

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAYOLU PROJELERİNDE
YENİ TEKNOLOJİLERİN KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah Erdem ÖZLÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAYOLU PROJELERİNDE
YENİ TEKNOLOJİLERİN KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emrah Erdem ÖZLÜ
(501121406)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat ERGÜN

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121406 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emrah Erdem ÖZLÜ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KARAYOLU PROJELERİNDE YENİ TEKNOLOJİLERİN KULLANIMI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Doç. Dr. Murat ERGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Doç. Dr. Mustafa Tevfik ÖZLÜDEMİR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ali Sercan KESTEN
Işık Üniversitesi

Teslim Tarihi: **3 Mayıs 2019**

Savunma Tarihi: **10 Haziran 2019**





Üzerimde emeği olan herkese,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve bu tezin hazırlığı sürecinde desteklerini eksik etmeyen Şenay Şaşko'ya, Murat Özmen'e ve IDEArc çalışanlarına;

Bu tezin ana fikrinin oluşmasında ve içeriğinin şekillenmesinde emeği geçen Hasan Bora Yavuz'a, İdris Gökdemir'e, Utku Arslan'a ve Emre Akdeniz'e;

Proje verilerini ve ölçüm cihazlarını tez çalışması kapsamında kullanmamıza izin veren Siyahkalem A.Ş., Denge Altyapı A.Ş., GNSS Teknik A.Ş. ve Prekast Beton A.Ş.'ye;

Tez çalışmalarında değerli katkılarıyla destek Doç. Dr. Murat ERGÜN'e, Doç. Dr. Mustafa Tevfik ÖZLÜDEMİR'e ve Dr. Ali Sercan KESTEN'e;

Bu ülkede yeni teknolojilerin araştırılmasına, geliştirilmesine ve kullanılmasına destek veren herkese sonsuz teşekkürlerimi sunar, çalışmamı çok sevdiğim aileme ve üzerimde emeği olan herkese ithaf ederim.

Haziran 2019

Emrah Erdem ÖZLÜ
İnşaat Mühendisi, Harita Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsam	2
1.2 Karayolları ve Karayolu Tasarımı Hakkında Genel Bilgiler	2
1.3 Karayolu Mühendisliği Tasarım Araçları	5
1.3.1 Bilgisayar destekli çizim (CAD).....	5
1.3.2 Tasarım altlıkları, veri setleri ve kaynaklar.....	8
1.3.3 Karayolu tasarımı arazi çalışmaları.....	11
1.3.4 Karayolu inşaatı uygulama işleri ve kontrollük faaliyetleri.....	12
1.4 Hipotez	14
2. İŞ AKIŞI TASARIMINA ETKİ EDECEK YENİ YÖNTEMLER	15
2.1 Üç boyutta CAD, Dinamik ve Parametrik Tasarım	15
2.2 Bulut Bilişim ve Bilgisayar Destekli Tasarım	18
2.3 Nokta Bulutu Üretme ve Nokta Bulutlarıyla Çalışma	20
2.4 Fotogrametri ve İnsansız Hava Araçları	22
2.5 Lazer Tarayıcılar	28
2.6 Genel Hatlarıyla Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)	30
3. YENİ TEKNOLOJİLER ÜZERİNE ÇALIŞMALAR	37
3.1 Bulut Bilişim Örneği Olarak Geçki Araştırması.....	37
3.2 BIM Örneğiyle Proje Yapımı, İmalatı ve Kontroller	42
3.3 İş İlerleme Tespiti ve Raporlamasına Yönelik Bir Saha Çalışması	51
3.4 Öngerme Prekast Elemanların Kontrolüne Yönelik Bir Saha Çalışması.....	54
3.5 Bitmiş Proje Tespitine Yönelik Bir Saha Çalışması	58
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	77

KISALTMALAR

2B	: İki Boyutlu
3B	: Üç Boyutlu
ASÇY	: Ağırlıklı Siyah Çizgi Yöntemi
BIM	: Building Information Modelling
BÖHHBÜY	: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Çizim)
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DEM	: Digital Elevation Model
DOM	: Dilim Orta Meridyeni
GIS	: Geographic Information System
GLONASS	: Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GPS	: Global Positioning System (GKS, Global Konumlama Sistemi)
GSD	: Ground Sample Distance
HGK	: Harita Genel Komutanlığı
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
IAI	: Industry Alliance for Interoperability
IDM	: Information Delivery Manual
IFC	: Industry Foundation Classes
IFD	: International Framework for Dictionaries
ISPRS	: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KHK	: Kanun Hükmünde Kararname
KOH	: Karesel Ortalama Hata
LIDAR	: Light Detection And Ranging
LoD	: Level of Detail
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
OH	: Ortalama Hata
OSM	: Open Street Map (Açık Kaynak-Veri Kodlu Haritalar)
PaaS	: Platform as a Service
PPK	: Post Processing Kinematics
PS	: Phase Shift
PSO	: Particle Swarm Optimisation
RGB	: Red Green Blue
RTK	: Real Time Kinematics
SaaS	: Infrastructure as a Service
SaaS	: Platform as a Software
SEKAY	: Sakarya Entegre Katı Atık Yönetimi
SfM	: Structure from Motion
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission ()
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli

ToF : Time of Flight
TSX : TerraSAR-X1
TUFUAB : Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
TUSAGA : Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
UKBS : Uydularla Konum Belirleme Sistemi
YKN : Yer Kontrol Noktası



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Bulut platformuyla yerel çalışma ağının karşılaştırılması [26].	20
Çizelge 2.2: İHA'ların sınıflandırılması [37].	26
Çizelge 2.3: BIM nesnelerinin özellikleri [52].	35
Çizelge 3.1: Planlanan hatların karşılaştırılması.	41
Çizelge 3.2: A3 yolu çevresi yer kontrol noktaları koordinatları.	47
Çizelge 3.3: A3 yolu çevresi yer kontrol noktaları hata değerleri.	48
Çizelge 3.4: Leica C10 tipi yersel tarayıcı hassasiyet özellikleri [67].	55
Çizelge 3.5: I-Kesitli kirişler için ölçü farklılıkları sınır değerleri [19].	56
Çizelge 3.6: Köprü bölgesi yer kontrol noktaları koordinatları.	60
Çizelge 3.7: Köprü bölgesi yer kontrol hata değerleri.	61
Çizelge 3.8: Köprü bölgesi tekrar ölçüm yer kontrol noktaları koordinatları.	64
Çizelge 3.9: Model üzerinden işaretlenen yer kontrol noktaları koordinatları.	65
Çizelge 3.10: Köprü bölgesi yer kontrol hata değerleri.	65



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Ulaştırma Mühendisliğinin çok branşlı yapısı [1].	1
Şekil 1.2: Karayolu planlama, tasarım ve yapım akış diyagramı [6].	4
Şekil 1.3: Evrensel çizim masası [8].	6
Şekil 1.4: HGK'nın örnek 1/25.000 haritası, J30-b2.	9
Şekil 1.5: ÇŞB Atlas portalı harita servisi katmanları [12].	10
Şekil 2.1: Parametrik kavşak tasarımı örneği.	17
Şekil 2.2: Bulut bilişimin temel hizmetleri [24].	19
Şekil 2.3: Çeşitli ayrıntı seviyelerinde (LoD) nokta bulutları [28].	21
Şekil 2.4: Plankote (sol) ve yoğun nokta bulutu (sağ) verileri.	22
Şekil 2.5: Sıyırma kazısı yapılmış bir alanda plankote (sol) ve nokta bulutu (sağ).	24
Şekil 2.6: İnsansız hava araçlarıyla alımlarda fotoğraf bindirmeleri [41].	27
Şekil 2.7: Model üzerinde fotoğraf serilerinden oluşturulan ortak noktalar [43].	28
Şekil 2.8: Uçuş zamanı (ToF, time-of flight) prensibi çalışma yöntemi [47].	29
Şekil 2.9: Klasik proje yönetimi ve BIM süreci [53].	31
Şekil 2.10: MacLeamy eğrisi [54].	32
Şekil 2.11: BIM modeli olgunluk aşamaları [56,58].	33
Şekil 2.12: BIM boyutları.	34
Şekil 2.13: BIM üçgeni [60].	35
Şekil 3.1: Geçki araştırması illüstrasyonu.	37
Şekil 3.2: Kuzey Marmara Otoyolu 4. kesim proje alanı ve çevre yollar.	38
Şekil 3.3: Geçki araştırması, birinci faz öneri hattı.	39
Şekil 3.4: Birinci hat, başlangıç ve sonuç iterasyonu, boykesit.	40
Şekil 3.5: Geçki araştırması, ikinci faz öneri hattı.	40
Şekil 3.6: İkinci hat, başlangıç ve sonuç iterasyonu, boykesit.	41
Şekil 3.7: Deliklikaya Sanayi Bölgesi kent içindeki konumu.	43
Şekil 3.8: A3 ve T6 yolu inşaatı proje alanı.	43
Şekil 3.9: Dolgu duvarı proje alanı genel görünümü.	44
Şekil 3.10: A3 yolu duvar projesi tip detay ve görünüş.	45
Şekil 3.11: Model sonrası üç boyutlu görünüş.	45
Şekil 3.12: Yol modelinin katmanlara ayrılmış görüntüsü.	46
Şekil 3.13: Proje katmanları ve fazlarının iş programıyla birleştirilmesi.	46
Şekil 3.14: A3 yolu duvar projesi imalat kontrolleri.	48
Şekil 3.15: T6 yolu boy kesiti.	49
Şekil 3.16: T6 yolu plan, tasarım kotları ve kontrol detayları.	49
Şekil 3.17: T6 yolu projesi imalat kontrolleri.	50
Şekil 3.18: SEKAY Proje Alanı.	51
Şekil 3.19: SEKAY Projesi genel yerleşim planı.	52
Şekil 3.20: 18 Nisan ve 9 Ağustos tarihlerinde alınan hava fotoğrafı setleri.	53
Şekil 3.21: Yersel tarayıcı ölçümüne tabi tutulan öngermeli I kiriş.	55
Şekil 3.22: Nokta bulutundan oluşturulan öngermeli I kiriş.	56
Şekil 3.23: Kiriş nokta bulutu üzerinde yapılan ölçümlerde kullanılan bir kesit.	57
Şekil 3.24: Hadımköy karayolu köprüsü inşaatı proje alanı.	58

Şekil 3.25: Köprü projesi genel vaziyet planı.....	59
Şekil 3.26: C4 hassasiyetinde yer kontrol noktalarının tahsisi.	60
Şekil 3.27: Yer kontrol noktaları yeri ve hata değerleri.	61
Şekil 3.28: Nokta bulutu 3B modeli.	62
Şekil 3.29: Nokta bulutu yükseklik analizi.	62
Şekil 3.30: Nokta bulutu ile köprü kesiti süperpozisyonu.	63
Şekil 3.31: Nokta bulutu ile plankote süperpozisyonu.	63
Şekil 3.32: RTK'lı ve RTK'sız modellerin ölçüm öncesi testleri.....	64
Şekil 3.33: RTK'lı ve RTK'sız modellerin ölçüm sonuçları.	66
Şekil 4.1: Karayolu projeleri öneri iş akışı.	68



KARAYOLU PROJELERİNDE YENİ TEKNOLOJİLERİN KULLANIMI

ÖZET

İnsanoğlunun varoluşundan beri en önemli ihtiyaçlarından biri hareket etme ya da bir noktadan diğerine ulaşma talebidir. Bu gereklilik için ise doğada hep optimum geçkileri aramıştır; kısa, güvenli, zahmetsiz olanları yüz yıllar boyu kullanmıştır. Tekerleğin icat edilmesi ve ticari olarak kullanılmaya başlanmasından sonra ise uzun ticaret yolları tasarlanmış ve globalleşmenin ilk adımları atılmıştır. Karasal yollarla liman kentlerindeki zenginlik, iç kentlere de yayılmıştır.

Tekerleğin makine ile birleşiminden, kısacası aracın icadından sonra ise mesafeler daha da kısalmış, en temel varoluş talebi, gereklilikler kadar keyfi sebeplere de hasıl olmuştur. İnsanın yaşadığı her yere araç yolları tasarlanmış, araçlar insanın yeni uzvu haline gelmiştir.

Her aşamasında bir mühendislik problemini içeren ulaştırma konusu, zamanla sistem tasarımı ve inşasını içeren bir bilim dalı haline gelmiştir. Bu bağlamda planlama, tasarım, inşaat, bakım ve işletme alanları, ulaştırma mühendisliğinin temel konularıdır ve her biri ayrı uzmanlıklar gerektirmektedir. Bu yapı itibarıyla ulaştırma mühendisliği, çok branşlı bir içeriğe sahiptir. Mühendislik, tasarım ve planlamaya dair pek çok temel bilgi bu mühendislik dalında birleşmektedir. Ulaştırma problemlerini çözmek, uzun ve meşakkatli bir takım çalışması gerektirmektedir.

Pek çok tasarım dalında olduğu gibi ulaştırma mühendisliğinde de tasarım aşamaları bilgisayar destekli çizimin hayatımıza girmesiyle evrilmiştir. Tasarım zaman içinde kâğıttan dijital ortama, iki boyuttan üç boyuta, çizgilerden nesnelere taşınmıştır. Tasarım aşamalarının dijitalleşmesiyle daha büyük projeler daha kısa zamanlarda tasarlanmaya başlanmış, ancak bu süreçler beraberinde yeni soruların oluşmasına sebep olmuştur.

Gerek veri boyutları gerekse yol mühendisliğinin çok branşlı bir yapıya sahip olması, tek bir platformda-formatta tüm verileri işlemeyi zorlaştırmaktadır. Son zamanlarda büyük projelerin teknik şartnamelerinde çokça karşılaştığımız üzere, bulut üzerinden veri aktarımları ve birbirlerine çevrilebilir bilgi setleri üretmek mümkündür. Kaldı ki, birbiri arasında geçebilen dinamik veriler üretmek ve üretilen bu verileri ayrı platformlarda kullanmak mümkünse, tasarım programlarını da aynı çatı altında kullanmak anlamsız kalabilir. O halde gereken, tasarım sürecinin tümüyle dinamik hale gelmesi için bir iş akışı ortaya koymaktır. Burada oluşturulması gereken kılavuz şu beş sorunun cevabı niteliğinde olmalıdır; tasarım öncesi hangi veriler hangi formatta toplanacak, toplanan verilerin hassasiyeti ne olacak, tasarımda hangi araçlar kullanılacak, hangi ortak şartnamelere uyulacak, tasarım sonrası üretilen veriler hangi formatta ve platformda yayınlanacak, üretilen veriler hangi hassasiyette uygulanacak, imalat aşaması nasıl kontrol edilecek?

Yol tasarımı ve imalatı yapan kurumların iş akış süreçlerine bakıldığında, karar verme, tasarım, uygulama ve işletme aşamalarının dinamik bir akışta bir arada yürümediği

görülmektedir. Yeni teknolojilere yeteri kadar adapte olunmaması ve ekip kabiliyetlerinin farklılıklar göstermesi gibi sebeplerden ötürü, proje başlangıcından işletmeye kadar geçen süre zarfında, benzer kalite kriterleriyle devam edilememesine sebep olmaktadır. Karar verici kurumların yüksek nitelikteki verilerini uygun formatlarda paylaşamaması ya da diğer kurumlarla entegre olunamaması başlangıçtaki en önemli problemlerden biridir. Proje safhalarında üretilen verilerin, klasik proje teslim yöntemleri sebebiyle imalat aşamalarına aynı kalitede aktarılamaması ise diğer önemli problem olarak görülebilir. Bu bağlamda, birbirinden tamamen kopuk yürüyen süreçler, işletme aşamasında da geri dönülmesi oldukça zor sorunlara sebep olmaktadır.

Son yıllarda büyük projelerde karşılaşılan en büyük zorluk, disiplinler arası geçişlerin uygun şekilde yapılamaması ve henüz proje gruplarının veri kaybı olmaksızın paylaşılabilir verileri üretecek yetenekte olmamasıdır. Örnek verilecek olursa, köprü projesi yapılırken yol kotlarından faydalanılır ve genellikle yol projesi yapan grup çizim formatında iki boyutlu ya da üç boyutlu nokta dosyaları ya da kot yazıları paylaşır. Köprü tasarımcısı elindeki veriden yeni veriler üretmeye çalışır; kenar profilleri ya da enkesitleri, kotları enterpole ederek tahmin eder. Aslında çoğu programda artık yüzeyler (surface) ve örgüler (mesh) ya da çoklu yüzler (polyface) elde edilebilmektedir. Hatta bu veriler proje kriterleri değiştiğinde güncellenebilmektedir, yani dinamiktir.

Aslında doğru veri, doğru sıra ile ve dinamik bir yapıda paylaşılırsa tasarım süreci hazırlanır, süperpoze planların içerikleri güçlenir ve çakışma kontrolleri çaprazlanarak en az hata ile proje üretimi yapılabilir. Dinamik projeler, düzeltilmiş projelerin yapımını (as-built) kolaylaştırır, böylece işletme ve rehabilitasyon aşamasında hep güncel projeler kullanılabilir.

İnşaat ve harita sektörlerine konu olan teknolojilerde yaşanan yeni gelişmeler, iş akış süreçlerini değiştirmeye zorlamaktadır. Özellikle işlemci teknolojisi ve veri aktarım hızlarındaki artış, proje paydaşlarının hayal sınırlarını genişletmektedir. Artık süreçlerin daha sorunsuz, dinamik ve hızlı ilerlemesini sağlamak için gereken tek şey saf bilgidir.

AEC endüstrisinde (Architecture Engineering Construction Industry) tasarım süreçlerinde kullanılan ortak dilin adı BIM (Building Information Modelling) olarak bilinir. Son zamanlarda özellikle büyük projelerin yapımında kullanılan BIM, dijital bir modelin oluşturulma, paylaşılma ve yönetilme biçimidir. BIM altyapısı yeni teknolojilerin kullanılmasını desteklemekte ve yaşam döngüsünde akıllı modellerin üretilmesini gerekli kılmaktadır. BIM ile projelerdeki zaman, maliyet ve kalite ayaklarının dengede tutulmasına gayret edilir.

BIM süreçleri ortaya çıkış amacı itibariye üstyapı çalışmaları sınırlarında sorunsuz çalışsa da, yapıların çevreyle entegrasyonu ve altyapı problemlerine henüz tam anlamıyla entegre olamamaktadır. Dünyada çeşitli altyapı projelerinde kullanılan bu sistemin adı çoğu zaman “BIM for Infrastructure” (altyapı için BIM) olarak geçse de pek çok kaynakta çeşitli tanımlar karşımıza çıkmaktadır. Aslında henüz ortak bir isim bulunamaması, belki de içeriğinin ve sınırlarının tam olarak ortaya konamamasından ileri gelmektedir. 1995 yılında çeşitli yazılım şirketlerinin ve araştırma enstitülerinin desteği ile kurulan IAI (Industry Alliance for Interoperability), hala ortak bir dilin oluşması için çalışmalarına ara vermeden devam etmektedir. Karayolu mühendisliği ile ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalar henüz sonuçlanmamış olsa da, son günlerde

buildingSMART tarafından sektörün öncüleriyle nitelikli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir.

Gelişen inşaat ve haritacılık teknolojileri konusunda sektörde bu sıkıntılar yaşanırken, yeni teknolojilerin süreçlere dahil edilmesi konusunda benzer sorunlar bulunmaktadır. Özellikle BIM konularında yeterli sayı ve nitelikte uzmanların olamaması, kurum altyapılarının ve proje şartnamelerinin henüz tam manasıyla BIM çalışmalarına hazır olmaması sebebiyle geçişler oldukça sancılı olabilmektedir.

Bu yüksek lisans tezinin amacı, ulaştırma mühendisliğinin tasarım ve imalat sürecine dahil olan alt branşları güncel teknolojilerle birleştirip veri dinamikliğini ve geçişkenliğini sağlayan yeni bir iş akışı ortaya koymaktır. Halihazırda şartnamelere henüz girmemiş olsa da kullanılan yeni teknolojilerin, çok branşlı bu yapının altında birleşmesini sağlayacak öneri bir akış şemasıyla, tasarım çalışmalarının başlangıcından işletmeye kadar ortak bir veri dilinin kullanılabilirliğini ve sürdürülebilirliğini göstermek amacıyla örnek çalışmalar yapılacaktır.

Ulaştırma mühendisliği projelerinde en büyük problemlerden biri, maliyet, zaman ve kalite optimizasyonunun projelendirme aşamasında tasarlanmasına rağmen, inşaat aşamasına geçildiğinde bütçe ve zaman bakımından sıkıntılı durumlara düşülmesidir. AEC endüstrisinde amaç, bir projenin tüm yaşamsal döngüsünün kontrol edilebileceği bir iş akışı ortaya koyabilmektir. Bu sayede proje aşamasında planlanan işletme şemasının, ortaya konulan eserin hayat döngüsüne katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Bu tezin katkısı, projelerin “Altyapı için BIM” ayağına, karayolu mühendisliği konusunda bir iş akışı önerisi sunmak ve bu sayede sağlıklı bir yaşam döngüsü oluşturmayı sağlamak olacaktır.



USAGE OF NEW TECHNOLOGIES IN HIGHWAY PROJECTS

SUMMARY

One of the most important needs of human beings since their existence is to move or to reach from one location to another. Because of this basic necessity, he always looked for optimum routes in nature, and used the shortest, safest and easiest ones for centuries. With the invention and commercial use of wheel, he designed long trade routes and took the first steps of globalisation. With the help of land routes, the wealth of coastal towns expanded to hinterland.

After the combination of the wheel with the machine, or in other words after the invention of the vehicle, the distances have been further shortened, and the most basic demand for existence has evolved from just the basic requirements to arbitrary reasons. Vehicle paths have been designed wherever people live, and vehicles have become the new limb of human beings.

With the development of vehicles and highways in time, transportation, which covers an engineering problem in every stage, has become a science branch that involves system design and construction. In this context, planning, design, construction, maintenance and management are the basic topics for transportation engineering, and each topic has its own expertise field. And because of its structure, transportation engineering has a multi-branch content. Many basic know-hows about engineering, design and planning were integrated in this engineering discipline. However, since it is a multi-branch discipline, long and tedious teamwork is needed to solve the transportation problems.

As well as many other design branches, in transportation engineering design phases have evolved with computer-based drawing, also. Design has transferred from paper to digital environment, from 2D to 3D, from lines to objects. With the digitalisation of design, bigger scaled projects were able to be designed in shorter time. But those phases brought new questions with them since it is hard to process all data in one platform and format, because of the data size and multi-branch structure of transportation engineering.

Both the data sizes and the multi-branch structure of road engineering make it difficult to process all data in a single platform or format. As we see in full-scale projects' specifications recently, it's possible to transfer data via cloud and to produce convertible information sets nowadays. Besides, if it is possible to produce dynamic data and to use this data in different platforms, then it can be senseless to use the design tools under the same roof. So, building a workflow to form a totally dynamic design process is needed. The process guide should answer these five main questions; which data must be collected before design and in which format, how should we determine the sensitivity of pre-design data, which tools will be used in design, which specifications will be considered, in which format and platform will post-design data be issued and how will it be controlled?

When the workflow processes of the road designing and manufacturing institutions are analyzed, it is seen that the decision making, design, implementation and operation phases do not work together in a dynamic flow. Due to the lack of adaptation to new technologies and differences in team capabilities, it cannot be continued with similar quality criteria during the period from start of a project to operation phase. One of the most important problems at the beginning is that decision-makers cannot share high quality data in appropriate formats or those data cannot be integrated with other institutions. Another important problem is that the data produced during the project phases cannot be transferred to the manufacturing stages with the same quality due to classical project delivery methods. In this context, processes that are completely disconnected from each other cause problems which are very difficult to overcome during the operation phase.

The main challenge we have faced in big scale projects in recent years is the lack of proper inter disciplinary transformations and avoiding data loss. For example, in a big-scale bridge project level values are used and usually the team working on road project shares two or three-dimensional point cloud drawings or level plans. Bridge designer tries to generate new data from these and estimates side profiles and cross sections by interpolating grades. However, if a complete data set is shared in proper inter disciplinary transformation, many computer software can generate surface, mesh and polyface nowadays. Moreover, these data sets can be updated with changes to project and therefore are dynamic indeed.

Actually, if the correct data is shared in the correct order and in a dynamic structure, the design process can be prepared more accurately where the contents of the superposed plans are strengthened and the overlap controls can be crossed and the project can be produced with the least error. Dynamic projects simplify the construction of as-built projects, so projects are always up-to-date at the operation and rehabilitation stage.

New developments in the technologies that are the subject of construction and mapping industries force the work flow processes to change. In particular, the increase in processor technology and data transfer rates broadens the imagination of project stakeholders. Now all that is needed is pure information to make processes go smoothly, dynamically, and faster.

In the AEC industry (Architecture Engineering Construction Industry), the common language used in design processes is called BIM (Building Information Modelling). Recently, BIM, especially used in the construction of large projects, is the way in which a digital model is created, shared and managed. The BIM infrastructure supports the use of new technologies and requires intelligent models in the life cycle. With BIM, efforts are made to keep the time, cost and quality aspects in balance.

Although the BIM processes have worked flawlessly in architecture, the integration of buildings with the environment and infrastructure solutions has yet to be fully developed. Although the name of this system, which is used in many infrastructure projects in the world, is often referred to as “BIM for Infrastructure”, other definitions appear in many sources. In fact, the lack of a common name is perhaps because the content and limits are not fully revealed yet. Established in 1995 with the support of various software companies and research institutes, the IAI (Industry Alliance for Interoperability) continues to work to create a common language. Although the studies on road engineering have not been completed until today, it is known that

buildingSMART has recently carried out qualified works with the pioneers of the AEC industry.

While these problems are experienced in the industry, especially regarding the still developing construction and mapping technologies, there are similar problems regarding the inclusion of new technologies in the processes. Transitions are very painful, especially since there are not enough experts in the number and quality, and the institutions and project specifications are not yet fully prepared for BIM studies.

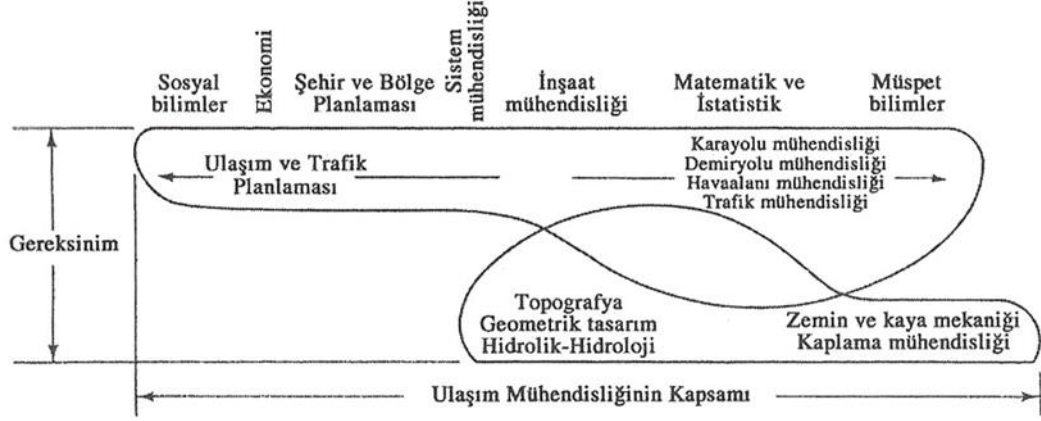
The purpose of this master thesis is to introduce a new workflow by combining the sub-branches of transportation engineering with design and manufacturing processes with up-to-date technologies and providing data dynamism and passivity. Even though it has not yet entered the specifications, exemplary studies will be carried out in order to demonstrate the availability and sustainability of a common data language from the beginning of the design work to the start-up, with a suggestion flow chart that will enable the new technologies to be united under this multi-branch structure.

One of the biggest problems in transportation engineering projects is that although cost, time and quality optimisation are designed at the projecting stage, they are troubled in terms of budget and time, when passing through the construction phase. The aim in the AEC industry is to create a workflow in which the entire life cycle of a project can be controlled. In this way, it is thought that the operational scheme planned at the project stage will contribute to the life cycle of the work put forward. The contribution of this master thesis will be to provide a workflow proposal on the road engineering part of the BIM for Infrastructure approach and to ensure a healthy life cycle.



1. GİRİŞ

Ulaştırma mühendisliği özü itibariyle, pek çok disiplinin bir araya geldiği bir alanı temsil etmektedir. Büyük ölçekli şehir planları ya da en küçük çapta bir güzergâh projesi için bile, istatistikten zemin mekaniğine pek çok alanda veriyi altlık olarak kullanmaktadır. Her biri ayrı birer uzmanlık dalı olan bu alanlarda elde edilen verilerin işlenmesi ve tasarım sürecine katılması, ancak çok branşlı bir sürecin doğru harmanlanmasıyla mümkün olabilir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Ulaştırma Mühendisliğinin çok branşlı yapısı [1].

Teknolojinin hızla gelişmesiyle bilgisayar destekli çizim (CAD) ekipmanları, proje üretme ve alternatif geliştirme süreçlerinde tasarımcıların kabiliyetlerini artırmıştır. Tasarım aşamasının geliştirilmesi ve işin yapımıyla ilgili yayınlar, teknolojinin zorlamasıyla güncellenmeye devam etse de özellikle malzeme bilimi ve haritacılık yetenekleri bilinenlerin ötesine geçmiş, yeni ölçüm ve imalat ekipmanlarının arazi çalışmalarında kabul görmesiyle, son yirmi beş yılda proje tasarım süreleri ve inşaat hızları çok fazla ilerlemiştir. Bilgisayar destekli çizim ortaya çıktığından beri, üç boyutlu modelleme çalışmaları var olsa da son zamanlarda artık tasarımların iki boyuttan üç boyuta taşınmasıyla değil, başlangıcından itibaren çok boyutlu tasarım ile devam ettiği görülmektedir. Çok boyutlu tasarımın çizim faaliyetlerine getirdiği en büyük yenilik ise akıllı nesnelere; yani çizilen nesne tüm özneliklerini veri bankasında taşımaktadır.

Bu bağlamda üç temel soru akla gelmektedir;

- 1) Yeni nesil tasarım programları uygulama projeleri üretecek kadar çok seçenek sunabilecek mi?
- 2) Nesnelere her platformda özniteliklerini kaybetmeden ortak bir veri dilinde yayınlanabilecek mi?
- 3) Üretilen büyük veri nasıl işlenecek?

Bu üç temel soru ile ilgili pek çok cevap bulunmaktadır ancak henüz tüm paydaşlar tarafından kullanılabilen ortak bir dil geliştirilememiştir. Çok branşlı diğer dallar gibi ulaştırma mühendisliğinin de amacı, tasarım aşamasında veri paylaşımını kolaylaştırmak ve imalattan işletmeye sürdürülebilir projeler ortaya koymaktır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsam

Mühendislik hizmetlerine yeni soluk getirecek teknolojilerin gelişmesi ve daha erişilebilir olmasıyla beraber pek çok sektörde bilinen yöntemlerin değiştiği gözlenmektedir. İşbu sistemleri altyapı tasarımı konularıyla harmanlamak, daha verimli imalat ve devamında işletme maliyetlerini beraberinde getirecektir. Bu çalışmanın amacı birbirinden bağımsız gelişen yeni teknolojileri ulaştırma mühendisliği ve altyapı konuları özelinde bir araya getirip bir iş akışı önerisi ortaya koymaktır.

1.2 Karayolları ve Karayolu Tasarımı Hakkında Genel Bilgiler

Nadir Yayla'ya göre ulaşım (2004), *“insanların ve eşyaların yararlı olduğu varsayılan bir amaca yönelik yer değiştirmeleridir. Bu yer değiştirmenin sağlanması ulaştırma ya da taşıma olarak tanımlanır”* [2].

Ömer Halis Tombaklar'a göre (2006) ulaşım, altyapı türüne göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

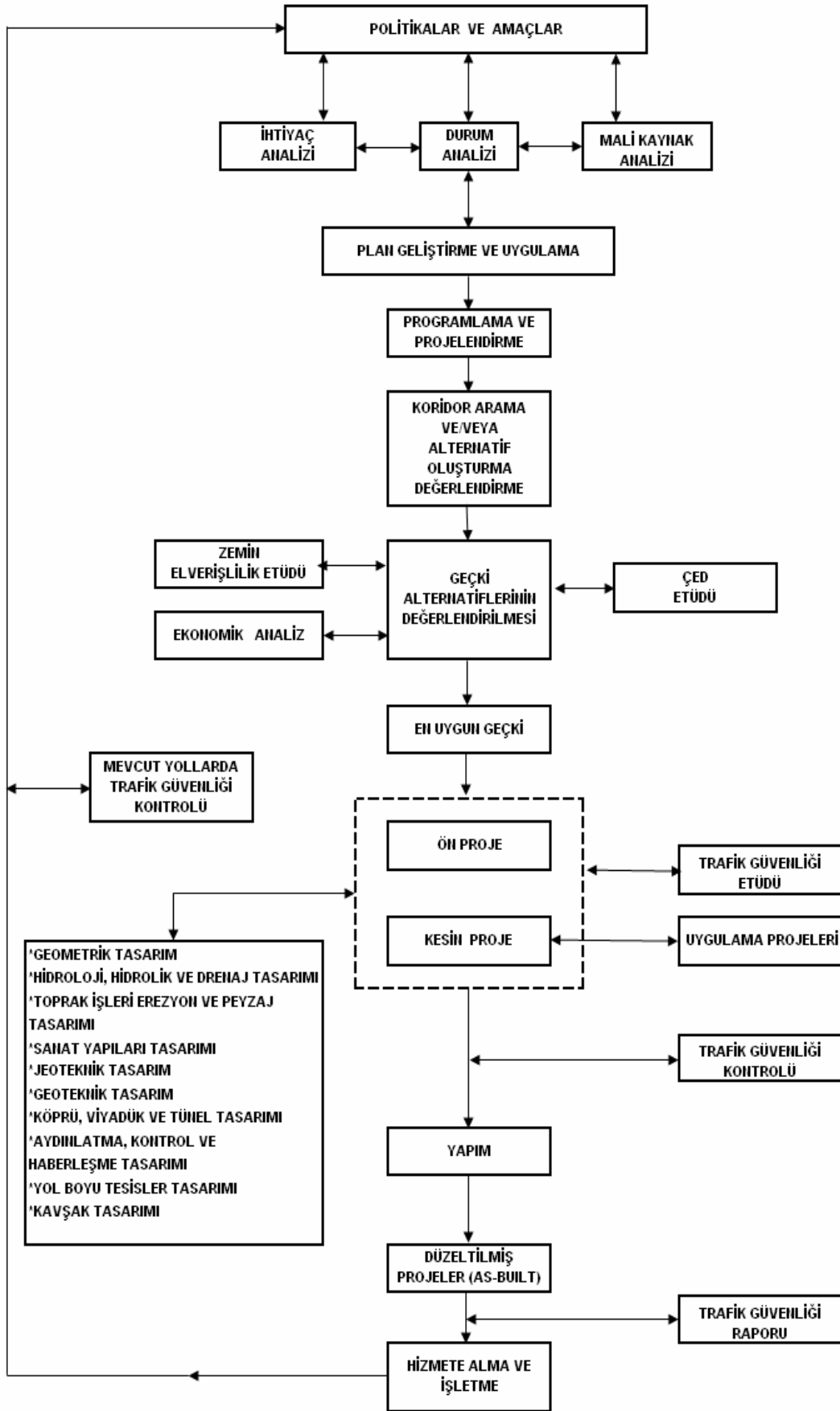
- Karayolları
- Demiryolları
- Su Ulaşımı
- Hava Yolları
- Boru Hatları [3]

Karayolu ulaşımının geçmişi çok eski tarihlere kadar dayanmaktadır. Tekerleğin icadının ne zaman olduğu tam olarak bilinmemektedir ve bu konuda çok çeşitli bulgular vardır. Tekerleğin kullanımının yaygınlaşmasıyla Karayolu ulaşımının en eski bulgularına MÖ 3500 yıllarında Fırat ve Dicle Vadisi'nde, MÖ 2000 yıllarında Girit'te, MÖ 1600 yıllarında Mısır'da ve MÖ 1300'lerde in'de rastlanmaktadır [4]. Anadolu'da, özellikle Mezopotamya bölgesinde en eski uygarlıkların kalıntılarının bulunmuş olması karayolu ulaşımının Anadolu'da en az beş bin yıllık tarihi geçmişinin olduğunu göstermektedir. Motorlu taşıtların hayatımıza girdiği 1900'l yılların başlarına kadar taşımacılık faaliyetleri, bu yollar üzerinden devam etmekteydi.

Karayolları Genel Mdrlğinin verilerine göre 1 Haziran 2018 tarihi itibariyle ülkemizde 67,839 kilometre karayolu ağı bulunmaktadır ve bunun 2,657 kilometresi otoyollardan oluşmaktadır. Bu sayı 1923 yılında Cumhuriyetin İlan edildiği tarihte 18,350 kilometre idi ve bu yollar üzerinde yalnızca 94 adet köprü vardı. Karayolları Genel Mdrlği'nn kuruluş yılı olan 1950 yılına kadar ise yaklaşık 44 bin kilometre karayolu ağı vardı [5].

Ülkemizde Karayolları Genel Mdrlği tarafından yayınlanan Karayolları Tasarımı El Kitabı [6], yol tasarım mühendisliğinin temelini oluşurmaktadır. Buna ek olarak tasarımcıların başvurdukları diğer kaynaklar Őhirii Yollar zel Daimi Komitesi tarafından yayınlanan standartlar, özel teknik Şartnameler ve yerli-yabancı teknik yayınlardır. Bu kaynaklarda karayolu tasarımında uyulması gereken kurallar ve örnek detaylara ilişkin bilgiler bulunabilir. Son olarak 2005 yılında güncellenen T.C. Karayolları Genel Mdrlği tarafından yayınlanan Karayolları Tasarım El Kitabında yeni yolların planlanmasında izlenecek iş akışı aşağıdaki (Şekil 1.2) gibi özetlenmiştir.

- İhtiyaç ve durum analizleri
- Çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve elverişlilik etüdü
- Yol güzergahının etüdü (n proje ve kesin projeler)
- Tasarım aşaması,
- Kesin güzergahın aplikasyonu
- Yol güzergahında poligon ağının oluşturulması.
- Şeritvari halihazır haritanın çıkarılması
- Hacimsel elemanlar, sanat yapıları vb. projelerin oluşturulması
- Yol maliyetinin hesaplanması



Şekil 1.2: Karayolu planlama, tasarım ve yapım akış diyagramı [6].

Bu aşamadan sonra her ne kadar yapım işi, ihale süreçleri ve imalat aşamasına geçilse de proje düzenleme işleri, yol inşaat bitinceye kadar devam etmektedir. Bu bağlamda devam eden tasarım süreçlerinde;

- Düzeltilmiş projelerin yapımı (As-Built)
- Trafik güvenliği raporları hazırlanması gerekmektedir.

Bir geçki araştırması yapılmadan önce araziye bakıldığında, özellikle göz alabildiğine düz arazilerde, bir güzergâh planı çıkarabilmek için sonsuz olasılık var gibi görünse de mülkiyet, jeolojik şartlar, hidrolojik etkenler, inşaat maliyetleri vb. pek çok kısıttan ötürü ortaya konabilecek geçkilerin sayısı sınırlıdır.

Bu sebeple bir yol güzergâhının belirlenmesinde en önemli aşama geçkinin tanımlanmasıdır. Sadece şehirlerarası yollarda değil, şehiriçi yollarda da iki noktayı birbirine bağlayacak aksın tanımlanması, projelendirme aşamasının temelini oluşturmaktadır.

Şekil 1.2'deki akış şemasıyla atıfta bulunulan bilgiler, Karayolları Genel Müdürlüğü uhdesinde olan alanlarda inşa edilecek yüksek standartlı yol çalışmaları için hazırlanmıştır. Ancak güzergâh tasarımı yapan tek kurum Karayolları Genel Müdürlüğü değildir. Büyükşehir, il, ilçe belediyeleri, orman genel müdürlüğü, sanayi ticaret bakanlığı ve benzeri pek çok kuruluş, hatta özel kuruluşlar yol projelendirme ve yapım çalışmalarında bulunmaktadır.

Yapım şartnameleri açısından pek çok kurum kendi içinde farklılıklar gösterse de geometrik koşulların alıntılandığı kaynak çoğu zaman Karayolları Tasarım El Kitabı, TSE kaynakları, şehir tasarım rehberleri, fenni şartnameler ve konuyla ilgili diğer teknik kitaplardır.

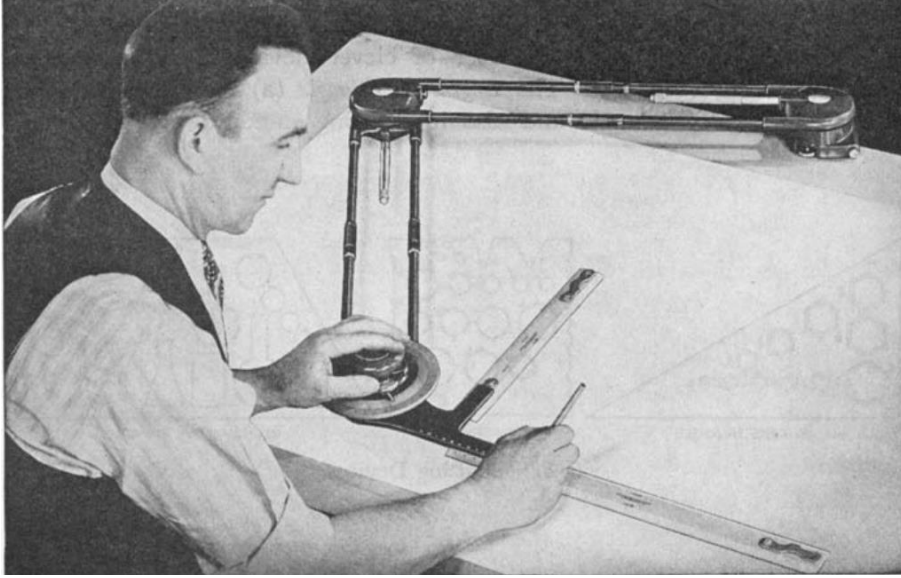
1.3 Karayolu Mühendisliği Tasarım Araçları

1.3.1 Bilgisayar destekli çizim (CAD)

Teknik çizimler oluşturmak tarih boyunca tasarım işlerinin en önemli parçası olmuştur. Bilgisayardan önce bir yapı elemanının tüm özelliklerini tanımlamak için iki boyutlu çizimler kullanılırdı. İki boyutlu (2B) çizimler temelde mühendislik bilgisinin başlangıcına kadar uzanır. Çeşitli zeminlere yapılan bu iki boyutlu çizimler belki de binyıllar boyu mühendislik işlerinin temel taşıydı. Bir ürünü elle tutulur hale getirmek

ya da bir yapıyı ortaya koyabilmek için iki boyutlu çizimler hazırlamak gerekiyordu. CAD programlarının hayatımıza girmesiyle beraber tasarım kabiliyetlerimizi çoğu değişti. Teknik çizim çalışmalarını bir manada optimize edilmiş oldu ama iki boyutlu çizimler tasarımın önemli parçaları olarak devam etti. CAD teknolojilerinin gelişmesiyle beraber üç boyutlu (3B) modellerin yapılabildiği yazılımlar piyasaya sürüldü ama iki boyutlu tasarımlar önemini kaybetmedi [07].

Karayolu mühendisliğinde, diğer mühendislik dallarında ve mimarlıkta olduğu gibi son yirmi beş yıl hariç kalem, kâğıt, şablonlar ve özel ölçü aletleri kullanılıyordu (Şekil 1.3). Plan, boykesit ve enkesit dizaynı aşamalarında modeller iki boyuta indirgenip mühendislik çalışmaları yapılıyordu. Sıfır poligonu hazırlayabilmek için cetvel ve pergel, geçiş eğrisi tasarlayabilmek için özel yapılmış spiral şablonlar mevcuttu. Karmaşık mühendislik hesaplarını yapmak için hesap cetvelleri ya da abaklar vardı, tasarımı bilmek kadar abakları kullanmayı bilmek de önemliydi.



Şekil 1.3: Evrensel çizim masası [8].

Özellikle bilgisayar destekli tasarımın (CAD) hayatımıza girmesiyle ve kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber, tasarımların pek çoğu bilgisayar ortamında hazırlanmaya başlanmıştır.

Geleneksel CAD tasarımında tasarımcının görevi, işveren tarafından oluşturulan talep listesine ilişkin çizimleri hazırlayıp, uygulayıcı için talimatlar ortaya koymaktı. Aynı bir meslek dalı olarak düşünülebilecek teknik çizim sayesinde, tek bir kişi tarafından planlanması ya da çizilmesi mümkün olmayan nesnelerin tasarımı mümkün hale geldi [9].

1940'lı yılların ortalarında bilgisayarlar daha çok askeri kuruluşlar ve bu kuruluşların balistik hesaplarını yapmak için kullanılmıştır. Kompüter (bilgisayar) terimi başlarda, karmaşık matematiksel hesapları elle yapan insanlar için kullanılmıştı. Daha sonraları aralarında IBM'nin de bulunduğu birkaç şirket, büyük endüstri kuruluşlarına, özellikle otomotiv sektörü için, bilgisayarlar üretmeye başladılar. Bununla beraber mühendislik sorunlarını çözmek için programlar geliştirilmeye başlandı. Karayolu tasarımı gibi bazı disiplinlerde bilgisayar programları kullanılıp kolaylıkla paylaşılırken diğer disiplinlerde programlar kişisel gibi muamele gördü [8].

Dr. Patrich Hanratty tarafından yaklaşık 60 yıl kadar önce oluşturulan sayısal kontrol programlama sistemi Pronto, CAD yazılımlarının atası olarak bilinir. Daha sonra Ivan Sutherland tarafından geliştirilen Sketchpad ile kullanıcılar ekrana kalemlerle nesnelere çizebiliyordu. İlk çalışmalarından yaklaşık 10 sene sonra Dr. Patrich Hanratty bu defa Fortran ile yazılmış ve her makinede çalışabilen ADAM programını geliştirdi. 80'lerde CATIA, AutoCAD ve Pro/Engineer kişisel bilgisayarlara taşındı, 1995'te ise pek çok mühendislik dalının çalışmasına olanak sağlayan SOLIDWORKS, Dassault System tarafından üç boyutlu (3B) CAD programı olarak piyasaya sürüldü [10].

Bilgisayar destekli çizimin açık kaynak kodlu programcılığa olanak sağlamasıyla tasarımcılar, her mühendislik dalı için özel araçlar geliştirdi. Önceleri sadece iki boyutta çalışmalar yapılabilen bu programlar hızla gelişerek üç boyutta tasarım yapılmasına da olanak sağladılar. Son 25 yıldır iki boyutlu verileri üç boyuta çevirmemizi ve bunlar üzerinden tasarım yapmamızı sağlayan pek çok araç geliştirilmiştir.

Tasarım aşamasında, eldeki verileri modelleyecek ve mühendislik hesaplarının yapılmasını kolaylaştıracak yazılımlar günümüzde oldukça yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. 2005 yılında yayınlanan bir çalışmada, karayolu projeleri tasarlamak için üç farklı programla modelleme denemeleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sırasında üç farklı tasarım programında sayısal arazi modelleri oluşturulmuş, yatay ve düşey geçki tasarımları yapılmış, hacimsel hesaplamalar yapılmış ve üretilen sonuç veriler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalı verilerin incelenmesiyle karayolu projelerinde yapılan hesaplamaların zaman, doğruluk ve ekonomiklik açısından çok alternatifli olarak üretilebildiği sonucuna varılmıştır [11].

Bir geçki projesi tasarımında ya da geometrik düzenleme projesinde tasarımcının amacı teknik şartnamedeki kriterleri kullanarak optimum çözümü elde etmektir. Bu

yüzden tasarımcılar genellikle önceden hazırlanmış veri setleri, haritalar ve teknik şartname tablolarını kullanırlar, ön tasarımını planladıkları güzergahı oluşturabilmek için ise bu verileri paket programlar kullanarak modellerler.

Son yıllarda kullanılan başlıca paket programlar Autodesk AutoCAD Civil 3D, Bentley Inroads, Netcad Netpro, Carlson Civil gibi sıralanabilir. Bunlara ek olarak geometrik tasarımların geliştirilmesi için kullanılan Autopath ve Autoturn gibi yazılımlar da tasarımcının işini kolaylaştırmaktadır.

1.3.2 Tasarım altlıkları, veri setleri ve kaynaklar

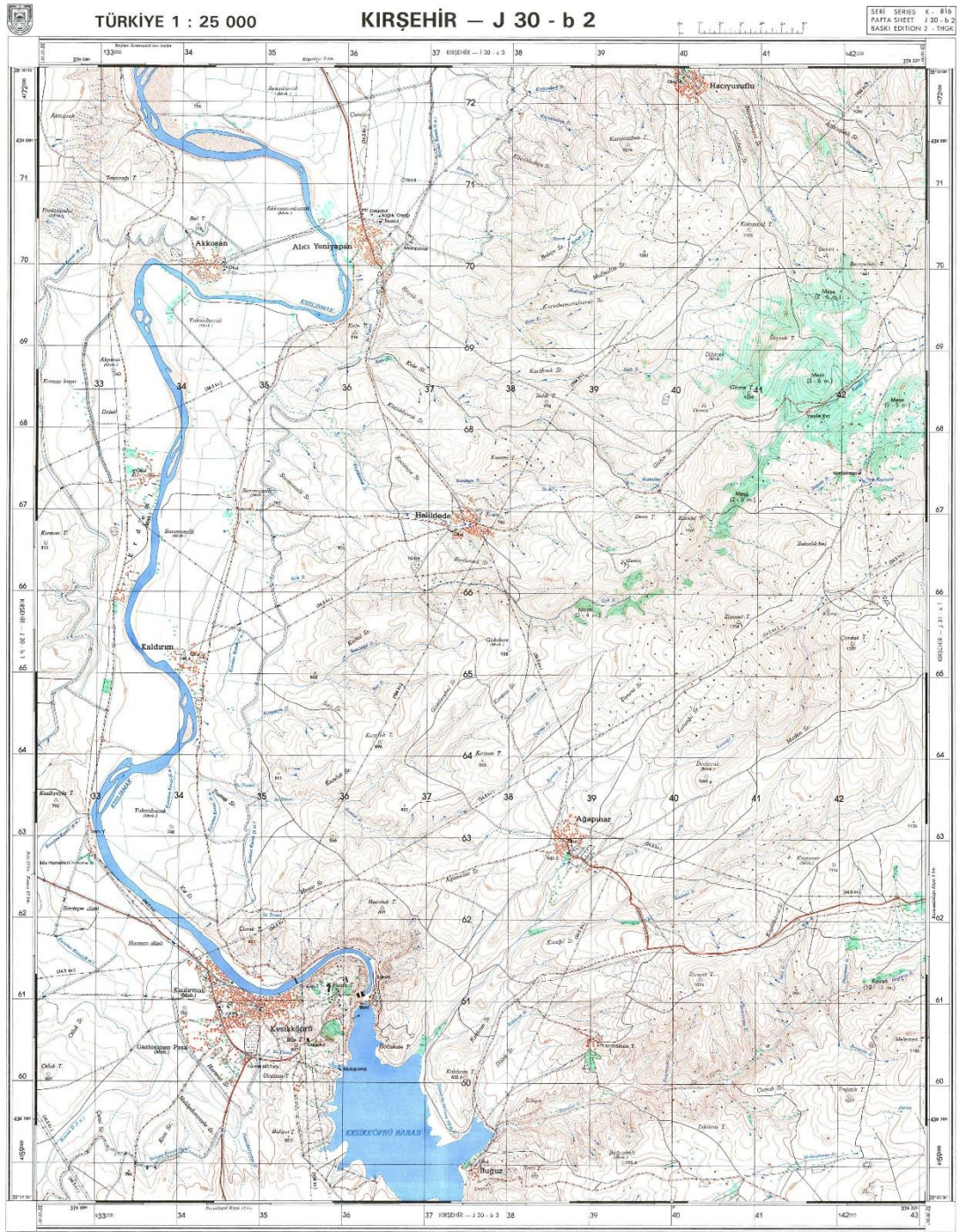
Karayolu projelerinde tasarım aşaması öncesinde diğer kurumlara ait görüşlerin, halihazır verilerin, imal edilmiş üstyapı-altyapı tesislerinin ve çevresel etki rapor verilerinin temin edilmesi gerekmektedir. Elde edilen tüm veriler süperpoze edilerek tasarım altlıkları oluşturulur.

Tasarım işlerinin temelini oluşturacak halihazır altlıkların edinilmesinden ve tasarım kriterlerine karar verilmesinden sonra bu verilerle geçki araştırması yapılmaya başlanır. Yol tasarımında geçilmesi gereken iki nokta arası güzergâh yaklaşık olarak belirlenirken öncelikle ön proje çalışmaları yapılır.

Ön proje çalışmaları sırasında mantıksal geçki tasarlanacağından büyük ölçekli haritalara ya da çok detaylı jeolojik haritalara ihtiyaç duyulmaz. Kaldı ki geçkinin tasarlanacağı alanın tamamında bu çalışmayı yapmak oldukça maliyetli ve zahmetli olacaktır. O yüzden Harita Genel Komutanlığı tarafından hazırlanan (2018 yılında 703 sayılı KHK ile Harita Genel Müdürlüğü, HGM) 10 metre yükseklik hassasiyetine sahip 1/25.000 ölçekli topografik haritalar (Şekil 1.4) ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli jeoloji haritalarından yararlanılmaktadır.

Bu haritalar basılı (raster) olarak üretilmiş olsa da verilerin büyük bir kısmı günümüzde bilgisayar ortamına aktarılmıştır. İşbu veriler bugün sayısal olarak modellenebilmektedir. Çevre Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından internet ortamına aktarılan veriler Atlas [12] isimli (Şekil 1.5) bir platformda toplanmıştır.

Atlas platformunda jeolojik, hidrografik, topografik verilerin yanı sıra çevre düzeni planı, yol örgüsü ve arazi kullanımı haritaları da bulunmaktadır. Bu veriler şimdilik sadece görüntülenebilmektedir, veri aktarımı yapılamamaktadır.

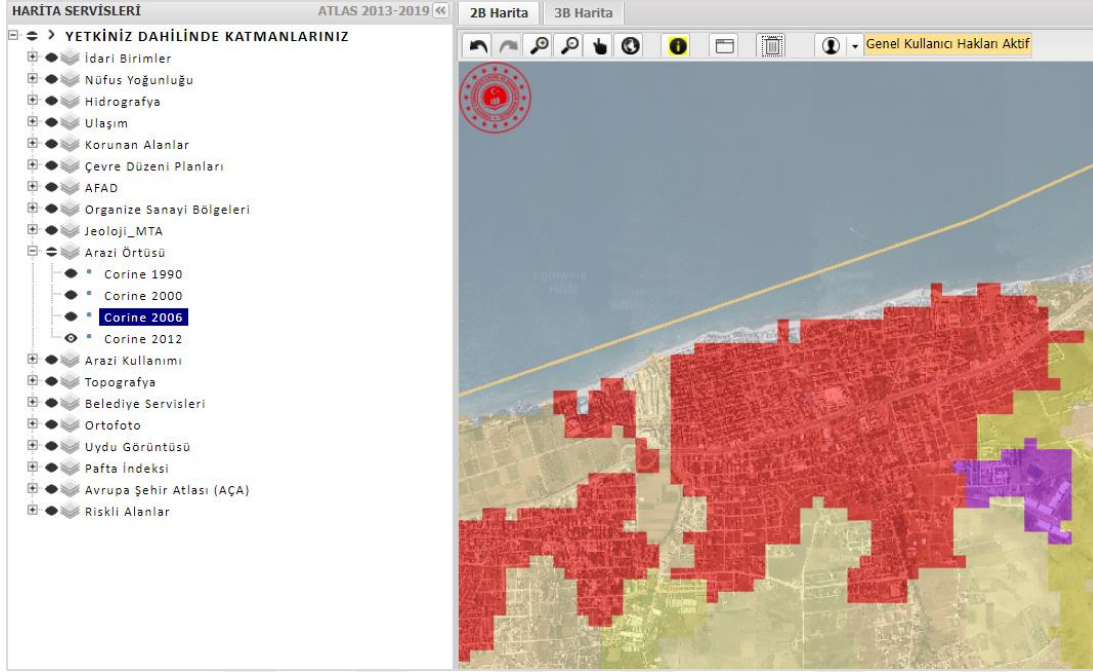


Şekil 1.4: HGK'nın örnek 1/25.000 haritası, J30-b2.

Yüksek hassasiyet gerektirmeyen mühendislik hesaplarında Google Earth ya da Bing Map gibi platformların konum verileri kullanılmaktadır. Google Earth, NASA tarafından yayınlanan Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) kaynağından yükseklik verisi yayınlamaktadır [13].

Atak (2019) tarafından Google Earth haritalarının hassasiyetini ölçmek amaçlı, santimetre hassasiyette yer kontrol noktaları kullanılarak Zonguldak'ta ve metre

hassasiyette ($\pm 1m$ yatay, $\pm 0.5m$ düşey) TSX (TerraSAR-X) yer kontrol noktaları kullanılarak Türkiye genelinde çalışmalar yapılmış, sonuç verilerin sırasıyla Zonguldak ve Türkiye geneli için yatayda $\pm 2.27m$ ve $\pm 2.89m$, düşeyde $\pm 7.05m$ ve $\pm 2.65m$ doğruluklarında oldukları tespit edilmiştir [14].



Şekil 1.5: ÇŞB Atlas portalı harita servisi katmanları [12].

Başka bir çalışma kapsamında El-Ashmawy (2016) Mısır Kahire yakınlarında maksimum kot farkının 5m, 15m, 25m olduğu üç farklı bölgede (çöl ve çıplak arazi) 200'er yer kontrol noktası tesis ederek Google Earth haritalarının düşey doğruluğunu test etmiş ve çalışma sonucunda maksimum mutlak hataların 3.72m, 6,39m ve 8,78m olduğunu, karesel ortalama hatanın ise $\pm 1.85m$, $\pm 3.57m$ ve $\pm 5.69m$ olduğunu tespit etmiştir [15].

Yol geçkileri oluşturulurken jeolojik ve topografik haritalar önemli olduğu kadar tematik haritalar da önemlidir. Örneğin diğer ulaşım sistemlerini gösteren haritalar, göç yolları ya da su havzalarının özelliklerini belirten haritalar da bu çalışmalarda kullanılabilir. Dijital veriler üzerinden devam edilecek olursa, Open Street Map ya da Open Topography gibi açık kaynak kodlu harita üretimine yönelik veri tabanları pek çok özellikleri bakımından ofis işlerini kolaylaştırmaktadır. Bu veriler GIS ortamında işlenebilmekte ve kullanılabilir. Bu veriler GIS ortamında işlenebilmekte ve kullanılabilir.

Bu verilerin yanı sıra Bing, OSM ya da Google gibi içerik sağlayıcı firmalar uzun zamandır sayısal görüntü ve dijital yükseklik modeli verilerini yayınlamakta ve bu

verileri devamlı güncellemektedir. Ülkemizde ise Harita Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan HGM Küre yazılımı ile güncel hava fotoğrafları ve yükseklik verileri kullanıcı ile paylaşılmaktadır.

Daha önce Şekil 1.2 ile de açıklandığı gibi ihtiyaç analizi, planlama, halihazır verilerin temin edilmesinin ardından güzergâh tasarım kriterlerine karar verilmesi gerekmektedir. Planlanan güzergâh öngörülen trafik yoğunluğunun belirlenmesinden sonra yolun geometrik standartlarının belirlenmesi gerekir. Bu aşamada yolun şerit sayısı ve toplam genişliği diğer tasarım kriterlerinin de belirlenmesinde önemli bir rol alacaktır. Arazinin topolojik yapısı ve bölgenin hidrolojik özelliklerinden faydalanılarak maksimum boyuna eğim, enine eğim, tasarım hızı, deyer miktarı ve kavşak tipleri gibi konuların planlanması yapılmalıdır.

Tasarım aşamasına geçildiğinde yol güzergahının sorumluluk sahasında bulunduğu bölgeye göre tasarım yapılmasında yardımcı kaynaklar ya da şartnameler kullanılmalıdır. Örneğin Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluk sahası içinde Karayolları Tasarım El Kitabı [6], Orman Genel Müdürlüğü sorumluluk sahası içinde Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı (Tebliğ No:292) [16] ya da şehir içi yollarda TS7249 – Şehir İçi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esasları [17] teknik kitapları kullanılmalıdır.

1.3.3 Karayolu tasarımı arazi çalışmaları

Güzergâh projeleri tasarımı aşamasında en önemli altlık, hiç kuşkusuz halihazır haritalardır. Her ne kadar Harita Genel Komutanlığı tarafından yapılmış 1/25.000 ölçekli haritalar istikşaf aşamasında yeterli olsa da şehiriçi yolların planlanmasında ya da orman alanlarında yapılacak planlamalarda, bu haritalar yetersiz kalabilir. Bu durumda il ve ilçelerin imar planı ya da kadastro çalışmaları kapsamında hazırlattıkları 1/5.000 ya da 1/1.000 ölçekli halihazır haritalara başvurulur. Ancak bu haritalar da genellikle mücavir alanları kapsadıklarından geçki yapılacak bölgede en azından ön proje yapılabilecek kadar bile topolojik veri bulunmayabilir. Böyle durumlarda en doğru yöntem hava fotogrametrisi yöntemiyle halihazır üretmektir.

Ön proje aşamasında geçkinin henüz nereden geçeceği tam olarak bilinmediğinden gereğinden daha büyük bir alanın topolojik altlığının üretilmesi gerekmektedir. Arazi koşullarının zorlu olduğu bölgelerde yersel alım yöntemleriyle haritalar üretmek aylar sürebilir. Bu nedenle Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği

Beşinci Bölümde belirtilen şartlar doğrultusunda fotogrametrik çalışmalar yapılabilir. Kesin proje aşamasında anılan yönetmeliğe uygun hava fotogrametrisi ürünleri kullanılabileceği gibi, artık güzergâh belli olduğundan şeritvari haritalar da GPS/GNSS teknikleri ya da yersel alım donanımlarıyla (Nivo, Total Station vb. ölçme araçları kullanılarak) üretilebilir [18].

1.3.4 Karayolu inşaatı uygulama işleri ve kontrollük faaliyetleri

Karayolu inşaatı, proje ve şartnamelerin kontrol edilmesiyle başlar. Daha sonra gerekli malzemelerin tedarik edilmesiyle ve arazinin yol inşaatına hazırlanmasıyla devam eder. Bu aşamalar sadece hazırlık aşamalarıdır ancak karayolu inşaatında en önemli aşama mobilizasyondur. İnşaatın yönetileceği alanlar belirlendikten sonra imalat aşamasına geçilebilir.

Yapım işi güzergahın engellerden temizlenmesiyle başlar. Bu aşamada varsa yapılar yıkılır, ağaçlar sökülür, kökler temizlenir ve arazi toprak işi yapmaya hazır hale getirilir. Daha sonra kazı işleri, dolgular, reglaj vb. toprak işleri tamamlanır. Toprak işi sırasında dayanma yapıları ve gerekiyorsa yol şevleri desteklemesi yapılır. Toprak işinin tamamlanmasının ardından sanat yapılarının imalatına başlanır. Uygulama aşamasında bazı sanat yapıları toprak işleriyle entegre yapılsa da köprü, tünel ya da püskürtme beton yapılması gibi işler arazinin şekillenmesinden sonraya bırakılmaktadır. Yol altyapısının tamamlanmasının ardından yol üst yapısının inşaatına geçilir. Öncelikle yolun taşıyıcı katmanları olan temel tabakaları teşkil edilir. Daha sonra asfalt tabakaları imal edilir. Son olarak trafik düzenleme, işaretleme ve peyzaj aşamalarına geçilir. Bu aşamada yol yatay işaretlemeleri (yol boyları, yüzey işaretleri vb.), yol düşey işaretleri (trafik levhaları ve uyarılar), ışıklandırma, sinyalizasyon, oto korkuluk imalatları yapılır. Uygun görülen alanlarda peyzaj düzenlemeleri yapılabilir [19].

Bir karayolu projesi, neredeyse hiçbir zaman tasarım ofisinden çıktığı haliyle araziye uygulanamaz. Bunun başlıca sebepleri olarak araziden gelen verilerin-altyapıların yetersiz olması, proje kararlarının değişmesi, mülkiyet konusunda yaşanan zorluklar, imalat aşamasında ortaya çıkan problemler, malzeme-eleman değişiklikleri ve bütçelerin değişmesi gibi pek çok etken sayılabilir.

Karayolu Tasarımı El Kitabına göre düzeltilmiş projeler “*yola ait kesin ve uygulama projelerine göre yapım çalışmaları sonucunda oluşan değişiklikleri de içine alan ve en son durumu yansıtan proje*” olarak tanımlanmıştır [6].

Düzeltilmiş projelerin üretiminde genellikle iki yönetime başvurulur. Birincisi, imalatı yapan firma çok hassas bir şekilde elindeki projeyi uyguluyordur ve elinde projeye ait ham veriler (model dosyaları, tasarım çalışmaları, tip çizimler) mevcuttur. Bu durumda yapılması gereken eldeki projeyi arazi ölçümlerine ve son imalata göre revize edip düzeltilmiş projeleri üretmektir. İkinci durumda, imalat yapan firmanın elindeki proje verilerine tam olarak uyamıyorsa ya da elinde yeteri kadar ham veri mevcut değilse pek çok değişiklik yapmak suretiyle yapılan imalatın detaylı plankotesini çıkarması ve imalatları süperpoze etmesi daha uygun bir yöntem gibi görülebilir.

Karayolu projelerinde düzeltilmiş projelerin yapılması ve yapılan imalatların denetlenmesi, kontrol biriminin himayesi altında devam eder. Karayolu projeleri yapımın her aşamasında denetlenmektedir. Toprak işleri yapımından önce şev kazıklarının kontrolü, kullanılacak malzemelere uygulanan testler, sanat yapılarının kalıp ve imalat kontrolleri, üst yapı imalatının ölçüm ve incelenmesi denetim aşamasının birer parçasıdır.

Karayolları Teknik Şartnamesi 204. kısım “Yol Kazısı” başlığında, şev kazılarının kayalık zeminlerde ± 10 cm, toprak zeminlerde ± 5 cm’lik farklarla kabul edileceği belirtilmektedir. Ek olarak lokal kesimlerle sınırlı kalmak şartıyla yol kazısında ± 5 cm ve boyuna eğimde $\pm 0,003$ (binde üç) eğim farkının kabul sınırları içinde olduğu not edilmiştir Teknik şartnamenin 206. kısmında bitmiş dolgu kotu ile proje kotu arasındaki farkın ± 40 mm’den fazla olmaması gerektiği vurgulanmıştır. Toprak işlerinin tamamlanıp yol tesviye yüzeyinin düzeltilmesi (reglaj) işlemi için hendek ve platformlarda ± 3 cm kot farkı ile, $\pm 0,001$ eğim farkının kabul edilebileceği belirtilmiştir [19].

Toprak işlerine ek olarak, pek çok yol tasarım elemanı ve bitmiş imalatlar hakkındaki toleranslar şartnamenin ilgili bölümlerinde verilmektedir. Teknik şartnamenin ilgili maddeleri incelendiğinde, prekast elemanların imalatı ve montajı aşamasında, diğer yapı elemanlarının ise yerinde uygulanması sırasında çok hassas çalışmalar yapılması gerektiği görülmektedir.

1.4 Hipotez

Geleneksel tasarım süreçlerine bakıldığında, safhalar arasında bilgi geçirgenliğinin az olduğu, üretilen verilerin ileri aşamalara kayıpsız aktarılamadığı ve bu sebeple sonuç ürünün aslında üretilen düzeyde bilgi zenginliğine sahip olmadığı görülmektedir. Buna ek olarak proje ve yapım işleri şartnamelerinin, henüz yeni teknolojileri kucaklayacak bir yapıda olmadığı da bilinmektedir.

Tüm teknolojileri tek bir çatı altında kullanarak tasarım yapmak, uygulamak ya da hayata geçen projeyi işletmek neredeyse imkansızdır. Ancak, projeleri zaman, maliyet ve kalite bazında efektif olarak planlayabilmek için tüm verileri süperpoze etmek ise çok değerlidir. Veri setleri, doğru sıra ve yeni yöntemler kullanılarak dinamik bir yapıda üretilirse tasarım süreci hızlanır, süperpoze planların içerikleri güçlenir ve çakışma kontrolleri çaprazlanarak en az hata ile proje üretimi yapılabilir. Bu sayede ön tasarımdan işletmeye bütün süreçler bugün yapılanın aksine birbirine dinamik olarak bağlanabilir.

2. İŞ AKIŞI TASARIMINA ETKİ EDECEK YENİ YÖNTEMLER

Bilgisayar teknolojisi akıl almaz bir hızla ilerlemeye devam etmektedir. Her gün yeni bir gelişmeye uyanıyoruz. Bir yandan veri işleme hızları gelişiyor, bir yandan da depolama ve aktarım hızları üst kategorilere geçiyor. Bilgisayar geliştikçe bağlı teknolojilere de yeni ufuklar doğuyor. İlk bilgisayarın kullanılmaya başladığı ilk andan günümüze kadar oda büyüklüğündeki hesap makinelerinden parmak büyüklüğündeki öğrenebilen cihazlara kadar çok uzun bir yol kat ettik. Eskiden yıllar sürebilecek matematiksel hesapları yapmak için artık bir tuş boyu yol kat ediyoruz.

Karayolu mühendisliği önceki konularda da bahsedildiği gibi pek çok disiplini bünyesinde barındırmaktadır. Her bir mühendislik branşının teknolojilerden en üst düzeyde faydalandığı düşünüldüğünde, karayolu mühendisliğinin gelişmelerden etkileneceğini söylemek yanlış olmaz. İşlem kabiliyetlerinin artması ve daha fazla verinin aynı anda süperpoze edilebiliyor olması, karayolu mühendisliğinin iş akışının gelişerek değişmesinin önünü açmaktadır.

2.1 Üç boyutta CAD, Dinamik ve Parametrik Tasarım

Karayolu tasarımı branşının bir mühendislik dalına dönüşmesi, hiç kuşkusuz ihtiyaçları kâğıda dökülecek koşullar ve kurallar bütününe ortaya koyma talebinden meydana geldi. Pek çok dalda uzun zamandır kullanılan teknik çizim bilgileri karayolu mühendisliğinde de kullanılmaya başlandı. Üç boyutlu çizimler ya da izometrik görünüşler kullanılmadan önce karayolu tasarımında sonuç ürünler, projelerin çeşitli görünüşlere indirgenerek kâğıda dökülmesinden ibaretti. Plan görünümü için XY, boykesit görünümü için YZ ve enkesit görünümü için XZ düzlemi kullanılıyordu. Teknoloji ne kadar gelişmiş olsa da üç boyutlu çizimlerin ve akıllı nesnelerin yanında, geçmişten gelen birikmiş bilgilerimiz nedeniyle hala bu formatta veriler üretmeye devam ediyoruz.

Karayolu tasarımını basite indirgeyecek olursak, çizim elemanlarının nokta, çizgi, yay ve eğrilerden oluştuğu görülmektedir. Bu elemanların birleşiminden alansal ve hacimsel elemanlara hesaplarla geçiş yapılabilir. Kısacası, en basit CAD programında

bile karayolu tasarımının yapılabileceği söylenebilir. Geçmişte CAD programlarını kullanan karayolu tasarımcıları, makine parçaları, şehir planları ya da mimari planlar çizen meslektaşlarına benzer şekillerde hızlı sonuç alabilecekleri hazır şablonlar ve bloklar oluşturdular. Daha sonraları açık kaynak kodlu yazılımlar sayesinde bu şablon ve blokları desteleyen ek yazılımlar geliştirildi. CAD tabanlı karayolu tasarımı programları bu sayede özelleşti, içerikleri zenginleşti.

Diğer pek çok meslek dalından farklı olarak, içerisinde hacimsel elemanları barındırması hasebiyle, üç boyutlu tasarıma geçişteki en büyük etkilerden biri karayolu mühendisliğinde yaşandı. Uzun proje boylarında hacimsel elemanların çizilmesi ve malzeme miktarlarının hesaplanması oldukça zaman alıyordu. Tasarımda üçüncü boyutun gelmesiyle plan görünümü ile halihazır altlıklar arasında bir bağ oluşmuş oldu. Böylece hacimsel elemanların hesap yöntemleri hızlandı.

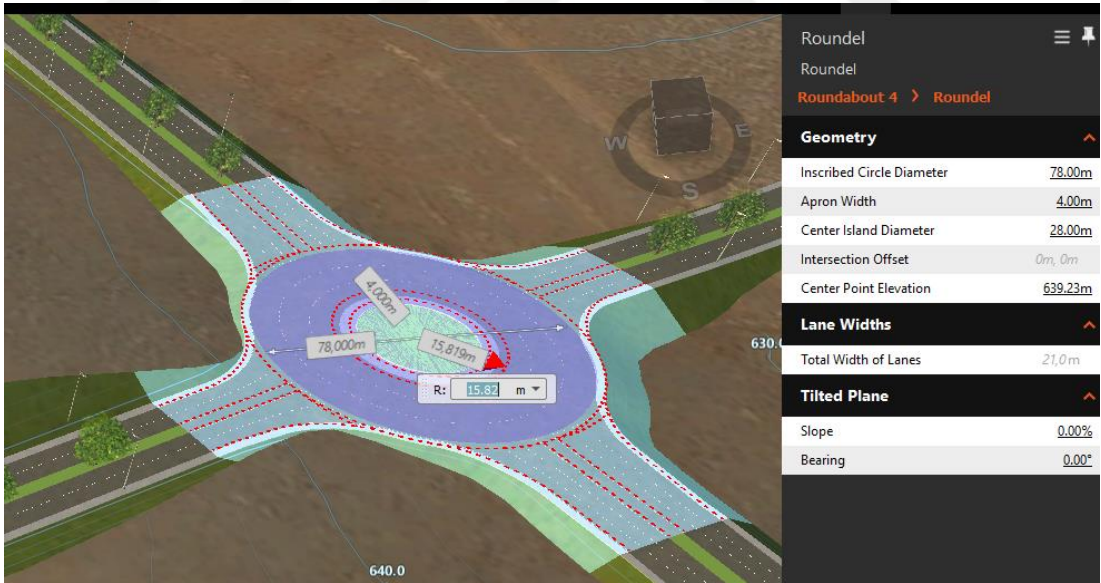
Üç boyutlu tasarımdaki gelişmeler 2000'lerin ilk yıllarında devrimsel bir atılıma evrildi. Karayolu mühendisliği tasarımına uygun pek çok yazılım dinamik içeriklerinden örnekler vermeye başladılar. Yatay ya da düşey güzergahta bir değişim olduğu zaman, değişikliğin enkesitlerde ve aplikasyon elemanlarında eşzamanlı olarak güncellenmesi, dinamik tasarım olarak tanımlanıyordu. Karayolu mühendislerinin tasarım yeteneklerini oldukça geliştiren bu yenilik, iteratif işlemlerin yapılabilmesi ve revizyon sürelerinin azalması anlamına geliyordu. Sayısal yükseklik modeli, iki boyuttaki yatay güzergâh ve bu iki elemanı birleştiren boykesitler birbirleri arasında iletişime geçerek tasarımda sonsuz sayıda olasılığın ortaya çıkmasına olanak sağladılar.

Dinamik tasarım basit bir mantık üzerine kuruludur. Birbirine bağlı her proje elemanı tasarımı gereği bir girdi veriye (input) ve sonuç olarak bir çıktı veriye (output) sahiptir. Bu bilgileri bir veri tabanında tutmak bir sorun olduğu kadar, değişen verileri tasarımın yeni değişkenleri olarak atamak ve işlemleri sıralamak, fazladan bir işlemci gücü gerektirmektedir. Ancak bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde mühendislik tasarımı ve görselleştirme rahat bir şekilde bir arada kullanılabilir hale gelmiştir.

Genel bir çerçeveden bakıldığında bilgisayar destekli çizim, mühendis ve mimarlara pek çok tasarım kriterini esnetme şansı tanımıştır. Özellikleri bilinen nesnelere, tasarım için bir anlam ifade etmez. Aksine, bazı geometrik ve geometrik olmayan özelliklerin tanımlandığı parametrelerin kullanılarak nesnelere oluşturulabiliyor olması, tasarım

için anlamlı hale gelir. Parametreler ve kurallar, basit olmayan geometrik yapıların modellenmesine olanak sağlar. İlk olarak 1980'li yıllarda geliştirilen parametrik modelleme, parametreler ve önceden belirlenen kurallar sayesinde içeriğin değişmesini ve güncellenmesini sağlayan dinamik bir tasarım aracı olarak tanımlanır. Dinamik parametrik tasarımda kullanıcı, bir nesnenin örneğini tasarlamak yerine parametreler ve kurallar kullanarak güncelleyebileceği nesne sınıfı tanımlar ve bu sayede tasarımı özel olmaktan çıkıp tüm diğer tasarımlar için evrensel hale gelir [18].

Son yıllarda pek çok yazılım dinamik ve parametrik tasarımın birleştiği pek çok örnek sunmaktadır. Şekil 2.1 ile gösterilen alanda Infracore programıyla yapılmış bir dönele örneği görünmektedir. Yol birleşimi program kütüphanesinde bulunan araç ve yol sınıflarına göre tanımlanmakta ve çizim parametrik olarak kesişime yerleştirilmektedir. Buna ek olarak, program kullanıcıya sağda görülen menüler uyarınca, parametre kütüphanesinden hazır gelen değişkenleri düzenleyebilme imkânı sunmaktadır. Buradaki parametrelerden biri değiştiğinde seçilen tasarım kriterleri uyarınca, diğer bağımlı değişkenler kırmızı kesikli çizgilerle gösterildiği gibi güncellenmektedir.



Şekil 2.1: Parametrik kavşak tasarımı örneği.

Zaman içinde bilgisayar teknolojisindeki gelişimle beraber, üç boyutlu tasarım, dinamik ve parametrik tasarımla birleşmiştir. Bu sayede karayolu tasarımı aşamasında pek çok alternatif üzerinden kararlar alınabilmekte ve zaman-maliyet optimizasyonu konusunda karar vericiye efektif bilgiler sunulabilmektedir.

2.2 Bulut Bilişim ve Bilgisayar Destekli Tasarım

Kişisel bilgisayarlar ile ilk tanıştığımız zamanlarda, veriler ve programlar çoğunlukla yerel kaynaklarda bulunuyordu. Günümüzde ise artan işlemci talebi, depolama ihtiyacı ve her ikisine birden her an sahip olma isteği, kişisel bilgisayarları oyunun dışına itmeye devam ediyor. Taleplerin artması maliyet ve işletme konularındaki zorlukları da beraberinde getirmektedir.

Bilişim teknolojilerinin gelişmesi, internete ulaşım oranının artması ve veri aktarım hızlarının makul düzeylere erişmesiyle beraber, uzak bilgisayarları depolama ve işlem yapmak için kullanmak daha olası bir hale geldi.

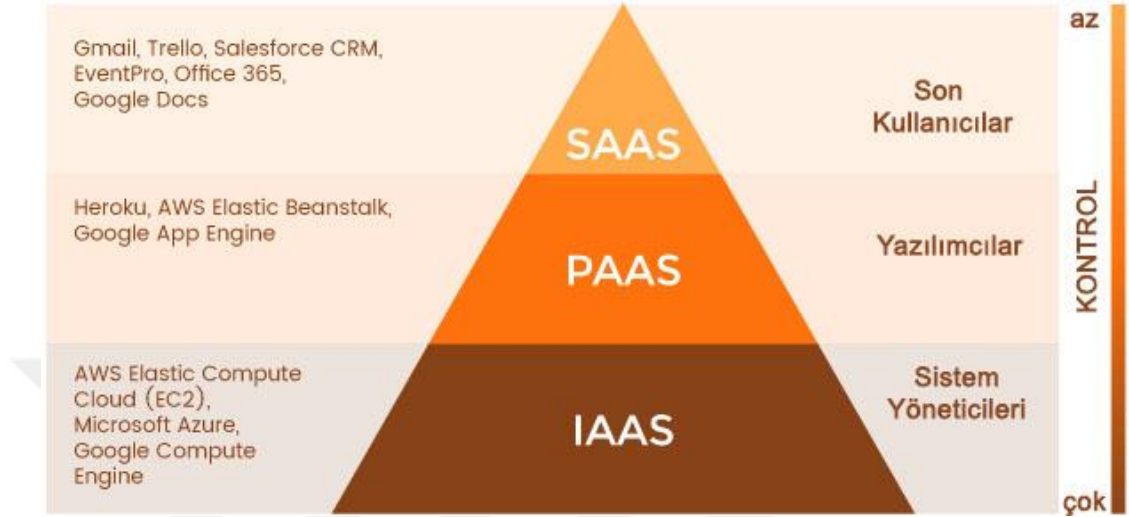
Bulut bilişim (cloud computing), altyapı sahibi kuruluşlar tarafından kullanıcıya bir ağ üzerinden kiralanan ve hizmet gereksinimlerini artırmaya ya da azaltmaya yarayan bir bilişim teknolojisi yapısıdır. Bulut bilişim teknolojisinin kullandığı yüksek maliyetli bilgi işlem teknolojisi, teknik altyapı kurma zorunluluğunu ortadan kaldırır. Böylece taşınabilir cihazlarla internet üzerinden veri erişimine olanak tanıyan ve hesaplamalar yapılmasını sağlayan bir yapı ortaya koyar [21].

Bulut bilişimde, servis sağlayıcılar temelde üç çeşit hizmet verirler [22].

- 1) Servis Olarak Altyapı, (IaaS) (Infrastructure as a Service): IaaS sistemlerde kullanıcılar buluttaki alanlarına istedikleri yazılımı kurar ve çalıştırır. Veri merkezi güvenlik, donanım, güç kaynağı, klima, kesintisiz iletişim ve kullanıcı tarafından talep edilen sistem özelliklerini sağlar [22].
- 2) Servis Olarak Platform (PaaS) (Platform as a Service): PaaS sistemi, IaaS üzerine inşaat edilmiştir ve kullanıcılara ek olarak işletim sistemi, programlama dilleri ve uygulama programı geliştirme olanaklarını sağlamaktadır [22].
- 3) Servis Olarak Yazılım (SaaS) (Service as a Software): SaaS platformunda kullanıcı, IaaS sağlayıcısı tarafından kurulan altyapı üzerinde çalışan bir uygulama yazılımı oluşturur ve bu yazılımın pek çok kullanıcı tarafından eşzamanlı olarak kullanılmasını sağlar. Elektronik posta yazılımları buna örnek olarak verilebilir [22].

Bulut platformlarının çözüm türleri ise kullanım ve ihtiyaçların şekline göre genel bulut, özel bulut, karma bulut ve topluluk bulutu olarak dört şekilde sınıflandırılabilir [23]. Örneğin büyük şirketler ya da kuruluşlar veri güvenliğini ön planda tutmak için

kendi bulut sistemlerini kurarlar ve bu sistemler özel bulut sistemleridir. Benzer olarak Google gibi mail servisi sağlayıcıları doğrudan bağlantılar sunmadan sadece kendi altyapılarını kullanıcıların belli kriterlerle erişebileceği genel bulut platformunda barındırırlar (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Bulut bilişimin temel hizmetleri [24].

Karayolu tasarımında kullanılan pek çok yazılım, sistem kaynaklarının oldukça büyük bir bölümünü harcamaktadır. Bu yüzden bir tasarım ofisinde her bir kişisel bilgisayar için sistemleri optimize etmek oldukça maliyetlidir. Buna ek olarak son zamanda yazılım firmaları ömür boyu lisanslar satmak yerine, belli zaman dilimleri için kiralama yoluna gitmektedir. Bir tasarımcının tüm proje boyunca harita üretim, uygulama projeleri, görselleştirme ve raporlama için farklı yazılımları kullandığı düşünülecek olursa, lisanslama ücretlerinin toplamda oldukça büyük bütçelere ulaşacağı aşikardır.

Son yıllarda pek çok çizim yazılımı bulut platformları üzerinden hizmet vermeye başladığını duyurmaktadır. Bunun yanı sıra bazı bulut platformlarında da CAD yazılımları kiralanabilmektedir. Örnek olarak Frame platformu (<https://fra.me>) [25] üzerinde Autodesk, Bentley, Microsoft, Adobe, ANSYS, Siemens ve SOLIDWORKS yazılımlarının bir kısmı kullanılabilir.

Mimarlık ya da kentsel planlama hizmetleri veren tasarımcılar çeşitli üç boyutlu yazılımlarda görsel modeller hazırlamakta ve bunları yüksek çözünürlüklü resimlere ya da animasyonlara (render) çevirmektedirler. Bu işlem, birkaç dakikalık bir film için günlerce sürebilmektedir. Tasarımcılar, kısıtlı kaynaklarını kullanmak yerine, sahneleri bir bütün olarak uzak bilgisayar parklarına (render farm) yönlendirmektedir.

Böylece tasarımcılar görsellerin üretilme süresini kısaltmakta ve yüklü ilk yatırım maliyetinden kurtulmaktadır.

Bulut platformlarının profesyonel yazılımlar ve hizmetler için kullanımı pek çok avantaj sunmaktadır. Bu avantajlar kısaca Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1: Bulut platformuyla yerel çalışma ağının karşılaştırılması [26].

	Bulut Platformu	Yerel Çalışma Ağı
Esneklik	Kullanıcılar basit bir cihazla internet bağlantısı olması koşuluyla her yerden çalışabilirler	Kullanıcılar programların kurulu olduğu bilgisayarlara ve yerel kayıtlı dosyalara bağımlıdır.
Bakım	Bulut üzerindeki bilgisayarda güncellemeler zamanlı yapılır	Kullanıcılar güncellemeleri indirip yüklemelidir.
Maliyet	Tüm sistem abonelik esasına göre ücretlendirilir. Kullanılan miktar kadar ödeme yapılır.	Yazılımlar abonelik esasına göre kullanılsa bile altyapının ilk yatırım maliyeti vardır.
Ortak Çalışma	Aynı belge üzerinde aynı anda işlemler yapılabilir	Her bir kullanıcı kendi verileri üzerinde çalışır, ortak çalışma için dosya değişimi gerekir.
Dosya Sürümleri	Dosyanın tek bir doğruluk kaynağı vardır, sürümleri görmek için süresiz geri alınabilir.	Kullanıcılar dosya sürümlerini manuel olarak takip eder

Bu avantajların yanı sıra bulut bilişim kullanımının olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Servis sağlayıcıya veri aktarımı kesildiğinde tasarım süreçleri aksayabilmekte ya da güvenlik sorunları yaşandığı zaman veriler kaybolabilmektedir. Verilerin başka ülkelerde depolanıyor ve işlem görüyor olması siyasi sebeplerle kesintiye uğramasına yol açabilmekte ya da iflas, kriz vb. ekonomik şartlar sebebiyle veri aktarımında kesintiler yaşanabilmektedir [22].

2.3 Nokta Bulutu Üretme ve Nokta Bulutlarıyla Çalışma

Nokta, geometrinin ve dolayısıyla haritacılığın en temel yapı taşıdır. Bir nokta üzerinde bulunan bilgiler sayesinde pek çok şey anlatılabilir. Herhangi bir tanımdan bağımsız tek bir nokta uzayda konum bilgilerini bize aktarmaya yarar. Harita üretiminde noktalardan iki boyuttaki çizgi ve yaylara, derinlik bilgisiyle üç boyutlu tanımlara geçiş yapılabilir.

Klasik ölçme yöntemlerinde, alım yapılan yüzey belli sıklıkta noktalarla tasvir edilir. Nokta birleşimlerinden ise alanlar ve nesnelere şekillendirilir, haritalar oluşturulur. Tasarımda da durum değişmez, projeler uygulanacakken harita alımlarına tersine mühendislik yapılır, bu işlem kısaca aplikasyon olarak tanımlanır. Klasik yöntemlerde alım ve aplikasyon işlemlerinde araziye ya da projeyi en doğru betimleyecek sıklıkta nokta alınır, fazlasına gerek duyulmaz.

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerle, nesnelere daha iyi şekillerde tanımlamak amacıyla nokta bulutu teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır. Nokta bulutu, uzayda bir dizi noktayı tanımlar [27]. Nokta bulutları, tekil noktaların aksine bir araya geldikleri zaman anlamlı hale gelmektedir ve bir araya geldikleri zaman bir nesnenin dış yüzeyini tanımlarlar. Nokta bulutları oluşturmak için, fotogrametrik yöntemler, radar ya da lazer tarayıcılar gibi temassız optik sayısallaştırma yöntemleri kullanılabilir. Ölçüm prensiplerinden bağımsız olarak sayısallaştırılmış bir yüzeyin topografyasını sunabilen milyonlarca nokta birkaç saniye içinde üretilebilir. Ancak yoğun ve hızlı üretilen veri büyük alanlarda milyarlarca nokta ve yüksek veri büyüklükleriyle baş edilmesi anlamına gelir [28,29]. Bu sebeple yapılacak işe göre, en uygun cihazlarla, en uygun yöntemlere göre alımlar yapılmalı, gerekiyorsa nokta bulutlarının detayları (LoD, Level of Detail) kullanımdan önce azaltılmalıdır. Örnek bir çalışma olarak Şekil 2.3 ile bir nesnenin 125 bin ile 2 milyon arasında değişen yoğunlukta nokta bulutlarının ayrıntı seviyeleri (LoD) verilmiştir.



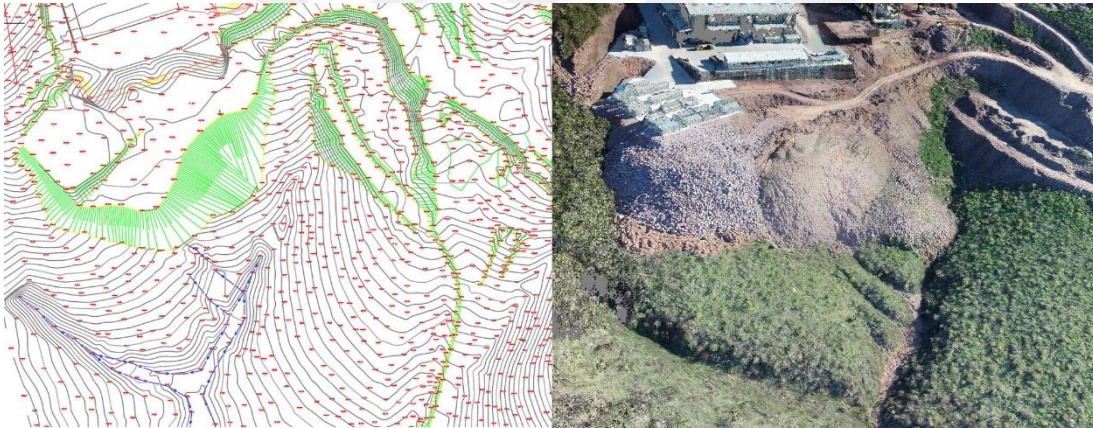
Şekil 2.3: Çeşitli ayrıntı seviyelerinde (LoD) nokta bulutları [28].

Yılmaz ve Uysal (2015) tarafından yapılan bir çalışma ile LIDAR yönetimiyle edilen bir nokta bulutunun sayısal yükseklik modeli doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında araziden alınan yaklaşık 2.3 milyon noktalık (~5.1 m²/nokta) bulutun %1, %5, %25, %50 ve %75'lik kısımları alınarak alt veri setleri

oluşturulmuştur. Kriging enterpolasyon yöntemi ile seyrekleştirilen noktalardan sayısal yükseklik modelleri oluşturularak tüm veri setiyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak %75'lik veri için KOH= ± 6 cm (kaba ortalama hata) ve %1'lik veri için KOH=1.59m bulunmuştur [30].

Dolayısıyla bir nesneyi ya da yeryüzü şeklini tanımlamak için ne kadar çok nokta olursa detay okumaları o kadar net yapılabilir. Ancak nokta yoğunluğu, aynı zamanda üzerinde işlem yapmayı zorlaştıran dosya büyüklüklerine erişmemelidir. Yersel LIDAR Yöntemi ile Kadastral Detay Ölçmeleri, Üretimi ve Kontrol Esasları [31] ile metrekareye en az 100 nokta düşecek şekilde detay alımlarının yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Nokta bulutu ve plankote alımlarının karşılaştırılması için bir örnek Şekil 2.4 ile verilmiştir. Çizimi yapılmış plankote verisi belirtilen alan için yaklaşık bin noktadan oluşurken, aynı alan, nokta bulutu verisinde üç milyon nokta ile temsil edilmektedir.



Şekil 2.4: Plankote (sol) ve yoğun nokta bulutu (sağ) verileri.

Plankote verisini okumak ve anlamak için en azından basit harita bilgisi gerekirken, nokta bulutu verisi neredeyse katı bir model ve fotoğrafın birleşimi şeklinde görünmektedir. Nokta bulutunu oluşturan noktalara renk bilgisi (RGB) de eklenebilmektedir. Bu sayede yoğun nokta bulutu verileri neredeyse gerçek bir model gibi görünmekte, okunurlukları üst derecede kolaylaşmaktadır.

2.4 Fotogrametri ve İnsansız Hava Araçları

Yeryüzü şekilleri üzerinde ölçümler yapmak, yapılan ölçümleri çeşitli hesaplar ve metotlar kullanarak iki boyutlu düzleme aktarma işlemi insanoğlunun asırlardır üzerine çalıştığı ve geliştirdiği konulardan bir tanesidir. 1963 yılında Konya ilinin

güneydoğusunda, Çumra ilçesi yakınlarında yapılan kazı çalışmalarında, dünyanın en eski haritası olarak bilinen Çatalhöyük şehir planı, yaklaşık 8200 yıl sonra gün yüzüne çıkarılmıştır [32].

Harita üretim yöntemleri, başlarda sadece yersel ölçümlere dayansa da daha geniş coğrafyaların haritalarının yapımı arzusu, uzaktan algılama tekniklerinin ve fotogrametrik yöntemlerin bulunmasına aracı olmuştur. Büyük alanlarda yersel yöntemlerle harita üretmek hem zahmetli hem de maliyetli bir yöntemdir. Hatta tüm yeryüzünü yersel yöntemlerle haritalamak neredeyse imkansızdır. Tarihte bilinen ilk fotoğrafın Niepce tarafından çekildiği 1827 tarihinden sonra, fotoğrafı harita üretimi amacıyla kullanma girişimleri ortaya çıkmış, balon, uçurtma hatta güvercinler bu vesileyle fotogrametrik araçlar olarak kullanılmıştır. Uçağın icadı, dünya savaşı dönemleri ve roket çalışmaları, hava fotogrametrisi fikrinin önemli derecede gelişmesine katkıda bulunmuştur [33].

Ülkemize, dönemin Harita Genel Komutanı Mehmet Şevki Paşa, 1926 yılında Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ISPRS) çalışmalarına katılmış ve bu süreç Bakanlar Kurulunun 1974 ve 1984 yılında aldığı kararlarla Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği'nin (TUFUAB) kurulmasına öncü olmuştur [32].

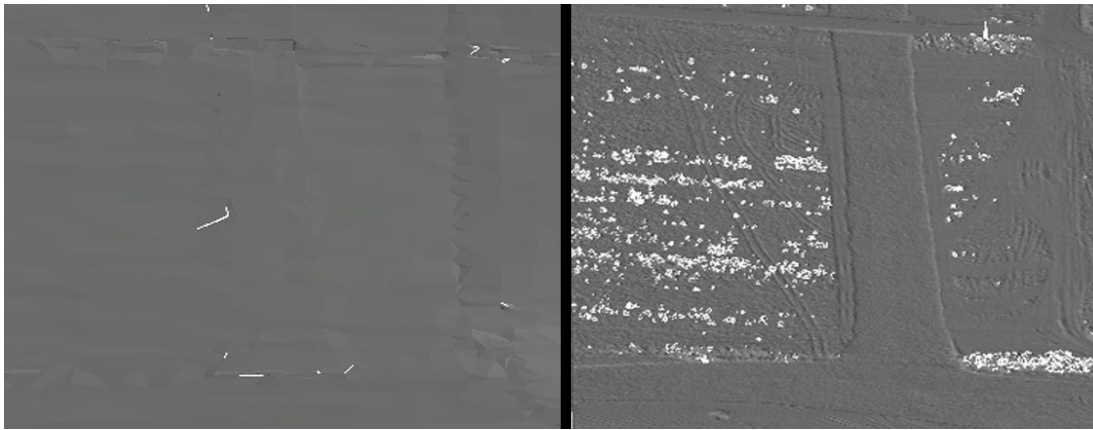
20'nci yüzyılın ikinci yarısından sonra Sovyetler Birliği (Sputnik-1) ve Amerika Birleşik Devletleri (Landsat-1) tarafından uzaya gönderilen uydular, yersel gözlemlerin yapılmasını amaçlayan uzaktan algılama dönemini başlatmış oldu [35]. Böylece hem harita yapımı hem de yükseklik modellerinin üretilmesinde önemli aşamalar kaydedildi.

İlk zamanları analog kameralar ve askeri uçaklarla yapılan hava fotogrametrisi şimdilerde yerini yüksek hassasiyetli İnsansız hava araçlarına (İHA) ve yüksek çözünürlüklü dijital kameralara bırakmıştır. Sivil havacılık sektöründeki gelişmeler, fotoğraf teknolojisindeki yenilikler ve GPS (Global Konumlama Sistemi) tekniğinin de sivil kullanıma açılmasıyla beraber, hava fotogrametrisi yöntemi, harita üretim yöntemleri arasında vazgeçilmez bir yere sahip olmuştur.

Pek çok kurum ve kuruluş halihazır haritaların yapılmasında fotogrametri ile harita üretim tekniklerini kullanmaya başlamış, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğinde özellikle de dijital fotogrametri uygulamalarına ilişkin

standartların yayınlamasıyla bu süreç hız kazanmıştır. 1983 yılında kendi haritalarını klasik yöntemlerle üretmeye başlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), 1987 yılında fotogrametrik yöntemlerle 1:1000 ölçekli haritalar üretmiş, 1995 ve 1999 yıllarında iki çalışma daha yaptıktan sonra 2005 yılında ilk defa dijital hava kamerasıyla (Vexcel UltraCamD) ortofoto haritalar üretmiştir [36]. İBB bu tarihten beri 1:1000 ve 1:5000 ölçekli halihazır haritaların üretiminde fotogrametrik yöntemleri kullanmaktadır.

İstikşaf aşamasında 1:25000 ölçekli haritalar üzerinden yapılan çalışmalar, bazı bölgelerde halihazır paftalar önceden üretilmiş olduğundan 1:5000 ve hatta 1:1000 ölçek hassasiyetinde yapılabilmektedir. Karayolu projelendirmesinde yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarının ve hassas arazi modellerinin kullanılması şüphesiz tasarımcıların işini oldukça kolaylaştırmaktadır. Gerek haritacıların başvuru kaynağı Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde (BÖHHBÜY) gerekse Karayolları Genel Müdürlüğü Etüt Proje ve Çevre Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan Karayolları Yersel ve Fotogrametrik Harita Mühendislik Hizmetleri İşlerine Ait Teknik Şartnamesinde [34] "Fotogrametri Çalışmalar" başlıkları altında, fotogrametrik haritaların yapım yöntemleriyle ilgili hususlar belirtilmiştir. Ancak teknolojik ve mekânsal bazı talepleri artık karşılamayan bu şartnamelere ek olarak, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2018 yılı sonunda İHA (İnsansız Hava Aracı) ve LIDAR (LIght Detection And Ranging) sistemlerinin detay ölçmeleri, harita üretimi ve kontrol esaslarında kullanılabilmesine ilişkin düzenlemeler yayınlanmıştır. Böylece mevcut durumda pek çok harita bürosu tarafından kullanılan ya da bazı kurumlar tarafından geçerliliği kabul edilen ve hassasiyeti uygun görülen İHA'lar yasal mevzuatta yerini almış oldu.



Şekil 2.5: Sıyırma kazısı yapılmış bir alanda plankote (sol) ve nokta bulutu (sağ).

İHA ve LIDAR kullanılarak hassas ve yoğun nokta bulutu verileri oluşturulabilmektedir. Halihazır haritaların veri yoğunluğuna bakıldığında nokta bulutları yanında pek tatmin edici olmadıkları görülür (Şekil 2.5). Bunun sonucu olarak tasarımcılar, söz konusu yoğun olmayan nokta bulutu üzerinden örneklemeler yaparak sonuç ürünü tasarlamaya çalışmaktadır. Tasarımcıların harita okuma teknikleri ne kadar gelişmiş olsa da halihazır haritalarda bazı veriler anlaşılabilir değildir. Bu durum özellikle alımı yapılamayan sık ormanlık, bataklık ya da apik yer şekillerinin olduğu alanlarda, tasarım hatalarının yapılabilmesine sebep olmaktadır.

İnsansız hava araçları basitçe, üzerinde motor, güç üniteleri, kamera (ya da algılayıcılar) ve haberleşme sistemlerinin bulunduğu bir cihaz ile uzaktan yönlendirmelerin yapılmasını sağlayan kontrol ünitesinden meydana gelen, pilotunun araçtan uzak olduğu bir yapı olarak tanımlanabilir. Diğer pek çok teknolojik gelişmede olduğu gibi askeri amaçlarla belirgin ilerleme gösteren sistem, özellikle pilot kayıplarının azaltılması amacıyla soğuk savaş döneminde keşif uçuşlarının yapılmasında kullanılmıştır. Hava fotogrametrisinin yapıldığı uydu, balon ya da uçaklara göre oldukça uygun ilk yatırım maliyetine sahip olan İHA'lar, aynı zamanda düşük işletme maliyeti ile de dikkat çekmektedir [35,36].

İnsansız hava araçlarının kullanılması, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından şartlara bağlanmıştır. Buna göre hem pilotun uçurduğu aracı kullanma ehliyetine sahip olması hem de kullanılan İHA'nın Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) veritabanına kayıtlı olması gerekmektedir.

İHA'ları pek çok şekilde sınıflandırmak mümkündür. İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı'na (SHT-İHA) [38] göre İHA-0, İHA-1, İHA-2 ve İHA-3 olmak üzere dört sınıf vardır. Buradaki farklılıklar azami kalkış ağırlığından ileri gelmektedir ve her biri için ayrı pilotluk eğitimleri gerekmektedir. Bunun yanı sıra İHA'lar kullandıkları kullanım alanına, kontrol sistem tipine, uçuş kurallarına, uçuş alanı sınıfına, araç tipine, kanat tipine, kalkış/iniş tipine, motor tipine, yakıt türüne, yakıt tankı tipine, yakıt sisteminden faydalanma sayısına, kalkış ağırlığı-uçuş süresi-menzil-irtifa durumuna, uçuş yarıçapına irtifasına ve araç fonksiyonlarına göre sınıflandırılabilir [39]. Bu on altı sınıflandırma metodu, kullanım amacına göre İHA'ların özellikleri bakımından kategorize edilmesine yardımcı olur. Haritacılık faaliyetlerinde kullanılan İHA'lar ise, hava fotogrametrisine uygun yapıda ve özelliktedirler. Gençerk'e göre

(2016) fotogrametride kullanılan İHA'lar üç ana başlık altında sınıflandırılabilir (**Çizelge 2.2**).

Çizelge 2.2: İHA'ların sınıflandırılması [37].

Gövde Tipine Göre	Havada Kalış Süresine Göre	Veri Toplama Biçimine Göre
Döner Kanatlı (Rotary wings)	Uzun süre havada kalabilen (Long endurance) (>3 saat)	Yersel kaynaklı GPS
Sabit Kanatlı (Fixed wings)	Orta süre havada kalabilen (Mid-Endurance)(1~3 saat)	Gerçek zamanlı ölçme (GPS-RTK/PPK)
	Kısa süre havada kalabilen (Short Endurance) (<1 saat)	

İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri ile Kadastral Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları başlıklı yönetmelik eki ile genel kullanım kriterleri, donanım ölçütleri, üretim kıstasları, genel kontrol şartları ve arşiv koşulları belirlenmiştir [40].

Donanım ölçütlerine ilişkin maddeler incelendiğinde, beşinci madde ile kamera çözünürlüğünde, altıncı madde ile RTK ya da PPK ile GPS anteni konusunda sınırlamalara gidildiği görülmüştür. Buna ek olarak, C maddesinde yer kontrol noktalarının maksimum 400 metre aralıklarla ve C4 derece nokta hassasiyetinde ölçülmesi gerekliliği ifade edilmiştir. BÖHHBÜY ile belirtilen şartlarda ölçüm yapılacak tarihler ve hava şartları için öneriler yapılmış ancak bu tarihler dışında ölçüm yapılabilmesi durumu, idarelerin inisiyatifine bırakılmıştır [40].

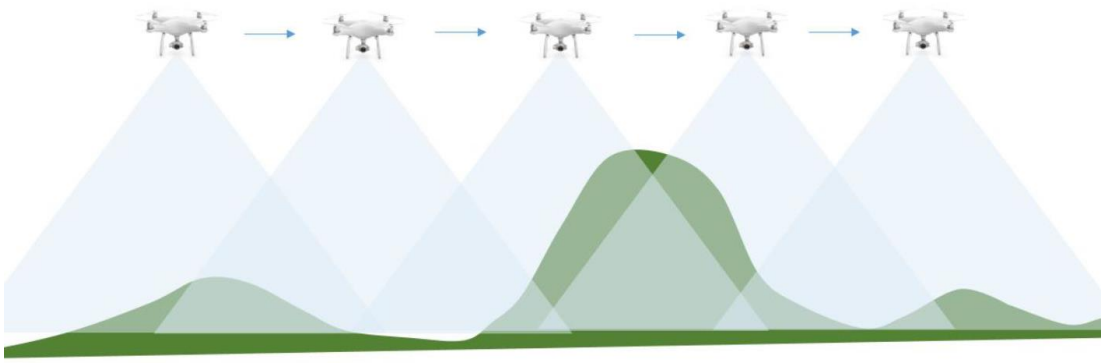
Son dönemlerde harita üretimi işlerinde sıkça kullanılan İHA'lar, karayolu tasarımı yapılması planlanan pek çok zorlu arazi koşulunda başarıyla çalışmışlardır. Uçuşa izin verilen ve GPS sinyalinin yeterli olduğu tüm alanlarda, yönetmelik uyarınca halihazır haritaların üretiminde İHA'lar kullanılabilir. Buna ek olarak sağladığı avantajlar bakımından İHA'ların karayolu mühendisliğine altlık oluşturacak çalışmalara katkıda bulunduğu alanlar şu şekilde sıralanabilir.

- Trafiğin yoğun olduğu ya da hızlı aktığı plankote yapılamayan alanlar
- GPS sinyalinin alım için çok yeterli olmadığı ya da yersel ölçümlerde görüşün düşük olduğu alanlar ve vadi tabanlarının alımı
- Arazide girilmesi mümkün olmayan su kenarı, bataklık ya da sık çalılık alanlar
- Hızlı hareket edilmesi gereken ve yüksek hassasiyet gerektirmeyen ön proje çalışmaları

- Ekipman ve iş gücünden tasarruf sağlanabilecek kavşak tasarımı gibi küçük proje alanları

Yukarıda sayılan örneklerin çoğaltılması mümkündür. Hassasiyetin düşük olduğu çalışmalarda en basit araçlarda bile, bir çalışma altlığı elde edilebilir. Sonuç ürün mühendislik çalışmalarında kullanılmasa dahi sunum ya da iş ilerleme raporlarında görsel amaçlı kullanılabilir.

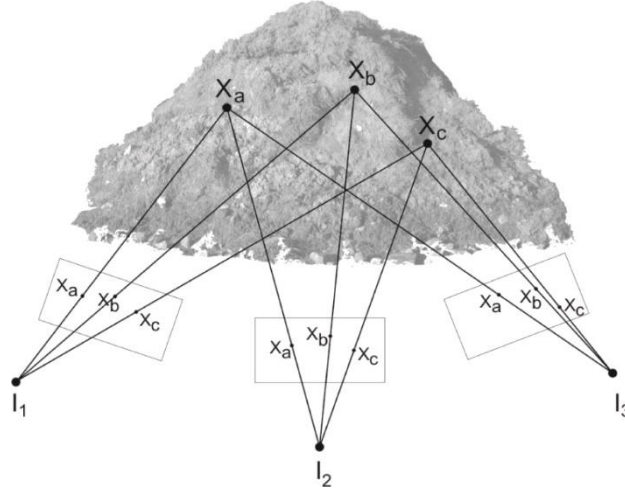
İnsansız hava araçları yardımıyla alınan hava fotoğrafları üzerinden (Şekil 2.6) paket programlar yardımıyla ortomozaik, nokta bulutu, sayısal yükseklik modeli (SYM, DEM), örgüler (mesh) ya da çoklu yüzler (polyface) elde edilebilir. Son zamanlarda piyasada sıkça kullanılan paket programlar Pix4D, ReCap Pro, Agisoft Photoscan ve DroneDeploy olarak sıralanabilir. Bu programların bazıları bulut tabanlıdır ve işlemler uzak bilgisayarlarda yapılır.



Şekil 2.6: İnsansız hava araçlarıyla alımlarda fotoğraf bindirmeleri [41].

Hava fotoğraflarından alınan veriler işlenirken son zamanlarda yoğunlukla Structure-from-Motion (SfM) tekniğini kullanılmaktadır. SfM tekniği, farklı bakış açılarından alınan fotoğraf serilerinde eşleşen özellikleri tanımlamaya (Şekil 2.7) ve eşlenik özelliklerden üç boyutlu modeller oluşturmaya yarar. Yapılan birçok çalışma, SfM'nin çok yüksek çözünürlüklü üç boyutlu nokta bulutları ve İHA görüntülerinden yüzey modellerinin üretilmesi için başarıyla kullanılabildiğini göstermiştir.

Özcan tarafından (2017) yapılan bir çalışma kapsamında, insansız hava araçları ile farklı alanlarda ve farklı yüksekliklerden SfM tekniği kullanılarak üretilen sayısal yüzey modellerinin (SYM) doğrulukları test edilmiştir. Çalışma sonunda üretilen ortofotoların yatay doğruluklarının $\pm 5-6$ cm mertebesinde oldukları, yoğun nokta bulutları üzerinden yapılan kontrollerde ise düşey doğruluğun ani kot değişimleri olan bölgeler hariç $\pm 1-6$ cm mertebesinde olduğu belirtilmiştir [42].



Şekil 2.7: Model üzerinde fotoğraf serilerinden oluşturulan ortak noktalar [43].

Tercan tarafından (2017) yapılan bir çalışmada Bucak-Kocacaliler karayolunda insansız hava araçları ile üretilen sayısal arazi modelinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Belirlenen yol kesimleri arasında toprak işleri bakımından yersel ölçümlerle karşılaştırmalar yapılmış ve toplam dolgu miktarında %11, yarma miktarında %1'lik farkların olduğu belirtilmiştir. Buna ek olarak yapılan çalışmalarda yersel alım yöntemleri ve fotogrametrik yöntemlerle elde edilen sayısal yükseklik modellerinin uyduğu tespit edilmiştir [44].

2.5 Lazer Tarayıcılar

Lazer tarayıcı, bir nesne ya da ortamı şekli ve görünümüyle, veri toplamak amaçlı üç boyutlu (dijital nokta bulutları) analiz eden bir cihazdır [45]. Lazer (laser), uyarılmış radyasyon emisyonu ışık amplifikasyonu (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) kelimesinin İngilizce kısaltması olarak tanımlanmaktadır [46].

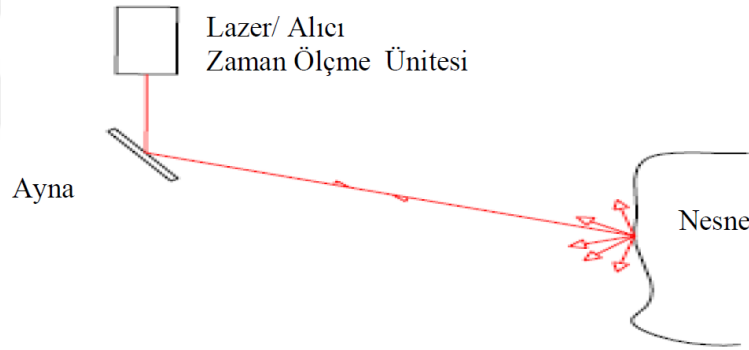
2000'li yıllarda ölçme yöntemlerinde kullanılması adına yoğun şekilde üzerine araştırmalar yapılan teknoloji, hızlı ve ekonomik bir şekilde yüzey şekilleri ve nesnelere üç boyutlu modellerinin üretilmesi için kullanılmaktadır. Çalışma prensibi bakımından total station teknolojisine benzer bir yapıya sahip olan lazer tarayıcılar, sistematik bir şekilde yapılan ölçümler sayesinde nesnelere yüzey şekillerini üç boyutlu koordinatlar şeklinde elde etmektedir [47]. Böylece nesne ve şekiller ile ilgili yerel ya da bağıl koordinat sistemlerinde nokta bulutu verileri üretilebilmektedir.

Tarama işleminde öncelikle, ölçülecek mekân ya da nesnenin en iyi tanımı için tarayıcı konumlarına karar verilir. Daha sonra bu konumlardan alınan nokta bulutu kümeleri

birleştirilerek, bütüncül bir nokta bulutu verisi elde edilir. Tarama esnasında hedef ürün dışında etraftaki her alanın alımı yapıldığından, konu dışı nokta verisi temizlenmelidir [48].

Lazer tarayıcılar kullandıkları ölçüm metotları bakımından lazer ışınının gidiş-geliş zamanına göre işlem yapan tarayıcılar, faz karşılaştırma metoduyla işlem yapan tarayıcılar ve triangulasyon metoduyla işlem yapan tarayıcılar şeklinde üç farklı sınıfta toplanabilir [47].

Işının geliş gidiş zamanına göre (ToF, time-of flight) işlem yapan tarayıcılar, cihazla nesne arasında yolculuk yapan ışığın seyahat süresini ölçerek mesafe tayini yapar (Şekil 2.8). Bu tür tarayıcıların en avantajlı oldukları yer, uzun mesafe ölçümlerdir ancak, faz karşılaştırma metoduyla (PS, phase-shift) ölçüm yapan cihazlara nazaran daha seyrek nokta bulutu üretirler. ToF teknolojisini kullanan cihazlar genellikle karayolları ve düzeltilmiş proje (As-Built) yapımında kullanılırlar [48].



Şekil 2.8: Uçuş zamanı (ToF, time-of flight) prensibi çalışma yöntemi [47].

2012 yılında kültürel mirasın belgelenmesine yönelik yapılan bir çalışma sırasında ToF yöntemiyle alım yapan Leica C10 ve PS yöntemiyle alım yapan Faro Photon 80 modellerinin ölçümler sonucundaki geometrik doğrulukları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, PS temelli tarayıcıların mimari çalışmalar için daha uygun olduğu ancak yeni nesil bir ToF tarayıcının, bu tarz çalışma alanlarında en az PS temelli tarayıcılar kadar iyi performans sergilediği ortaya konulmuştur [49].

Lazer tarayıcılar ulaştırma mühendisliği faaliyetlerinde oldukça efektif şekillerde kullanılabilir. Halihazırda tarama teknikleri, düzeltilmiş proje ve öncesi-sonrası karşılaştırmaları için kullanılmaktadır. Bu tekniklerin kullanılabileceği alanlara örnek olarak karayolu taramaları sayesinde yol yüzeyindeki bozulmaların modellerle

karşılaştırılarak yenileme maliyetlerinin tahmin edilmesi ve karayolu çalışmalarında standart ölçme tekniklerinin mümkün olmadığı alanlar verilebilir [50].

2.6 Genel Hatlarıyla Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)

Yapı bilgi modellemesi (Building Information Modelling, BIM), yapı ürün modellemesi (Building Product Modelling, BPM), ya da ürün veri modelleme (Product Data Modelling, PDM) tasarım ve proje verilerini dijital formatta yapının kullanım ömrü boyunca yönetmek için kullanılan bir metodolojidir [51].

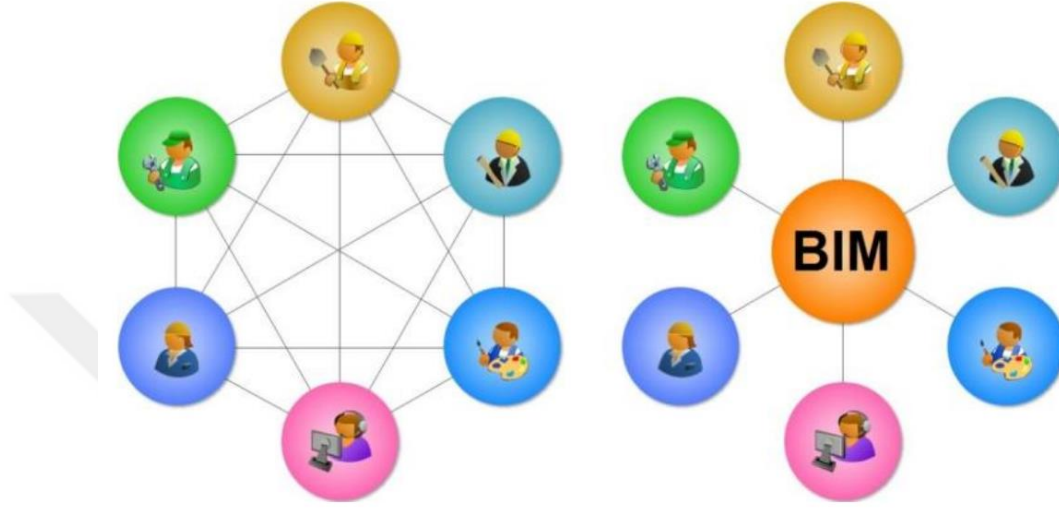
Pek çok kaynakta farklı tanımlara sahip olmasına rağmen BIM tanımının, bir projenin dijital altyapısını oluşturmak için bilgi ve teknoloji birleştirme süreci olduğu konusunda ortak bir görüş vardır. BIM ile pek çok bilgi kaynağından gelen veriler entegre edilir ve projenin tasarım, imalat, işletme süreçleri dahil olmak üzere gerçek projeye paralel olarak gelişir [52,53].

BIM, rutin işlem adımlarıyla ilk kez 1975 yılında Carnegie-Mellon Üniversitesi'nden Charles M. Eastman tarafından "Building Description System" (Bina Tanımlama Sistemi) adıyla ortaya konulmuştur. Bu çalışmada model tasarımı için ilk defa bir arada kullanılan "*interaktif tanımlayıcı elemanlar, bir defa yapılan değişikliklerin tüm çizimlerde güncellenmesi, herhangi bir analizin tanımlara bağlı olması, görsel ve nicel analizler için entegre bir veritabanı, otomatik kontroller*" gibi anlatımlar, temelde yapı bilgi modellemesini tanımlamaktadır [20].

BIM, içindeki "yapı" (building) kelimesi düşünüldüğünde akla öncelikle ofis, okul, stadyum ya da ev gibi fiziksel bir bina gelebilir. Burada BIM tanımının anlaşılmasını zorlaştıran unsur "yapı" kelimesinin yeterince açık olmamasından kaynaklanmaktadır. Tanım için eğer "yapı" kelimesi bir isim değil de bir fiil şeklinde düşünülecek olursa, BIM tanımının sadece nihai bir ürün değil, bir süreç olduğu anlaşılabilir. Öyleyse BIM süreçleri sadece binalar için değil, köprüler, demiryolları, karayolları ve altyapı tasarımları için de uygulanabilir. Ek olarak bu sektörlere bağlı haritacılık, peyzaj mimarlığı, tünel ve madencilik gibi sektörler için de uygun olduğu söylenebilir [52,53].

Geleneksel proje yapım sürecinde belgeler ve çizimler, proje paydaşları tarafından üretilmekte ve ilgili gruplara dağıtılmaktadır. Ancak bu karmaşık iletişim ağı, koordinasyon ve standardizasyon konularındaki zorlukların yanında, tasarım

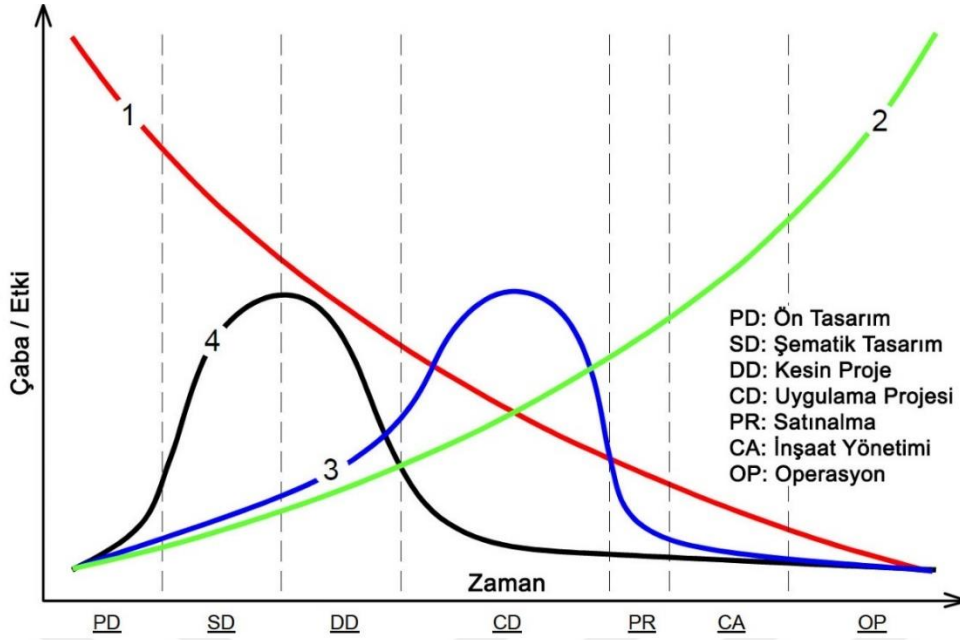
aşamasındaki verimliliğini düşürmekte ve dolayısıyla imalat sürecinde bazı hataların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Tasarım bilgilerinin kayıpsız ve etkili bir şekilde iletilmesi, projelendirme, imalat ve işletme süreçlerinin eksiksiz bir şekilde yürütülmesine liderlik edecektir. BIM yapısı, bilgilerin sağlandığı ve proje ekiplerinin taleplerine göre kullanıldığı veritabanı (Şekil 2.9) olarak işlev görür [53].



Şekil 2.9: Klasik proje yönetimi ve BIM süreci [53].

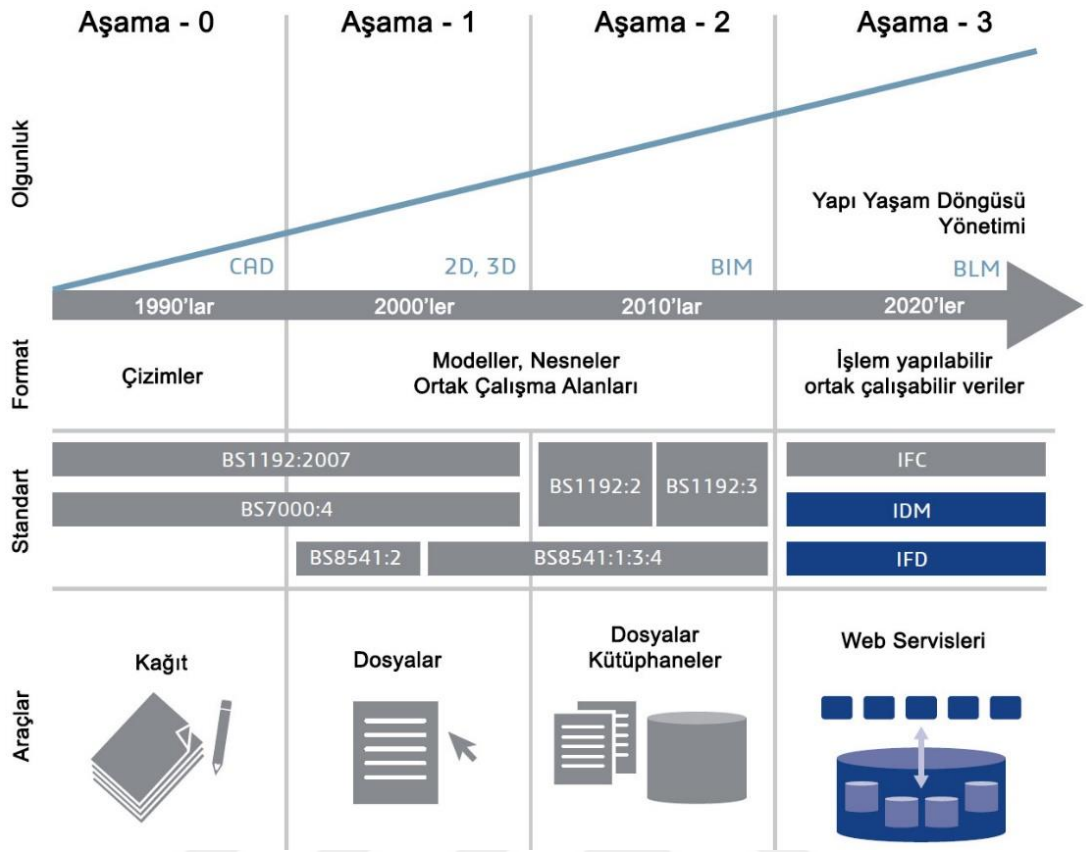
BIM uygulaması, geleneksel tasarım ve iş birliği süreçleri düşünüldüğünde, zihinleri yeniden yapılandırmak, tasarımcıları ezberledikleri tasarım bilgilerinden çıkarmak ve yeni düşünme biçimlerini dönüştürmekle alakalıdır. MacLeamy'e göre tasarım süreçleri ne kadar ileriki aşamalarda şekillenirse, maliyeti o kadar yüksek olur. BIM süreçleri proje paydaşlarını ve halihazır verileri daha önceden bir araya getirir ve daha entegre bir proje yaklaşımını teşvik eder. Projelendirme sürecinde analiz, tasarım ve karar alma süreçlerinin öne alınmasıyla, işveren ve katılımcı ekiplere iyi kararlar almaları konusunda maksimum fırsat sunar [54,55].

MacLeamy eğrisi olarak bilinen (Şekil 2.10) şemada "1" numara ile gösterilen kırmızı hat, proje süreçleri ilerledikçe ekiplerin proje değişkenlerini etkileme kabiliyetlerinin azaldığını göstermektedir. "2" ile gösterilen yeşil çizgi ile yapılan değişikliklerin proje maliyetlerini nasıl çarpıcı biçimde artırdığı belirtilmektedir. "3" numaralı mavi çizgi ile geleneksel proje süreçlerinin temel olarak uygulama projesi aşamasında geliştiği görülmektedir. "4" ile ise paydaşlar arası iş birliğinden dolayı, tasarım sürecinde daha önce verilerin toplanıp entegre edildiği tam bir ortak çalışma modelinde, yeni bir tasarım çabası dağılımı önerilmektedir.



Şekil 2.10: MacLeamy eğrisi [54].

BIM ve süreçleri üzerine yazılmış pek çok kaynak ve yapılmış yüzlerce çalışma olduğu halde, tanımının anlaşılabilirliğinin henüz yeterli olmadığını söyleyebiliriz. Khosrowshahi ve Arayıcı (2012) tarafından İngiltere’de önemli inşaat firmalarıyla yapılan bir ankette ileri sürülen tanımlardan hangisinin BIM için en uygun ifade olduğu ile ilgili bir araştırma yapılmıştır. Anket, Construct IT ağı aracılığıyla 75 alıcıya sunulmuş ve istatistiksel olarak yeterli görülen 32 (% 43) tam yanıt alınmıştır. Çalışma sonucunda katılımcıların %62’sinden fazlası “bina yaşam döngüsü için üç boyutlu modelleme, analiz ve dokümantasyon” tanımında birleşmiş, %25’i “projelerde iş birliği için üç boyutlu, akıllı, hesaplanabilir veri kullanma” cevabını vermiş, %6.5’i “Akıllı, hesaplanabilir bir üç boyutlu veri kümesi oluşturma” seçeneğini işaretlemiş ve kalan %6.5, bu cevaplardan herhangi birini kullanmamış ve “maliyet ve değere ilişkin çok boyutlu veriler” ile “modelleme, zaman ve maliyet içeren akıllı bir hesaplanabilir beş boyutlu veri kümesi” şeklinde tanımlamalarda bulunmuşlardır. Gerçekte bu tanımlar farklı anlayış düzeylerini yansıtmak için Aşama-1’den Aşama-3’e kadar BIM’in farklı olgunluk (Şekil 2.11) (BIM Maturity Model, Bew ve Richards, 2008) [56] aşamalarına dayanarak oluşturulmuştur. Örneğin araştırmada kimse tarafından işaretlenmeyen “üç boyutlu görselleştirmeli bir modelleme programı” ve iki kişi tarafından işaretlenen “akıllı, hesaplanabilir bir üç boyutlu veri kümesi oluşturma” cevapları Aşama-1 ile ilgili iken, “bina yaşam döngüsü için 3B modelleme, analiz ve dokümantasyon” seçeneği, Aşama-3 olarak ifade edilebilir [58].



Şekil 2.11: BIM modeli olgunluk aşamaları [56,58].

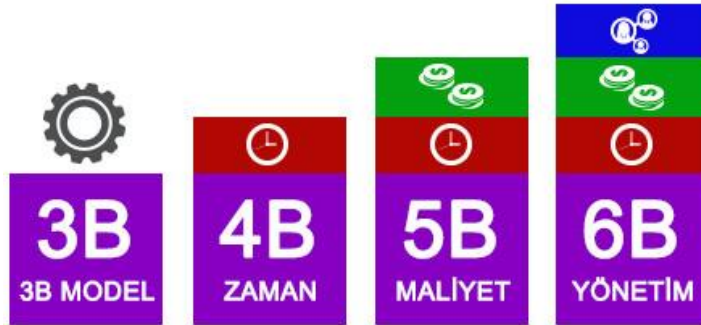
Birbirine yakın zaman dilimlerinde sürekli gelişen BIM süreçleri, örneklerle gösterildiği üzere bazı anlam karmaşalarına sebep olmaktadır. Bu nedenle BIM tanımının ne olduğunu öğrenmek kadar ne olmadığını da öğrenmek faydalı bir yol olabilir. Bu bağlamda;

- Yalnızca üç boyutlu verileri içeren ve nesne özelliği olmayan,
- Parametrik yapı desteği (davranış desteği) olmayan,
- Binayı tanımlamak için çoklu 2B çizim desteğiyle birleşmiş,
- Bir nesnede değişiklik yapıldığı zaman diğer görünümlere etkileri yansıtamayan (dinamik olmayan) modeller BIM süreçlerinden çok önceki olgunluk aşamalarını nitelemektedir [20].

BIM süreçleri, tüm paydaşları birbirlerine bağlasa da en çok tasarım ekibiyle ilişkilidir. İnşaat yöneticileri (Construction Manager, CM), tasarım aşamalarına dahil olmasalar bile BIM verilerini anlamalı, sorgulamalı, katkıda bulunmalı ve doğrulamalıdır. Projelerin herhangi bir aşamasında ya da tamamında BIM uygulamaları yapan bir ekip projelerine pek çok fayda sağlayabilir. BIM ile çalışılan projelerde gereken sarf malzemelerinin doğru ölçülmesi model içinde değerlendirilebilir, tüm aşamalarda

maliyet analizle kısa sürede yapılabilir, görselleştirmeler için daha uygun veriler bulunabilir ve yapılabilirlik analizleri oluşturmak daha kolay olabilir. BIM kullanılan tasarımlarda, yapının ömrü boyunca güvenilir ve erişilebilir elektronik veriler bulunur, imalattaki tüm malzemeler için dokümantasyon ve bilgiler veritabanında kayıtlıdır. Bunun yanında, karar verme aşaması için gelişmiş altyapı, daha kısa inşaat süreleri, hata ve ihmallerde azalma, gelişmiş işletme ve bakım, tedarik edilecek ürünlerde daha az değişiklik, BIM'in süreçlere katkıları olarak sıralanabilir [53].

BIM modelleri genellikle boyutlara ayrılır. Geleneksel projelerde bilgiler iki boyutlu çizimlerle gösterilir ve geometri bilgisi haricinde eksik kalan detaylar başka bir belgedeki çizim ya da tanımlamalarla açıklanır. Geleneksel yöntemlerde revizyonlar yapılırken, çizim ve metinlerin nerede değiştirileceğini hatırlamak ekip üyelerinin görevidir. Mevcut BIM literatüründe, BIM boyutlarına değil, BIM'in beş temel kullanımına dayanan özel amaçlı modellere gönderme yapma eğilimi vardır. Bunlar koordinasyon, zamanlama, tahmin (maliyet), yönetim ve analiz olarak tanımlanır. Boyutlara bakıldığında (Şekil 2.12) 3B BIM modeli, bilgi modelini oluşturan 3B nesnelere içerir. Bu boyuta zaman eklenmesiyle dördüncü boyut, maliyet bilgilerini eklenmesiyle beşinci boyut ve yapının yaşam döngüsünü desteklemek amacıyla varlık bilgi modellerinin eklenmesiyle altıncı boyut oluşur [53].



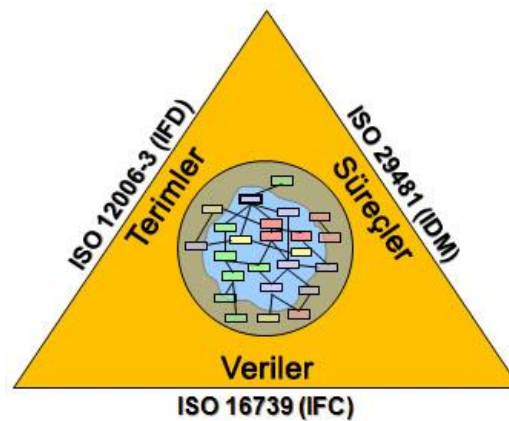
Şekil 2.12: BIM boyutları.

BIM, tüm proje ekiplerinin katıldığı bütüncül bir süreçtir. Bu süreçte en önemli husus şüphesiz ortak bir dilin konuşulmasıdır. Farklı disiplinler, farklı ölçeklerde ve sistemlerde aynı proje üzerinde çalışırken, birbirleri arasındaki veri geçişlerini sağlamak için BIM nesnelere yardımıyla çalışmalıdırlar. BIM nesnelere kendilerine yapılan sorgulara projenin tüm yaşam süresi boyunca cevap verecek nitelikte tasarlanmalıdır. BIM nesnelere eklenmesi gereken bazı temel özellikler bu özelliklerin hangi soruları cevaplaması gerektiği Çizelge 2.3 ile verilmiştir [52].

Çizelge 2.3: BIM nesnelerinin özellikleri [52].

Nesne Temel Özellikleri (Soru)	
Yazar (Nesneyi kim yarattı?)	İsim (Nesnenin adı ne?)
Tanım (Nesne nedir?)	Sürüm (Nesne ne kadar güncel?)
Revizyon (Nesne değiştirildi mi?)	Benzersiz tanım (Nasıl tanımlanır?)
Sınıflandırma (Nesne nedir?)	Performans (Ne kadar iyi?)
Miktar (Kaç tane var?)	Üretim, model (Nesneyi kim yaptı?)
Konum (Nesne nerede?)	Çalıştırma talimatları (Nasıl çalışır?)
Bakım (Nesne nasıl tamir edilir?)	Arıza (Neler yanlış gidebilir?)
Talimatlar (Nasıl devreye alınır?)	Güvenlik (Nesne güvenli midir?)
Testler (Ne zaman test edildi?)	Statü Testleri (Ne zaman test edilecek?)

Tasarım ekiplerinin nesnelere sadece aynı dili kullanarak üretmeleri yeterli olmayacaktır. Aynı zamanda bu nesnelere tanımlarken, paylaşırken, işlerken ya da değiştirirken de ortak bir çerçevede buluşulması gerekmektedir. Aslında bu konu, bilgisayar destekli çizime geçiş yaptığımız ilk günlerden beri gündemdeki yerini korumaktadır. Çeşitli yazılım şirketleri, araştırma enstitüleriyle iş birliği yaparak 1995 yılında Uluslararası Birlikte Çalışabilirlik Kurumu'nun (IAI, Industry Alliance for Interoperability) kurulmasına öncü oldular. IAI (2005 yılından sonra buildingSMART), ilk iş olarak IFC (Industry Foundation Classes) olarak bilinen ve yapıların tanımlanmasında kullanılan bir standart kurmak üzerine çalışmalar yaptı. 1997 yılında yayınlanan ilk çalışma ile IFC, yapı elemanları arasındaki tanımların ve temel ilişkilerin kurulmasına yardımcı olan, tüm tasarım süreci boyunca farklı proje grupları tarafından üretilen verilerin eksiksiz ve kayıpsız paylaşılmasına olanak sağlayan bir kütüphane olarak standartlaştı [59].



Şekil 2.13: BIM üçgeni [60].

Açık kaynak kodlu BIM içerikleri yayınlayan buildingSMART, inşaat endüstrisi hakkında üretilen verilerin nasıl düzenleneceği ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışma grubu BIM süreçlerini genellikle üç ana öğeye ayırmıştır. IFC (Industry

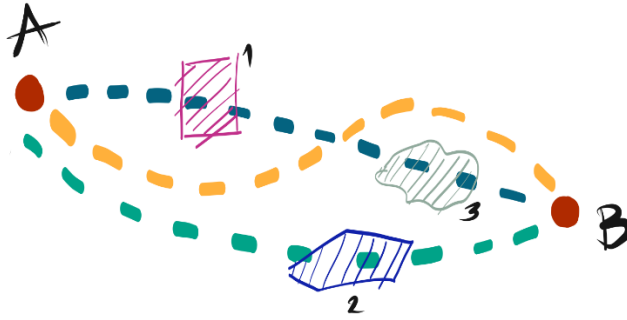
Foundation Classes) veri akışı için kuralları, IDM (Information Delivery Manual) veri alışverişi prosedürünü ve IFD (International Framework for Dictionaries) ortak terim sözlüklerini tanımlar. Üç unsurun her biri terminoloji, süreç ve verileri kapsayan uluslararası bir standart ile desteklenmektedir [53].



3. YENİ TEKNOLOJİLER ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

3.1 Bulut Bilişim Örneği Olarak Geçki Araştırması

Şüphesiz en doğru geçki, trafik güvenliği açısından tasarım kriterlerini ve toplam bütçe bakımından maliyeti en optimum düzeyde sağlayan geçkidir. İki nokta arasında yol yapımına karar verildikten sonra ilk yapılan iş, en uygun geçkiyi mümkünse minimum toprak işi ve en optimum standartlarda teşkil etmektir. Geçki araştırması girdileri Şekil 3.1 ile gösterildiği üzere öncelikle başlangıç ve bitiş noktalarıdır. Diğer bilgiler ise geçkinin uğranması ya da uğranmamasının beklendiği, görselde 1,2 ve 3 ile belirtilen noktalardır. Ek olarak topografya, mevcut yapılar, tarihi alanlar, doğal koridorlar, jeolojik bakımdan sıkıntılı bölgeler, coğrafi yapı ve benzeri unsurlar karar verme aşamasında tasarımcının işini zorlaştırmaktadır.



Şekil 3.1: Geçki araştırması illüstrasyonu.

Karayolu mühendisliği tasarım süreçlerinde kullanılan geometrik yapılar, üzerinde programlama yapmaya oldukça yatkındırlar. Yol geometrik şekilleri, boykesit geometrisi, enkesit parçaları ve diğer teknik detayların her biri bilgisayar programları için çok da karmaşık olmayan bir yapıda tanımlanır. Bu nedenle bilgisayar programcıları ve karayolu mühendisleri, uzun yıllardır geçki optimizasyonu ile ilgili pek çok çalışma yapmıştır.

Göktepe ve diğerleri (2005), geçki araştırmalarında önerilen eksen kotlarına bağlı tekniklerin yerine, enkesit geometrisinin de hesaba katıldığı ağırlıklı siyah çizgi yöntemi (ASCY) üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda sadece yol

inşaatında değil, kanal tasarımı gibi toprak işi çalışmalarının önemli olduğu alanlarda planlanacak geçkilerin daha efektif projelendirilebileceği ortaya konulmuştur [61].

Bosurgi ve diğerleri (2013) tarafından yapılan bir çalışma ile, yapay zekâ tekniği olan PSO (Particle Swarm Optimisation) yöntemi kullanılarak, çevresel kısıtların da hesaba katıldığı (jeomorfolojik, hidrolik, sismik) üç boyutlu bir geçki araştırması algoritması önerilmiş ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Araştırma kapsamında önerilen algoritma, GIS teknikleri ile eş zamanlı çalışabilir niteliktedir [62].

Geçki optimizasyonu kapsamında yapılan çalışmaların, iki boyutta (yatay ya da dikey), üç boyutta ve diğer tüm değişkenlerin katılımıyla, tasarımcılara kesin projeler öncesi kılavuzluk yapması bakımından son derece değerlidir. Her ne kadar bu efektif sonuçlar kullanılabilir yeterliliğe sahip olsalar da programa işlenemeyen kurum ya da işveren talepleri sebebiyle, son rötuşlar yine tasarımcılar tarafından yapılacaktır.

Tez kapsamında bir uygulama örneği olarak, Infracore programının bulut tabanlı yol optimizasyon özelliği kullanılarak geçki araştırması yapılmıştır. Proje alanı olarak Kuzey Marmara Otoyolu'nun Kurtköy-Akyazı etabının 4. Kesimi olan Kurtköy – Liman hattı seçilmiştir (Şekil 3.2). Proje çalışmaları kapsamında yükseklik verisi, hava fotoğrafı ve arazi kullanımı için olarak Bing Maps, Google Earth ve OpenStreetMap vasıtasıyla elde edilen bilgiler kullanılmıştır. Programın bu verileri çekmeye yarayan Model Builder aracı, hava fotoğrafı verilerini Bing Maps'den, arazi verilerini NASA'nın SRTMGL1 30m DEM altyapısından temin etmektedir [63]. Proje alanı olarak bu bölgenin seçilmesinin sebebi 19 Mart 2019 tarihinde hizmete açılmış olması ve çekilen veri kaynaklarında henüz güzergahın işlenmemiş olmasıdır. Eğer güzergâh verileri bu kaynaklara işlenmiş olsaydı, algoritma geçki araştırması için yanılabilirdi.



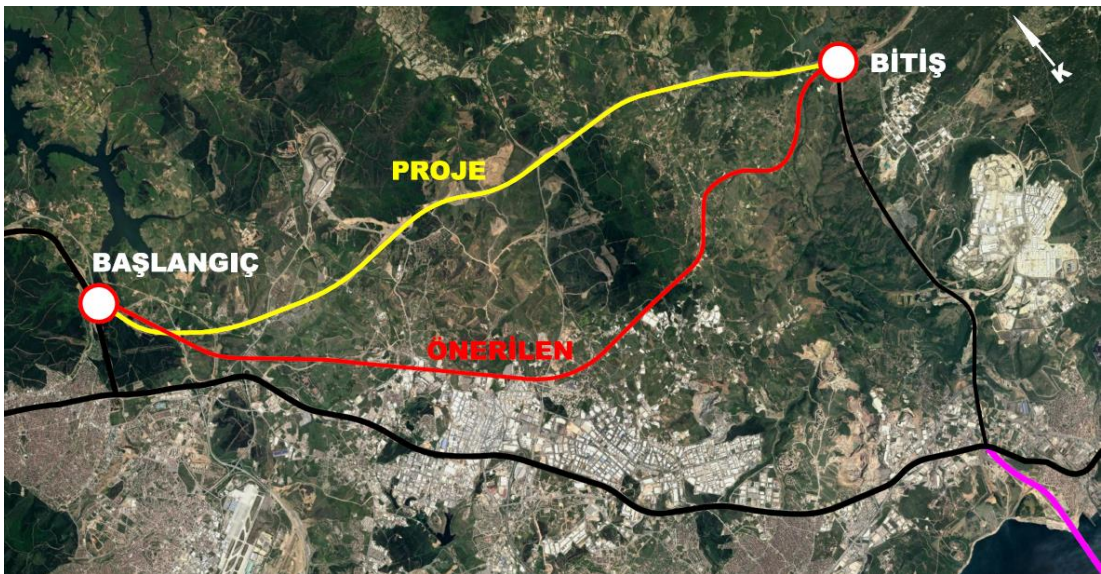
Şekil 3.2: Kuzey Marmara Otoyolu 4. kesim proje alanı ve çevre yollar.

Otoyol tasarım kriterleri için özel bir tasarım kitabı bulunmamakla birlikte Karayolları Tasarım El Kitabı ve İstanbul-İzmir Otoyolu, Bursa Çevreyolu 1. kısım için Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından verilen tasarım kriterlerinde proje hızı $V_p=120\text{km/sa}$, maksimum boyuna eğim %4, minimum kurb yarıçapı $R_{\min}=1000\text{m}$, şerit genişliği 3.75m ve maksimum dever $e_{\max}=\%6$ olarak verilmiştir [06,64]. Proje alanında şerit düzeninin 2x4 şeklinde olduğu bilinmektedir.

Programa tanıtılması gereken bilgiler ek olarak, arazi uygunluğu ve toprak işleri maksimum değerleridir. Toprak işleri için 30m üzerinde dolgu olduğu zaman viyadük, maksimum 40m yarma kesimi olduğu zaman bu bölgelerin tünelle geçilmesi gerektiği bilgileri girilmiştir. Kazı ve dolgu şevleri için ortalama bir değer tayin edilerek 2Y/1D (Yatay/Düşey) olarak tanımlanmıştır. Arazi uygunluğu için yol geçkisinin maliyetini artıracak ya da yapımını zorlaştıracak konut alanları, sanayi alanları, spor tesisleri, göl ve benzeri alanlar işaretlenmiştir.

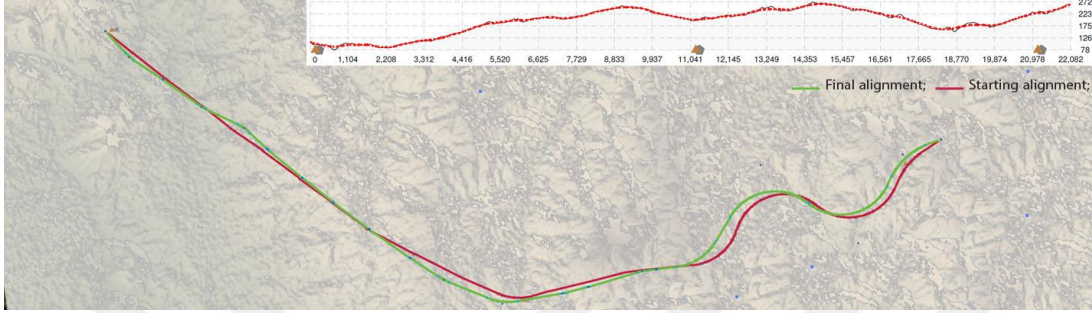
Çalışma kapsamında iki ayrı fazda işlemler yapılmıştır. İlk araştırma için tasarım kriterlerinden kavşak noktaları ve arazi uygunluğu verileri eklenmemiştir. Diğer bir deyişle başlangıç ve bitiş noktaları arasında boş bir arazi olduğu hayal edilip programın verilen geometrik kriterlere göre işlem yapması beklenmiştir. İkinci fazda ise İstanbul Park ve GOSB kavşağı eklenmiş, ek olarak arazi uygunluğu kriterlerine göre işlem yapılması için alanlar tanımlanmıştır.

İlk faz değerlendirmesi için sonuç güzergâh Şekil 3.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Geçki araştırması, birinci faz öneri hattı.

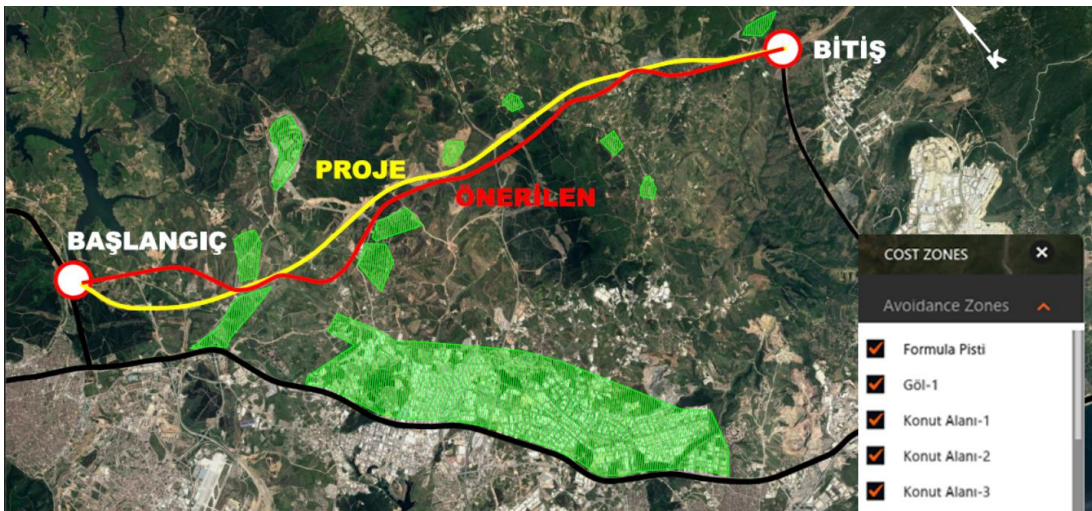
Buna ek olarak mevcut yollar ile ilgili herhangi bir veri tanıtılmadığından, hattın TEM Otoyoluna oldukça yakınsadığı görülmektedir. %4 eğim ve 1000m minimum kurb yarıçapı kriterlerine rağmen hat üzerinde herhangi bir köprü, viyadük ya da tünel gibi büyük sanat yapısı bulunmamaktadır. Birinci hatta ait boykesit ve başlangıç-bitiş iterasyonları Şekil 3.4 ile verilmiştir.



Şekil 3.4: Birinci hat, başlangıç ve sonuç iterasyonu, boykesit.

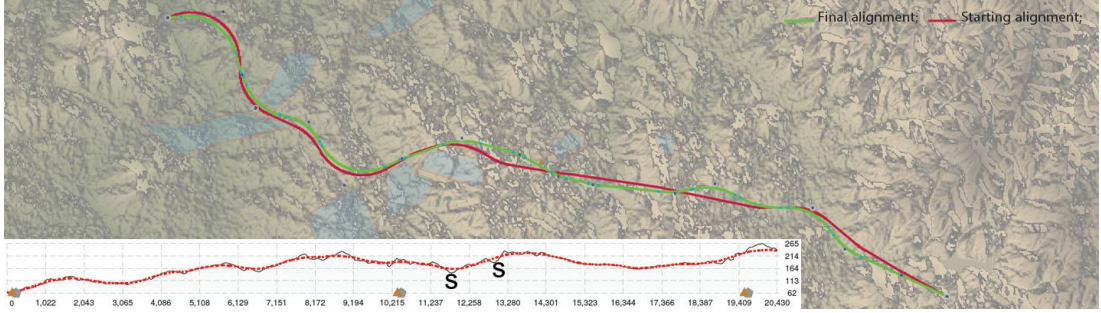
Arazi üzerinde herhangi bir tanımlama yapılmadığından yatay geçkide kurplardan kaçınıldığı, düşey geçkide ise araziye mümkün mertebe uyulduğu görülmektedir.

İkinci faz için değerlendirme Şekil 3.5 ile verilmiştir. Geçki başlangıç-bitiş noktalarına ek olarak yaklaşık kavşak noktaları, konut alanları, deplasesi mümkün olmayan mevcut yollar, yüksek kamulaştırma bedelli siteler, inşaat alanları, yarış pisti, göl ve köy merkezleri işaretlenmiş ve şekilde yeşil taralı alanlar olarak işaretlenmiştir. Program tarafından yapılan değerlendirme sonucu kırmızı ile gösterilen hat önerilmiştir. Sarı ile işaretlenen mevcut hat ile karşılaştırıldığında özellikle ilk üçte birlik kısmın yer yer uzaklaştığı ancak geri kalan kesimlerde trafiğe açılan hat ile uyumlu devam ettiği görülmektedir.



Şekil 3.5: Geçki araştırması, ikinci faz öneri hattı.

İkinci hatta ait boykesit ve başlangıç-bitiş iterasyonları Şekil 3.6 ile verilmiştir. Arazi kullanımı açısından yapılan tanımlamaların geçki çalışmasını bazı kesimlerde zorladığı görülmektedir. İki noktada 30m üzerinde çıkan dolgular sebebiyle bu kesimler viyadük ile geçilmiştir ve şekilde “S” sembolü ile işaretlenmiştir.



Şekil 3.6: İkinci hat, başlangıç ve sonuç iterasyonu, boykesit.

Benzer tasarım kriterlerine göre programa tanıtılan iki hattın proje sonu özeti Çizelge 3.1 ile verilmiştir. Sonuç olarak iki nokta arasında herhangi bir kısıt olmadığında, toprak işi bakımından daha verimli ancak yaklaşık 3.5 km daha uzun bir hat tasarlandığı görülmüştür. Geometrik kısıtlar sebebiyle, algoritmanın araziye takip etme konusunda çıkmaza girdiği alanlarda ise sanat yapısı yardımıyla işlemleri tamamladığı görülmektedir. İki güzergâh için sonuç raporları incelendiğinde, yatay hatta kurb tasarımlarının minimum koşullara yakın belirlendiği, bazı kurb boylarının neredeyse çeyrek daire uzunluğunda olduğu, düşey hatta ise maksimum eğim kriterlerine riayet etmek için oldukça fazla düşey kurb tahsis edildiği görülmüştür. Bu verilerden anlaşılacağı üzere planlama algoritması tasarımı optimize etmekten ziyade maliyetler üzerinde optimizasyonu ön planda tutmaktadır. Her iki tasarım da planlanan yatay güzergâhla karşılaştırdığında, geometrik standardın oldukça düşük olduğu aşıkardır.

Çizelge 3.1: Planlanan hatların karşılaştırılması.

	Birinci Hat	İkinci Hat
Uzunluk	25,400 m	21,950
Hesaplanan Kazı	~ 3.500K m ³	~ 5.200K m ³
Hesaplanan Dolgu	~ 1.500K m ³	~ 3.800K m ³
Sanat Yapısı	Yok	2 Adet Viyadük
Hesap Süresi	37 dakika	39 dakika

Program GIS verileriyle uyumlu olarak çalışabilmektedir. Arazi kullanımı, arsa-yapı bedelleri, jeolojik veriler ya da kısıtlı alanlar programa GIS tabanlı olarak tanıtılabilmekte ve toplam maliyet hesapları yapılabilmektedir. Yapılan çalışmada işaretlenen kısıtlı alanlar programa manuel olarak tanıtılmıştır.

Karayolu tasarımı aşamasında bazen kriterlere uygun geçki bulmak çok yüksek maliyetli olabilir. Böyle durumlarda tasarım kriterleri esnetilip hız kısıtları uygulanır. Program versiyonunda (versiyon 2020) bu çalışmanın yapıldığı tarihte böyle bir girdi yapılamadığı görülmüştür.

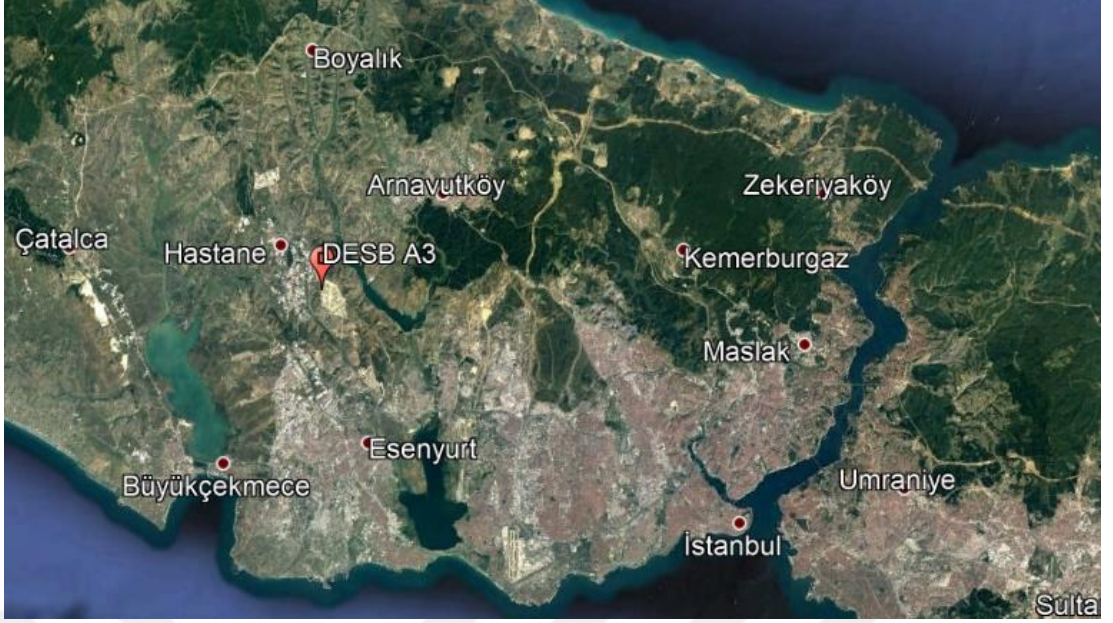
Burada asıl konu, ön tasarım aşamasında kullanılabilir bir programı tanıtmaktan çok bulut tabanlı bir programın işleyişini göstermektedir. Yaklaşık 1000km²'lik bir alan analiz için programa tanıtılmış, kuş uçuşu uzaklığı yaklaşık 20km olan bir hatta iteratif işlemler yapılmıştır. Üstelik bu işlemler yaklaşık 40 dakika gibi kısa bir zamanda sonuca ulaştırılmıştır. Çalışma alanında veri büyüklüğü yaklaşık 1GB kadardır. Bu çapta bir veriyi söz konusu sürelerde ancak işlem kabiliyeti çok yüksek ve oldukça maliyetli bilgisayarlar işleyebilir. Bu nedenle Infracore gibi iteratif işlemler yapmaya uygun programların bazı araçlarının bulut bilgisayarlar üzerinde çalışıyor olması tasarımcılara oldukça büyük avantajlar sağlamaktadır.

3.2 BIM Örneğiyle Proje Yapımı, İmalatı ve Kontroller

Yol inşaatı devam ederken, onaylı projelere uygun imalatların yapıldığını belgelemek amacıyla kontrollerin yapılması ve iş akışının test edilmesi hem yüklenici hem de müşavir firma (ya da idarenin kontrol birimi) açısından oldukça önem arz etmektedir. İmalat süreçlerinin takibinde, aktif bir kontrol sistemi oluşturulması, kontrol birimleri tarafından imalatın hata sınırları içinde kalıp kalınmadığının tespit edilmesini, aksi bir durumda yüklenicinin uyarılarak olası hataların önüne geçilmesini sağlayacaktır.

Karayolu projelendirme ve yapım işleri sırasında, şüphesiz karşılaşılan en kritik problemlerden biri de mülkiyet konularıdır. Özellikle şehir içi yollarda ya da gelişim bölgelerinde imar uygulamaları yapılırken yollar ve fonksiyonlar belirlenir ancak, imar yollarının pek çoğunda geçki uygunluk araştırması yapılmaz. Yol kesitinde kaldırım sonundan parsel alanları başladığı için, çoğu zaman toprak işleri mahreç alan parsellerin içine girerek parsellerin doğal yapısını bozmaktadır. Bu sebeple genellikle 1-2m yüksekliğinde toprak işleri parselin genel yapısını çok bozmayacak şekilde teşkil edilmekte, daha yüksek yarma ya da dolgu olan bölgeler sanat yapılarıyla geçilmektedir.

Benzer bir vaka analizi kapsamında İstanbul İli, Hadımköy İlçesi, Deliklikaya Sanayi Bölgesi yol ve altyapı inşaatı (Şekil 3.7) incelenmiştir.



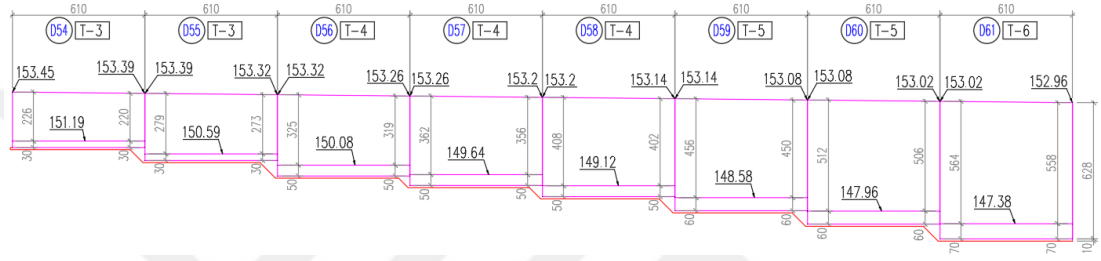
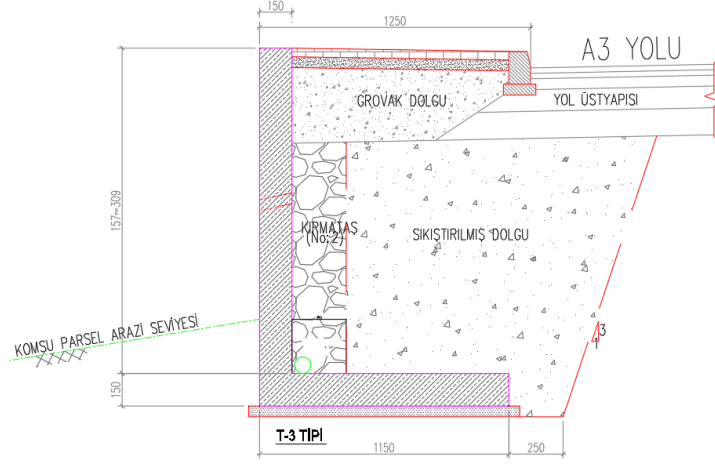
Şekil 3.7: Deliklikaya Sanayi Bölgesi kent içindeki konumu.

Çalışmada A3 yoluna ait duvarlar ve yapımı devam eden T6 yoluna (Şekil 3.8) ait imalatlar irdelenmiştir. Öncelikle yol ve duvarlar için dört boyutlu bir BIM altyapısı oluşturulmuş, daha sonra imalat aşamasında, yapımı devam eden ve biten alanlar için kontroller yapılmıştır.

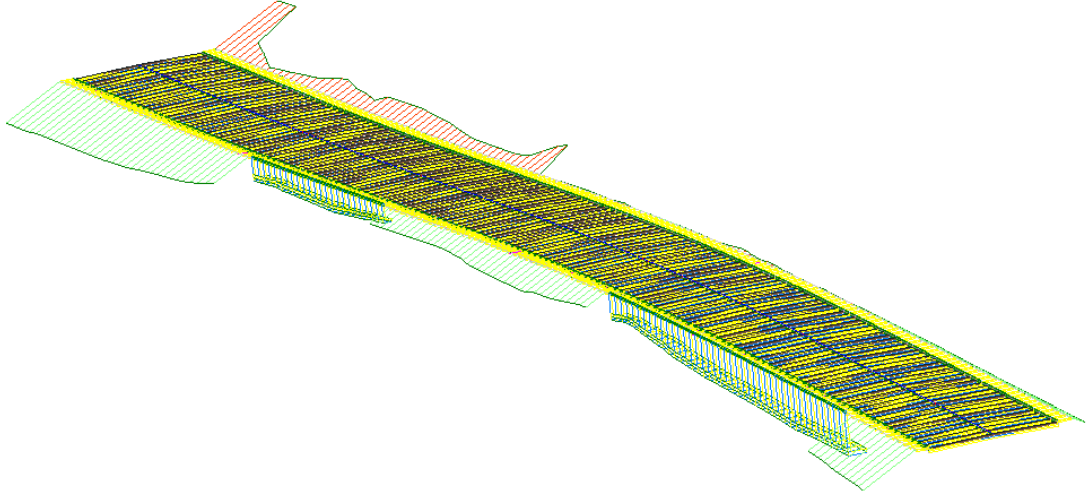


Şekil 3.8: A3 ve T6 yolu inşaatı proje alanı.

A3 yolu genel planı onaylandığında, komşu adalara ait imar planları henüz netleşmediğinden, arazinin apik yapısından da faydalanmak amacıyla yol platformu dolguda geçilmiş, ancak bu durum, çevre planların netleşmesiyle arazi düzenlemeleri sonrası bazı komşu parsellere dolgu şevlerinin taşmasına sebep olmuştur.

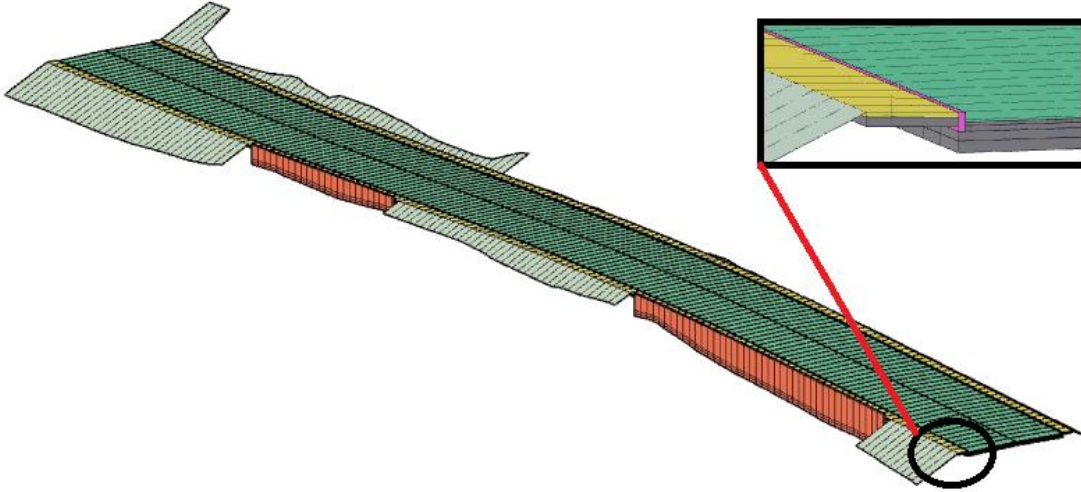


Şekil 3.10: A3 yolu duvar projesi tip detay ve görünüş.



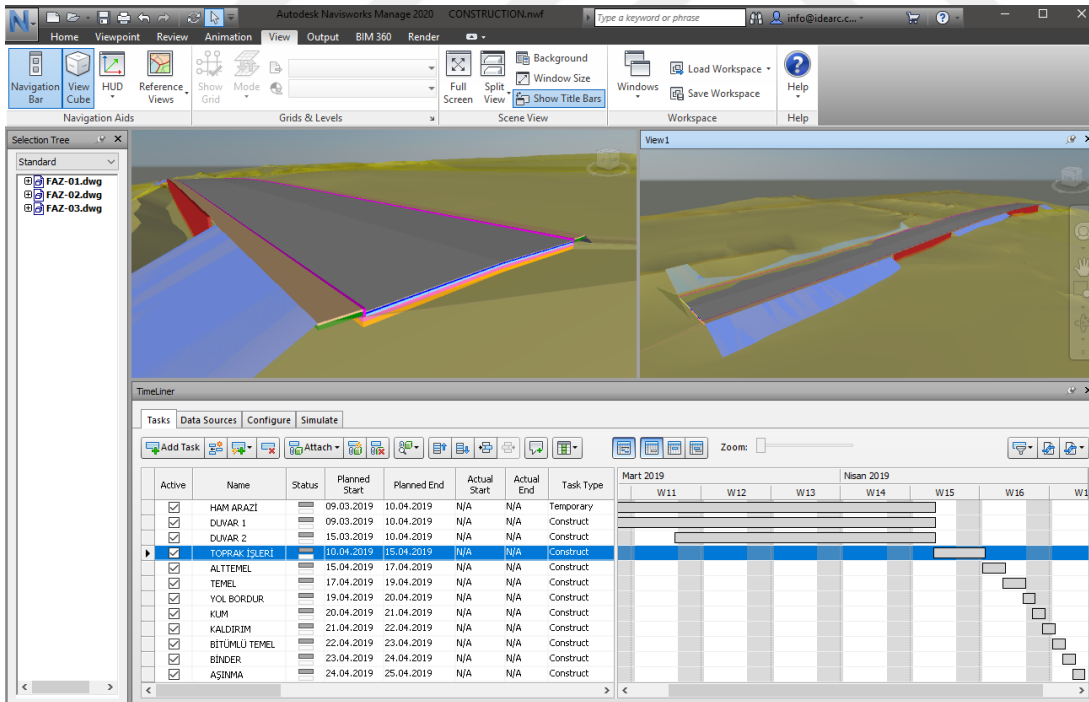
Şekil 3.11: Model sonrası üç boyutlu görünüş.

Bu aşamadan sonra üç boyutlu olan modele zaman boyutunu da eklemek için NAVISWORKS programıyla çalışılmıştır. İlk etapta modelin, imalatın her aşamasına dair parçasının ayrı ayrı gösterilmesi gerekmektedir. Bu sayede iş programı yapılırken hangi tarihlerde hangi imalatların yapılacağı gösterilebilecektir. Yol modelinin katmanlara ayrılmış hali Şekil 3.12 ile gösterilmiştir. Kaldırım, toprak işi, bordür taşı ve yol katmanlarının her biri ayrı tabakalar olarak modellenmiştir.



Şekil 3.12: Yol modelinin katmanlara ayrılmış görüntüsü.

Proje safhasında, yapım işinin üç fazda devam etmesi planlanmıştır. Bunlardan ilki, ham arazinin temizlenip duvar imalatına uygun hale getirilmesi ve ardından duvar imalatının tamamlanmasıdır. İkinci fazda toprak işleri tamamlanacaktır. Üçüncü fazda ise kaldırım ile yol imalatları tamamlanacaktır. Fazlar ve proje katmanları Şekil 3.13 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Proje katmanları ve fazlarının iş programıyla birleştirilmesi.

Proje aşamalarına en baştan göz atıldığında, öncelikle ön tasarım aşamasında kararların verildiği, iki boyutta detaylar tanımlandığı, projenin üç boyutta tasarlandığı ve yapı elemanlarına özniteliklerin tanımlandığı görülmektedir. Son aşamada ise Şekil

3.13 ile görüldüğü gibi, planlanan iş programı ve proje safhaları bir araya getirilmiş, böylece BIM uygulaması kapsamında dördüncü boyut tanımlanmıştır.

Arazi çalışmalarının devam ettiği aşamada, yapılan imalatların denetlenmesi amaçlı, İHA kullanılarak hava fotoğrafları alınmış, kontrol aşamasında kullanılmak üzere nokta bulutu, sayısal yükseklik modeli (SYM) ve ortomozaikler oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, imalatı devam eden duvar ile birlikte, binder tabakasına kadar imalatı tamamlanan T6 yolu için de imalat kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

Tasarımı yapılan duvar projeleri incelendiğinde (Şekil 3.10) imalatın 8 anoda ve 4 farklı tipte duvar tipi ile yapıldığı görülmektedir. Şekilde duvar üst kotları, her bir anoya ait ölçüler ve temel üst kotları belirtilmiştir. Duvar üst kotları ve temel kotları aynı zamanda yolun üst katmanlarındaki kotları etkileyebileceğinden, imalatın hassas olması son derece önemlidir. Buna ek olarak, duvarın tam olarak belirtilen parsel sınırına imal edilmesi ve yeni bir mülkiyet sorununa yol açmaması gerekmektedir.

Kontrol çalışması öncesinde proje alanı çevresinde toplam 4 yer kontrol noktası için İSKİ-UKBS (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi-Uydularla Konum Belirleme Sistemi) yardımıyla C4 hassasiyetinde poligon noktaları tahsis edilmiş ve fotogrametri çalışmalarına uygun olacak şekilde boyanarak işaretlenmiştir. CHC İ80 GNSS alıcısı kullanılarak yapılan alımlarda 2005 epoğu, ITRF 96 Datum GRS80 elipsoidi (3° dilim genişlikli, DOM:30°) değerleri kullanılmış ve sonuç koordinatlar Çizelge 3.2 ile verilmiştir.

Çalışma alanında veriler elde etmek için, A3 ve T6 yollarını kapsayacak nitelikte bir uçuş planı hazırlanmıştır. İlk olarak, yaklaşık 5 hektarlık bir alan için 50m yükseklikte toplam 15 dakika uçuş yapılmış, %80 enine-boyuna bindirme oranları ile 259 adet 1.36cm/piksel yer örnekleme aralığı (GSD) değerinde nadir fotoğraf toplanmıştır.

Çizelge 3.2: A3 yolu çevresi yer kontrol noktaları koordinatları.

N.No	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (Ortometrik) (m)
YKN 1	386,815.803	4,555,824.193	152.751
YKN 2	386,828.349	4,555,703.668	155.482
YKN 3	386,771.908	4,555,645.916	153.804
YKN 4	386,763.310	4,555,759.350	154.150

DJI Photom 4Pro ile alınan görüntüler Agisoft Photoscan programı kullanılarak fotoğraf hizalama işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra yer kontrol noktaları

kullanılarak düzeltme işlemleri yapılmıştır. İşlem sonrasında oluşan hata değerleri Çizelge 3.3 ile verilmiştir.

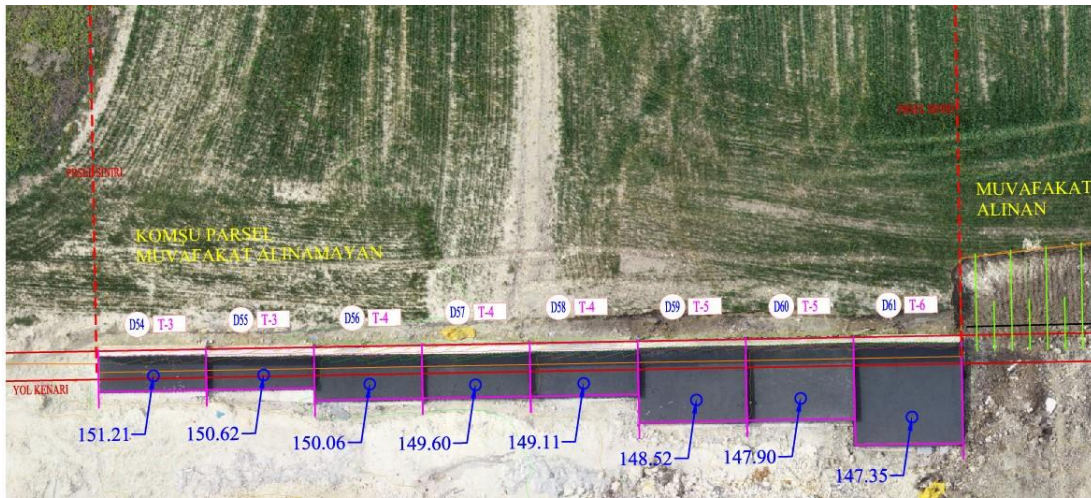
Çizelge 3.3: A3 yolu çevresi yer kontrol noktaları hata değerleri.

N.No	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (Ort.) (m)	Hata (m)
YKN 1	-0.0032	0.0097	-0.0143	0.0176
YKN 2	-0.0035	-0.0180	0.0127	0.0223
YKN 3	-0.0041	0.0182	-0.0141	0.0235
YKN 4	0.0110	-0.0099	0.0157	0.0217
Toplam Hata				0.0214

Elde edilen fotoğraflar aynı yazılım ile işleme tabi tutulmuş, sonuç ürün olarak yoğun nokta bulutu verisi (dense cloud), örgü model (mesh), DEM (SYM, sayısal yükseklik modeli) ve ortomozaik üretilmeye çalışılmıştır. Fotoğraf alımları, nokta tesisleri, görüntü işleme ve verilerin üretilmesi süreçleri toplamda iki saatlik bir zaman diliminde tamamlanmıştır.

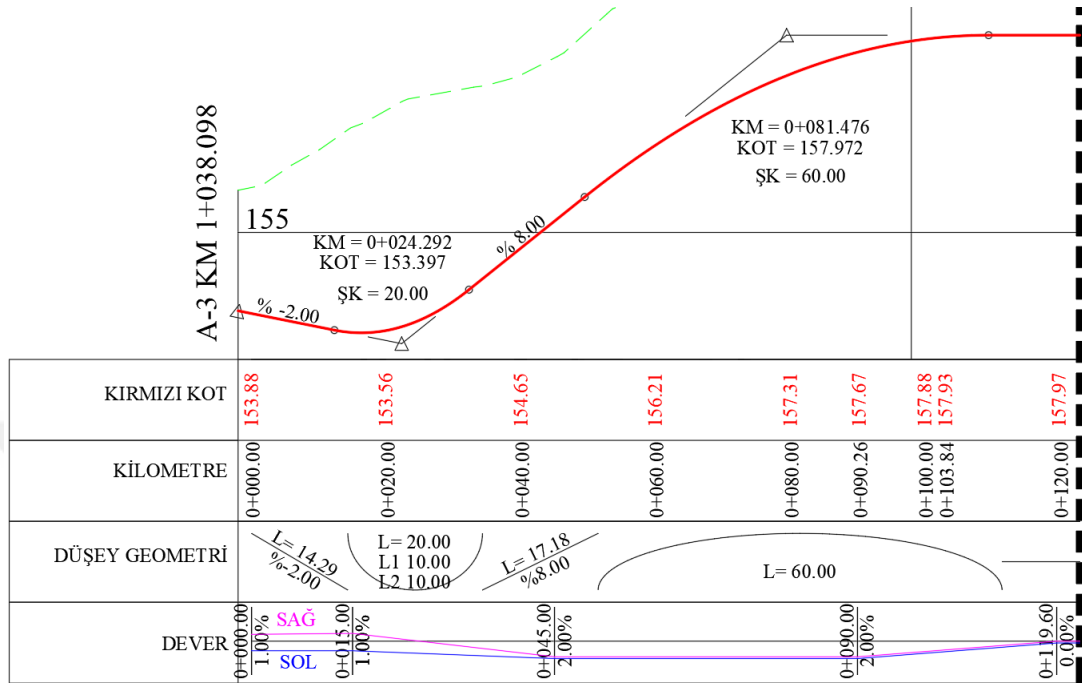
Proje alanı kontrolü kapsamında yol kotlu planı ve duvar projeleri temin edilip, uçuş fotoğrafları yardımıyla üretilen sayısal yükseklik modeli ve ortomozaik ile karşılaştırmalar yapılacaktır.

Yapılan incelemeler sonucunda duvar hattının yol kenarı ve kaldırım sınırı çizgileriyle birebir örtüştüğü görülmektedir. Sayısal yükseklik modelinden alınan temel üst kotu verileri Şekil 3.14 ile gösterilmiştir. Bulunan bu yükseklik değerleri Şekil 3.10 ile verilen proje ile karşılaştırıldığında 2 cm ile 6 cm arasında değişen farklarda oldukları görülmektedir. Veriler ışığında ortalama hata $OH=\pm 2.88\text{cm}$, karesel ortalama hata $KOH=\pm 3,79\text{cm}$ olarak tespit edilmiştir.

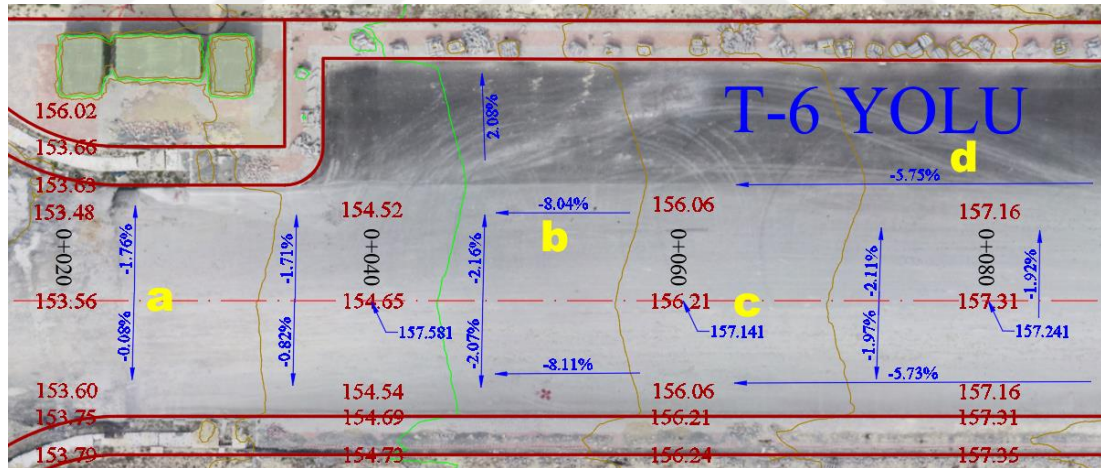


Şekil 3.14: A3 yolu duvar projesi imalat kontrolleri.

Duvar imalatı kontrolleri sonrasında, yeni imal edilen ve binder tabakasına kadar yol üstyapısı hazırlanan T6 yolunda kot ve eğim kontrolleri yapılmıştır. T6 yoluna ait profil Şekil 3.15'te, kotlu plan ile detaylar ise Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.15: T6 yolu boy kesiti.



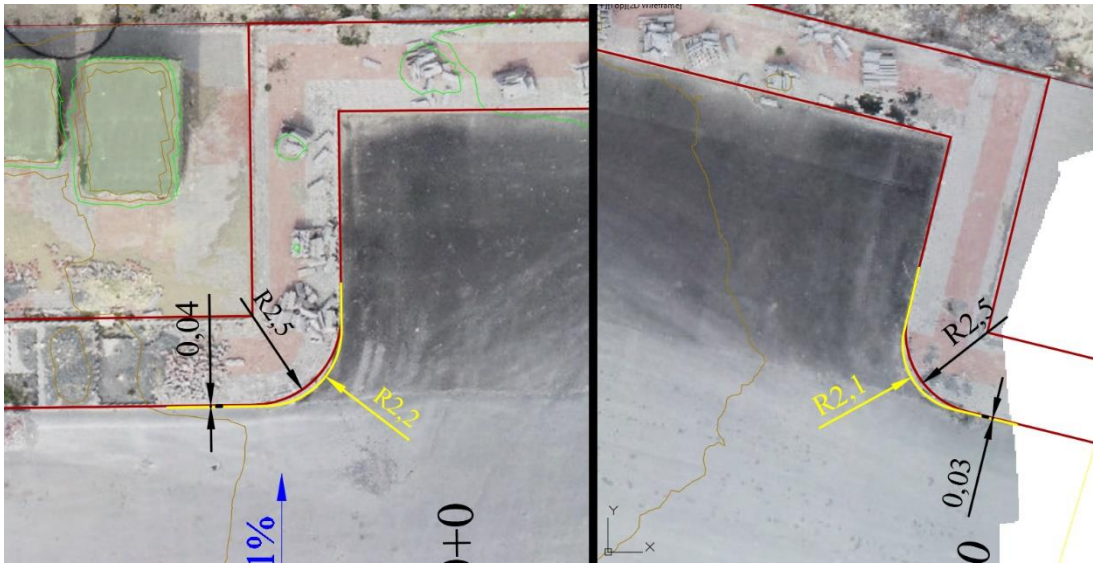
Şekil 3.16: T6 yolu plan, tasarım kotları ve kontrol detayları.

Bölgede inşaat çalışmaları henüz tamamlanmadığından, yol üst yapısı işleri binder tabakasında bırakılmış, 5cm yüksekliğindeki konfor asfaltının, inşaat çalışmaları tamamlandığında yapılmasına karar verilmiştir. Şekilde (a) ile gösterilen bölgede sağ dever yaklaşık %0 ve sol dever %2'den az görülmektedir. Profilden kontrol edildiğinde bu bölgede eğim kriterine uyulduğu görülmektedir. Şekilde (b) ile belirtilen bölgede yol boyuna eğiminin %8.04 ve %8.11 olduğu alan gösterilmektedir.

Profilde yaklaşık kilometre aralığı kontrol edildiğinde eğimin ortalama % 0.07 farkla aslına uygun imal edildiği görülmektedir. Şekilde (c) ile gösterilen bölgede aks kotlarına yönelik bir kontrol yapılmıştır.

Kilometre 0+040, 0+060 ve 0+080 kesitlerindeki kontrol noktalarının kırmızı kottan ortalama 7 cm kadar düşük olduğu gözlenmiştir. Binder tabakası üzerine gelecek 5cm aşınma tabakasının da hesaba katılmasıyla aks bölgelerinde 2cm ortalama bir farktan söz edilebilir. Şekilde (d) ile belirtilen bölgede ise 0+065 ve 0+090 kilometreleri arası eğim kontrolü yapılmış ve yolun her iki tarafında yaklaşık değerler elde edilmiştir. Bunlara ek olarak diğer kesitler için de enine eğim kontrolleri yapılmış ve sonuç farkların yaklaşık %0.1 oranında oldukları tespit edilmiştir.

Geometrik düzenleme kontrolü kapsamında, T6 yolu üzerinde araç parkı olarak belirlenen bölgede, bordür imalat kontrolü yapılmıştır (Şekil 3.17). Bu bölgede, projesinde $R=2.5m$ olarak belirlenen köşe dönüşlerinin uygulamada $R=2.2m$ olarak imal edildiği ve projede belirlenen yaylardan yaklaşık 15cm kadar saptığı tespit edilmiştir. Yine bu bölümlerde, kaldırım imalatının 3cm ve 4cm mertebelerinde yol kenarından içeride yapıldığı, 3-4m'lik uzunluk içerisinde proje izlerine rakorde olduğu tespit edilmiştir.



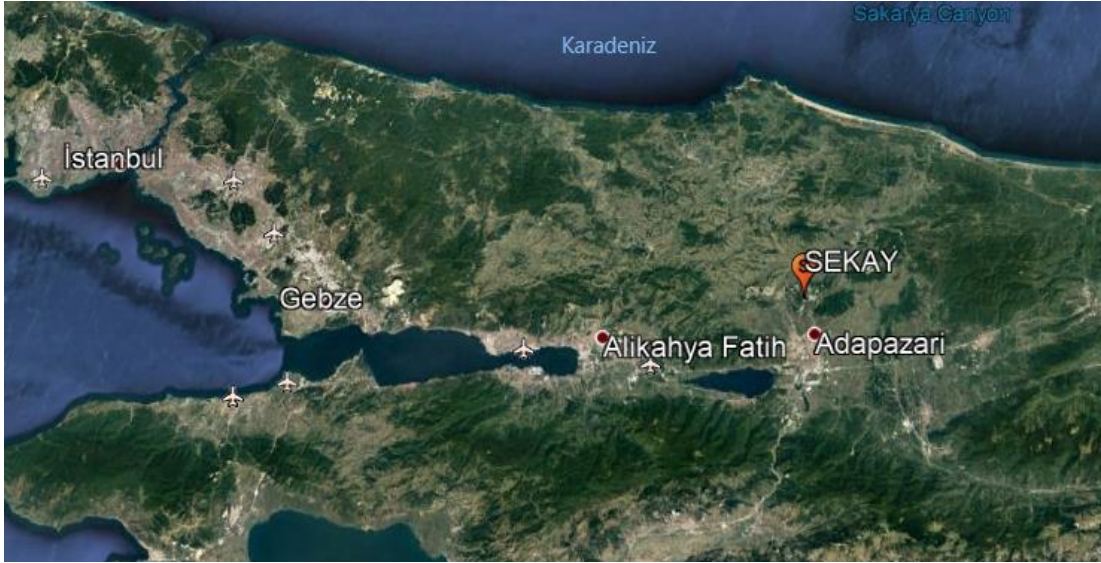
Şekil 3.17: T6 yolu projesi imalat kontrolleri.

Yapılan çalışmalar sonucunda, minimum ekipman ve iş gücü ile, kontrol çalışmalarının oldukça hızlı bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu kontrol yöntemleri sayesinde sayısal belgeler (kontrol evrakları) oluşturulabilmektedir.

3.3 İş İlerleme Tespiti ve Raporlamasına Yönelik Bir Saha Çalışması

Arazi çalışmaları esnasında imalatın devam ettiği süreçleri belgelemek için pek çok rapor yazılır ve bu raporlar fotoğraf-videolarla desteklenir. Ancak alınan bu kayıtlarda, imalatın tamamının akışını görmek çok olası değildir. Bu sebeple, yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları çekmek, imalat aşamalarının belgelenmesi için iyi bir yöntem olabilir.

Örnek bir saha çalışması için, 2019 yılı içinde Sakarya’da yapımı devam eden Sakarya Entegre Katı Atık Yönetimi (SEKAY) tesisi inşaatı (Şekil 3.18) yol ve toprak işleri çalışmalarının (Şekil 3.19) gelişimini gösterebilmek amacıyla ortomozaik hava fotoğrafları üretilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, çıkan ürün üzerinden herhangi bir mühendislik çalışması yapılmayacağından yer kontrol noktası (YKN) tesis edilmemiştir. Ölçüm sırasında DJI Phantom 4 Pro model dört motorlu (Quadcopter) İHA kullanılmıştır. Cihaz üzerindeki kamera 1” sensor büyüklüğüne sahiptir ve 20 megapikseldir.



Şekil 3.18: SEKAY Proje Alanı.

Çalışma alanı için toprak işi hareketlerinin yoğun olduğu yaklaşık 30 hektarlık bir alan için bulut tabanlı bir yazılım olan DroneDeploy programı kullanılarak uçuş planı hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında 80m yükseklikte toplam 18 dakika uçuş yapılmış, %80 enine-boyuna bindirme oranı ile 321 adet 2.4cm/piksel yer örnekleme aralığı (GSD) değerinde nadir fotoğraf toplanmıştır. Alımlar aynı uçuş planı üzerinden 18 Nisan 2018 ve 9 Ağustos 2018 tarihlerinde yapılmıştır.

karşılaştırılması sonucunda arazideki toprak işi ve üstyapı çalışmalarının değişimi kolayca görülebilmektedir. Herhangi bir yer kontrol noktası tesis edilmediğinden hassasiyeti ile ilgili kesin bilgiler verilmesi mümkün değildir. Kullanılan İHA üzerinde yerleşik GPS/GLONASS alıcısı vardır ve çekilen fotoğrafların özneliklerinde (exif data) çekildiği noktaların koordinat bilgileri işlenmektedir. Çekilen fotoğrafların bir araya getirilmesi aşamasında pek çok koordinat bilgisi bir araya gelmekte ve görüntü işleme aşamasında bu koordinatlarda bazı düzeltmeler yapılmaktadır.



Şekil 3.20: 18 Nisan ve 9 Ağustos tarihlerinde alınan hava fotoğrafı setleri.

Yapılan düzeltmeler sonucunda fotoğraf koordinat bilgileri ve düzeltme sonrası koordinat bilgileri farkından ileri gelen bir hata miktarı oluşmaktadır. Kullanılan programda yapılan işlemlerin sonucunda ilk fotoğraf için $KOH=\pm 1.7m$, ikinci fotoğraf için $KOH=\pm 1.9m$ olarak hesaplanmıştır. Fotoğraf dengelemesi için anlamlı bu değerlerin gerçekte tespiti için kontrol ölçüleri alınması gerekmektedir.

RTK ya da PPK'lı GPS antenlerine sahip olamayan İHA'lar için bu sonuçlar doğaldır. Ortaya çıkan ürün bilgi amaçlı kullanılacak yeterliliğe sahiptir. Tasarım çalışmalarında kullanılacak hassasiyette veriler üretmek için ilgili şartnamede İHA'ların RTK ya da PPK GPS alıcısına sahip olması ve en fazla 400 metrede bir kontrol noktası tesis edilmesi gerektiği belirtilmektedir.

3.4 Öngerme Prekast Elemanların Kontrolüne Yönelik Bir Saha Çalışması

Sanat yapısı, Karayolları Teknik Şartnamesinde köprü, viyadük, tünel, menfez, istinat duvarı, tahkimat gibi mühendislik yapıları olarak tanımlanır [19]. Karayolu Köprüleri Teknik Kılavuzu'na göre hesap açıklığı 10 metre ve 10 metreden büyük olan bütün büyük sanat yapıları köprü olarak adlandırılır [65].

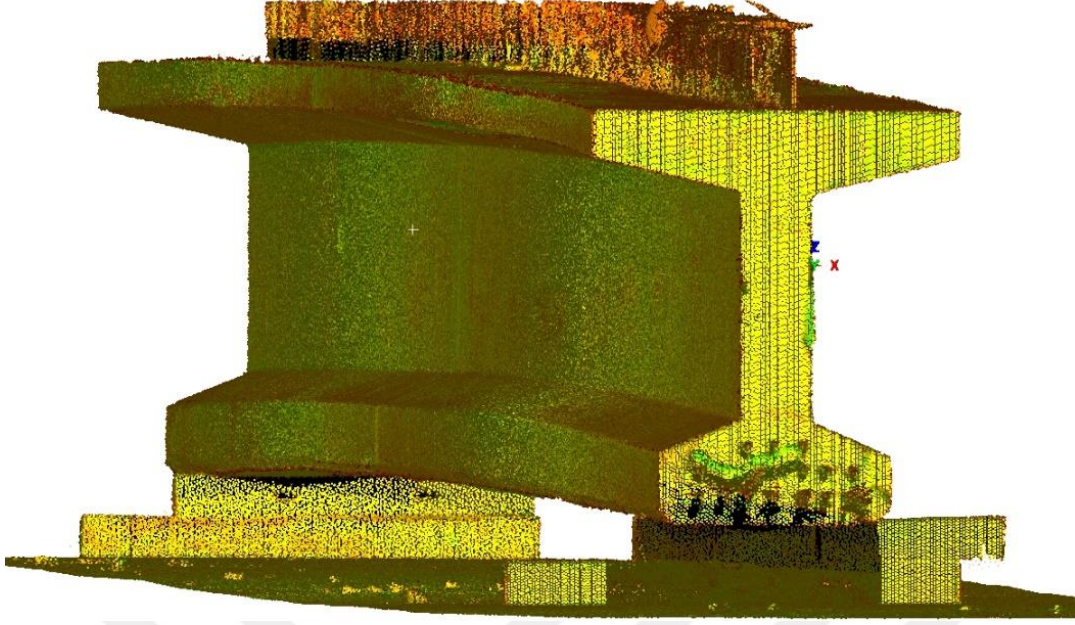
Sanat yapılarının tasarımında geçilmesi gereken açıklık, trafik yükü, hidrolik yük, toprak yükü, derinlik ve estetik kriterlerine göre değerlendirildikten sonra, yapının cinsine karar verilir. Bu yapıların inşasında taş, çelik, beton gibi elemanlar kullanıldığı gibi, söz konusu elemanlar yol inşaatından uzak bir alanda prefabrike yöntemlerle de üretilirler. Karayollarında sanat yapılarında prekast elemanlar sıkça kullanılır.

Yerinde imal edilen sanat yapıları için kontroller ve tahkikler, yine yerinde klasik ölçüm yöntemleriyle yapılır. Prekast yapı elemanları henüz şantiyeye gelmeden de kalite kontrolleri yapılabilir, imal edilen elemanlar toleranslar içinde kalıyorsa şantiyede yeri hazırlanan prekast elemanın nakliyesi yapıp, montajı gerçekleştirilebilir.

Prekast elemanların kontrolü için uygulanan pek çok yöntem vardır. Çoğu zaman şartname standartlarına uyan prekast elemanlar, yerinde ölçme yöntemleriyle (şerit metre, kumpas ya da total station) test edilirler. Ancak bu testlerde çoğu zaman bütüncül bir geometri kontrolü yapmak oldukça zordur.

Uzun karayolu projelerinde ya da hava meydanları, limanlar, tren yolları gibi çok branşlı mimarı tasarımlarda, prekast elemanlar yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Proje kapsamında çeşitli boyut ve detaylarda prekast elemanlar üretilmekte ve bunlar yoğun bir şekilde denetlenmektedir. Bu kapsamda tasarlanan üç boyutlu kiriş modeli klasik ölçme yöntemleriyle denetlenebildiği gibi, nokta bulutu üretilerek de denetlenebilir. Nokta bulutu üretmek için ise yersel lazer tarayıcılar kullanılabilir.

Yersel lazer tarayıcılar, özellikle mühendislik projeleri ve kültürel miras yapılarının belgelenmesi için, birçok ölçüm görevinde bulunmuşlardır. Yüksek çözünürlükleri, doğru ve hızlı nokta yakalama yetenekleri, düzeltilmiş projelerin (As-Built) modellerinin, maliyet etkin bir şekilde üretilmesini ve kültürel mirasa dair yapıların dijital dokümantasyonunu sağlar [66].

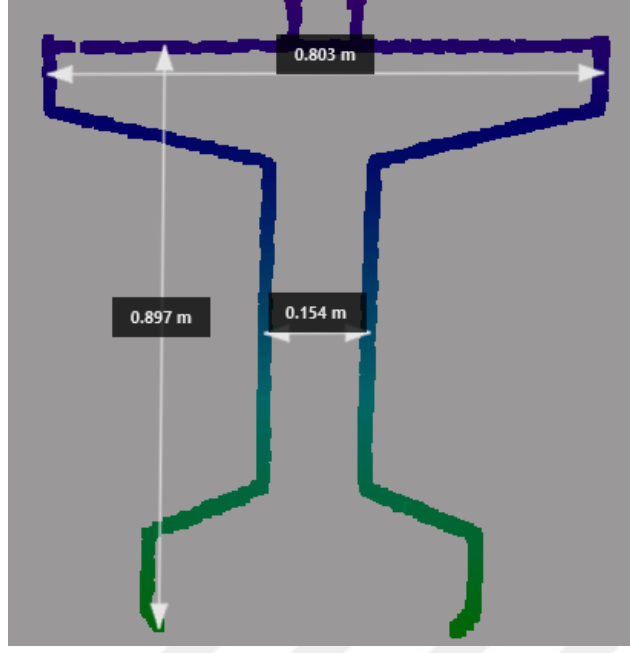


Şekil 3.22: Nokta bulutundan oluşturulan öngermeli I kiriş.

Karayolları teknik şartnamesi uyarınca Çizelge 3.5 ile, ön germe I kirişler için sınır değer ölçüleri verilmiştir. Ölçü değerlerinin kontrolü amacıyla Şekil 3.23 ile örnek verilen kesitler incelenmiştir.

Çizelge 3.5: I-Kesitli kirişler için ölçü farklılıkları sınır değerleri [19].

Ölçüler	Sınır Değeri
Uzunluk	Her 10,5 m Kiriş Boyu için $\pm 2,5$ mm
Toplam genişlik	+ 9,5 mm/ - 6 mm
Derinlik	+ 13 mm/ - 6 mm
Flanş derinlikleri	± 6 mm
Gövde genişliği	+ 6 mm / - 3 mm
Kiriş kenarlarının merkez aksa olan paralelliğindeki kayma	Her 3 m için 3 mm
Kiriş başlarındaki dönme	Her 300 mm için ± 5 mm Maks ± 25 mm
Dizayn edilmiş ters sehinden sapma	Her 3 m için ± 3 mm a < 24 m için Maks ± 13 mm a > 24 m için Maks ± 25 mm
Halat pozisyonu	± 6 mm
Çelik plakaların pozisyonu	± 25 mm
Montaj Bağlantıları için Monte Edilmiş Elemanların Pozisyonu	± 13 mm
Kaldırma kancalarının pozisyonu	a) Uzunluk Yönünde ± 150 mm b) Derinlik Yönünde ± 25 mm
Kirişin Yan Yüzeylerinde Herhangi Bir Bölge için Olabilecek Maksimum Yüzey Bozukluğu	Her 3 m İçin Maks. 6 mm
Etritye pozisyonu	n1 (yatay aralık) = ± 25 mm n2 (filiz yüksekliği) = ± 19 mm



Şekil 3.23: Kiriş nokta bulutu üzerinde yapılan ölçümlerde kullanılan bir kesit.

Ölçüm sonuçlarıyla sınır değer verileri karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Proje uzunluğu 1815mm (kısa kenar 1795mm) olan öngermeli I kiriş yerinde yapılan ölçümlerde 1817mm (kısa kenar 1797) olarak ölçülmüş, yersel LIDAR ile yapılan alımlarda ise AutoCAD programında yapılan 5 ölçünün ortalama değeri 1814mm (kısa kenar 1793mm) olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.5 uyarınca ölçümlerin hata sınırı içinde kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Proje yüksekliği 900mm olan öngermeli I kiriş yerinde yapılan ölçümlerde 901mm olarak ölçülmüş, yersel LIDAR ile yapılan alımlarda ise ReCap Pro programında yapılan 5 ölçünün ortalama değeri (Şekil 3.23) 895mm olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.5 uyarınca ölçümlerin hata sınırı içinde kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Proje kesiti 150mm olan öngermeli I kiriş yerinde yapılan ölçümlerde 152mm olarak ölçülmüş, yersel LIDAR ile yapılan alımlarda ise ReCap Pro programında yapılan 5 ölçünün ortalama değeri (Şekil 3.23) 153mm olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.5 uyarınca ölçümlerin hata sınırı içinde kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Proje üst genişliği 800mm olan öngermeli I kiriş yerinde yapılan ölçümlerde 803mm olarak ölçülmüş, LIDAR ile yapılan alımlarda ise ReCap Pro programında yapılan 5 ölçünün ortalama değeri (Şekil 3.23) 803mm olarak

ölçülmüştür. Çizelge 3.5 uyarınca ölçümlerin hata sınırı içinde kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

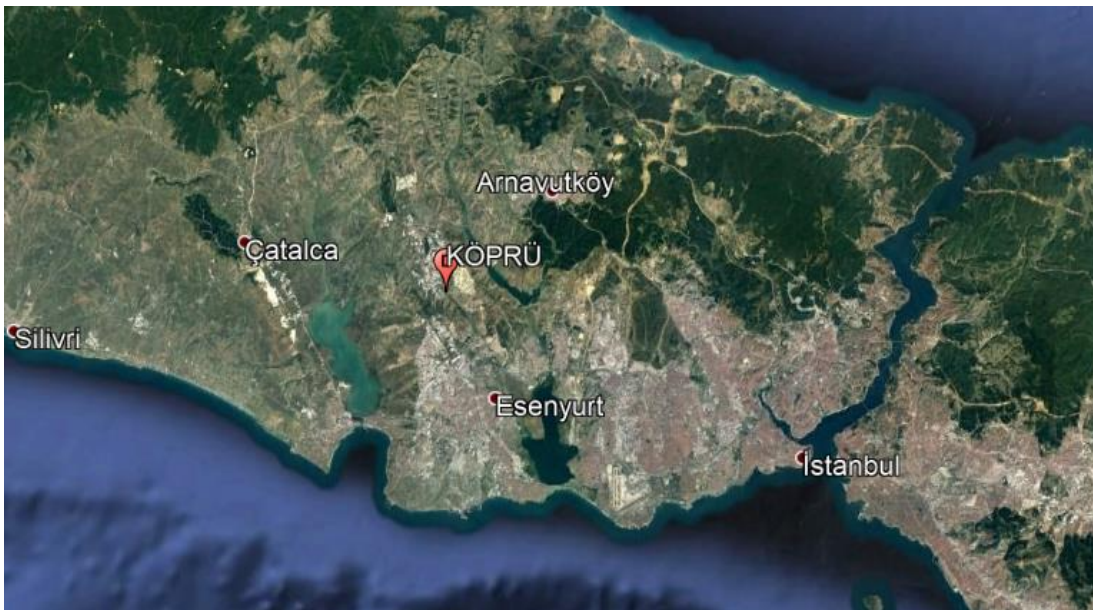
- Yerinde yapılan ölçümlerde negatif sehim değeri -41mm ve lazer tarayıcı ölçümlerinde sehim değeri -39mm olarak hesaplanmıştır. Ters sehim proje değeri -27.3 olarak hesaplanmış olduğundan bu değer üst limitlerde olduğu söylenebilir. Ancak ölçümler kiriş imalatından sadece 2 gün sonra yapılmıştır ve bu ters sehim değerinin azalacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak geometrik kontrolü yapılan öngermeli kiriş ile ilgili nokta bulutları yardımıyla çok hassas ölçmeler yapılmış ve kontrol aşamalarında kullanılmak üzere üç boyutlu hassas bir model çıktısı oluşturulmuştur. Bu sayede üretilen nokta bulutu verileri, BIM modeli tasarımı için kullanılacak hassasiyet ve yoğunlukta olacaktır.

3.5 Bitmiş Proje Tespitine Yönelik Bir Saha Çalışması

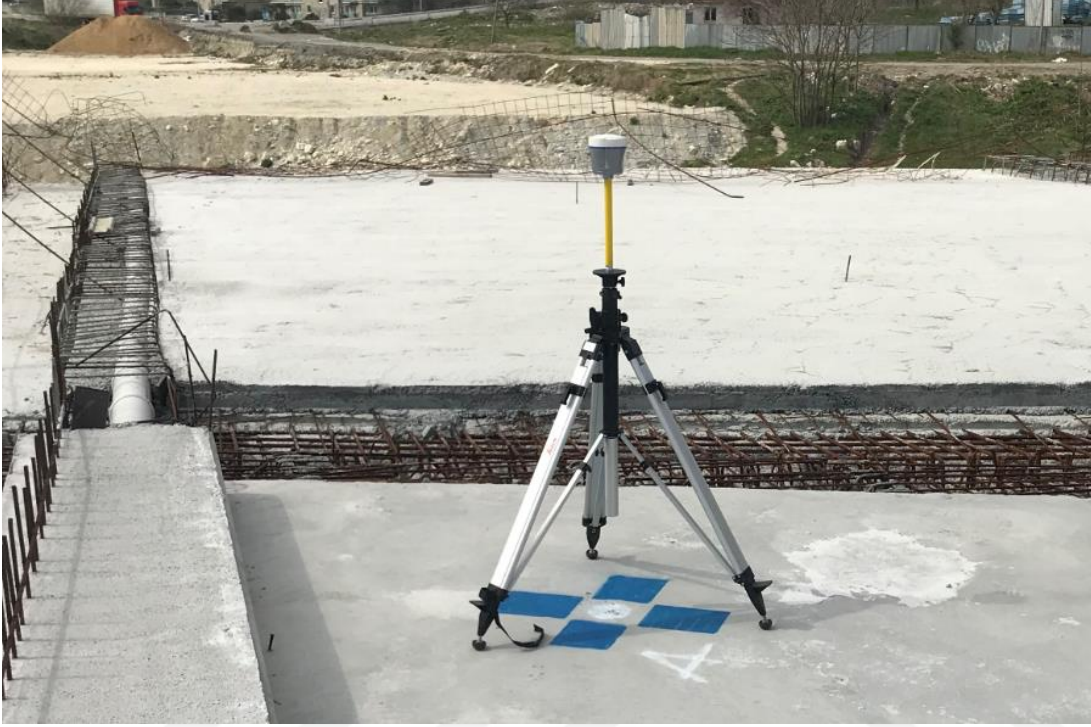
Yol projelerinde inşaat aşamasının tamamlanmasının ardından, projenin hizmete alınması ve işletmesinin yapılacak kuruma devredilmesi işlemine geçilir. Her ne kadar yol projeleri onaylı tasarıma uygun imal edildiyse de inşaat sırasında yapılan değişiklikler sebebiyle, işletme aşamasına geçilmeden bitmiş imalat üzerinden düzeltilmiş projelerin (as-built) üretilmesi zorunludur.

Bu kapsamda, İstanbul Hadımköy’de (Şekil 3.24) inşaatı devam eden bir köprü projesi üzerinde İHA yardımıyla çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.24: Hadımköy karayolu köprüsü inşaatı proje alanı.

Daha sonra İHA'nın kamerası her iki saniyede bir fotoğraf çekilecek şekilde ayarlanmış ve 10m yaklaşık uzaklıktan kiriş, kolon, duvar yüzeylerinin detayları, belirlenen bir hat üzerinde hareketler yapılarak toplam 650 defa fotoğraflanmıştır. İHA ile yapılan çalışma yaklaşık 30 dakika sürmüştür.



Şekil 3.26: C4 hassasiyetinde yer kontrol noktalarının tahsisi.

Çizelge 3.6: Köprü bölgesi yer kontrol noktaları koordinatları.

N.No	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (Ortometrik) (m)
YKN 1	386,207.448	4,554,077.508	72.135
YKN 2	386,193.998	4,554,098.289	72.202
YKN 3	386,149.390	4,554,033.838	71.758
YKN 4	386,162.175	4,554,014.470	71.725
YKN 5	386,147.057	4,554,052.806	60.040
YKN 6	386,176.698	4,554,015.754	59.827

Elde edilen fotoğraflar Agisoft Photoscan yazılımıyla işleme tabi tutulmuş, sonuç ürün olarak yoğun nokta bulutu verisi (dense cloud), örgü model (mesh) ve ortomozaik üretilmeye çalışılmıştır.

Fotoğraf hizalama işlemi sonrasında, çalışmanın başında alınan yer kontrol noktaları programa çağırılmış ve fotoğrafların üzerindeki yer kontrol noktaları işaretlenmiştir. İşaretleme sonrasında fotoğrafların daha doğru koordinatlara hareket ettikleri ve doğruluk değerlerinin daha kabul edilebilir seviyelerde olduğu görülmüştür. Oryantasyon işlemi sonucu oluşan hata değerleri Çizelge 3.7 ile verilmiştir.

Programın raporlama bölümünden proje ile ilgili sonuç değerler incelenmiştir. Şekil 3.27 ile yer kontrol noktaları hata değerleri görsel olarak verilmektedir.

Eşlenik noktalardan üretilen nokta bulutu yaklaşık 1,3 milyon noktadan oluşmaktadır. Daha sonra üretilen yoğun nokta bulutu ise yaklaşık 40 milyon noktadan oluşmaktadır. Fotoğrafların işleme süreci sırasında eşleştirme 12 dakika, hizalama 20 dakika ve yoğun nokta bulutu oluşturma 10 saat sürmüştür. Daha sonra bu yoğun nokta bulutundan üçgen model ve en son olarak ortomozaik üretilmiştir. Bu iki işlem için ise geçen süre yaklaşık iki saattir.

Çizelge 3.7: Köprü bölgesi yer kontrol hata değerleri.

N.No	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (Ort.) (m)	Hata (m)
YKN 1	-0.0028	0.0196	0.0006	0.0199
YKN 2	-0.0098	-0.0127	-0.0024	0.0162
YKN 3	-0.0028	-0.0049	0.0216	0.0223
YKN 4	0.0016	-0.0038	-0.0112	0.0119
YKN 5	0.0023	-0.0079	-0.0197	0.0214
YKN 6	0.0129	0.0113	0.0028	0.0174
			Toplam Hata	0.0186



Şekil 3.27: Yer kontrol noktaları yeri ve hata değerleri.

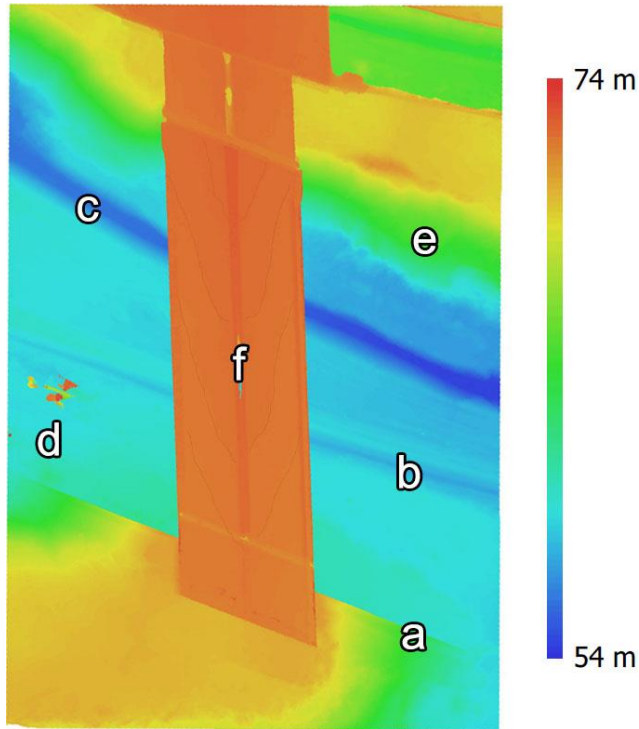
Arazide çekilen fotoğraflar, yer kontrol noktaları tesisi ve diğer işlemler yaklaşık 14 saat kadar sürmüştür.

İşlemler sonucu oluşan üç boyutlu model Şekil 3.28 ile verilmiştir. İşlenmiş bu model üzerinden çeşitli çalışmalar yapılabilir. Örneğin bu nokta bulutu CAD programlarında açılıp üzerinden imalat kontrolü yapılabilir, kesitler alınıp kontrolleri yapılabilir, hacimsel elemanlar tahkik edilebilir ya da kot-koordinat kontrolleri yapılabilir.



Şekil 3.28: Nokta bulutu 3B modeli.

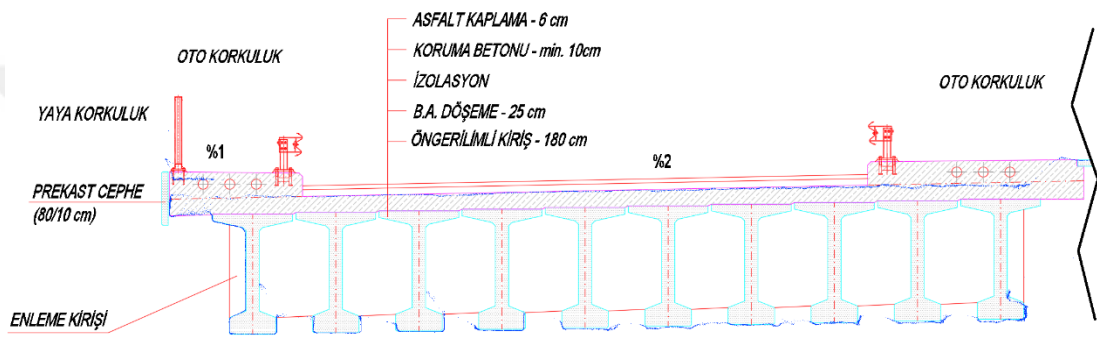
Nokta bulutundan üretilen sayısal yükseklik modeli incelendiğinde (Şekil 3.29) bazı yorumlar yapmak mümkündür.



Şekil 3.29: Nokta bulutu yükseklik analizi.

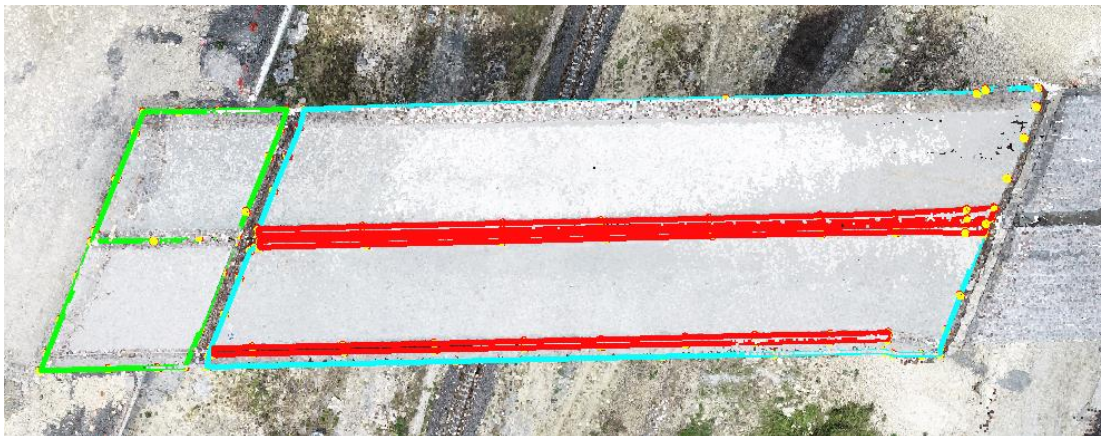
Şekilde verilen modelde (a) bölgesinde duvar kesimi, (b) bölgesinde tren yolu hattının lekeli, (c) bölgesinde dere geçişi, (d) bölgesinde ağaçlık alan, (e) bölgesinde toprak işlerine ait şev alanı görünmektedir. Diğer bir işaretli bölge olan (f) ile boyuna eğimi %0.5 olan köprü üzerindeki yükseklik geçişlerinin işaretlendiği görülmektedir.

Köprü üzerinden alınan bir nokta bulutu kesiti ve köprü proje kesiti Şekil 3.30 ile verilmiştir. Nokta bulutu verisi (görselde mavi noktalar) ile projelendirilmiş kesitin süperpoze edilmesiyle imalatın doğruluğu hakkında fikir sahibi olunabilir. Toplam 3 kesitte mevcut proje verileri ile yapılan 20 karşılaştırmada nokta bulutu ile proje verisi arasında ortalama 3.07 cm fark olduğu görülmektedir.



Şekil 3.30: Nokta bulutu ile köprü kesiti süperpozisyonu.

Arazi çalışmaları sırasında kontrol amaçlı RTK GPS yöntemi ile köprü projesi detay noktaları okunmuştur. Yapılan çalışmalar AutoCAD programında süperpoze edilmiştir. Kontrol ölçümlerinde, detayların ortalama farklar göz önüne alındığında 2-5cm aralığında uyduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31: Nokta bulutu ile plankote süperpozisyonu.

Sonuç olarak, imalat çalışmaları devam ederken köprü projesinin halihazır durumu hakkında sağlıklı veriler oluşturulmaya çalışılmıştır. Ölçümler sonucu üretilen nokta

bulutu veriler ve ortomozaik üzerinden karşılaştırmalar yapılmış, ölçüm ve imalatın hassasiyeti konusunda yapılabilecek çalışmalar irdelenmiştir. Bu bağlamda, elde edilen verilerden düzeltilmiş projelerin oluşturulabileceği söylenebilir.

Çalışma kapsamında, aynı çalışma bölgesinde başka bir tarihte RTK'lı RTK'sız İHA'lar ile deneme ve kontrol ölçümleri yapılmıştır. DJI Phantom 4 Pro marka İHA'ların farklı modellerinin kullanıldığı çalışmada RTK'sız cihaz için yer kontrol noktaları kullanılmış, RTK destekli cihazda ise yer kontrol noktası kullanılmamıştır. Çalışma sırasında, bir önceki çalışmadan farklı olarak ISKI-UKBS yerine TUSAGA-Aktif ağı kullanılmıştır. Yeniden ölçülen koordinatlar Çizelge 3.8 ile verilmiştir.

Çizelge 3.8: Köprü bölgesi tekrar ölçüm yer kontrol noktaları koordinatları.

N.No	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (Ortometrik) (m)
YKN 1	386,207.460	4,554,077.504	72.136
YKN 2	386,193.974	4,554,098.284	72.230
YKN 3	386,149.354	4,554,033.795	71.830
YKN 4	386,162.141	4,554,014.442	71.778
YKN 5	386,147.032	4,554,052.805	60.082
YKN 6	386,176.704	4,554,015.741	59.849

Şekil 3.32 ile gösterilen iki farklı cihaz için uçuş planları hazırlanmış, cihaz kalibrasyonları test edilmiş ve fotoğraf çekimleri yapılmıştır.



Şekil 3.32: RTK'lı ve RTK'sız modellerin ölçüm öncesi testleri.

Her iki çalışma için de 1.5 hektarlık bir alanda 30m yükseklikte toplam 16 dakika uçuş yapılmış, %80 enine-boyuna bindirme oranları ile yaklaşık 300'er adet 1.0cm/piksel yer örnekleme aralığı (GSD) değerinde nadir fotoğraf toplanmıştır.

Alımlardan sonra, Agisoft Photoscan programıyla değerlendirmeler yapılmıştır. RTK'lı cihaz ile hazırlanan model üzerinde yer kontrol noktaları işaretlenmiş ve GPS kullanılarak alınan yer kontrol noktası verileriyle karşılaştırılmıştır. Model üzerinden işaretlenen yer kontrol noktası verisi Çizelge 3.9 ile verilmiştir.

Çizelge 3.9: Model üzerinden işaretlenen yer kontrol noktaları koordinatları.

N.No	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (Ortometrik) (m)
İ-YKN 1	386,207.446	4,554,077.482	72.099
İ-YKN 2	386,193.957	4,554,098.257	72.179
İ-YKN 3	386,149.353	4,554,033.811	71.799
İ-YKN 4	386,162.137	4,554,014.452	71.756
İ-YKN 5	386,147.015	4,554,052.768	60.046
İ-YKN 6	386,176.682	4,554,015.744	59.833

Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9 verileri karşılaştırıldığında, ortalama hata $OH_{Sağa}=\pm 1.25\text{cm}$, $OH_{Yukarı}=\pm 0.95\text{cm}$, $OH_h=\pm 3.22\text{cm}$ ve karesel ortalama hatalar $KOH_{Sağa}=\pm 1,46\text{cm}$, $KOH_{Yukarı}=\pm 2,22\text{cm}$, $KOH_h=\pm 3,41\text{cm}$ olarak tespit edilmiştir.

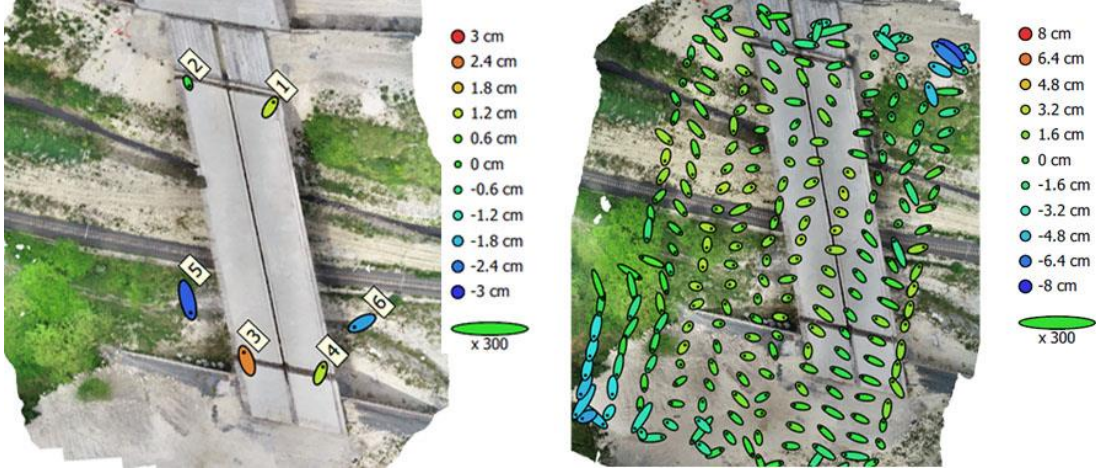
Benzer şekilde RTK'sız cihaz için yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan hata değerleri Çizelge 3.10 ile verilmiştir.

Çizelge 3.10: Köprü bölgesi yer kontrol hata değerleri.

N.No	Sağa (m)	Yukarı (m)	H (Ort.) (m)	Hata (m)
YKN 1	0.0023	0.0120	0.0121	0.0172
YKN 2	-0.0061	-0.0029	-0.0005	0.0068
YKN 3	0.0151	0.0077	0.0228	0.0284
YKN 4	0.0049	0.0122	0.0112	0.0174
YKN 5	-0.0214	-0.0133	0.0364	0.0364
YKN 6	0.0051	-0.0155	0.0262	0.0263
Toplam Hata				0.0241

Burada ortalama hata $OH_{Sağa}=\pm 0.01\text{cm}$, $OH_{Yukarı}=\pm 0.02\text{cm}$, $OH_h=\pm 1.80\text{cm}$ ve karesel ortalama hatalar $KOH_{Sağa}=\pm 1,11\text{cm}$, $KOH_{Yukarı}=\pm 1,11\text{cm}$, $KOH_h=\pm 2,16\text{cm}$ olarak tespit edilmiştir.

Her iki işlem sonucunda oluşan hata miktarları ve ortofotolar Şekil 3.33 ile gösterilmiştir. RTK'sız modelle yapılan ölçümlerde yer kontrol noktalarının koordinatlarından, RTK'lı modellerde hassas fotoğraf koordinatlarından faydalanılarak sonuç ürünler elde edilmiştir.



Şekil 3.33: RTK'lı ve RTK'sız modellerin ölçüm sonuçları.

Yönetmelik koşullarının her iki plan için de dışına çıkılarak, RTK'lı cihaz ile yer kontrol noktaları kullanılmadan, RTK'sız cihazlarla ise yer kontrol noktaları kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Eşit koşullarda yapılan ölçümlerde, hata miktarlarının birbirine benzer değerlerde oldukları görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar ışığında, karayolu projelerinin mevcut durumu, gelişen teknolojiler ve gelecek planlamaları hakkında bilgiler verilmeye çalışılmıştır. Bilgisayar ve haritacılık teknolojilerinde gelişmeler devam ettikçe görünen o ki, karayolu mühendisliğine dair projelendirme, imalat, kontrol ve işletme süreçlerindeki ivmelenme de devam edecektir. Bahsi geçen tüm bu süreçlerin hizmet ettiği tek bir gerçek sonuç vardır; verimlilik.

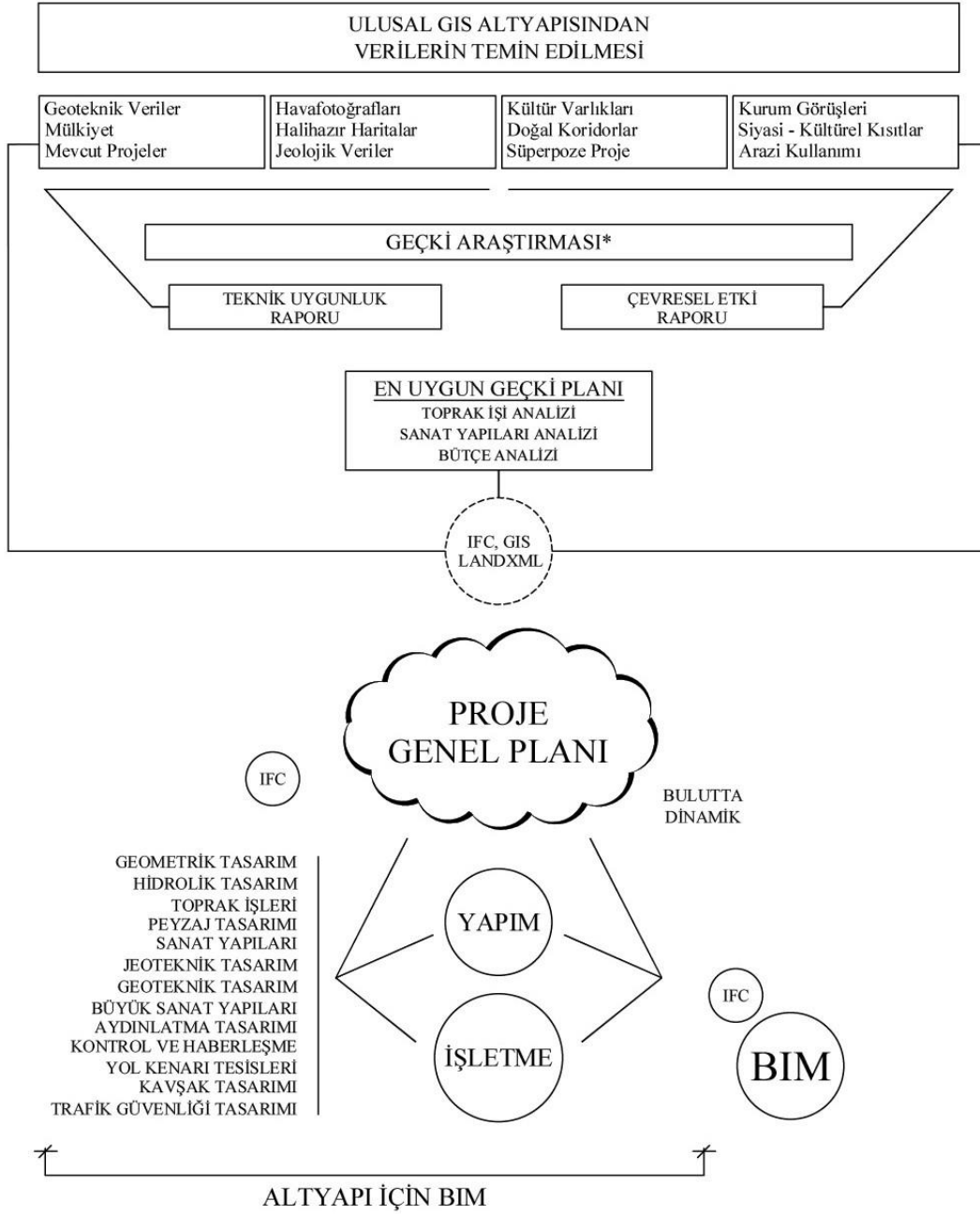
Karayolları Genel Müdürlüğü ve uhdesinde yol uygulamaları yapan diğer kurumların oldukça başarılı çalışmalar yürüttükleri görülmektedir. Ancak teknolojik gelişmeler karşısında, adaptasyon sorunları yaşandığı da aşikârdır. Birçok kurumda, özellikle yeni teknolojileri takip edip mevcut yapılara adapte edecek iş geliştirme ve araştırma departmanları ya etkisizdir ya da bulunmamaktadır. İnovatif faaliyetler, genellikle karar vericinin vizyonuna ve inisiyatifine bırakılmaktadır.

İnşaat sektörü, son 60 yılda teknolojinin gösterdiği gelişimden oldukça faydalanmış ancak, aynı oranda ivmelenememiştir. Bunun en büyük sebebi, tasarım yöntemlerinde yeni teknolojiler kullanılıyor olmasına rağmen, henüz tam olarak elektronik ortama adapte olunamamasıdır. Tasarım mühendisleri, kontrol departmanları ve arazi ekipleri güvenli limanlarından ayrılmayı reddedip, eski bilinen yöntemlerle çalışmaya devam etmektedir.

Tez çalışması kapsamında karayolu inşaat faaliyetlerinin mevcut durumu ve gelişmeye devam eden süreçler hakkında örnekler verilmeye çalışılmış, yeni teknolojilerin karayolu tasarımı, inşaatı, kontrolü ve işletmesi konularını ilgilendiren saha çalışmaları yapılmıştır. Projelendirme, kontrol ve imalat aşamasına yönelik yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, klasik yöntemlere nazaran daha az ekipman ve iş gücü kullanılarak sonuç ürüne erişilebileceği görülmüştür.

Projelendirme sürecindeki yenilikler ve gelişen teknolojiler göz önünde bulundurularak, karayolu tasarım süreçleri için bir iş akış şeması önerisi Şekil 4.1 ile verilmeye çalışılmıştır.

KURUM İÇİ ANALİZ VE BÜTÇE ÇALIŞMALARI



Şekil 4.1: Karayolu projeleri öneri iş akışı.

Her kurumun kendi iç dinamikleri ve karar verme süreçleri olduğundan iş akış şeması, bu alandan sonra tasarlanmıştır.

Önerilen iş akışına göre öncelikli konu, ulusal bazda bütün verilerin bir arada bulunduğu bir GIS altyapısı kurulması işidir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından oluşturulan Atlas platformu ve bulut bilişim teknolojilerinin tüm branşlarda GIS yapısına entegre olmasıyla nitelikli bir veri tabanı oluşturulabilir. Bu kapsamda, karar

vericiler ve proje paydaşları, kendi branşları özelinde tüm verilere tek platform üzerinden süperpoze bir şekilde sahip olabilirler. Benzer bir altyapı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğü tarafından geliştirilip hizmete sunulmuştur. Sadece kurum içinde kullanılabilen Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulaması, proje çalışmaları için pek çok altlık süperpoze halde görüntülenebilmektedir, ancak proje tasarım işleri bilgisayar ortamında klasik yöntemlerle devam ettirilmektedir.

Proje çalışmaları öncesi kullanılacak veriler, kurumlar arası yazışmalar sonucu derlenmektedir. Proje çalışmalarının bazen yıllar sürdüğü düşünüldüğünde, toplanan altlıkların bir süre sonra geçersiz olabileceği aşikardır. Buna ek olarak, bazı kurumların üst yönetimleri tarafından bilinen ve araştırma aşamasında olan çalışmalar, kurumlar arası yazışmalarda belirtilmeyebilmektedir. Ulusal GIS altyapısıyla yapılmak istenen, tüm verilerin güncel bir şekilde bir platformda toplanması ve proje paydaşlarının kullanımına sunulmasıdır.

Önerilen altyapı planında bulunması beklenen geoteknik veriler, mülkiyet verileri, uygulanmış tasarımların düzeltilmiş projeleri, güncel hava fotoğrafları, halihazır haritalar ve jeolojik bilgiler teknik uygunluk raporu çalışmalarında güncel halleriyle kullanılmalıdır. Bunların yanı sıra korunmaya değer kültür varlıkları, doğal koridorlar, planlaması ya da yapımı devam eden proje çalışmaları, bölgesel şerhler ve arazi kullanımı gibi veriler çevresel etki raporları oluşturulurken kullanılmalı, teknik uygunluk raporu verileriyle karşılaştırılmalıdır.

Yapılan tüm analizlerin sonucu olarak oluşan geçki planı, BIM altyapısında uygun bir şekilde proje paydaşları ile paylaşılmalıdır. Çalışmalar yapılırken kurum teknik ve idari şartnamelerinin yanı sıra, oluşturulacak BIM şartnameleri de uyulacak kurallar listesindeki yerini almalıdır.

Proje aşamasına geçildiğinde bulutta barındırılan ve dinamik bir altyapıya sahip olan ürün üzerinden proje çalışmaları gerçekleştirilmeli ve veri paylaşımları tüm proje ekipleri tarafından aynı formatta, bulut üzerinden sağlanmalıdır. Burada asıl önemli husus, dinamik proje yapısının yapım ve işletme aşamalarına etkisi olacaktır. Tüm proje paydaşları, çalışmaların başladığı ilk günden işletme aşamasına geçiş sürecine kadar beraber çalışmalıdırlar. Gerekmesi durumunda bahsedilen proje paydaşları, işletme aşamasında hizmet vermeye devam etmelidir.

Tüm bu süreçlere bağlı olarak, diğer projelerle paylaşılan veriler yine BIM şartnameleri tarafından uygun görülen formatlarda hazırlanmalı ve entegre projeler, mevcut planlara işlenmelidir.

Çalışmalar kapsamında ele alınan teknolojilere bakıldığında şartnamelerin, gelişmeye devam eden bulut bilişim, nokta bulutları, hava fotogrametrisi ve BIM konularında öncülüğü eline alması gerektiği söylenebilir. Bu bağlamda ilgili kurum ve meslek odalarının çalışma grupları kurup, yeni teknolojiler konusunda saha çalışmaları yapması gerekmektedir. Şartnameler genellikle sınır değerleri vermekle yükümlüdür. Bu bağlamda yeni teknolojileri kısıtlamak yerine bu teknolojilerden faydalanan proje paydaşlarını teşvik etmek kurumların önceliği olmalıdır.

Uluslararası Birlikte Çalışabilirlik Kurumu'nun (IAI ya da buildingSMART) yaklaşık 25 sene önce kurulduğu düşünüldüğünde, Şekil 4.1 ile verilen iş akışının hayata geçirilmesinin uzun zaman alacağı söylenebilir. Ancak bugün, 25 yıl öncesinden farklı bir konumdayız; değişim kapıda ve gerçekten çok hızlı evriliyor.

KAYNAKLAR

- [1] **Tunç, Argun** (2004). *Yol Güvenlik Mühendisliği ve Uygulamaları*. Ankara: Asil Yayın Dağıtım. **Khisty, C. Jotin.** (Çev.) *Transportation Engineering, An Introduction*. ABD: Prentice Hall (İlk Basım: 1990)
- [2] **Yayla, Nadir** (2008). *Karayolu Mühendisliği*. İstanbul: Birsen Yayınevi
- [3] **Tombaklar, Ö. Halis** (2006). *Yol Bilgisi*. Konya: Selçuk Üniversitesi Yayınları
- [4] **Kılınçarslan, Tülay (Der.)** (2012). *Kentsel Ulaşım, Ulaşım Sistemi - Toplu Taşım - Politikalar*. İstanbul: Ninova Yayınları
- [5] **Karayolları Genel Müdürlüğü** (2018). *Kurumsal, Tarihçe*. Erişim Adresi: <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/Tarihce.aspx>, Erişim Tarihi: 01.04.2019
- [6] **Karayolları Genel Müdürlüğü** (2005). *Karayolu Tasarım El Kitabı*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Dökümantasyon ve Yayın Şefliği
- [7] **English, T.** (2018, 24 Nisan). *Why Do Engineers Still Create 2D Detailed Drawings?.* [Blog Yazısı]. Erişim Adresi: <http://shortsleeveandtieclub.com/why-do-engineers-still-create-2d-detailed-drawings/>
- [8] **Weisberg, D.E.** (2008). *The Engineering Design Revolution*. [Yayımlanmamış Kitap]. Erişim Adresi: <https://www.cadhistory.net/02%20Brief%20Overview.pdf>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- [9] **Asanowicz, A.** (1999). *Evolution of Computer Aided Design: Three Generations of CAD. Architectural Computing from Turing to 2000*, 94-100 Liverpool, İngiltere
- [10] **The Evolution Of CAD.** (t.y.). Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <https://cadsourcing.com/the-evolution-of-cad/>
- [11] **Koparan, Y.C., Kuşçu, Ş. ve Şahin H.** (2005, Kasım). *Karayolu Projelendirilmesinde Kullanılan Grafik Tasarım Programlarından Beklentiler*. Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [12] **ÇŞB, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü** (2019). *Atlas Uygulaması*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <https://www.atlas.gov.tr/>
- [13] **Zomrawi, N., Ahmed, G. & Hussam Eldin, M.** (2013).. *Positional accuracy testing of Google Earth*. International Journal Of Multidisciplinary Sciences and Engineering, 4 (6), 6-9
- [14] **Atak, V.O.** (2019). *Google Earth Uydu Görüntülerinin Konumsal Doğruluğu*. Harita Dergisi, 161, 11-25.
- [15] **El-Ashmawy, K.** (2016). *Investigation of the Accuracy of Google Earth Elevation Data*. Artificial Satellites, 51 (3). doi: 10.1515/arsa-2016-0008.

- [16] **Orman Genel Müdürlüğü** (2008). *Orman Yollarının Planlanması, Yapımı ve Bakımı*. Erişim Adresi: [https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Tebliğler/Orman%20Yollar%C4%B1%20Planlamas%C4%B1,%20Yap%C4%B1m%C4%B1%20ve%20Bak%C4%B1m%C4%B1%20\(292%20Say%C4%B1%C4%B1%20Tebli%C4%9F\).pdf](https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Tebliğler/Orman%20Yollar%C4%B1%20Planlamas%C4%B1,%20Yap%C4%B1m%C4%B1%20ve%20Bak%C4%B1m%C4%B1%20(292%20Say%C4%B1%C4%B1%20Tebli%C4%9F).pdf), Erişim Tarihi: 01.04.2019
- [17] **Türk Standartları Enstitüsü** (2013). *TS 7249-Şehiriçi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esasları*. Ankara:
- [18] **Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (2018/11962)** (2018). Resmi Gazete (Sayı: 30460 Mükerrer) Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/06/20180626M1-13.pdf>
- [19] **Karayolları Genel Müdürlüğü** (2013). *Karayolu Teknik Şartnamesi*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Dokümantasyon ve Yayın Şefliği
- [20] **Eastman C., Teicholz P., Sacks R. & Liston K.** (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Kanada: John Wiley & Sons.
- [21] **Nazir, M.** (2012). *Cloud Computing: Overview & Current Research Challenges*. IOSR Journal of Computer Engineering, 8 (1), 14-22
- [22] **Rajaraman V.** (2014). *Cloud Computing*. Resonance – Journal Of Science Education, 19 (3), 242-258
- [23] **Küçüksille, İ.E., Özger, F. ve Genç S.** (2013, Ocak). *Mobil Bulut Bilişim ve Geleceği*. Akademik Bilişim 2013 – XV. Akademik Bilişim Konferansı. Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- [24] **Choosing the Right Cloud Service: IaaS, PaaS, or SaaS.** (2017, 8 Ağustos). Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <https://rubygarage.org/blog/iaas-vs-paas-vs-saas>
- [25] **Frame** (t.y.). *Cloud Platform*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <https://fra.me/>
- [26] **Alba, M.** (2018, 11 Temmuz). *CAD in the Cloud is Now*. [Blog Yazısı]. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <https://new.engineering.com/story/cad-in-the-cloud-is-now>
- [27] **Point Cloud** (t.y.). *Wikipedia*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvUG9pbmRfY2xvdWQ>
- [28] **Futterlieb, J., Teutsch C. & Berndt D.** (2014). *Smooth Visualization Of Large Point Clouds*. IADIS International Journal on Computer Science and Information Systems, 11 (2), 146-158
- [29] **Dharmapuri, S. & Tully M.** (2018, 7 Temmuz). *Evolution of Point Cloud*. [Blog Yazısı]. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <https://lidarmag.com/2018/07/16/evolution-of-point-cloud/>
- [30] **Yılmaz, M. & Uysal, M.** (2015). *Hava LiDAR Nokta Bulutunun Sayısal Yükseklik Modeli Doğruluğuna Etkisi*. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi. 7(3), 15–20. doi: 10.15659/hartek.15.12.108

- [31] **Yersel LIDAR Yöntemi ile Kadastral Detay Ölçmeleri, Üretimi ve Kontrol Esasları** (2018). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tapu Ve Kadastro Genel Müdürlüğü Kadastro Dairesi Başkanlığı. 37575733-170.99-E.2717669, 24.09.2018
- [32] **Öner, M.** (2002.). *Geçmişten Günümüze Resimlerle Türk Haritacılık Tarihi*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: https://www.harita.gov.tr/images/kurumsal/ResHaritaTarihi-tur_eng.pdf
- [33] **Bilgi, S.** (2007). Fotogrametri ve Uzaktan Algılamada Veri Elde Etme Yöntemlerinin Gelişimi ve Kısa Tarihçeleri. Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi. 1 (96), 48-55
- [34] **Karayolları Genel Müdürlüğü** (2018). *Karayolları Yersel ve Fotogrametrik Harita Mühendislik Hizmetleri İşlerine Ait Teknik Şartname*. Erişim Adresi: <https://kms.kaysis.gov.tr/Home/Goster/141510?AspxAutoDetectCookieSupport=1>. Erişim Tarihi: 01.04.2019
- [35] **Tatar, Y.** (2011, Aralık). *Uzaktan Algılama Tarihçesine Genel Bir Bakış*. Mehmet Duru anısına Biga Yarımadası'nın Jeolojisi Sempozyumu. 1, 65-90
- [36] **Yıldız, Y.** (2007 Ocak). *İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı Harita Müdürlüğü'nün Yapmış Olduğu Çalışmalar Ve Uygulamalar*. TUFUAB Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Teknik Sempozyumu. İTÜ Ayazağa Yerleşkesi. İstanbul
- [37] **Gençerk, E.Y.** (2016). *İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Uygulaması ile İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Alındığı tarih: 01.05.2019, Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/11527/15809>
- [38] **İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı SHT-İHA** (2016). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. Alındığı tarih: 01.05.2019, Erişim adresi: https://iha.shgm.gov.tr/public/document/SHT-IHA_REV1.pdf
- [39] **Korchenko, A.G. & Ilyash O.S.** (2013, Kasım). *The Generalized Classification of Unmanned Air Vehicles*. Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments Proceedings (APUAVD), 2013 IEEE 2nd International Conference. Kiev, Ukrayna. doi: 10.1109/APUAVD.2013.6705275.
- [40] **İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri (İHA) ile Kadastral Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları**, (2018). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tapu Ve Kadastro Genel Müdürlüğü Kadastro Dairesi Başkanlığı. 37575733-170.99-E.4032591
- [41] **Schwind, M.** (2014). *Comparing And Characterizing Three-Dimensional Point Clouds Derived By Structure From Motion Photogrammetry*. (Yüksek Lisans Tezi) Texas A&M University-Corpus Christi, Texas. Alındığı tarih: 01.05.2019, Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/1969.6/1137>
- [42] **Özcan, O.** (2017). *İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi*. Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi, 2. 1-7.

- [43] **Wróżyński, R., Pyszny, K., Sojka, M., Przybyła, C. & Murat-Blązejewska, S.** (2017). *Ground volume assessment using 'Structure from Motion' photogrammetry with a smartphone and a compact camera*. Open Geosciences 2017, 9, 281-294. doi: 10.1515/geo-2017-0023.
- [44] **Tercan, E.** (2017). *Karayolu Projelerinde İnsansız Hava Aracı ile Üretilen Sayısal Arazi Modelinin Değerlendirilmesi: Bucak-Kocaeliler Yolu Örneği*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2),172-183
- [45] **Georgopoulos, A., Ioannidis, C. & Valanis, A.** (2010). *Assessing The Performance Of A Structured Light Scanner*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, 250-255 Newcastle, İngiltere.
- [46] **Lazer (elektromanyetik)** (t.y.). *Wikipedia*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTGF6ZXJfKGVsZWt0cm9tYW55ZXRpayk>
- [47] **Gümüş, K. & Erkaya, H.** (2007). *Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Nisan 2007, Ankara.
- [48] **Zhang, C. & Arditi, D.** (2013). *Automated Progress Control Using Laser Scanning Technology*. Automation in Construction. 36, 108–116. doi: 10.1016/j.autcon.2013.08.012
- [49] **Alonso, J.I.S.J., Martínez-Rubio, J., Fernandez, J. & Garcia Fernandez, J.** (2012). *Comparing Time-Of-Flight And Phase-Shift. The Survey Of The Royal Pantheon In The Basilica Of San Isidoro (León)*. SPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXXVIII-5/W16. 377-385. doi: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-377-2011.
- [50] **Ebrahim, M.** (2014). *3D Laser Scanners: History, Applications, And Future*. doi: 10.13140/2.1.3331.3284
- [51] **Penttilä, H.** (2006). *Describing The Changes in Architectural Information Technology To Understand Design Complexity And Free-Form Architectural Expression*. Electronic Journal of Information Technology in Construction, 11. 395-408.
- [52] **Mordue, S., Swaddle, P. & Philip D.** (2016). *Building Information Modeling For Dummies*. Chichester, İngiltere: Wiley
- [53] **Kjartansdóttir, I.B., Mordue, S., Nowak, P., Philip, D. & Snæbjörnsson, J.T.,** (2016). *Building Information Modeling BIM*. İzlanda, Büyük Britanya: POLCEN
- [54] **Light, D.** (2011, 1 Ekim). *BIM Implementation - HOK buildingSMAR*. [Blog Yazısı]. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-implementation-hok-buildingsmart>

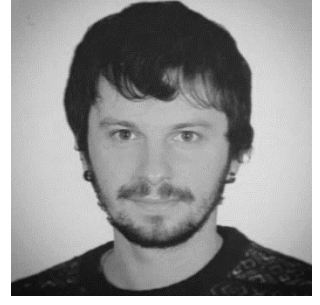
- [55] **Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation** (2004). *CURT, The Construction Users Roundtable*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <https://kcuc.org/wp-content/uploads/2013/11/CollaborationIntegrated-Information-and-the-Project-Lifecycle.pdf>
- [56] **Bew, M., & Richards, M.** (2008). *BIM Maturity Model*. Paper presented at the Construct IT Autumn 2008 Members' Meeting. Brighton, İngiltere
- [57] **Khosrowshahi, F. & Arayıcı Y.** (2012). *Roadmap for Implementation of BIM in the UK Construction Industry*. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(6), 610- 635. doi: 10.1108/09699981211277531
- [58] **End-To-End Collaboration Enabled By BIM Level 3** (t.y.). *Dassault Systems, Architecture, Engineering & Construction*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <https://www.3ds.com/fileadmin/Industries/Architecture-Engineering-Construction/Pdf/Whitepapers/end-to-end-collaboration-enabled-by-bim-level-3-white-paper-aec.pdf>
- [59] **Russell, P. & Elger D.** (2008). *The Meaning of BIM, Towards a Bionic Building*. In *Architecture 'in computro' - Integrating Methods and Techniques: 26th eCAADe Conference Proceedings*, 531-536.
- [60] **BuildingSMART Triangle Neutral** (t.y.). *BuildingSMART*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <http://iug.buildingsmart.org/products/welcome>
- [61] **Göktepe, B., Lav A.H. & Altun S.** (2005). *Ağırlıklı Siyah Çizgi Yöntemi İle Yol Projelendirmede Toprak İşleri Optimizasyonu.*, 6. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maçka, İstanbul, 228-237.
- [62] **Bosurgi, G., Pellegrino, O.& Sollazzo, G.** (2013). *A PSO highway alignment optimization algorithm considering environmental constraints*. *Advances in Transportation Studies an international Journal Section*, B(31), 63-80
- [63] **Model Builder** (t.y.). *Autodesk Infraworks Help*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: <http://help.autodesk.com/view/INFMDR/ENU/?guid=GUID-071FB6F4-AE4A-4F3D-8869-9F39D9988561>
- [64] **Çetinkaya, E.** (2005). *İzmir-İstanbul Otoyolu Bursa Çevreyolu 1. Kesiminin Projelendirme ve İnşaat Aşamasının İnceleme ve Değerlendirmesi* (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Alındığı tarih: 01.05.2019, Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/11527/11738>
- [65] **Karayolu Köprüleri Teknik Kılavuzu** (2016). *Türkiye Köprü Mühendisliğinde Tasarım ve Yapımına İlişkin Teknolojilerin Geliştirilmesi Teknik Kılavuzu*, Yürütücü: ODTU, TUBITAK Proje No: 110G093, Ankara
- [66] **Litchi D.D. ve Gordon S.J.** (2004). *Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording*. *Proceedings of FIG Working Week*, Atina, Yunanistan Alındığı tarih: 01.05.2019, Erişim adresi:

https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/athens/papers/wsa2/WSA2_6_Lichti_Gordon.pdf

- [67] **Leica C10 Teknik Özellikler Klavuzu** (t.y.). *Leica ScanStation C10 Her Türü Uygulama İçin Hepsi Bir Arada Lazer Tarayıcı*. Alındığı tarih: 01.05.2019 Erişim adresi: http://sistemas.com.tr/urundetay?urn=leica-scanstation-c10&kn=1&dw=Leica%20Scanstation_c10_T%C3%BCrk%C3%A7e.pdf



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Emrah Erdem ÖZLÜ
Doğum Yeri ve Tarihi : 28.01.1984 / İzmit
E-Posta : erdemozlu@gmail.com, erdem@idearc.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

- Lisans : 2009, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
- Lisans : 2008, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM

- 2015-Halen : 2015 yılında kurduğu IDEArc Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik Limited Şirketi'nde çalışma hayatına devam etmektedir.
- 2009-2015 : İmar Planlama Proje Müşavirlik A.Ş. ve Hartek Harita Teknoloji İnşaat ve Dış Ticaret Limited Şirketi'nde karayolu tasarımı, trafik düzenleme ve ulaşım planlama konuları üzerine çalışmıştır.