedir,

MHS'nin Dezavantajları ise:

- MHS sistemi sabit hızla veri toplarken giderken yanından geçen bir otobüs, kamyon, ya da yüksek havaleli araçlardan kaynaklı olarak bazı verilerin kör noktada kalması,
- Yağmurlu, yağmur bulutlu havalarda, zeminin ıslak olduğu anlarda, gece ve trafiğin yoğun olduğu saatlerde çekimin yapılamaması,
- İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasının her projede kullanılabilirliğini azaltması,

- Küçük ölçekli projelerde mobilizasyon bedelinin fazla olmasından dolayı kullanılması maliyetleri arttırması,
- Sistemin pahalı olması; sigorta hizmetinin ülkemizde verilmemesi güvenlik ve risklerden dolayı kapalı otoparklarda saklama zorunluluğunu olması,
- Sistemle toplanan veriler olduğu için daima izin prosedürlerinin yerine getirilmesini gerektirmesi,
- Kişisel verilerin korunması açısından ortaya çıkabilecek sorunlar.

Ancak mobil haritalama sistemi doğrudan veri toplama yöntemi değildir. İlgili gerçek varlıkları belgelemeden önce bir dizi işleme tabi tutulması gerekir. Coğrafi referanslamadan, verilerin özelliklerinin çıkarmasına kadar değişen iş ve işlemleri içerir. Mobil haritalama sistemi kullanılarak toplanan varlık verilerini yönetmek için ideal bir platform olarak ve varlık envanteri işleme ve yönetmek için bir CBS veri tabanının uygulanmasıyla birlikte yürütülmelidir.

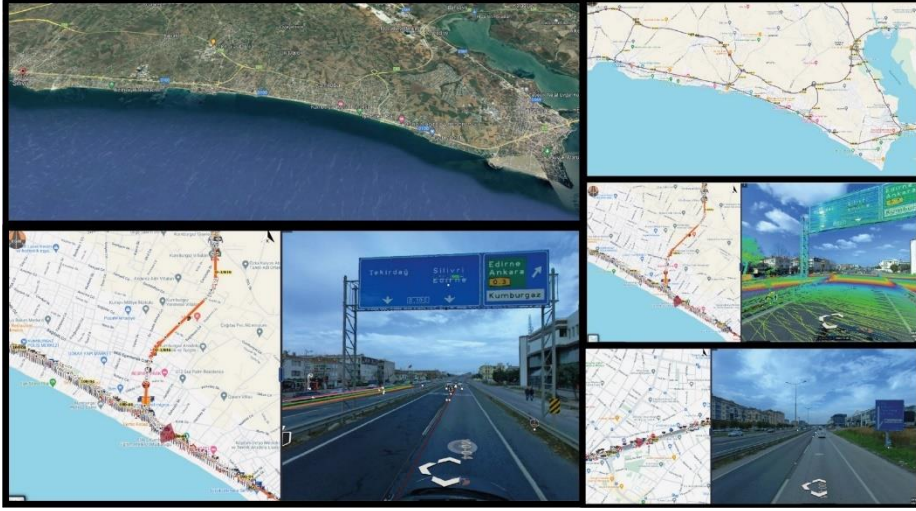
MHS Saha veri toplama yöntemleri, yüksek veri toplama süresi ve kapasitesi, artan manuel çaba, güvenlik kısıtlamaları ve toplanan bilgilerin sınırlandırılması, yasal süreçler gibi bir dizi potansiyel zorluğa sahiptir. Veri toplama yöntemleri olarak kullanıldığında veri dönüşümü, depolama ve veri yönetimi yeterince standartlaştırılmamıştır. Örneğin, şu anda birçok kurumda benimsenen iş akışı, geleneksel ölçüm yöntemleriyle sahadan veri toplamasını içermektedir. Veriler CAD biçiminde üretilir, uygun CBS formatına dönüştürülür ve kullanılır. Bu yöntemler genellikle organize bir iş akışını otomatikleştirmek için çok adımlı süreçleri içerir. Yeni toplanan verileri mevcut verilerle entegre etmek de zordur. Bir mobil haritalama teknolojisi bu sınırlamaların neredeyse hepsini aşmaktadır. Sistemin başlangıç maliyeti yüksek olmasına rağmen, sistem oluşturulduktan sonra, verinin hızlı ve kolay toplanmasını sağlamakla beraber güncel bilgi edinmeye yardımcı olur. MHS'deki sınırlamalar, gelişmiş veri yönetim teknikleri ve otomatik özellik çıkarma yöntemleri kullanılarak aşılabilir.

3. UYGULAMA

Bu tez çalışmasında izleyen bölümde detayları paylaşılan Mobil Haritalam Sistemi (MHS) ile sahada yapılan gerçek uygulamalardan elde edilen verilerden yararlanarak bir karayolu güzergâhındaki mevcut seçilen belirli bir yol envanterinin çıkartılması için yapay zekâ teknolojisinin kullanılabilirliği araştırılmıştır (Uygulama-1). Oldukça pahalı bir sistem olan MHS'nin en önemli bileşeni olan LiDAR kullanılmaksızın oluşturulabilen daha ucuz donanım maliyetli bir sistemin performansı da bir başka uygulama ile araştırılmıştır. Bu şekilde elde edilen yol envanterinin konum doğruluğunu belirlemek üzere de bir uygulama yapılmış, MHS'nin veri üretim doğruluğu belirlenmiştir. Bu ucuz donanımın farklı alanlarda kullanılabilirliği için ölçümlerin iç doğruluğuda araştırılarak performansı araştırılmıştır (Uygulama-2). Anılan bu 2 uygulama ile ilgili detaylı bilgiler ve elde edilen sonuçlar izleyen bölümlerde verilmiştir.

3.1 Karayolu Uygulama Alanı (Uygulama 1)

Yol envanteri belirlemek için yapılan uygulama kapsamında bölünmüş devlet yolu olan Karayolları İstanbul Bölge Müdürlüğü'nün Mimar Sinan Bölge şefliği sınırlarındaki D-100 karayolunda Kontrol Kesim Numarası (KKN) 100-04 olan ve Büyüçekmece Gölü-Silivri Merkez arasındaki karayolu güzergâhı seçilmiştir (Şekil 3.1). Seçilen güzergâh çift şeritli karayolu olup gidiş-geliş olarak toplam 40 km uzunluğundadır. Yapılan ölçüm çalışmaları esnasında MHS aracının ortalama hızı trafik hızına paralel olarak yaklaşık 70 ile 90 km/sa arasında yapılmıştır.



Şekil 3.1 : Karayolu uygulama güzergâhının uydu görüntüsü, haritası, sokak görüntüsü, LiDAR verisi ve panoramik fotoğrafları.

3.2 Veri Toplama

Çalışma kapsamında yapılan ölçmelerde kullanılan Mobil Haritalama Sistemi (MHS) Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : LiDAR’lı MHS aracı ve sistemin şematik görüntüsü, araç içi donanımlar ve sahadaki ölçme esnasındaki görüntüsü.

Çalışmada kullanılan MHS tarafımızca her bir birimi bağımsız olarak temin edilip, bir araya getirilmiş, donanımların entegrasyonu sonrası kalibre edilerek ölçme yapmaya hazır bir sistem haline getirilmiştir. Sistem ile araç üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak yukarıda belirtilen güzergâhta ölçmeler yapılmıştır. Ölçüm işlemi seçilen karayolu güzergâhında gidiş-geliş olarak gerçekleştirilmiştir. MHS ile saha ölçümleri, ölçüm verimliliğini etkileyen yağmurlu hava, ıslak zemin, havadaki koyu bulut, gün

doğarken ve batarken yoldaki ve trafik işaret ve levhalarındaki güneş ışığının parlayıp yansması fotoğraf kalitesini etkileyeceğinden dolayı gündüz vakti güneş ışığının yol yüzeyinden ve trafik tabelalarından parlamayacak durumdaki en verimli vakitlerden biri olan saat 11:00 ile 12:00 arasında gerçekleştirilmiştir. Ölçmelerde kullanılan yazılımların özellikleri Çizelge 3.1’de, MHS donanımlarının özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : MHS de kullanılan yazılımlar ve özellikleri.

Yazılım Adı	Yazılımın Özellikleri
LV-POSVIEW	IMU cihazının çalışmasını, konum ve dönüklük değerlerini kayıt etmek, kontrol etmek ve izlemek için kullanılır. Donanımla birlikte satın alınan yazılımdır.
POSPac	IMU'nun kayıt ettiği konum ve dönüklük verilerini sabit GNSS istasyonlarına göre hassas konum ve dönüklük verilerini elde etmek için donanımla satın alınan bir yazılımdır.
VeloView	Velodyne sensörleri ile ölçülen 3D LiDAR verilerinin gerçek zamanlı olarak görselleştirilmesi, işlenmesini ve kayıt edilmesini sağlar. Donanımla birlikte gelen bir yazılımdır.
Ladybug CapPro	Panoramik kameranın çektiği fotoğrafların görüntülenmesi ve kayıt etmesini sağlayan yazılımdır. Donanımla birlikte gelen bir yazılımdır.
JPEG Exporter	Ham panoramik fotoğraf kayıtlarının çekim noktasının hassas konum ve zaman verileriyle çıkartan yerli bir yazılımdır.
LAS Exporter	Ham Nokta bulutu verilerini hassas konum ve zaman verileriyle *.las formatında çıkartan yerli bir yazılımdır.
Face&Car Plate Bluring	Panoramik fotoğraflardaki plaka ve yüzleri yapay zekâ ile kapatabilen yerli bir yazılımdır.
Photoshop	Panoramik görüntülerin görüntü kalitesinin iyileştirilmesini sağlayan bir yazılımdır.
SRF Exporter	Panoramik görüntülerin uygulamalarda daha hızlı yüklenebilmesi için görüntüleri parçalara ayıran yerli bir yazılımdır.
Mobile Mapping Web Server	Nokta bulutu ve panoramik görüntülerin yayınlayarak, sayısallaştırma, raporlama ve analizlerin yapılabilirdiği yerli bir MHS yazılımıdır.

Çizelge 3.2 : MHS de kullanılan donanımlar ve özellikleri.

Ekipman	Özellikler	Ürün Fotoğrafi
Ladybug5+	Çözünürlük: 2048*2448 Megapiksel: 30 Maksimum Kare Hızı Standardı: 30 Görüş Alanı: Tam kürenin %90'ı	
Applanix POS LV V5	X, Y Konumu (m): 0.020 Z konumu (m): 0.030 Yuvarlanma ve Eğim(derece):0.015 Gerçek Yön (derece): 0.025 Maksimum Veri Hızı: 200 Hz	
DYNAPAR DMI	Hasas mesafe ölçümü Hasas araç hızı ölçümü	
Trimble GNSS System	Yatay: 0.25 m + 1 ppm RMS Düşey:0.50 m + 1 ppm RMS Yatay: 8 mm + 0.5 ppm RMS Düşey:15 mm + 0.5 ppm – GPS: L1 C/A, L2C, L2E, L2P, L5 – GLONASS: L1 C/A, L2 C/A, L3 CDMA – Galileo: L1 CBOC, E5A, E5B, ve E5AltBOC – Beidou (COMPASS): B1, B2 Konumlama Hızları: 1, 2, 5, 10 ve 20 Hz Düzeltilme verisi giriş/çıkış: CM, CMR+, CMRx, RTCM v 2.x & 3.x Veri çıkışları:NMEA, GSOF	
Velodyne VLP - 32C	32 Kanal Ölçüm aralığı: 200 m Menzil Hassasiyeti: +- 3 cm Yatay görüş alanı: 360 derece Dikey görüş alanı: 40 derece Açısal çözünürlük (yatay/azimut): 0.1 derece Dönüş hızı: 5 HZ - 20 HZ Tek dönüş Modu: saniyede 600.000 nokta	

MHS nin içerisindeki bilgisayar sistemi ve özellikleri, ekranlar, switch ve inventörün özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : MHS deki araç içi kayıt ünitesinin özellikleri.

MHS Bilgisayarı			Ekipman Resimleri
Ünite	Özellikler	Açıklama	
İşlemci	Intel Core i9-9900KF	Minimum Intel Core i9-9900KF ve üzeri.	
RAM	16GB		
Grafik kartı	NVIDIA Geforce RTX 2060 6GB	RTX 2060 ve üzeri	
SSD Hard Disk	1TB M.2 NVME SSD + 2TB SSD	2 adet nvme SSD girişi olmalı, girişlerden biri en az 2 TB'ı desteklemeli.	
Monitör1	23.8" Full HD IPS Panel HDMI+D	İlk monitör araç koltuğuna monte ediliyorsa kablo girişleri alt taraftan olmalıdır.	
Monitör2	19" Full HD HDMI+VGA		
Victron Phoenix İnvertör	12volt/1200va	aynı özelliklere sahip herhangi bir invertör.	
ZYXEL GS-108S Gigabit 8 PORT Swich	8 port Gigabit Switch	Bilgisayar, LiDAR ve IMU arasında veri iletişimi için bir network ağı oluşturmaktadır.	

Ölçmelerde Şekil 3.3’de gösterilen ve daha önce KGM Trafik İşaretleri El Kitabından seçimi yapılan trafik tabelaları dikkate alınmıştır. Çalışmada yapay zekâ ile çıkartılmak üzere üçgen, kare, dikdörtgen, sekizgen, içerisinde yazı olan ve küçük farklı renklerde işaretlerin ve renk farklılıklarının da olduğu 23 farklı trafik levhası seçilmiştir. Seçilen trafik levhalarının durumlarına bakıldığında kolayca okunup algılanabildikleri, olabildiğince yıpranmamış oldukları, düşey ve trafik yönüne göre düzgün yerleştirildikleri, yüzeylerinin kirli olmadıkları, önlerinde herhangi bir engel bulunmadığı gözlemlenmiştir.

IMU verileri uygun formatlarda aktarılarak, POSpac yazılımı ile büroda değerlendirilmiştir. POSpac yazılımı RINEX dosyalarını kullanarak verilerin düzenlenmesi, zaman etiketlerinin senkronize edilmesi ve gürültüden arındırılması işlemlerini gerçekleştirir. İşlenmiş veriler, uyduların konumunu ve hareketini, alınan sinyal güçlerini, gözlemlenen taşıyıcı frekansları içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı daha sonra diferansiyel düzeltmeler ve konum belirleme işlemleri için kullanılmıştır.

MHS'nin sahadan veri toplama aşaması ile başlayan ölçmelerin, obje belirleme aşamasına kadarki iş akışı Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : MHS'nin sahadan veri toplama sürecinden objelerin detekte edilme süreci.

Şekil 3.4'de paylaşılan her bir işlem adımının kapsamında yapılan çalışmalar ana hatlarıyla aşağıda açıklanmıştır.

Adım 1 - Ölçüm Öncesi MHS Kontrolü:

- Kamera lens temizliği,

- Lidar cam temizliği,
- IMU'nun alıştırılması,
- PC'nin alıştırılması,
- PC'de yıl/ay/gün sıralamasına göre bir bir dizin oluşturulması (bu klasörün içerisine LiDAR, kamera, IMU lm kayıtları için dosya oluşturulur),
- Araç açık alanda iken IMU kayıt yazılımı olan LV-POSView programının aılması,
- LV-POSView yazılımında GNSS'den gelen ve önceden belirlenen eşik RMS değerlerinin (yükseklik, konum, hız ve yn) altına düşmesinin beklenmesi (bu süre GNSS uydularının konumları ve hava durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir),
- Kamera (LadybugCapPro)ve LiDAR (LV-POSView) yazılımları aılarak ölçüm kayıtlarına başlanması.

Adım 2 - Saha lmleri (GNSS, LiDAR, Fotoğraf ve IMU): Saha lmleri (GNSS, LiDAR, Fotoğraf ve IMU); LiDAR verileri LV-POSView yazılımı ile *.pcap dosya formatı ile kayıt yapmaktadır. IMU lm verilerinin kayıtları için ise LV-POSView yazılımı kullanılmış olup Applanix cihazının ham veri formatında GNSS'den gelen konum bilgisi ile 200 Hz hızında zaman bilgisi, IMU'dan gelen dönüklük değerleri olan roll, pitch ve yaw dataları, odometreden gelen zaman ve sayı bilgisi Pcap dosyasının içerisinde kaydedilir. VeloView yazılımı ile LiDAR ölçümlerinden her bir nokta bulutu verisinin zaman bilgisi, hangi kanal verisi olduğu (32 kanallı bir donanım), hangi aı ile ölçüm yaptığı ve lm uzaklık verileri kaydedilmektedir. Fotoğraf verisi kaydedilirken ise; LadybugCapPro yazılımı *.pgr formatında kayıtlar yapılmıştır. Önceden belirlenen ve 5 m aralıklarla kayıtları yapılacak fotoğraf ölçümleri için Odometreden gelen her 5 m'de bir tetikleme sinyali ile fotoğrafların zaman, konum ve fotoğraf kayıtları yapılır.

Adım 3 - Kaba Hata Kontrolleri: Kaydedilen lm verilerinin kaba hataları kontrol edilmeden diğer işlemlere geçilemez. Bunlar;

- Dosya isimlerinde Türkçe karakter kontrolü,
- lm kayıtlarının UTM projeksiyonundaki doğru dilimde tanımlanıp tanımlanmadığının kontrolü,
- IMU lm kayıtlarının fotoğraf ve LiDAR lm kayıtlarını kapsayıp kapsamadığının kontrolü,

- Kamera kayıtlarının tetikleme modunda ölçümün yapılıp yapılmadığının kontrolü,
- Günlük olarak kayıtları yapılan dosyaların adet ve boyut kontrolü.

Adım 4 - Verilerin Yedeklenmesi: Sahadan gelen ham ölçümlerinin bir yedeği daha sonra verilerde meydana gelebilecek bozulmalara karşı önlem olarak tutulmaktadır.

Adım 5 - IMU Konum Koordinatları ve Dönüklüklerin Hesaplanması: TUSAGA-Aktif Sisteminden MHS ile ölçümü yapılan güzergâha 80 km mesafe içerisinde bulunan istasyonlardan RINEX verileri indirilmiştir. RINEX verileri aplanix POSPac yazılımı ile işlemde geçirilerek konum ve dönüklük değerleri (roll, pitch ve yaw), GNSS zaman değerleri ile birlikte işlenerek hesaplanır. IMU'ya göre hesaplanan bu verilerden kamera ve LiDAR için öteleme yapılarak hassas konum ve dönüklük değerleri hesaplanır.

Adım 6 - Fotoğraf ve LiDAR verilerinin Geo-Koordinatlandırılması: LiDAR ve fotoğraf verileri kayıtları yapılırken GNSS zaman bilgisi ile birlikte kayıt yapılır. Kamera ve LiDAR için hesaplanan konum ve dönüklük değerleri ile ölçüm esnasında kaydedilen ham verilerin zaman bilgileri eşleştirilerek geo-koordinatlandırma işlemi POSPac yazılımı ile yapılır.

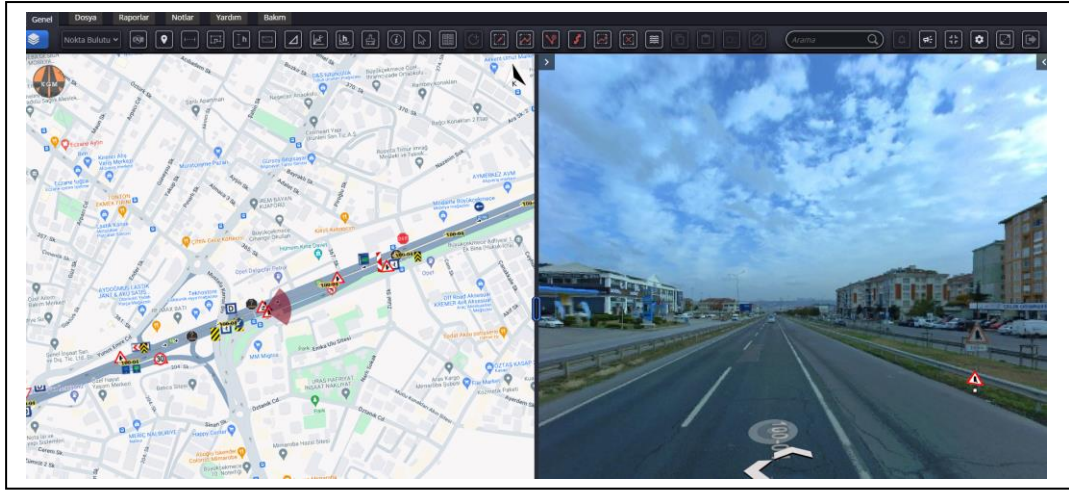
Adım 7 - Fotoğraf ve LiDAR verilerinin dönüştürülmesi: Her bir fotoğraf adına oluşturulmuş noktanın konum koordinatları ve dönüklükleri *.txt formatında fotoğraf dosyasına yazdırılır. Fotoğrafların *.jpeg formatında panoramik olarak çıktıları kaydedilir. Geo-koordinatlandırılan LiDAR verisi *.las formatında nokta bulutu olarak kaydedilir.

Adım 8 - Fotoğraf iyileştirme, Plaka ve Yüz kapamalar: Bu tür projelerde sahadan toplanan fotoğraflar kişisel verilerin korunması kanunu kapsamında olup, bu fotoğraflar da kamuya açık bir şekilde yayınlanacağı için araç plakaları ve insan yüzlerinin kapatılması işlemi gerçekleştirilmelidir. Bu kapsamda yapay zekâ uygulaması AnkaAI ile plaka ve yüzlerin buzlanması işlemi yapılır.

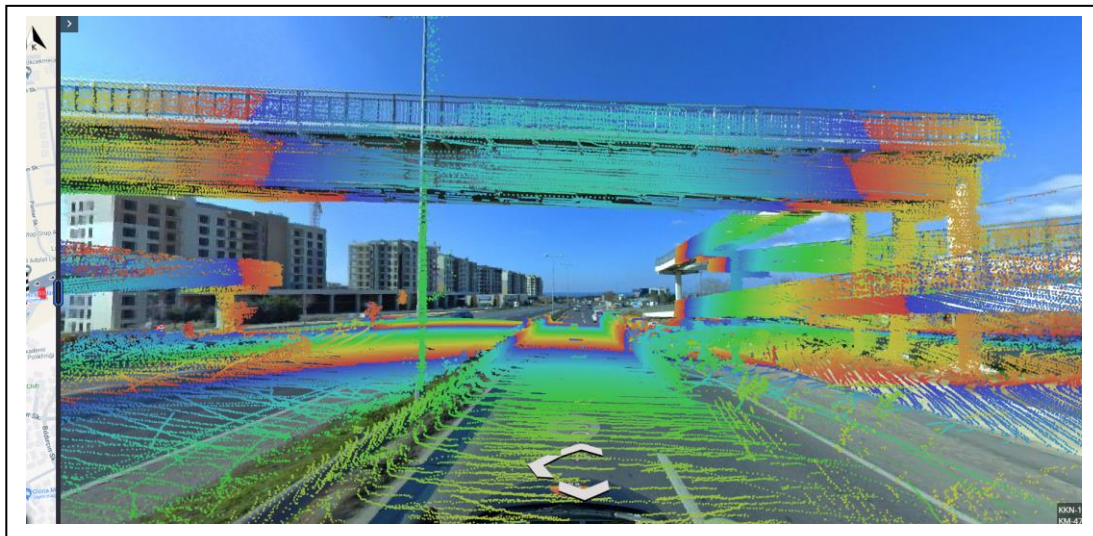
Adım 9 - Fotoğraf ve LiDAR verilerinin GIS platformuna aktarımı ve objelerin manuel olarak çıkartılması: Geo-koordinatlandırılması tamamlanan panoramik fotoğraflar *.jpeg formatında, LiDAR verileri *.las formatında ve yol güzergâhına ait yol envanter verileri ise *.shp ve geodatabase formatında serverde geospatial veri tabanında saklanır. MHS web uygulama yazılımları LiDAR, panoramik görüntü ve CBS

verilerinin aynı anda aynı platformda yayınlanması oldukça zor ve karmaşık bir dizi algoritmalar içerir. MHS yazılımları bu yüzden diğer CBS yazılımlarına göre geliştirmesi oldukça zordur. Ulusal bir firma tarafından geliştirilen web tabanlı bir harita sunucusu olan yazılım aracılığıyla yönetilir ve yayınlanır.

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da ekran görüntüsünün görüldüğü web tabanlı bu MHS yazılımı içerisinde ölçüm işlemi yapılan 40 km’lik çalışma bölgesindeki güzergâh üzerindeki seçili olan 23 farklı trafik levhasının sayılsallaştırma işlemi manuel olarak mobil haritalama yazılımı ile çıkartılmış ve sahadaki mevcut toplam 432 adet trafik levhası üretilmiştir.



Şekil 3.5 : Web tabanlı MHS yazılımı.



Şekil 3.6 : MHS web uygulama yazılımında LiDAR ve panoramik görüntü.

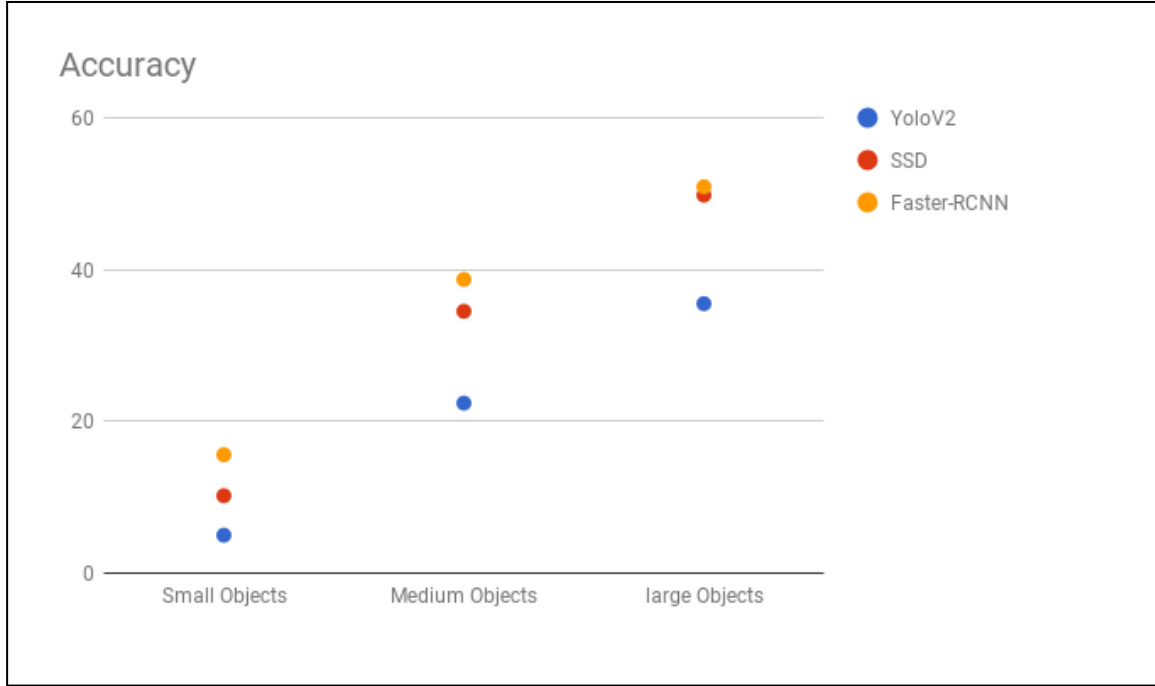
Adım 11 - Fotoğraf ve LiDAR verilerinden yapay zekâ uygulaması ile objelerin çıkartılması: Panoramik fotoğraf üzerinden fotogrametrik yöntemlerle veya LiDAR ve panoramik fotoğraf verileri üzerinde yapılan sayısallaştırma işlemleri ile ulaşım envanterleri üretilebilmektedir. Fakat bu sürecin dezavantajı hız ve maliyettir. Bu sorunu çözmek için nokta bulutu verileri kullanılsa da alternatif olarak, elde edilen fotoğraflara ve LiDAR verilerinde yapay zekâ algoritmaları geliştirilerek ulaşım envanterleri daha hızlı bir şekilde çıkartılabilmektedir. Bu yöntemin altyapısı nesne algılama modellerine dayanmaktadır. Günümüzdeki popüler nesne tanıma sistemleri, yalnızca bir görüntüdeki her nesneyi tanımak ve sınıflandırmak, aynı zamanda her birinin etrafına uygun sınırlayıcı kutuyu çizerek görüntü üzerindeki konumunun bulunmasını sağlamaktadır. Bu, nesne algılamayı, geleneksel bilgisayar algılaması (Computer Vision) görüntü sınıflandırmasından çok daha zor bir iş haline getirmektedir. Ancak, günümüzdeki nesne tespitine yönelik en başarılı yaklaşımlar, geleneksel görüntü sınıflandırma modellerinin uzantılarıdır (Sun, 2017).

Günümüzde çok yaygın kullanılan Nesne Tespit Modelleri şunlardır:

- Single Shot Multibox Detector (SSD) with MobileNets
- SSD with Inception V2
- YOLO (You Only Look Once) Serisi
- Detectron2
- Region-Based Fully Convolutional Networks (R-FCN) with Resnet 101
- Faster RCNN with Resnet 101
- Faster RCNN with Inception Resnet v2

Günümüzdeki en iyi ve en çok kullanılan temel nesne tanıma modelleri Faster R-CNN, R-FCN ve SSD'dir. Bu 3 temel yapay sinir ağı mimarisinin, MobileNets, Inception ve ResNet ile beraber kullanımlarındaki yaklaşım farkları bulunmaktadır. Bahsedilen tüm dedektörler, büyük nesneler üzerinde makul derecede iyi performans göstermektedir. Ancak SSD'nin sadece küçük nesneler üzerindeki performansı biraz düşük olmasına rağmen, içlerinde genelde en hızlı olan algoritmadır. Bununla beraber Faster R-CNN with Resnet ile SDD'den daha iyi sonuç alan gerçek zamanlı video/fotoğraf işleme projeleri de mevcuttur. Diğer popüler modeller, hepsi de derin CNN'lere (Convolutional Neural Network) dayanmakta olup bu 3 temel modele

benzemektedirler. Nesne tespitinde çok fazla algoritma bulunmaktadır. Ancak doğruluk (accuracy) ana kriter olduğunda Faster R-CNN genelde daha iyi bir seçim olmaktadır. Ancak, hızlı hesaplama için SSD daha iyi bir algoritmadır. Eğer doğruluk gereksinimi düşüks, çok hızlı video işleme gerekiyorsa da YOLO iyi bir seçim olabilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Video nesne tanıma algoritmalarının doğruluk ve hız açısından karşılaştırması (Url-11).



Şekil 3.8 : Algoritmaların nesne büyüklükleri ve doğruluk açısından karşılaştırması (Url-11).

SSD, Faster RCNN ve YOLO'nun performansını çeşitli boyuttaki nesnelerle karşılaştıran Şekil 3.8'e bakıldığında, büyük boyutlarda SSD, Faster R-CNN'e çok benzer bir performans sergilediği görülmektedir. Bununla birlikte, nesne boyutu küçük olduğunda doğruluklar arasındaki boşluk genişlemektedir.

Doğru nesne tespit yönteminin seçimi çok önemlidir ve çözmeye çalışılan probleme ve kullanılan donanım ve yazılım platformuna bağlıdır. Nesne tespit (object detection), otonom araçlar, güvenlik ve gözetleme (surveillance) ve birçok endüstriyel uygulamalar gibi bilgisayarda algılamadaki birçok pratik uygulamaların belkemiğidir (Redmon, 2020). Bu çalışmada nesne tanıma algoritmalarının doğruluk ve hız parametreleri açısından karşılaştırılması yapıp, doğruluk kriteri baz alınarak, uygun algoritma olarak Faster-RCNN model seçilmiştir.

Nesne tanıma algoritması seçildikten sonra yapay zekâ platformunun seçimine geçilmiştir. Şekil 3.9'da günümüzde, görüntü işleme ve nesne tanımada kullanılan PyTorch, Keras, Caffè, Caffè2, Cognitive Toolkit (CNTK) ve TensorFlow gibi açık kaynak derin öğrenme çerçeveleri (Frameworks) görülmektedir. Bu çalışmada TensorFlow platformu kullanılmıştır..



Şekil 3.9 : Derin Öğrenme Platformları (Sunitha, 2021).

TensorFlow üzerinde yapılan çalışmalar sonrasında proje gereksinimlerini karşılayacak donanım olarak GeForce RTX 3070 GPU’lu Intel I7 9700k 32 GB RAM ve 4 TB SSD hard diski olan bir PC kullanılmıştır. Bu sistem kullanılarak fotoğraflar üzerinde eğitimler (training process) yapılmıştır. Fotoğrafların eğitimlerinden önce resimlerin parlaklığı, ışık kırılmalarının olup olmadığı resim çözünürlükleri dikkate alınarak bir kalite kontrolü yapıldıktan sonra eğitilen modelin değerlendirilmesi açısından doğruluk değeri değerlendirme metriği olarak seçilmiştir (Scotti ve diğ, 2015). Doğruluk doğru sınıflandırılan nesnelerin sayısını tüm nesne sayısına oranı ile bulunur (3.1).

$$\text{doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (3.1)$$

Burada TP ; doğru olarak sınıflandırılan nesnelerin sayısını, FP ; yanlış sınıflandırılan nesnelerin sayısını ve FN ; sınıflandırılmayan nesnelerin sayısını temsil etmektedir.

TN bu sistem için 0 alınabilir, zira burada negatif obje arka plan olduğu için sınırsız bir sayıyı temsil etmektedir.

Fotoğraf üzerinde tespit edilen trafik levhaları aslında 2 boyutlu verilerdir. Burada üçüncü boyuta geçmek için nokta bulutu verileri kullanılmıştır. Bunun için fotoğrafta bulunan koordinat aşağıdaki denklem kullanılarak aracın bulunduğu konumdan başlayan bir ışın elde edilmektedir. Bu ışın kullanılarak nokta bulutunda tabelanın bulunduğu konumun noktaları (3.2)'deki formül ile seçilebilmektedir (Scotti ve diğ, 2023).

$$u = \frac{\arccos\left(\frac{Z_{cam}}{r}\right)}{\pi} Y$$
$$v = \left[\left(\frac{\text{atan2}(Y_{cam}, X_{cam})}{2\pi} + 0.5\right)G\right] \quad (3.2)$$

Burada:

u ve v cismin fotoğraf üzerindeki koordinatları; Y ve G panoramik fotoğraf çözünürlüğünü (4096x8192); r değeri ile ışının uzunluğunu ayarlanmaktadır. X_{cam} : cismin kameraya göre x eksenindeki uzaklığı; Y_{cam} : cismin kameraya göre y eksenindeki uzaklığı; Z_{cam} : cismin kameraya göre z eksenindeki uzaklığı vermektedir.

Çalışmada elde edilen panoramik fotoğrafların yapay zekâ eğitimleri 3 aşamada yapılmıştır. Bilindiği üzere yapay zekâ uygulamalarında sistem ne kadar çok eğitilirse başarı oranı o kadar yükselmektedir. Bu çalışmada her seferinde eğitim veri setlerini arttırarak 3 farklı eğitim yapılmıştır. Her bir veri seti ile yapılan yapay zekâ eğitimden sonra seçilen karayolu güzergâhındaki 23 farklı trafik levhası yeniden çıkartılmıştır. Görülmüştür ki daha fazla eğitimle daha fazla envanter üretimi gerçekleştirilebilmiştir. Eğitim için kullanılan veri setlerinin birincisinde mevcut güzergâhta kaydı yapılan 8,000 adet fotoğraf seti kullanılmıştır. Diğer iki veri seti için ise KGM için çekilen farklı güzergâhtaki veri setleri kullanılmıştır. İkinci veri seti için ise 5,000 adet veri seti kullanılmış olup, üçüncü veri seti için de 5,000 adet yeni veri seti kullanılmıştır. Toplamda ise 18,000 panoramik fotoğraf veri seti olarak kullanılmış olup eğitimleri yapılmıştır. Bu uygulamada eğitilen modelin doğruluk oranı %80 olarak ölçülmüştür.

Bütün bu çalışmalar için:

❑ MHS ile sahadan veri toplama işlemi 1 saat yapılmıştır (Mobilizasyon dahil 1 gün),

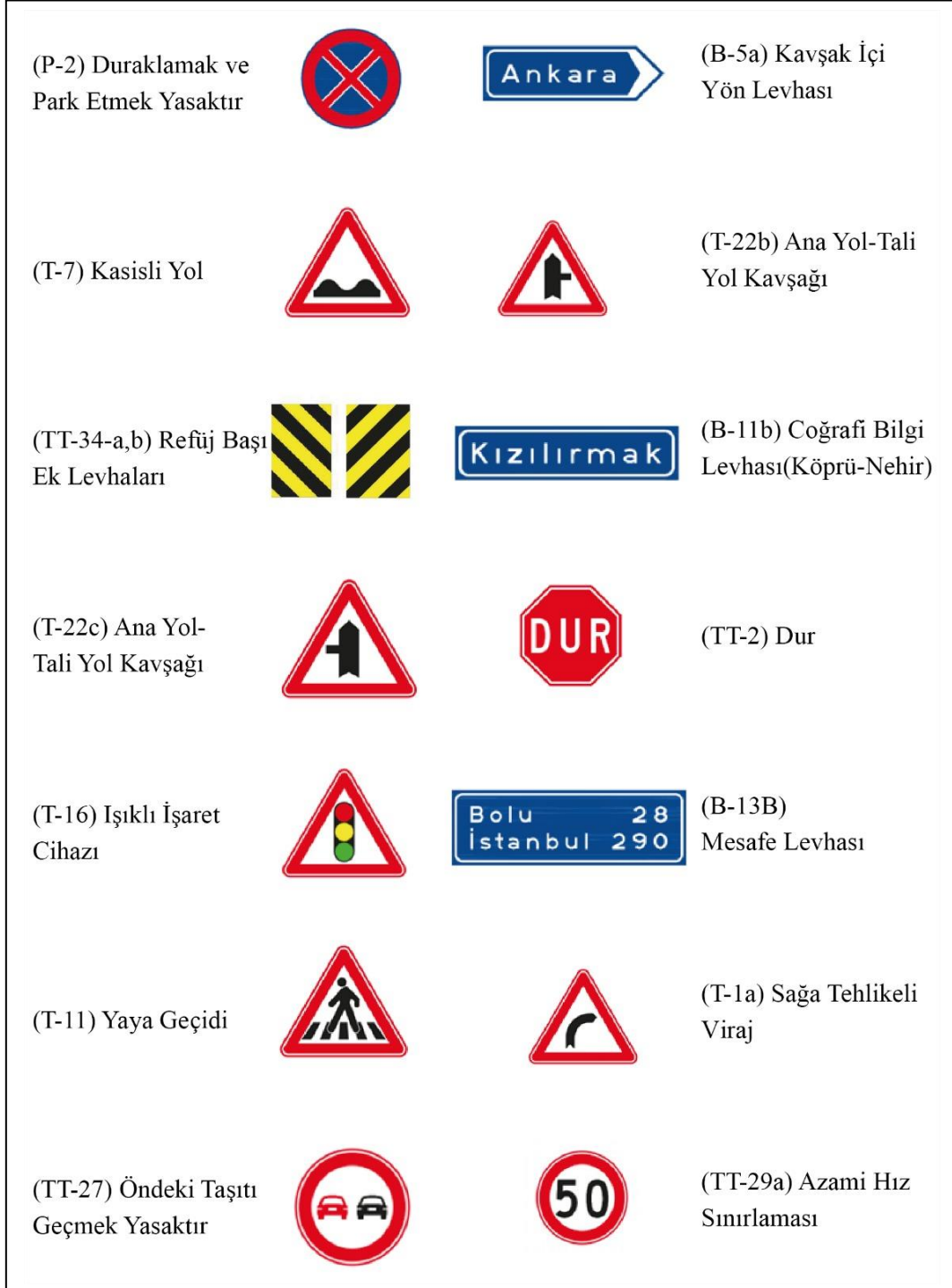
- ☐ 2 saat veri işleme çalışması ve geo-koordinatlandırma çalışması yapılmıştır,
- ☐ 1 adam/günlük mobil haritalama yazılımından manuel olarak trafik levhası çıkartma işlemi yapılmıştır,
- ☐ 1. Yapay zekâ eğitimi için 3 adam/günlük trafik levha etiketlemesi yapılmıştır,
- ☐ 2. Yapay zekâ eğitimi için 2 adam/günlük trafik levha etiketlemesi yapılmıştır,
- ☐ 3. Yapay zekâ eğitimi için 2 adam/günlük trafik levha etiketlemesi yapılmıştır,
- ☐ Bir PC’de toplam 6 saatlik yapay zekâ algoritması ile trafik levhası veri üretimi gerçekleştirilmiştir,
- ☐ 2 adam/günlük KGM standartlarına göre eksik trafik levha tespiti yapılmıştır,
- ☐ 1 adam günlük veri analiz işi yapılmıştır.



Şekil 3.10 : Seçilen KGM trafik levhaları.

Çalışma alanı güzergâhımızda var olan ve daha önce seçimi yapılan Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’deki trafik levhaları ilk yapay zekâ algoritması eğitiminden sonra uygulanan

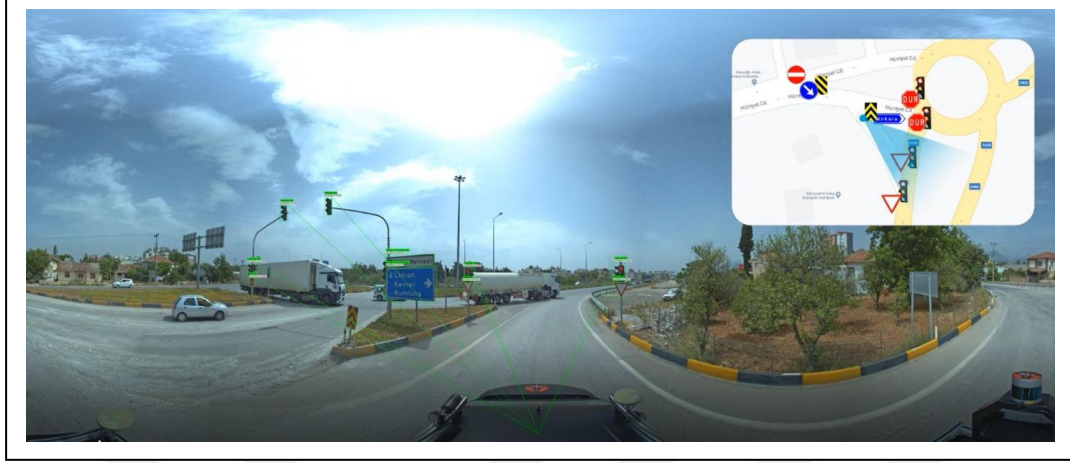
algoritmaya çıkartmış olunan trafik levha sayısı 171 adettir. Yapay zekâ algoritmasının etkinliğini arttırmak için ikinci kez yapılan veri seti eğitiminden sonra çıkartılmış olan trafik levha sayısı 295 adet olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.11 : Seçilen KGM trafik levhaları.

Üçüncü ve son defa daha fazla veri seti ile yapılan eğitimden sonra yapay zekâ algoritması ile çıkartmış olunan levha sayısı 345'e ulaşmıştır.

Ayrıca sahada mevcut olan trafik işaret ve levhalarının yüzde kaçını bulduğunun sonuçları hesaplanmıştır. Yapay zekânın panoramik görüntü içerisinde levha tespitinin gösterimi ise Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : Yapay zekâ algoritması ile tespit edilen levhaların tespit yöntemi.

İlgili çalışma bölgesindeki karayolu güzergâhında mobil haritalama yazılımı ile çıkartmış olunan 432 adet trafik levhası, KGM standartlarına göre eksik olan 222 adet trafik levhası ve yapay zekâ algoritması ile üç farklı eğitim setine göre elde edilen trafik levhaları, levha kod ve açıklamaları Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de görülmektedir. 23 farklı trafik levha türünden sahada toplamda 432 adet olduğu tespit edilmiştir. 432 adet trafik levhasının ilk eğitimden sonra yapay zekâ algoritması ile 171 adedini doğru şekilde çıkartılmış yani %39.58’i doğru olarak tespit edilmiştir. İkinci eğitim seti ile eğitilen yapay zekâ uygulaması ile yeniden levhalar tespit edilmiş ve daha fazla trafik işaret ve levhanın üretilebildiğini gözlemlenmiştir. İkinci eğitimden sonra ise 432 trafik levhasının 295 adedini doğru olarak çıkartılabildiği görülmüştür. Bu da trafik levhaların tespitinin gerçeğe yakınlığı açısından ikinci analizde birinciye göre yaklaşık olarak %28.7’lik bir artış olduğunu ve mevcut trafik işaret ve levhalarından %68.3’inin çıkartılabildiği gözlenmiştir. Üçüncü veri seti ile yapılan eğitimden sonra ise algoritmamız çalıştırılmış ve 432 adet levhanın 345 adedini doğru olarak çıkartılabildiği görülmüştür. Bu da trafik işaret ve levhalarının tespitinin gerçeğe yakınlığı açısından üçüncü analizde ikinciye göre yaklaşık olarak %11.7’lik bir artış olduğunu ve mevcut trafik işaret ve levhalarından %80’inin çıkartılabildiğini göstermiştir. Bu analizlerin neticesi ise Çizelge 3.4’de gösterilmiştir. Çizelge 3.5’de ise her bir levha türüne göre yapay zekâ algoritması ile tespiti yapıp çıkartılan levhaların % oranları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4’de üç farklı eğitim

setinden sonra yapay zekâ algoritması ile çıkartılan trafik levhaları V1, V2 ve V3 şeklinde ayrıca ulaştırma mühendislerinin de desteği alınarak sahadaki olması gereken ama eksik olan trafik levhaları tespit edilmiş ve mevcut levhalarla beraber gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 : Yapay Zekâ (YZ) ile üretilen trafik işaret ve levhaları.

Levha Kodları ve Açıklamaları	Eksik Levhalar (standartla-ra göre)	Mevcut Levha Sayısı	Eksik+ Mevcut	YZ Levha Sayısı (V1)	YZ Levha Sayısı (V2)	YZ Levha Sayısı (V3)
P-2 Duraklamak Park Etmek Yasaktır	0	8	8	3/8	8/8	8/8
T-7 Kasıslı Yol	0	5	5	3/5	2/5	4/5
T-22c Ana Yol Tali Yol Kavşağı	0	1	1	0/1	0/1	0/1
T-16 Isıklı Isaret Cihazı	0	28	28	15/28	24/28	26/28
T-11 Yaya Geçidi	0	2	2	0/2	1/2	1/2
Tt-27 Öndeki Taşıt Geçilmez	5	5	10	0/5	1/5	3/5
B-5a Kavşak İçi Yön Levhası	0	6	6	1/6	3/6	4/6
T-22b Ana Yol-Tali Yol Kavşağı	59	20	79	9/20	11/20	13/20
B-11b Coğrafi Bilgi Levhası	0	2	2	1/2	1/2	1/2
TT-2 Dur	76	28	104	1/28	5/28	15/28
B-13b Mesafe Levhası	0	2	2	0/2	1/2	1/2
T-1a Sağa Tehlikeli Viraj	0	3	3	0/3	0/3	1/3
TT-29a Azami Hız Sınırlaması	0	16	16	7/16	9/16	11/16
T-2 Tehlikeli Devamlı Virajlar	0	3	3	2/3	3/3	3/3
B-10c Meskun Mahal Sonu Levhası	0	7	7	4/7	7/7	5/7
TT-36a Sağdan Gidiniz	0	20	20	3/20	5/20	9/20
T-31a,b Köprü Yaklaşımı (Sağ,Sol)	1	23	24	16/23	22/23	22/23
T-33b Tehlikeli Viraj Yön Levhası	0	5	5	4/5	5/5	5/5
B-14a Yaya Geçidi	0	1	1	0/1	0/1	1/1
T-33d,e,f Onarım Yaklaşım Levhası	0	66	66	39/66	64/66	65/66
T-35 Dönüş Adası Ek Levhası	0	59	59	13/59	35/59	44/59
T-33a Tehlikeli Viraj Yön Levhası	0	33	33	12/33	25/33	28/33
T-34a,b Refüj Başı Ek Levhaları	81	89	170	38/89	64/89	75/89
Toplam	222	432	654	171/432	295/432	345/432

Çizelge 3.5 : Yapay Zekâ (YZ) algoritmasının çıkarttığı levha oranları (%).

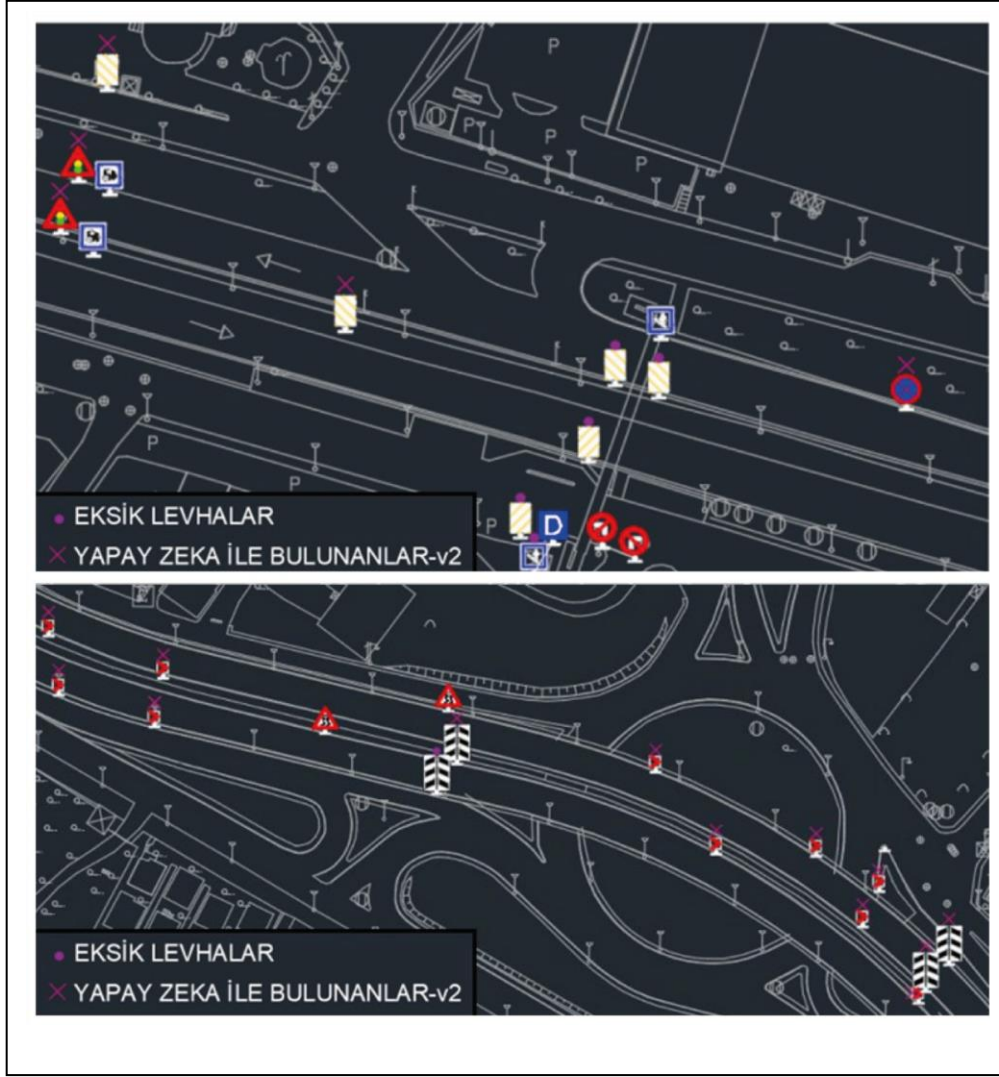
Levha Kodları ve Açıklamaları	YZ Levha Sayısı (V1) (%)	YZ Levha Sayısı (V2) (%)	YZ Levha Sayısı (V3) (%)
P-2 Park Etmek Yasaktır	37.50	100.00	100.00
T-7 Kasıslı Yol	60.00	40.00	80.00
T-22c Ana Yol Tali Yol Kavşağı	0.00	0.00	0.00
T-16 Isıklı İşaret Cihazı	53.57	85.71	92.86
T-11 Yaya Geçidi	0.00	50.00	50.00
Tt-27 Öndeki Taşıt Geçilmez	0.00	20.00	60.00
B-5a Kavşak İçi Yön Levhası	16.67	50.00	66.67
T-22b Ana Yol-Tali Yol Kavşağı	45.00	55.00	65.00
B-11b Coğrafi Bilgi Levhası	50.00	0.00	50.00
TT-2 Dur	3.57	17.86	53.57
B-13b Mesafe Levhası	0.00	50.00	50.00
T-1a Sağa Tehlikeli Viraj	0.00	0.00	33.33
TT-29a Azami Hız Sınırlaması	43.75	56.25	68.75
T-2 Tehlikeli Devamlı Virajlar	66.67	100.00	100.00
B-10c Meskun Mahal Sonu	57.14	100.00	71.43
TT-36a Sağdan Gidiniz	15.00	25.00	45.00
T-31a,b Köprü Yaklaşımı	69.57	95.65	95.65
T-33b Tehlikeli Viraj Yön Levhası	80.00	100.00	100.00
B-14a Yaya Geçidi	0.00	0.00	100.00
T-33d,e,f Onarım Yaklaşım Levhası	59.09	96.97	98.48
T-35 Dönüş Adası Ek Levhası	22.03	59.32	74.58
T-33a Tehlikeli Viraj Yön Levhası	36.36	75.76	84.85
T-34a,b Refuj Başı Ek Levhaları	42.70	71.91	84.27
Toplam	39.58%	68.29%	79.86%

Şekil 3.13’de yapay zekâ algoritması ile çıkartılan trafik levha türleri doğruluk oranlarına görülmektedir. Burada yer alan yapay zekâ ile tespiti yapılamayan trafik levhalarında yapılan incelemelerde, levhaların sahadaki konumu, yönü, eskimiş olması, üzerindeki kirliliği, çekilen fotoğrafın çekim şartları ve renklerin etkili olduğu, üzerindeki yazıların büyüklüğü ve işaretlerde kullanılan çizgilerin kalınlığının da tespitte etkili unsurlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

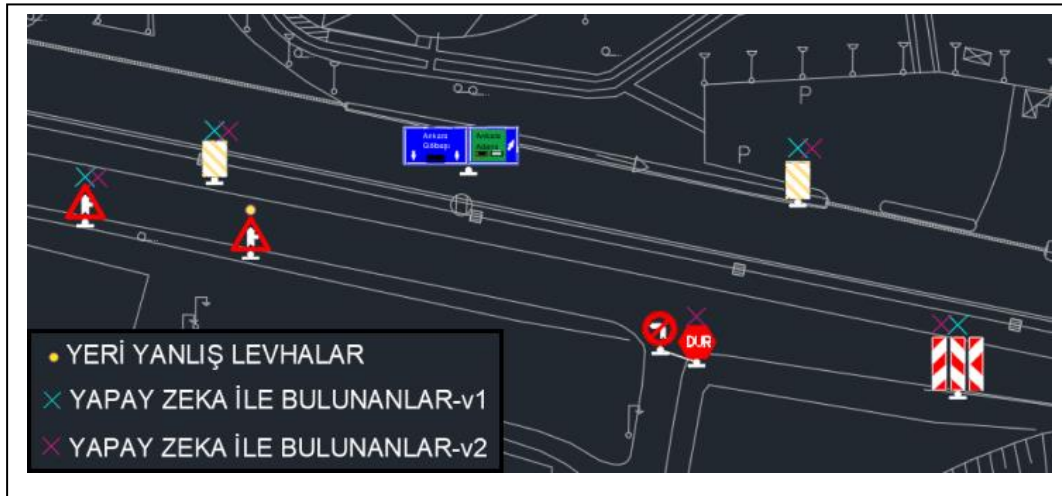


Şekil 3.13 : Yapay zekâ algoritması ile tespit oranlarına göre trafik levha türleri.

Bu çalışmalara ek olarak yapay zekâ algoritması ile tespit edilip sayısallaştırılan trafik levhaları ülkemizde yaygın olarak proje çizimlerinde kullanılan bir CAD yazılımına *.dwg formatında aktarılmış İstanbul Büyükşehir Belediyesinden alınan halihazır haritalar üzerine eklenerek verilerin doğruluğu ve paylaşılabiliirliği incelenmiştir. Aynı veriler üzerinde KGM standartlarına göre yanlış yerde olan levhalar ve sahada olması gerekmekte iken olmayan trafik işaret ve levhalarında, ulaştırma uzmanları ile birlikte tespit edilip test alanındaki güzergâhta işlenmiştir. Buna ilişkin örneklerde Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.14 : Eksik levhalar ve yapay zekâ ile tespit edilen levhalar.



Şekil 3.15 : Sahada yeri yanlış olan levhalar ve yapay zekâ ile tespiti yapılan levhalar.

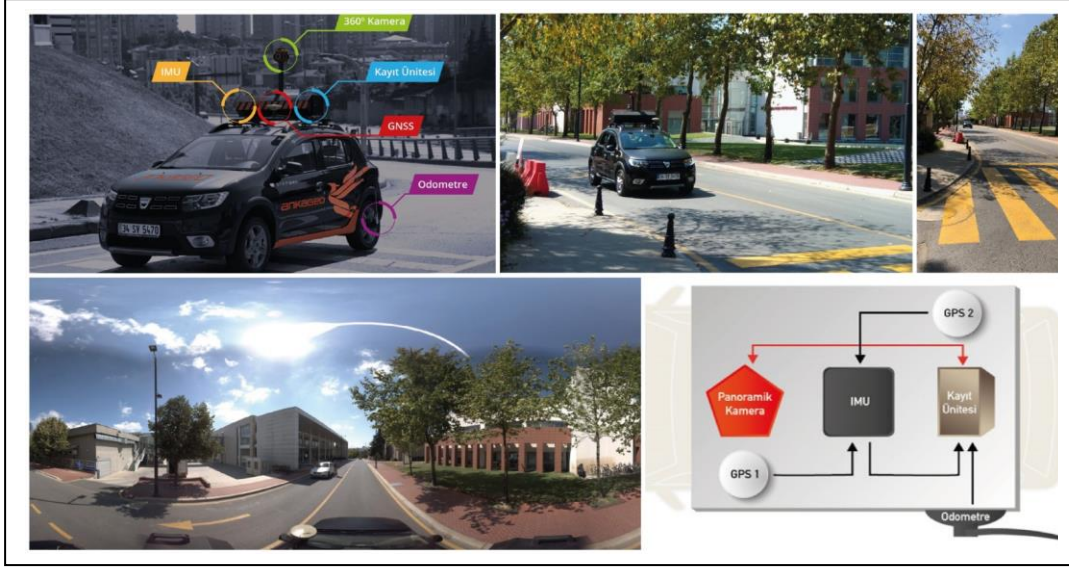
3.4 MHS'nin Doğruluk Analizi (Uygulama 2)

Kullanılan donanımları itibari ile pahalı bir sistem olan MHS'nin en önemli bileşenlerinden olan LiDAR kullanılmaksızın oluşturulabilen daha ucuz donanım maliyetli bir sistemle aynı uygulamanın performansı da ayrı bir uygulama ile araştırılmıştır. Bilindiği üzere MHS'de kullanılan bütün donanımların doğrulukları üreticileri tarafından verilmektedir. MHS ile elde edilen yol envanterinin nokta konum doğruluğunu belirlemek ve MHS'nin farklı alanlarda kullanılabilirliği için bir performans analizi yapılmıştır. Bu kapsamda Şekil 3.16'de görüldüğü İTÜ Ayazağa Kampüsünde 250 metrelik güzergâh seçilmiş ve bir dizi ölçme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16 : İTÜ Ayazağa Kampüsü Uygulaması.

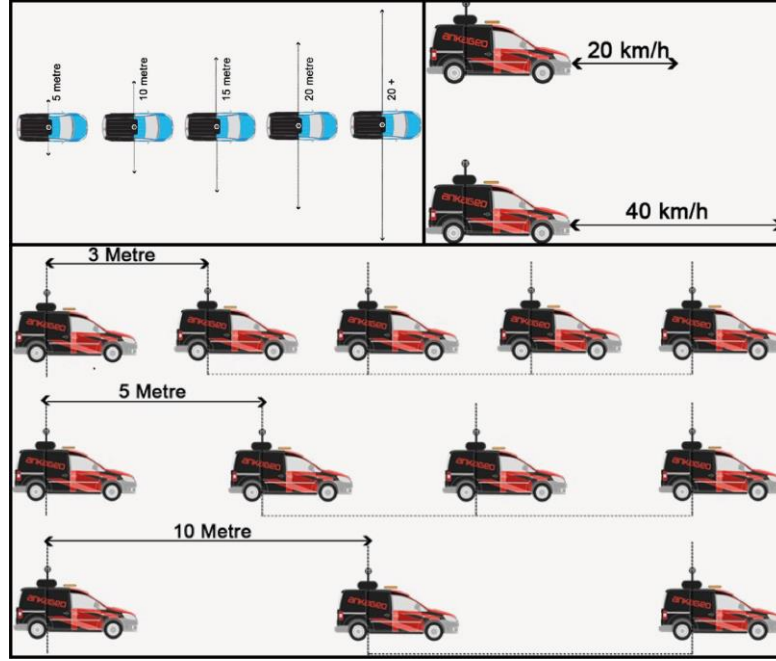
Doğruluk analizi çalışmaları için kullanılan araçta, Panoramik kamera olarak 30 MP çözünürlüklü Ladybug 5+ marka kamera ve fotoğraf çekimi esnasında anlık ivme ölçen Applanix marka IMU, belirlenen metrajı göre tetik vererek belirli aralıklarla panoramik fotoğraf kaydı yapmayı sağlayan Applanix marka Odometre, hassas koordinat almak amacıyla 2 adet Trimble marka GNSS alıcısı ve Applanix LV-POSVIEW Mobile Mapping System yazılımı ile entegre bir şekilde çalışan yazılım ve kayıt ünitesi bulunmaktadır. Sistemdeki kamera, odometre, IMU ve kayıt ünitesi entegrasyonu ve kayıt yazılımları tarafımızca geliştirilmiş olup herhangi bir lisanslama ücreti ödenmemiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 : LiDAR'sız MHS aracı, sistemin şematik görüntüsü ve sahadaki çekim anı ve cadde görüntüsü.

MHS ölçmelerinin nokta konum hassasiyeti ölçmeleri için 3 farklı noktada nirengi tesisi yapılarak statik ölçmeler yapılmış, noktaların koordinatları hesaplanmıştır. Ölçme güzergâh alanı boyunca kaldırımlarda, bina köşesi ve detaylarında, yönlendirme levhalarında, aydınlatma direklerinde, korkuluklar vb. 40 noktada saha çalışmaları bitene kadar kalabilecek kâğıt reflektörler yapıştırılarak ölçülecek detay noktaları tesis edilmiştir. Nokta konum hassasiyet analiz çalışması yapılacak noktalar tesis edilirken tesis edilen nirengi noktalarından ve MHS ile yapılan ölçmelerde görülebilirliği dikkate alınarak tesis edilmiştir.

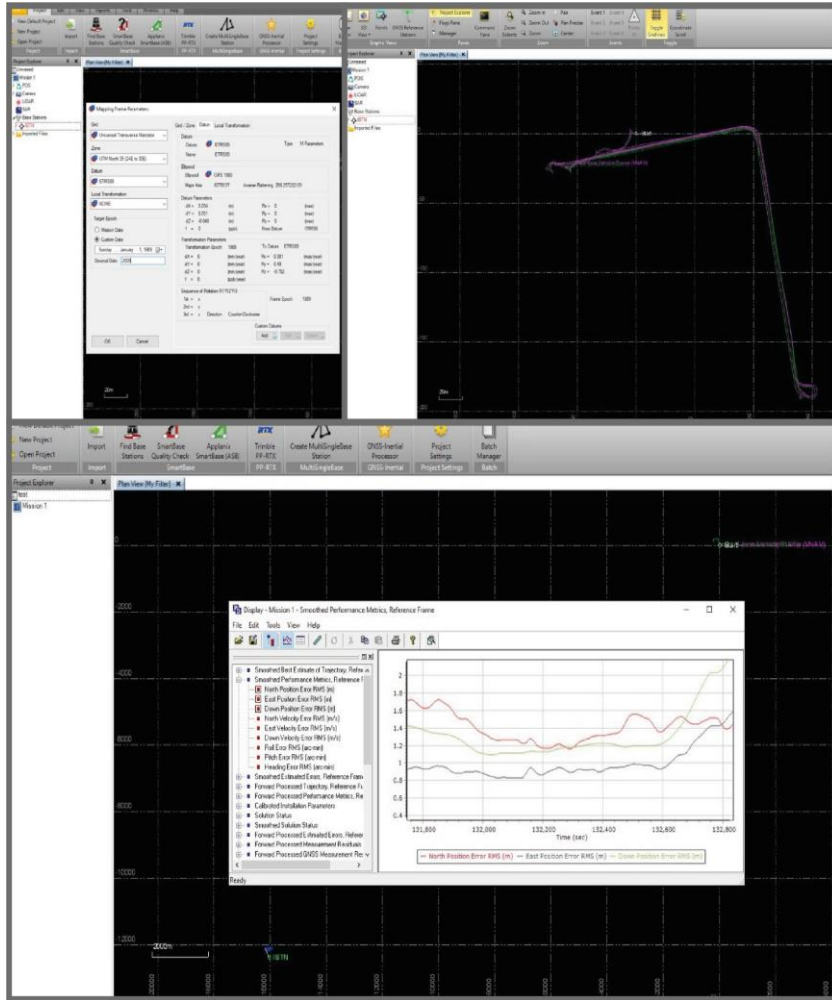
İTÜ Ayazağa Kampüsünde nokta konum hassasiyeti ölçmeleri için MHS aracı ile iki farklı günde sabah, öğle ve ikindi olmak üzere farklı saatlerde, 20 ve 40 Km/sa hızlarla ve 3, 5, 10 m aralıklarla panoramik fotoğraflar çekilmiştir (Şekil 3.18). İki farklı günde çalışma yapılmış olup 1. Günde saat 14:00'da ve 16:50'de; 2. Günde ise 9:30, 12:30 ve 16:50'de olmak üzere 2 günde 5 farklı zaman aralığında sahadan farklı parametrelerle 25 farklı ölçme kaydı gerçekleştirilmiştir. MHS aracı ile fotoğraf çekim aralıkları, araç hızları ve kamera ile ölçülen detay noktalarına olan uzaklıklar Şekil 3.20'de görülmektedir. Saha çalışmaları hem MHS ölçmeleri hem jeodezik ölçmeler aynı hafta içerisinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18 : MHS aracı ile fotoğraf çekim aralıkları, araç hızları ve kamera ile ölçülen detay noktalarına olan uzaklıklar.

Ölçme güzergâhları üzerinde MHS ile 25 farklı saha ölçmelerine ait panoramik fotoğrafların kayıtları LadybugCapPro yazılımı yardımı ile *.jpeg formatındaki verisi ve IMU, GNSS ve DMI gelen veriler gerçek zamanlı olarak LV-POSView yazılımı yardımı kayıt ünitesine Applanix'in ham veri formatında kaydedilmiştir. Bu ölçme verilerine ait aynı gün ve saate ait TUSAGA-Aktif sisteminin ISTN istasyonundaki 1 saniyelik RINEX dataları sistemden temin edilerek ofis ortamında bilgisayara aktarılmıştır. Sahada yapılan ölçmelerdeki real-time GNSS verileri, TUSAGA-Aktif GNSS RINEX verileri ve IMU verileri Applanix POSPac yazılımı ile ön işleme tabi tutulmuştur. Bu ön işlemin amacı sahadan toplanan gerçek zamanlı verilerde hata olup olmadığının test edilmesi gerekliliğidir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli detaylardan birisi sahadan gelen verilerin hangi sabit istasyon(lar)a yakın olduğunun tespitidir. Eğer veriler birden fazla sabit istasyon bölgesine yakınsa tüm istasyonlardan RINEX verileri programa yüklenir. Bu verilerle beraber işlem yazılımı olan POSPac çalıştırılır. Program RINEX verilerinin yardımı ile 2 cm'e kadar hassasiyette konum verisi üretir. Değerlendirme (process) işlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen verilerin kalitesi, hata değerleri ekranından ulaşılabilen hassasiyet değerleri aracılığıyla görüntülenebilmektedir (Şekil 3.19). Buradaki hassasiyet değerlerinin fazla olması, gelen verilerde hata olduğu anlamına da gelmektedir. Yapılan çalışmadaki hassasiyet değerleri 2 cm civarında olduğu için veriler işlenmiş ve hassas

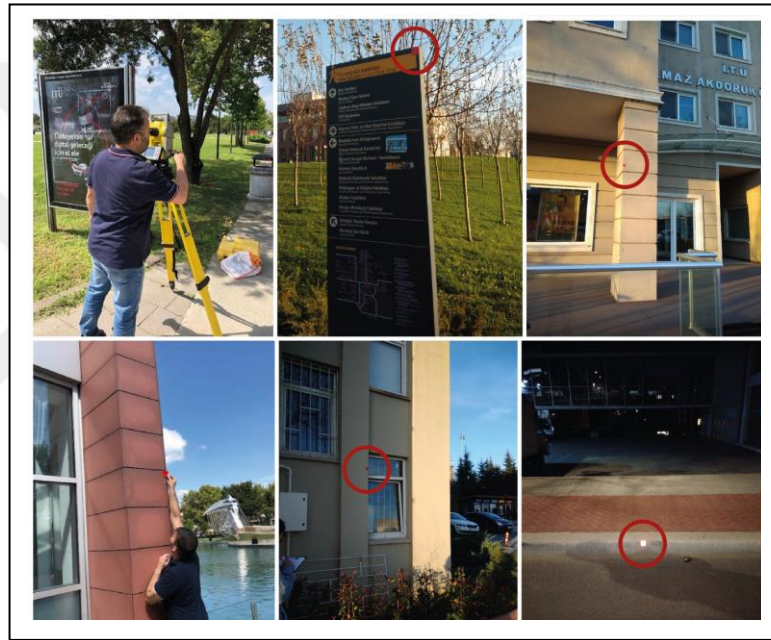
konum verileri üretilmiştir. Son olarak üretilen hassas konum verileri dışarı aktarım ekranı kullanılarak istenilen ITRF 96 datumu 30° dilim orta meridyeninde ve 3°lik dilim genişliğindeki TM koordinat sisteminde ve datumda dışarı aktarılarak değerlendirme işlemi tamamlanmıştır. Aynı yazılım içerisinde panoramik fotoğraf ölçme noktalarının koordinatları da işleme ve dönüşüme tabi tutulmuştur ve konumları hassas şekilde hesaplanmıştır (Şekil 3.19). Panoramik fotoğrafların ölçme anının koordinatları hassas bir şekilde üretilmiş ve her bir fotoğrafa ait konum koordinatlarından oluşan ve nokta ile belirtilen konum koordinatları *.shp formatında üretilmiştir.



Şekil 3.19 : Applanix POSPac yazılımı ekran görüntüleri ve veri şleme ekranları.

Yerli bir firma tarafından geliştirilen MHS yazılımı olan web tabanlı ve bir harita sunucusu olan yazılım üzerinde yayınlanıp fotogrametrik yöntemle sahada daha önce tesis yapılan kâğıt reflektörlerin koordinat değerleri bilgisayar ekranında manuel olarak ölçülmüştür.

Sahada tesisi yapılan detay noktalarındaki kâğıt reflektörlerin her biri için detay ölçmeleri nirengi noktalarına kurulan total station ölçme donanımı ile (Şekil 3.20) birer seri ölçme yapılarak oldukça yüksek bir doğrulukla koordinatları hesaplanmıştır. Ölçülen nokta koordinatları ITRF 96 datumu 30° dilim orta meridyeninde ve 3°lik dilim genişliğinde hesaplanmıştır. Yükseklikler ise ortometrik olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.20 : İTÜ Maslak Kampüsü Jeodezik ölçmeler.

Diğer yandan, MHS'nin iç doğruluğunun analizini yapmak için katı model objelerin (bank, çöp kutusu, çeşme, oyun grupları vb.) yoğunlukta olduğu Başakşehir Sular Vadisi uygulama alanı olarak seçilmiştir (Şekil 3.21). Ölçmeler, 800 m'lik bir güzergâhta yapılmış, veri toplama işlemi MHS ile 20 km/sa hızla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler geo-koordinatlandırıldıktan sonra mobil haritalama yazılımına aktarılmış ve yazılım içerisinde belirlenen katı model kenar ölçümleri fotogrametrik yöntemle yapılmıştır. Seçilen objelerin (bank, çöp kutusu, çeşme, vb.) kenar uzunluk ölçmeleri yapılmış ve aynı objelere ait kenar ölçmeleri çelik metre ve endüstriyel tipli kumpas ile yapılarak doğrulukları karşılaştırılmıştır. Ölçmeleri yapılan modeller kameradan 20 m'ye kadar olanlar objeler ve 20 m ile 30 m arasındaki objeler olmak

üzere iki farklı aralıkta değerlendirme ve analiz yapılmıştır. Şekil 3.22’de kent mobilyalarında yapılan ölçmelerden örnekler verilmiştir.



Şekil 3.21 : Başakşehir Sular Vadisi ölçme güzergâhı.



Şekil 3.22 : Kent mobilyalarında yapılan ölçümler.

3.5 Nokta Konum ve İç Doğruluk Karşılaştırması ve Analizi

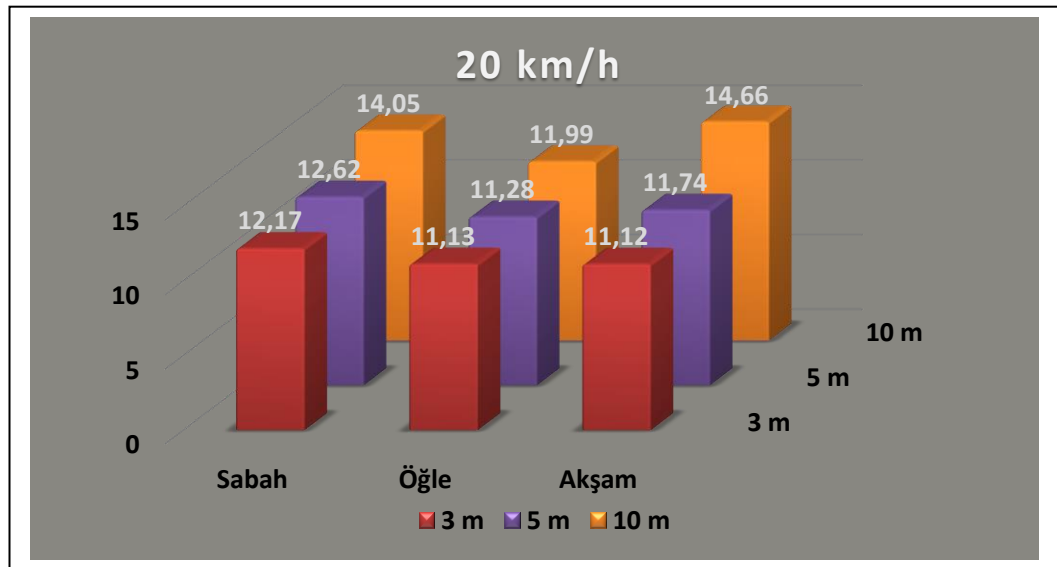
Çalışmada nokta konum hassasiyeti için yol güzergâhı boyunca 40 adet detay noktasının ölçmeleri yerli bir firma tarafından geliştirilen mobil haritalama yazılımı yardımı ile fotogrametrik yöntemle ölçülmüştür. Totalstation ile yapılan ölçmelerden elde edilen verilerle ileriden kestirme hesabı yapılarak noktaların Sağa/Yukarı koordinatları hesaplanmıştır. Kullanılan elektronik uzunluk ölçerin mesafe ölçme doğruluğu $2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ olduğundan dolayı karşılaştırma için ileriden kestirme verileri doğru kabul edilmiştir. MHS yöntemiyle karşılaştırma için yazılım üzerinden

ölçmeleri yapılan noktaların koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Jeodezik yöntemle elde edilen koordinatlar gerçek değer olarak kabul edilmiştir. MHS ile ölçülen koordinatlar karesel ortalama hata hesaplanmak suretiyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.6, Çizelge 3.7, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’da gösterilmiştir.

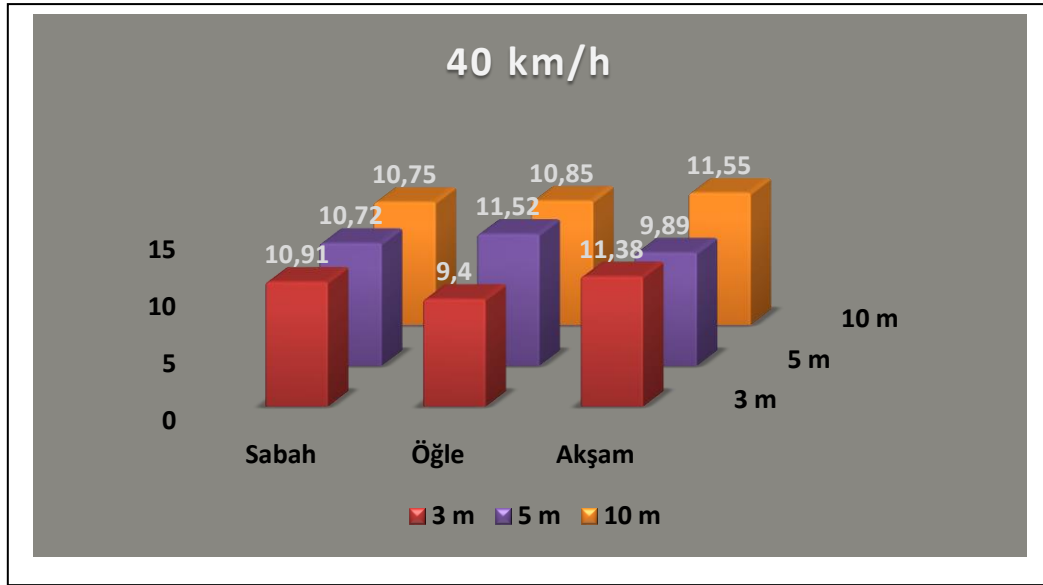
Rölatif konum doğruluklarının hesaplama ve analizleri için 20 Km/sa hızla toplanan verilerden elde edilen ölçümlerden ve sahada çelik şerit metre ve kumpas ile yapılan ölçümlerin karşılaştırılarak karesel ortalama hataları elde edilmiştir. Burada kumpas ve çelik şerit metre ile yapılan ölçümler doğru olarak kabul edilmiştir. Şekil 3.25’da rölatif konum doğruluk değerlerine ait KOH’ları görülmektedir

Çizelge 3.6 : MHS verilerinin mesafe, hız ve zaman bilgisine göre KOH değerleri

Fotoğraf Aralığı	HIZ (Km/sa)	FARKLAR (cm)		
		SABAH	ÖĞLE	AKŞAM
3 m	20	12.17	11.13	11.12
	40	10.91	9.40	11.38
5 m	20	12.62	11.28	11.74
	40	10.72	11.52	9.89
10 m	20	14.05	11.99	14.66
	40	10.75	10.85	11.55



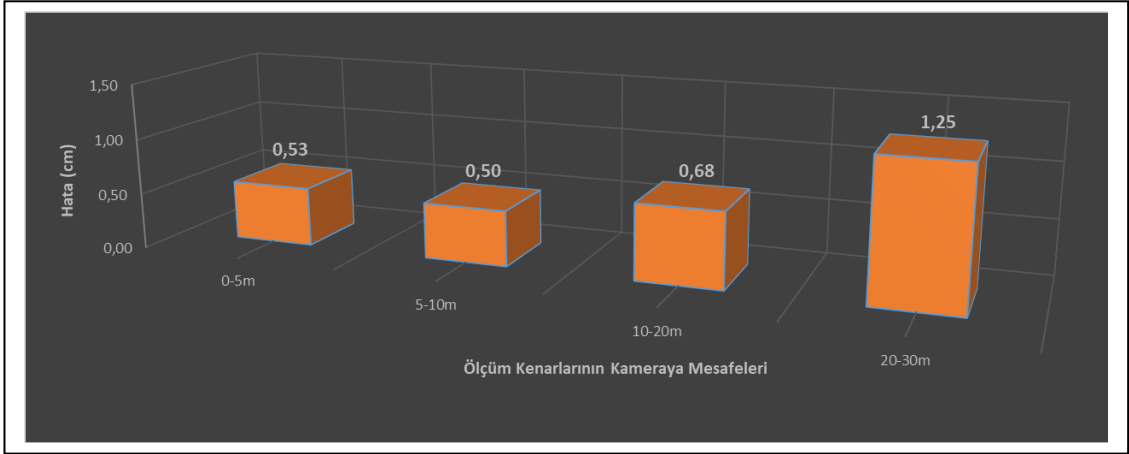
Şekil 3.23 : 20 km/sa Hızla elde edilen MHS verilerinin KOH değerleri.



Şekil 3.24: 40 km/sa Hızla elde edilen MHS verilerinin KOH değerleri.

Çizelge 3.7 : Farklı parametrelerle 25 farklı veri setinin nokta konum doğruluğu

Obj e Türü	Fotoğraf Aralığı	Km/sa	KOH (cm)		
			SABA H	ÖĞLE	AKŞAM
Aydınlatma Direkleri (4 Adet)	3 m	20	14.36	10.70	10.91
		40	12.08	11.84	9.99
	5 m	20	11.13	11.48	7.14
		40	13.21	10.21	14.25
	10 m	20	9.00	7.33	14.66
		40	8.88	14.11	10.99
Bina Köşeleri (22 Adet)	3 m	20	11.46	11.08	12.14
		40	10.74	9.96	11.69
	5 m	20	13.91	11.71	12.22
		40	10.89	12.91	9.58
	10 m	20	14.89	13.80	16.46
		40	10.76	12.09	10.04
Kaldırım (10 Adet)	3 m	20	13.36	12.01	10.72
		40	11.00	8.32	11.49
	5 m	20	11.90	11.05	12.43
		40	11.47	8.36	9.92
	10 m	20	14.73	10.92	13.10
		40	10.34	7.91	12.72
Reklam Direkleri (4 Adet)	3 m	20	11.42	10.64	6.56
		40	10.48	6.78	9.39
	5 m	20	7.33	7.08	7.51
		40	6.97	6.97	7.36
	10 m	20	7.93	6.62	7.39
		40	8.74	8.34	8.16



Şekil 3.25 : MHS verileri ile yapılan ölçümlerin rölatif konum doğrulukları(KOH).

- İç doğruluk (rölatif doğruluk) için yapılan çalışmalar neticesinde kamera mesafesi 20 m'ye kadar olan alan içerisinde 0.5-0.7 cm hassasiyetinde doğruluklara erişilmiş olup özellikle geometrik şekillerin ölçümlerinde önemli derecede doğruluklar tespit edilmiştir. 20-30 m mesafelerdeki alanlarda ise 1.25 cm hassasiyetinde doğruluklara erişilmiştir. Elde edilen doğruluklar neticesinde ilan reklam tabelalarının alan ölçümlerinde, bina cephesi röleve alımları için kullanılabilecek düzeyde olduğu gözlenmiştir.
- Nokta konum doğruluğu için yapılan çalışmalar neticesinde MHS ile fotoğraf çekme aralığının 3 m, 5 m ve 10 m olmasının ölçme farklılaşmasına neden olmadığı görülmüştür. Özellikle 3 m ve 5m fotoğraf aralıklı ölçmeler birbirine yakın doğruluklarda çıkmıştır. Günün farklı zamanlarda olmasında (sabah, öğle, akşam) sonuçları etkilememiş ve değiştirmemiştir. Genel olarak konum doğrulukları 2 dm'nin altında seyretmiştir.
- Fotoğraf çekilen noktalardan itibaren sağa ve sola doğru mesafenin artması halinde 25 metreye kadar ki kısımlarda benzer farklarda konum doğruluğu elde edilmiştir.
- Genellikle fotoğraf çekim noktasından itibaren 0-10 m aralığındaki ölçmelerin 10-25 m aralığındaki ölçmelere göre daha doğru neticeler verdiği görülmüştür.
- Her ne kadar 2 dm'nin altına farklar görülse de 1 cm ile 1 dm'nin altında farklar elde edildiği görülmektedir. Bu noktalara bakıldığında bunların özelliklerinin kaldırım kenarı, korkuluklar, ilan reklam tabelaları ve aydınlatma direklerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bunların özelliklerine bakıldığında çoğunluğunun kameraya paralel ya da yakın noktaların olduğu gözlenmiştir.

- Öğlen yapılan ölçmelerde sabah ve akşam yapılan ölçmelere göre 1-2 cm daha doğruluk verdiği ortaya çıkmıştır, sebebi ise sabah ve akşam ışıklarının azlığından kaynaklandığı ve havanın soğuması ile sistemsel değişimler olabildiği sonucuna varılmıştır.
- 40 km hızla giderken yapılan ölçmeler 20 km hızla giden ölçmelere göre daha doğru neticeler vermiştir. Bunun sebebi düşük hızla araç stabilizasyonunun zor olduğu tahmin edilmektedir.
- Fotoğraf çekim aralıkları 3 ve 5 m olan fotoğraflar 10 m aralıklarla çekilen fotoğraflara göre daha iyi neticeler verdiği ortaya çıkmıştır, çünkü 10 m aralıklarla çekilen fotoğraflarda veri kaybına neden olduğu anlaşılmaktadır.
- Ölçmelerin standart sapmaları ile KOH'larının birbirlerine yakın olması ve 2.5 cm aralığı içerisinde çıkması yapılan ölçmelerin doğruluğunu ve tutarlılığını göstermektedir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada mobil haritalama sistemleri kullanılarak sahada yapılan ölçümlerden elde edilen verilerden yapay zekâ teknolojileri ile birlikte yol envanter verilerinin çıkartılması ve sistemin nokta konum ve iç doğruluklarının analizi ele alınmıştır. Bu amaçla belirlenen bir karayolu güzergahında ve 2 farklı test alanında mobil haritalama sistemi ile saha ölçümleri yapılmıştır. Seçilen karayolu (D-100 karayolunda Kontrol Kesim Numarası-KKN 100-04 olan ve Büyükçekmece Gölü-Silivri Merkez arasındaki karayolu) güzergahında yapılan ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak yapay zekâ algoritmalarından olan Faster-RCNN seçilerek, tarafımızca uyarlanmış ve belirlenen 23 farklı trafik levhasının çıkartılması işi gerçekleştirilmiştir. Çıkartılan trafik levhalarının varlık yönetim sistemi içerisinde kullanılabilirliği analiz edilmiş ve 2 farklı test alanında (İTÜ Ayazağa ve Başakşehir Sular Vadisi) yapılan ölçümlerle de kullanılan sistemin nokta konum doğruluğu ve iç doğruluk analizleri yapılmıştır.

Çalışma bölgesindeki karayolu güzergahından MHS ile ölçümler yapılarak elde edilen Panoramik görüntü ve LiDAR verilerinden mobil haritalama yazılımı ile sahada mevcut olan 23 farklı trafik levhasından 432 adet olduğu tespit edilmiş ve bu levhalar sayısallaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen panoramik fotoğrafların yapay zekâ eğitimleri 3 aşamada yapılarak her bir veri seti ile yapılan yapay zekâ eğitimden sonra seçilen karayolu güzergahındaki 23 farklı trafik levhası yeniden çıkartılmıştır. Sonuçlar, daha fazla eğitimle daha fazla envanter üretiminin gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Toplamda ise 18,000 panoramik fotoğraf veri seti olarak kullanılmış olup eğitimleri yapılmıştır. Bu uygulamada eğitilen model ile %80 oranında doğrulukla trafik levhaları tespit edilebilmiştir. Tespiti yapılan trafik levhalarına bakıldığında geometrik şekli kare ve dikdörtgen şeklinde olup üzerinde yazı olmayanların tespit oranlarının en yüksek olduğu ve %91 ile %100 arasında tespit edilebildiği, tabela geometrisi fark etmeksizin içerisinde yazı ve küçük şekil olmayan levhalarının tespitinin ise %71 ile %90 oranından tespit edilebildiği, tabela geometrisi fark etmeksizin içerisinde yazı ve şekil olup ama anlaşılabilir olanların tespit oranlarının %51 ile %70 oranında tespit edilebildiği, geometrisi daire ve üçgen şeklinde olup

küçük ve zor algılanabilen sembollerin olduğu tabelalar ise %50 den daha az doğrulukla tespit edildiği görülmüştür. Yapay zekâ ile tespiti yapılamayan trafik levhalarında yapılan incelemelerde, levhaların sahadaki konumu, yönü, eskimiş olması, kirliliği, çekilen panoramik görüntünün çekim şartları ve renklerin etkili olduğu, üzerindeki yazıların büyüklüğü ve işaretlerde kullanılan çizgilerin ve figürlerin kalınlığının da tespitte etkili unsurlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Trafik tabelaların yapay zekâ ile yüksek bir başarı ile (%80) tespiti hiç şüphesiz önemli bir başarı olmakla birlikte, bunların kurallara uygun olarak doğru konumlarda olup-olmadıklarının kontrolü de önemlidir. Zira, bir tabelanın varlığı kadar, doğru yerde olması da (özellikle otonom araçlar için ve genelde emniyetli sürüş için) gereklidir. Bunun için MHS ile tespit edilen tabelaların hangi doğrulukla elde edildikleri tespit edilmelidir. Bu kapsamda yapılan test ölçmeleri oldukça yüksek doğruluklarla tabelaların yatay konumlarının ve yüksekliklerinin belirlenebileceğini (6.6 cm ile 14.7 cm arası) ortaya koymuştur. MHS ile yapılan ölçüm verilerinden yapay zekâ ile tabela tespit edilmesindeki yüksek başarı oranı ile yüksek konum doğruluğu bu tür sistemlerin hızlı ve güvenilir bir alternatif olduğunu göstermiştir. MHS'nin farklı alanlarda kullanılabilirliği için yapılan çalışmalarda iç doğruluk ölçümlerinin oldukça yüksek doğruluklarla (0.5 cm ile 1.3 cm arasında) yapılabildiği görülmüş olup elde edilen doğrulukla ilan reklam tabelalarının alan ölçümlerinde ve bina cephesi röleve ölçümlerinde kullanılabilecek düzeyde olduğu gözlenmiştir. Elde edilen doğruluk değerinin yüksek doğruluk gerektiren halihazır haritaların ve şeritvari haritaların üretilmesinde güvenilir bir temel oluşturabileceği gibi pek çok uygulamada başarıyla uygulanabileceği değerlendirilmiştir.

Çalışmada ortaya konulan ölçme sistemi ve obje belirleme algoritması ile ülkemizdeki yüzbinlerce adet trafik levhası başta olmak üzere, aydınlatma direkleri, trafik ışıkları, bariyerler, yol çizgileri gibi farklı şekil ve türdeki yol envanterlerinin doğru bilgilere sahip olup-olmadığı ile doğru konumda yer alıp-almadıklarının belirlenebilmesine imkân vereceği; eksik olanların tamamlanması için son derece ciddi bir alternatif olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmadan, sistemin karayolu envanter çalışmalarında kullanılabilirliği ve derin öğrenme algoritmaları ile envanter tespit sürecinin otomatikleştirilmesine ilişkin olarak da oldukça tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan ölçüm analizleri neticesinde bu doğruluklarda üretilen veriler özellikle şehir içi yol, karayolu ve tren yolu envanter toplama ve varlık yönetim sisteminde

kullanılabileceği öngörülmüştür. Özellikle karayolları ve demiryolları gibi iş sağlığı ve güvenliği açısından çalışma riskinin yüksek olduğu yerlerde envanter toplanması ve bakım onarım çalışmaları için altlık oluşturma çalışmalarında bu sistemin kullanılabileceği öngörülmekte ve dünyada da yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle güzergâh boyunca hızlı toplanan bu verilerden noktasal (trafik işaret ve levhaları, ağaçlar, aydınlatma direkleri, çöp tenekesi, kent mobilyası vb.) ve çizgisel (yol orta çizgisi, şeritler, bariyerler, banket, istinat duvarı, otokorkuluk, refüj, emniyet şeridi, altyapı bilgileri, kaldırım yüksekliği ve kaldırımın genişliği, kaldırımlarda engelli rampalarının kullanılabirliği, vb.) verilerin öznitelik bilgileri ve sembolojileri ile beraber çıkartılabileceği ortaya konmuştur.

Ülkemizde yeni yeni kullanılmaya başlanan MHS sisteminin artık lineer güzergahlar için halihazır harita üretiminde kullanılabirliği ortaya konulmuş, kadastral çalışmaların hassasiyet gereksinimlerini karşılamazsa da panoramik görüntüleri kapsamlı görsel bilgiler ve veriyi yeniden doğrulama imkânı sunduğu görülmüştür.

MHS ile ulaşım envanteri çıkarımı ve envanterlerin varlık yönetim sisteminde kullanılması açısından ekonomik, hızlı, doğruluğu yüksek ve yenilikçi bir hibrit model çözümü sunulmaktadır. Bu çalışma ile elde edilen prototip ürün ileriki çalışmalarda yapay zekâ alanında daha da geliştirilerek ulaşım envanteri alanında stratejik bir ürün konumunda olacaktır. Dolayısıyla sağlamış olduğu çözümlerin yanı sıra ekonomik anlamda da ülkemiz için yararlı bir ürün olacaktır. Özellikle otoyollarda ve çeşitli araç kazalarında olay yeri inceleme ve olay yerinden bilgi çıkarmak için kullanılabilecek veriler olup yol güvenliğinin iyileştirilmesinde de kullanılabilecek niteliktedir.

MHS ile elde edilen veriler sonucunda bina görünümüleri elde edilebilmekte ve bu görünümüler koordinatlandırılarak sunulabilmektedir. Böylelikle MHS yöntemi ile elde edilmiş kent modelleri-bina cephe bilgileri ile birlikte birçok kentsel alanlara yönelik analizler gerçekleştirilebilecektir. Kentlerin peyzaj özellikleri, yürünebilirlik analizleri, kültürel varlıklar, şehir sosyolojisine yönelik mekânsal analizler, görünüm analizleri, ekolojik analizler gerçekleştirilebilir. Ayrıca; bina cephe elemanlarının çıkarımı, su baskını vb afet analizleri gerçekleştirilebilir.

MHS ile daha fazla veriyi hızlı, doğru, düşük maliyetle üretme ön plana çıkmaktadır. Kent nüfuslarının artması, gelişen teknolojiler, vatandaşların beklentisi, akıllı şehir kavramlarının gelişmesi, büyük verilerin yönetilebilir hale gelmesi bize daha fazla

coğrafi veriyi hızlı, ekonomik ve doğru olarak toplamayı ve kullanıcılara sunmayı zorunlu kıldığı bu noktada MHS yakın çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun için de coğrafi verinin hızlı ve ekonomik toplanması geomatik mühendisliğinin yeni çalışma alanlarından biri haline gelmiştir. MHS sisteminden üretilen verilerin kontrol edilmesine, incelenmesine ve doğrulanmasına kayıtlardaki panoramik görüntülerden ve LiDAR verilerden rahatlıkla tekrar bakılabilir bir kontrol sistemi olabileceği görülmektedir.

Yapay zeka uygulamalarının daha fazla trafik işareti ve levhasını tanıyabilmesi için genişletilmiş ve çeşitli veri setleri kullanılmalıdır. Bu, uygulamanın farklı koşullarda daha etkili olmasını sağlayacaktır. Derin öğrenme tekniklerinin daha da geliştirilmesi, doğruluk oranlarını optimize etmek için üzerinde çalışılması gereken bir alan olabilir. Daha karmaşık algoritmaların incelenmesi ve uygulanması düşünülmelidir. Mobil haritalama ve yapay zeka teknolojilerinin endüstriyel uygulamalarını geliştirmek ve çeşitlendirmek amacıyla endüstri işbirlikleri teşvik edilmelidir. Bu, teknolojilerin gerçek dünya uygulamalarında daha geniş bir kullanım alanına sahip olmalarını sağlayabilir.

Bu çalışmadaki bulgular, gelecekteki araştırmalar için bir yol haritası oluşturabilecek nitelikte olup özellikle mobil haritalama ve yapay zekâ entegrasyonu konusunda daha derinlemesine çalışmalar ve yeni uygulama alanları belirlemeye dönük yapılacak yeni çalışmalara yönlendirici olacağı değerlendirilmektedir.

Diğer yandan, tüm bu önemli avantajlarının yanı sıra MHS'lerinin başlangıç maliyetlerinin pahalı olması, toplanan verilerin büyük hacimlerde olmasına bağlı olarak depolama ve işleme için yüksek kapasiteli donanımlar gerektirmesi, toplanan verilerin değerlendirilebilmesi için konunun uzmanı teknik insan gereksinimi, sistemin öne çıkan dezavantajları ve zayıf yanları olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, H., & Tahir, M.** (2016). Accurate attitude estimation of a moving land vehicle using low-cost MEMS IMU sensors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(7), 1723-1739.
- Al-Bayari, O.** (2019). Mobile mapping systems in civil engineering projects (case studies). *Applied Geomatics*, 11(1), 1-13.
- Anguelov, D., Dulong, C., Filip, D., Frueh, C., Lafon, S., Lyon, R., ... & Weaver, J.** (2010). Google street view: Capturing the world at street level. *Computer*, 43(6), 32-38.
- Arcos-Garcia, A., Soilán, M., Alvarez-Garcia, J. A., & Riveiro, B.** (2017). Exploiting synergies of mobile mapping sensors and deep learning for traffic sign recognition systems. *Expert Systems with Applications*, 89, 286-295.
- Balado, J., González, E., Arias, P., & Castro, D.** (2020). Novel approach to automatic traffic sign inventory based on mobile mapping system data and deep learning. *Remote Sensing*, 12(3), 442.
- Barnes, C., Shechtman, E., Goldman, D. B., & Finkelstein, A.** (2010). The generalized patchmatch correspondence algorithm. In *Computer Vision—ECCV 2010: 11th European Conference on Computer Vision, Heraklion, Crete, Greece, September 5-11, 2010, Proceedings, Part III 11* (pp. 29-43). Springer Berlin Heidelberg.
- Baştanlar, Y.** (2005). Parameter extraction and image enhancement for catadioptric omnidirectional cameras (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Benson, K. R., Elkins, G. E., Uddin, W., & Hudson, W. R.** (1988). Comparison of methods and equipment to conduct pavement distress surveys. *Transportation Research Record*, (1196).
- Bezabih, B., Chufamo, D., Tsegaye, B., & Desta, R.** (2020). Lessons from Road Inventory and Condition Survey Conducted in South Nations Nationalities and Peoples' Regional State, Ethiopia.
- Birge, S. T.** (1985). Highway dimensions from Photolog. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 51(10), 1609-1614.
- Blaser, S., Meyer, J., Nebiker, S., Fricker, L., & Weber, D.** (2020). Centimetre-Accuracy in Forests and Urban Canyons—Combining a High-Performance Image-Based Mobile Mapping Backpack with New Georeferencing Methods. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1, 333-341.

- Broggi, A.** (1995). A massively parallel approach to real-time vision-based road markings detection. In *Proceedings of the Intelligent Vehicles' 95. Symposium* (pp. 84-89). IEEE.
- Board, H.** (1962). The AA. SH, O Road Test.
- Bossler, J. D., Goad, C., Johnson, P., & Novak, K.** (1991). GPS and GIS map the nation's highway, *GeoInfo System Magazine*.
- Chiang, K. W., Tsai, G. J., & Zeng, J. C.** (2021). Mobile mapping technologies. *Urban Informatics*, 439-465.
- De Donatis, M., & Bruciatelli, L.** (2006). MAP IT: The GIS software for field mapping with tablet pc. *Computers & Geosciences*, 32(5), 673-680.
- Eğri, A., Kurşun, H., Harman, M. M., Gündoğan, F.,** (2014), 'CBS Tabanlı Ulaşım Bilgi Sisteminin Güncellenmesinde 360 Derece Panoramik Görüntülerin Öznitelik Verisi Toplanması Amacıyla Kullanımı: İstanbul Örneği', *UZAL-CBS*, 2014.
- El-Sheimy, N., Schwarz, K. P., & Gravel, M.** (1995). Mobile 3-D positioning using GPS/INS/video cameras. In *Proc. Mobile Mapping Symposium, OSU Center for Mapping* (pp. 236-249).
- Elhashash, M., Albanwan, H., & Qin, R.** (2022). A review of mobile mapping systems: From sensors to applications. *Sensors*, 22(11), 4262.
- Falco, G., Pini, M., & Marucco, G.** (2017). Loose and tight GNSS/INS integrations: Comparison of performance assessed in real urban scenarios. *Sensors*, 17(2), 255.
- Fassi, F., & Perfetti, L.** (2019). Backpack mobile mapping solution for DTM extraction of large inaccessible spaces. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2), 473-480.
- Gan-Mor, S., Clark, R. L., & Upchurch, B. L.** (2007). Implement lateral position accuracy under RTK-GPS tractor guidance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 59(1-2), 31-38.
- Geen, J. A.** (2004). Progress in integrated gyroscopes. In *PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium (IEEE Cat. No. 04CH37556)* (pp. 1-6). IEEE.
- Glennie, C.** (2007). Rigorous 3D error analysis of kinematic scanning LIDAR systems.
- Gilliéron, P. Y., & Konnen, J.** (2003). Enhanced navigation system for road telematics. In *STRC 03 3rd Swiss Transport Research Conference, Monte Verità/Ascona, March 19-21, 2003*.
- Godha, S.** (2006). Performance evaluation of low cost MEMS-based IMU integrated with GPS for land vehicle navigation application. *UCGE report*, (20239).
- Han, Y., Liu, W., Huang, X., Wang, S., & Qin, R.** (2020). Stereo dense image matching by adaptive fusion of multiple-window matching results. *Remote Sensing*, 12(19), 3138.

- Hanse, J. G.** (2004). Honeywell MEMS inertial technology & product status. In *PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium (IEEE Cat. No. 04CH37556)* (pp. 43-48). IEEE.
- He, G., & Orvets, G.** (2000). Capturing road network data using mobile mapping technology. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B2; PART 2), 272-277.
- Hirschmuller, H.** (2007). Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 30(2), 328-341.
- Hirabayashi, M., Sujiwo, A., Monrroy, A., Kato, S., & Edahiro, M.** (2019). Traffic light recognition using high-definition map features. *Robotics and Autonomous Systems*, 111, 62-72.
- Hunter, G., Cox, C., & Kremer, J.** (2006). Development of a commercial laser scanning mobile mapping system–StreetMapper. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 36, 17-18.
- ITF.** (2019). *ITF Transport Outlook 2019*. <https://doi.org/10.1787/9789282108000-en>.
- Kaartinen, H., Hyypä, J., Kukko, A., Jaakkola, A., & Hyypä, H.** (2012). Benchmarking the performance of mobile laser scanning systems using a permanent test field. *Sensors*, 12(9), 12814-12835.
- Keleş, M. D., & Aydın, C. C.** (2020). Mobil lidar verisi ile kent ölçeğinde cadde bazlı envanter çalışması ve coğrafi sistemleri entegrasyonu-Ankara Örneği. *Geomatik*, 5(3), 193-200.
- Köktürk, E.** (2004). Haritacılığın 5000 Yıllık Yürüyüşü Tarihsel Süreç-Gelişme Dinamikleri II. Bölüm: Antik Çağdan Günümüze. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (91), 55-64.
- Kukko, A., Kaartinen, H., Hyypä, J., & Chen, Y.** (2012). Multiplatform mobile laser scanning: Usability and performance. *Sensors*, 12(9), 11712-11733.
- Lapucha, D.**, (1990), Precise GPS/INS Positioning for Highway Inventory System, *M.Sc Thesis, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada*.
- Li, T., Zhang, H., Gao, Z., Niu, X., & El-Sheimy, N.** (2019). Tight fusion of a monocular camera, MEMS-IMU, and single-frequency multi-GNSS RTK for precise navigation in GNSS-challenged environments. *Remote Sensing*, 11(6), 610.
- Lin, Y., Wang, P., & Ma, M.** (2017). Intelligent transportation system (ITS): Concept, challenge and opportunity. In *2017 IEEE 3rd international conference on big data security on cloud (bigdatasecurity), IEEE international conference on high performance and smart computing (hpsc), and IEEE international conference on intelligent data and security (ids)* (pp. 167-172). IEEE.

- Luo, H., Wang, C., Wen, C., Cai, Z., Chen, Z., Wang, H., ... & Li, J.** (2015). Patch-based semantic labeling of road scene using colorized mobile LiDAR point clouds. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(5), 1286-1297.
- Lusch, D. P.** (1999). Introduction to environmental remote sensing. *Center for Remote Sensing and GIS Michigan State University: East Lansing, MI, USA*.
- Mahabir, R., Schuchard, R., Crooks, A., Croitoru, A., & Stefanidis, A.** (2020). Crowdsourcing street view imagery: a comparison of mapillary and OpenStreetCam. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6), 341.
- Natsui, R. K., Mireku, K. K., Amuzu, G. G. K., & Sasu, E.** (2022). An Integrated Geographical Information and Road Asset Management System for road transport network sustainability in developing countries. In *2022 IEEE 28th International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) & 31st International Association For Management of Technology (IAMOT) Joint Conference* (pp. 1-6). IEEE.
- Niu, X., Zhang, H., Chiang, K. W., & El-Sheimy, N.** (2010). Using land-vehicle steering constraint to improve the heading estimation of MEMS GPS/INS georeferencing systems. In *Proc. Int. Conf. Canadian Geomatics* (pp. 1-5).
- Novak, K.** (1995). Mobile mapping technology for GIS data collection. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 61(5), 493-500.
- Olsen, M. J.** (2013). *Guidelines for the use of mobile LIDAR in transportation applications* (Vol. 748). Transportation Research Board.
- Otero, R., Lagüela, S., Garrido, I., & Arias, P.** (2020). Mobile indoor mapping technologies: A review. *Automation in Construction*, 120, 103399.
- Petrie, G.** (2010). An introduction to the technology: Mobile mapping systems. *Geoinformatics*, 13(1), 32.
- Puente, I., González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J., & Arias, P.** (2013). Review of mobile mapping and surveying technologies. *Measurement*, 46(7), 2127-2145.
- Pinard, M. I.** (2015). *Road Management Policy: An Approach to the evaluation of road agency performance* (No. 95605).
- Pundt, H.** (2002). Field data collection with mobile GIS: Dependencies between semantics and data quality. *GeoInformatica*, 6, 363-380.
- Raper, J.** (2009) GIS, Mobile and Locational Based Services. In *International Encyclopedia of Human Geography*; Kitchin, R., Thrift, N., Eds.; Elsevier: Oxford, UK, 2009; pp. 513–519.
- Rau, J. Y., Habib, A. F., Kersting, A. P., Chiang, K. W., Bang, K. I., Tseng, Y. H., & Li, Y. H.** (2011). Direct sensor orientation of a land-based mobile mapping system. *Sensors*, 11(7), 7243-7261.
- Rodrigue, J. P.** (2020). *The geography of transport systems*. Routledge.

- Royo, S., & Ballesta-Garcia, M.** (2019). An overview of lidar imaging systems for autonomous vehicles. *Applied sciences*, 9(19), 4093.
- Schwarz, K. P., Chapman, M. A., Cannon, M. E., & Gong, P.** (1993). An integrated INS/GPS approach to the georeferencing of remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.
- Schwarz, K. P., & El-Sheimy, N.** (2004). Mobile mapping systems—state of the art and future trends. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35(Part B), 10.
- Scotti, F., Onori, D., Scaffardi, M., Lazzeri, E., Bogoni, A., & Laghezza, F.** (2015). Multi-frequency lidar/radar integrated system for robust and flexible doppler measurements. *IEEE Photonics Technology Letters*, 27(21), 2268-2271.
- Shi, Y., Shibasaki, R., & Shi, Z.** (2008). Towards automatic road mapping by fusing vehicle-borne multi-sensor data. In *Proc. of ISPRS*.
- Shi, B., Wang, M., Wang, Y., Bai, Y., Lin, K., & Yang, F.** (2021). Effect analysis of GNSS/INS processing strategy for sufficient utilization of urban environment observations. *Sensors*, 21(2), 620.
- Silyanov, V. V., Sodikov, J. I., Kiran, R., & Sadikov, A. I.** (2020). An overview road data collection, visualization, and analysis from the perspective of developing countries. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineerin* (Vol. 832, No. 1, p. 012056). IOP Publishing.
- Sunitha, S.** (2021). An Overview of Deep Learning. *International Journal Of Engineering Research & Technology (Ijert) Icradl*, 9(05).
- Talaya, J., Bosch, E., Alamús, R., Serra, A., & Baron, A.** (2004). GEOVAN: The mobile mapping system from the ICC. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT'2004), Kunming* (pp. 12-22).
- Tao, C.** (1997). *Georeferenced Mobile Mapping Image Sequences* (Doctoral dissertation, University of Calgary).
- Tao, C. V., & Li, J. (Eds.).** (2007). *Advances in mobile mapping technology* (Vol. 4). CRC Press.
- Toth, C. K.** (2009). R&D of mobile LIDAR mapping and future trends. In *Proc. ASPRS Annu. Conf* (pp. 9-13).
- Veit, T., Tarel, J. P., Nicolle, P., & Charbonnier, P.** (2008). Evaluation of road marking feature extraction. In *2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems* (pp. 174-181). IEEE.
- Wan, R., Huang, Y., Xie, R., & Ma, P.** (2019). Combined lane mapping using a mobile mapping system. *Remote Sensing*, 11(3), 305.
- Wang, J., & Jin, F. X.** (2010). Precision estimation of mobile laser scanning system. *. Survey Review*, 42(317), 270-278.
- Wang, Y., Chen, Q., Zhu, Q., Liu, L., Li, C., & Zheng, D.** (2019). A survey of mobile laser scanning applications and key techniques over urban areas. *Remote Sensing*, 11(13), 1540.

- Wen, C., Dai, Y., Xia, Y., Lian, Y., Tan, J., Wang, C., & Li, J.** (2019). Toward efficient 3-d colored mapping in gps-/gnss-denied environments. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(1), 147-151
- Werner, P. A.** (2018). Review of implementation of augmented reality into the georeferenced analogue and digital maps and images. *Information*, 10(1), 12.
- Wu, Y., Wang, Y., Zhang, S., & Ogai, H.** (2020). Deep 3D object detection networks LiDAR data: A review. *IEEE Sensors Journal*, 21(2), 1152-1171.
- Zhang, J., Xiao, W., Coifman, B., & Mills, J. P.** (2020). Vehicle tracking and speed estimation from roadside lidar. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5597-5608.
- Url-1**<<https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/butce-raporlari/uab-2024-butce-sunumu.pdf>>, erişim tarihi 26.03.2024.
- Url-2**<<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Ulastirma-ve-Haberlesme-112>> erişim tarihi 26.03.2024.
- Url-3**< <https://gtbys.kgm.gov.tr/>>, erişim tarihi 20.07.2023.
- Url-4**<<https://velodynelidar.com/products/>>, Erişim 2 Nisan 2023.
- Url-5**<<https://flir.com/products/ladybug5plus/>>, Erişim 7 Nisan 2023.
- Url-6**<<https://www.applanix.com/products/poslv.htm/>>, Erişim 7 Nisan 2023 Rieger
- Url-7**<<https://www.loc.gov/collections/panoramic-photographs/articles-and-essays/a-brief-history-of-panoramic-photography/>>, Erişim 23 Mayıs 2023.
- Url-8**<<https://www.call360.live/blog/a-brief-history-of-360-degree-cameras>
- Url-9**<<https://www.paulbourke.net/dome/ladybug/>>, Erişim 23 Mayıs 2023.
- Url-10**<<https://hexagonusfederal.com/what-we-do/products/detection-systems/pegasus-ii-ultimate-mobile-mapper>>, Erişim 24 Mayıs 2023.
- Url-11**<<https://www.cv-tricks.com/object-detection/faster-r-cnn-yolo-ssd/>> , Erişim 23 Mayıs 2023.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Hüseyin KURŞUN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :1994 İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Müh.
- **Yüksek Lisans** : 1997 İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Müh.
- **Doktora** : 1997 İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Müh.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 1996-1996 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Gece Kondu Mesken Müdürlüğünde Mühendis olarak çalıştı.
- 1996-1997 Esenler Belediyesi Emlak İstimlak Müdürlüğünde Mühendis olarak çalıştı.
- 1997-1998 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 1998-2009 İGDAŞ da uzman ve CBS şefi olarak çalıştı.
- 2009 yılından buyana ANKAGEO firmasında kurucu ortak olarak çalışmaktadır.
- 2024 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde doktorasını tamamladı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kurşun, H.** (2023). Accuracy comparison of mobile mapping system for road inventory. *Mersin Photogrammetry Journal*, 5(2), 55-66.