

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKETLİ HARİTALAMADA PANORAMİK GÖRÜNTÜ
KULLANIMI VE FOTOGRAMETRİK ENTEGRASYONU

ALİHAN AYDIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKETLİ HARİTALAMADA
PANORAMİK GÖRÜNTÜ KULLANIMI VE
FOTOGRAMETRİK ENTEGRASYONU

ALİHAN AYDIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. BAHADIR ERGÜN
II. DANIŞMANI
DOÇ. DR. CUMHUR ŞAHİN

GEBZE
2019

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**THE USING AND PHOTOGRAMMETRIC
INTEGRATION OF PANORAMIC IMAGE
FOR MOBILE MAPPING**

ALİHAN AYDIN
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
GEODETIC AND GEOGRAPHIC INFORMATION
TECHNOLOGIES PROGRAMME

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. BAHADIR ERGÜN
II. THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. CUMHUR ŞAHİN

GEBZE
2019

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU
----------------------------------	--------------------------------------

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/06/2019 tarih ve 2019/27 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 25/06/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Alihan AYDIN'ın tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Bahadır ERGÜN



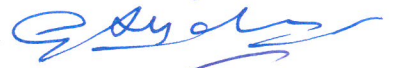
ÜYE

(TEZ İKİNCİ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Cumhuri ŞAHİN



ÜYE

: Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU



ÜYE

: Doç. Dr. Himmet KARAMAN



ÜYE

: Doç. Dr. Turan ERDEN



ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Günümüzde lazer teknolojisinin belirli bir seviyeye gelmesiyle harita üretimi için gerekli olan imkânlar genişlemiş, zaman ve para kaybı ciddi anlamda önlenmiş, elde edilen ölçüm sonuçlarında ise doğruluk, hassasiyet gibi kavramlarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu çalışmada hareketli (mobil) lazer ölçme sistemlerinin özellikleri, uygulama alanları ve klasik ölçme sistemlerine göre avantajları ve dezavantajlarının incelenmesi amacıyla mobil tarama verilerinden otomatik rölöve (bina cephe rölövesi) üretilmiştir. Bu bağlamda cephe görüntülerinden ortofoto elde edebilmek amacıyla iki boyutlu Kalman filtreleme algoritması ve buna bağlı bir lazer veri sınıflandırma metodu geliştirilmiştir. Binaya ait pencere köşe noktaları otomatik olarak tespit edilmiş ve örnek bir mobil lazer verisinde uygulaması yapılarak verilerin birleştirilmesi için elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mobil, Lidar, Lazer, Kalman, Fotogrametri, Harita.

SUMMARY

By developing of current laser technology, the facilities require for map producing had expanded, waste of time and money had been significantly avoided and the measuring obtained results had been gained in many terms like accuracy. In this paper, for the purpose of researching properties, application field, advantage and disadvantage of mobile laser measuring systems compared to classical measuring systems, resurveying had been produced by using mobile scanning datas. Accordingly, depending on Two Dimensional Kalman Filtering Algorithm, a laser data classification method had been developed for determining windows edge points automatically and producing orthophotos. Finally, the application for a sample of mobil laser data had been performed and the accuracy of measuring obtained results for data integration had been discussed.

Keywords: Mobile, Lidar, Laser, Kalman, Photogrammetry, Map.

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisansa başladığım ilk günden son güne kadar bana bir meslektaş gibi davranan, sabırla dinleyen ve yönlendiren, hafta içi veya hafta sonu gözetmeksizin benimle birlikte geç saatlere kadar çalışıp vakit ayıran, beni araştırmaya teşvik eden GTÜ öğretim üyesi, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Bahadır ERGÜN'e;

Bana yeri geldiğinde bir arkadaşı gibi yeri geldiğinde bir akademisyen gibi davranan, her fırsatta desteğini hissettiren ve yardımını esirgemeyen GTÜ öğretim üyesi, tez ikinci danışman hocam Sayın Doç.Dr. Cumhur ŞAHİN'e;

Nokta bulutu verilerinin sağlanmasında başta değerli meslektaşım Erkan BAYGÜL olmak üzere tüm Paksoy Teknik Hizmetleri Ltd.Şti. yetkililerine;

Tanıştığımız günden beri hayatı sonsuz sevgi ve hoşgörüsüyle benimle paylaşan, bana her konuda destek olan, çok sevdiğim eşim Ceyda AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Üç Boyutlu Hareketli Lazer Tarama Sistemi	3
2.1.1. Sistem Bileşenleri	4
2.1.1.1 LIDAR	4
2.1.1.1.1. LIDAR'ın Çalışma Prensipleri	4
2.1.1.1.2. LIDAR'ın Avantajları	6
2.1.1.1.3. LIDAR'ın Uygulama Alanları	6
2.1.1.2. Video Sistemi	7
2.1.1.3. GNSS/IMU	9
2.1.1.4. Kontrol Ünitesi	10
2.1.1.5. DMI	10
2.1.2. Sistemin Kurulması	12
2.1.3. Ölçüme Başlama	12
2.1.4. Sistemin Kullanım Alanları	14
2.1.5. Veri İşleme	15
2.1.5.1. Nokta Bulutu	15
2.1.6. Sistem Kalibrasyonu	16
2.1.6.1. Donanımın Yerleştirilmesi	16
2.1.6.2. Düşey Yönlü Kameranın Kalibrasyonu	17
2.1.6.3. Yatay Yönlü Kameranın Kalibrasyonu	17

2.1.7. Sistem Doğruluğu	17
2.1.7.1. Bağıl Doğruluk	18
2.1.7.2. Mutlak Doğruluk	18
2.1.8. Sistemin Avantajları ve Dezavantajları	19
2.1.8.1. Sistemin Avantajları	18
2.1.8.2. Sistemin Dezavantajları	19
3. MOBİL LAZER TARAMA SİSTEMLERİ	20
3.1. Road Scanner-SITECO Şirketi	20
3.2. MX8-TRIMBLE Şirketi	20
3.3. StreetMapper– 3D LM Şirketi	21
3.4. Dynascan-MDL Şirketi	21
3.5. Lynx-OPTECH Şirketi	22
3.6. IP-S2-TOPCON Şirket	23
3.6.1. IP-S2 Lazer Tarayıcı Sisteminin Donanım Özellikleri	24
3.6.1.1. Ladybug-5 Kamera	25
3.6.1.1.1. Panoramik Görüntü	28
4. TARAMA VERİLERİNİ İŞLEYEN YAZILIMLAR	30
4.1. Riegl Yazılımları	30
4.1.1. Rianalyze	30
4.1.2. Riscan Pro 2.0	30
4.1.3. Rimining	31
4.1.4. Resolve 2.0	31
4.1.5. RiDB	32
4.2. Faro-Scene Yazılımı	33
4.3. Maptek-I-Site Studio	34
4.4. LupoScan Yazılımı	34
4.5. LFM(Light For Modeler) Yazılımı	36
4.6. Leica-Cyclone Yazılımı	37
4.7. PolyWorks Yazılımı	38
5. KALMAN FİLTRELEME TEKNIĞI	40
5.1. Kestirilen(Tahmin Edilen) İşlem	41
5.1.1. Filtrenin Sayısal Kökenler	42
5.1.2. Filtrenin Algoritması	42
6. İKİ BOYUTLU KALMAN FİLTRESİ	44

6.1. İki Boyutlu Kalman İşlemcisi	44
6.2. İki Adımlı Filtreleme Yöntemi	46
7. UYGULAMA	47
7.1. Amaç	47
7.2. Uygulamada Kullanılan Kalman Filtresi Parametreleri	50
7.3. Uygulama Çalışması İşlem Adımları	50
7.3.1. Zemin Noktalarının Belirlenmesi	50
7.3.2. Yol Orta Ekseninin Belirlenmesi	52
7.3.3. Bina Noktalarının Belirlenmesi	53
7.3.4. Binanın Yönünün Belirlenmesi	54
7.3.5. Bina Noktalarının Referans Yüzeye Aktarılması	56
7.3.6. Kalman Kodunun Çalıştırılması	61
7.3.7. Kalman Filtresi Sonuçlarının Sınıflandırılması	62
7.3.8. Rölöve ve Pencerelerin Optimizasyonu	64
7.3.8.1. Bina ve Pencere Rölövelerinin Klasik Optimizasyon ile Çizimi	65
7.3.8.2. Kalman Filtresi ile Optimizasyon	65
7.3.8.3. Kalman + Klasik Optimizasyon	68
8. SONUÇ ve ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	85
EKLER	86
Diğer Ekler (CD)	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
C°	: Santigrat Derece
cm	: Santimetre
Gbit	: Gigabit
Hz	: Hertz
kHz	: Kiloherz
km	: Kilometre
MB	: MegaByte
mm	: Milimetre
n	: Nanometre
V	: Volt
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CCD	: Yükleme İliştirilmiş Araç
DMI	: Mesafe Ölçme Göstergesi
GNSS	: Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri
GPS	: Küresel Konum Belirleme Sistemi
INS	: İç Navigasyon Sistemi
IMU	: İç Ölçüm Ünitesi
LIDAR	: Lazer ile Tarama ve Ölçüm
PCS	: Konum ve Yönlendirme Bilgisayar Sistemi
RTK	: Gerçek Zamanlı Kinematik
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
XML	: Genişletilebilir İşaretleme Dili

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Sistem Bileşenleri.	4
2.2: Lazer Işınının Gelişi ve Geri Dönüşü.	5
2.3: a) Koridor Uygulaması, b) SYM Uygulaması, c) SAM Uygulaması.	7
2.4: a) Normal Kamera Görüntüsü, b) Nokta Bulutu Görüntüsü.	8
2.5: a) Dijital Kamera Görüntüsü, b) Nokta Bulutu (LIDAR ile Taranmış) Görüntü.	8
2.6: IMU.	10
2.7: GPS Alıcısı ve Anteni.	10
2.8: Kontrol Ünitesi(PCS).	11
2.9: DMI.	11
2.10: Bitmiş Sistem Örnekleri (Araç Dışı).	12
2.11: Bitmiş Sistem Örnekleri (Araç İçi).	12
2.12: Ölçüm İşlemi.	13
2.13: Doğal Engeller.	13
2.14: Önüne Geçilemeyecek Durumlar.	14
2.15: a) Görüntü Bulutu, b) Nokta Bulutu.	16
2.16: Tünel Ölçümü.	18
3.1: MX8-TRIMBLE	21
3.2: a) DYNASCAN Sistemi, b) OPTECH Sistemi.	22
3.3: a) IP-S2-TOPCON Sistemi, b) Road Scanner-SITECO Sistemi.	23
3.4: Ladybug-5 Kamera.	25
3.5: Şekil 3.5: a) Ham Görüntü, b) İşlenmiş Görüntü.	27
3.6: a) Radyal Projeksiyon Görüntüsü, b) Dome Projeksiyon Görüntüsü.	28
3.7: Panoramik Görüntü Oluşturma Mantığı.	29
3.8: 360 Derece Panoramik Görüntü.	29
4.1: Riscan Pro 2.0 Yazılım Görüntüsü.	31
4.2: Resolve 2.0 Yazılım Görüntüsü	32
4.3: Scene Yazılım Görüntüsü.	34
4.4: I-Studio Yazılımında Modellenmiş Görüntü.	35

4.5:	LupoScan Yazılım Görüntüsü.	36
4.6:	LFM Yazılım Görüntüsü.	37
4.7:	Color Metot List, Flat, Natural, Yükseklik ve Kızılötesi Renklendirme.	37
4.8:	PolyWorks Yazılım Görüntüsü.	39
5.1:	Kalman Filtresinin Çalışma Prensipleri.	43
7.1:	Nokta Bulutu Verilerinin Elde Edilmesinde Kullanılan Araç.	48
7.2:	Orijinal Verinin CAD Ortamında Gösterimi.	48
7.3:	Uygulama Çalışması İşlem Adımları.	49
7.4:	Sınıflandırmaya Başlanması.	51
7.5:	Üç boyutluLazer Nokta Bulutu Grafiği.	51
7.6:	Zemin Noktalarının Grafiği.	52
7.7:	Yol Orta Ekseninin Belirlenmesi.	53
7.8:	Yol Orta Ekseni Grafiği.	54
7.9:	Bina Noktalarının Yol Orta Eksenine Göre Ayrılması.	55
7.10:	Bina Yönünün Belirlenmesi.	55
7.11:	Bina Noktaları Grafiği.	56
7.12:	Bina Referans Yüzey Noktaları Grafiği.	58
7.13:	Referans Yüzey Noktalarının Tespiti.	58
7.14:	En Büyük Referans Yüzey Noktaları Grafiği.	59
7.15:	Bina En Büyük Referans Yüzeyi Grafiği.	59
7.16:	Referans Yüzey Grafiği.	60
7.17:	Kalman Kodunun Çalıştırılması.	62
7.18:	Kalman Öncesi Yüzey Noktaları Grafiği.	62
7.19:	Kalman Filtresi Sonuçlarının Sınıflandırılması.	64
7.20:	Bina Cephe Rölövesi ve Pencere Çizimi Grafiği.	65
7.21:	Optimizasyonu Yapılacak Alan.	66
7.22:	Kalmanla Filtrelenecek Noktaların Belirlenmesi.	67
7.23:	Kalmanla Filtrelenecek Veri Noktaları Grafiği.	67
7.24:	Pencerelerin Kalman Filtreleme Yöntemi ile Optimize Edilmesi.	68
7.25:	Klasik Optimizasyon Gösterimi.	69
7.26:	Pencerelerin Kalman + Klasik Optimizasyon Yöntemi ile Optimize Edilmesi.	69
7.27:	Rölövelerin Çizimi.	70
7.28:	Analiz Rölöve Grafiği.	70

7.29:	Analiz Rölöve Nokta Bulutu Grafiği.	71
7.30:	Binaya Ait Panoramik Görüntü.	71
7.31:	Düzeltilmiş Resim.	71
8.1:	Pencere 1 için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	73
8.2:	Pencere 2 için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	73
8.3:	Pencere 3 için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	74
8.4:	Pencere 4 için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	74
8.5:	Pencere 1 için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	75
8.6:	Pencere 2 için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	75
8.7:	Pencere 3 için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	76
8.8:	Pencere 4 için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	76
8.9:	Pencere 1 için Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	77
8.10:	Pencere 2 için Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	77
8.11:	Pencere 3 için Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	78
8.12:	Pencere 4 için Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.	78
8.13:	Tüm Pencereleler için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyon Değerleri Grafiği.	79
8.14:	Tüm Pencereleler için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyon Değerleri Grafiği.	79
8.15:	Tüm Pencereleler için Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyon Değerleri Grafiği.	80
8.16:	X ve Y Değerlerinin Karesel Ortalama Hatalarını Gösteren Grafik.	81

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Bazı Mobil Lazer Terama Sistemlerinin Karşılaştırılması.	24
3.2: Ladybug Kameralarının Genel Özellikleri.	25
3.3: LAdybug-5 Kameraların Desteklediği Görüntü Formatları.	26
7.1: Bina Referans Yüzey Noktaları.	57
7.2: Referans Düzlem Parametreleri.	60
8.1: Pencere Köşe Noktalarının Son Koordinat Değerleri ile ΔX ve ΔY Farkları.	72
8.2: X ve Y Değerlerinin Standart Sapmaları.	80

1. GİRİŞ

Harita yapım biliminin dijital harita yapım alanında sürekli olarak ilerlediği bilinen bir gerçektir. Son on, on beş yıllık süreçte özellikle dijital teknolojilerin etkisiyle Fotogrametri, Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaysal konum belirleme teknolojilerinin birleştirilmesi mümkün olmuş ve bu da harita yapım sektörünün hızla gelişmesi ve muazzam bir şekilde büyümesiyle sonuçlanmıştır. Modern dijital harita yapım teknolojisi birçok disiplinin birleşimi, çoklu platform düzeltmeleri, çoklu algılayıcı birleşimi, çoklu veri bütünleşmesi ile karakterize olmuştur [Asri ve Çorumluoğlu, 2013].

Çoklu platform ve çoklu algılayıcı ile bütünleştirilmiş harita yapım teknolojisi hızlı konumsal veri toplama yönünde açık bir eğilim ortaya koymuştur. Algılayıcılar; uydular, uçaklar, helikopterler, kara araçları, deniz veya su araçları, hatta arazi personeli tarafından elde taşınabilen araçlar gibi farklı platformlar üzerine monte edilebilmektedir. İnternet ve kablosuz iletişim ağlarının kullanımının artması ve algılayıcı ağlardaki son gelişmeler verimli bir şekilde veri transferi ve veri işlemesi için önemli olanaklar sağlamıştır. Bunun sonucunda harita yapımı mobil ve dinamik bir hal almıştır [Asri ve Çorumluoğlu, 2013].

Yol telematiklerinin zamanla gelişmesi sürekli büyüyen yol veri tabanının yönetilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Mobil haritalama sistemleri, bu bilgiyi navigasyon ve videogrametri aletlerinin birleştirilmesiyle meydana gelen bir ürün sayesinde elde edebilmektedir. Ancak bu teknik için gerekli olan gelişmiş donanımlar önemli yatırımlar ile sağlanabilir. Jeodezi mühendisliği laboratuvarı, yol bilgilerinin özünü daha ucuz maliyetle elde edebilecek bir süreç geliştirmeye devam etmektedir. Yeni araştırmalar yol işaretlerinin ölçümünde kullanılan yatay kameraların, yolun yatay ekseninin birçok konumda 20-40 cm hassasiyetle ölçülebildiği sonucuna varmıştır [Asri ve Çorumluoğlu, 2013].

Hareketli haritalama sistemi, yolun merkez hattını düşey yönlü kamera ile referans alması bakımından seleflerinden farklılık gösterir. Böyle bir teknik hem yolun plan ve tasarımını desimetrik hassasiyetle vermesi bakımından hem de basit ve ekonomik olması bakımından tercih edilebilir [Asri ve Çorumluoğlu, 2013].

Uzun yıllardır yersel lazer tarayıcı ve LIDAR sistemleri dünyada kullanılmaktadır. Çeşitli ihtiyaçlardan dolayı firmalar bu iki sistemi birleştirmeyi

başardılar. Sonunda üç boyutlu Mobil Lazer Tarayıcı Sistemi (Hareketli Haritalama) ortaya çıktı. Sistem, hareketli bir platform üzerinde (araba, tekne vb.) hareket halinde iken üç boyutlu lazer tarayıcı ile üç boyutlu nesnelerin ölçülmesine dayanır [Asri ve Çorumluoğlu, 2013].

Bu çalışmada, hareketli haritalama yöntemi ile elde edilen panoramik görüntünün kullanılması için bu görüntüye ait lazer nokta bulutlarının filtrelenmesi çalışması yapılmış ve kullanılan filtre yöntemlerinin doğruluğu araştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

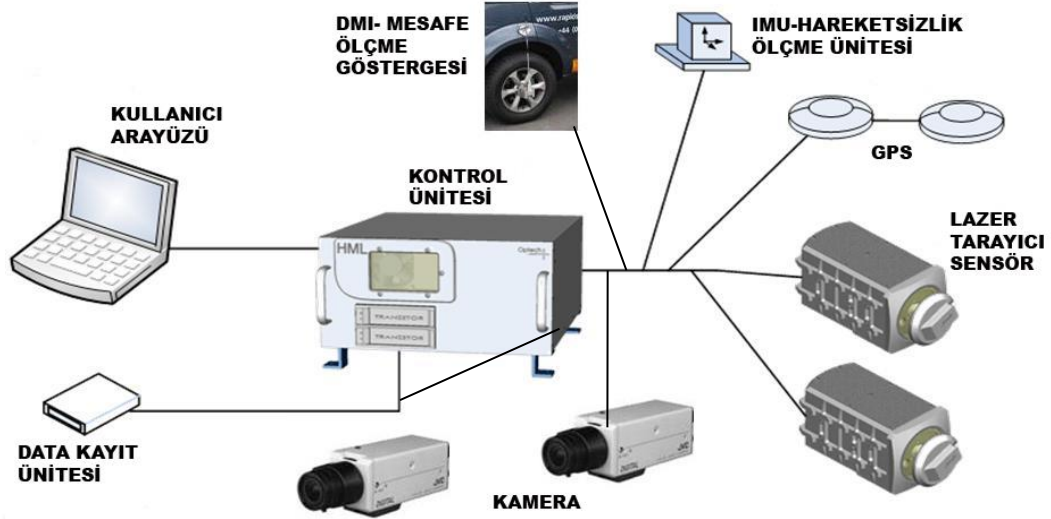
Hareketli harita yapımı üzerine alıştırıcılar 1980'lerin sonlarına kadar uzanır. İlk çalışmalar kara yolu alt yapı haritalarının hızlı olarak üretilmesi ve ulaşım hatlarının dökümüne duyulan ihtiyaç nedeniyle sürdürüldü. Bu süreçte, kameralar, yön bulma ve konum belirleme algılayıcıları (örneğin Küresel Konum Belirleme-Global Positioning System: GPS) ve ataletsel ölçme birimi (INS-Inertial Navigation System, IMU-Inertial Measurement Unit) gibi araçlar birleştirildi ve harita yapım amacı doğrultusunda bir hareketli araç üzerine monte edildi. Nesnelerin yön bulma ve konum belirleme algılayıcıları kullanılarak konumlandırılan resimlerden ölçümü ve haritalarının yapımı gerçekleştirilebildi. İlk zamanlarda, araştırmacılar tarafından bu heyecan verici araştırma alanını tanımlamak için değişik terimler kullanıldı. Kinematik ölçme, dinamik harita yapımı, araç tabanlı harita yapımı vs. gibi terimler bilimsel literatürde yer aldı. 1997 de Hareketli Harita Yapım Teknolojisi (Mobile Mapping Technology) üzerine ilk uluslararası sempozyum ABD'nin Ohio eyaletinin Columbus şehrindeki Ohio State Üniversitesinin Harita Yapımı Merkezinde yapıldı. Daha sonra "Mobile Mapping-Hareketli Harita Yapımı" terimi kabul gördü ve çoğunlukla bu terim kullanıldı [Asri ve Çorumluoğlu, 2013].

2.1. Üç Boyutlu Hareketli Lazer Tarama Sistemi

Üç boyutlu hareketli lazer tarama sistemi aslında karayolu işlerindeki ölçüm ve kayıt altına alma işleri için üretilmişse de halen diğer uygulamalar içinde kullanılabilecek şekilde üretilmeye devam etmektedir. Bu sistemde, iki ya da dört adet iki boyutlu ve üç boyutlu lazer tarayıcı ve bu sistemle bütünleştirilmiş bir yüksek performanslı GPS navigasyon sistemi kullanılmaktadır. 2005 yılından beri çalışmakta olan bu sistemler birçok değişik aracın üzerine kolayca monte edilebilmektedir. Bu sistemin önemli kamusal yararı ise 30 mm hassasiyete kadar olan karayolu ölçümlerinde trafik akışını olumsuz yönde etkilememesidir.

2.1.1. Sistem Bileşenleri

Sistem bileşenleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Sistem Bileşenleri.

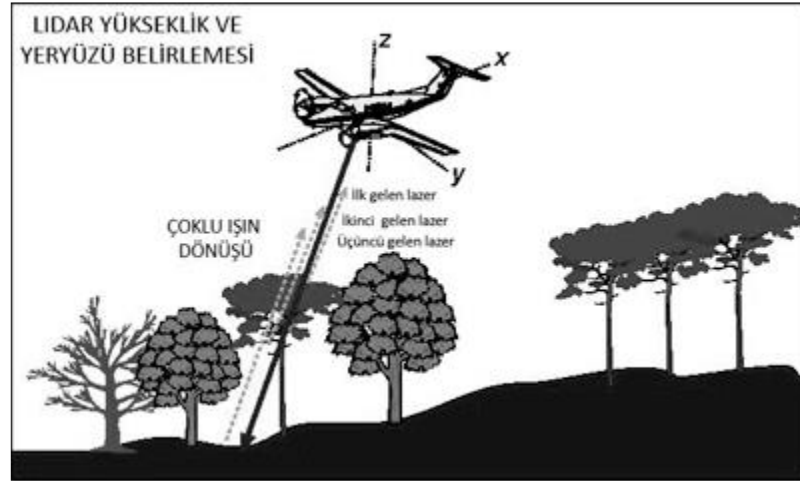
2.1.1.1. LIDAR (Laser Image/Light Detection and Ranging)

LIDAR sistemleri radar gibi uzaktan algılama sistemleridir. Bu sistemlerde araziye tanımlamak için lazer ışığının darbeleri kullanılır. LIDAR, yüksek yoğunluklu ve geometrik özellikli sayısal yükseklik verisini, yersel ölçmelerle yaklaşık aynı doğrulukta, bununla birlikte hava fotogrametrisinden daha hızlı bir şekilde oluşturmaya yatkın bir teknolojidir. LIDAR ile harita yapımında, lazer tarayıcı, yüksek doğrulukla Inersiyel Referans Sistemi (INS) ve GPS (Global Positioning Satellite System) teknolojilerinin birleşimi kullanılır. Bu sistemlerin küçük bir uçak ya da helikopter içine yerleştirilmesi ile uçağın uçuş hattı altında kalan arazinin yeterli doğrulukta sayısal topoğrafik haritasının hızlı bir şekilde üretilmesi mümkündür [Ekercin ve Üstün, 2004].

2.1.1.1.1. LIDAR’ın Çalışma Prensipleri:

Şekil 2.2’de lazer ışınının gelişi ve geri dönüşü gösterilmiştir. Sistem aşağıda belirtilen ekipmanlardan oluşmaktadır;

- Yüksek çözünürlüklü sayısal kamera,
- Lazer tarayıcı, IMU'dan oluşan modül ve algılayıcı,
- Hava taşıtı (uçak veya helikopter),
- Lazer kaynağı ve detektörü,
- Tarayıcı ve kontrolörü,
- Hava taşıtı üzerinde GPS' i,
- Çok hassas saat,
- Lazer ışın açısının ölçülmesi için gerekli modül,
- Yüksek performanslı bir bilgisayar,
- Yüksek kapasiteli veri depolama ünitesi [Navruz M., 2011].



Şekil 2.2: Lazer Işınının Gelişi ve Geri Dönüşü.

Hava LIDAR sistemleri; bir lazer tarayıcının, küresel konumlama sisteminin (GPS) ve atalet ölçüm sisteminin (IMU) birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Uçak, helikopter vb. bir hava aracının altına monte edilen tarayıcı, lazer ışınının yol ve gidiş-dönüş süresini kaydederek yer nesneleri ve algılayıcı(sensör) arasındaki mesafeyi hesaplar. Hesaplanan bu mesafe temel alınarak GPS ile platformun o anki konumu kaydedilirken IMU ile uçağın durumu kaydedilerek ölçülen nesnenin konumu hesaplanmaktadır [Yılmaz ve Uysal, 2014].

2.1.1.1.2. LIDAR’ın Avantajları:

LIDAR, yersel ölçme yöntemleri ve hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında daha az arazi çalışması ve değerlendirme maliyeti gerektirir. Bu durum düşük maliyetli, nokta yoğunluğu yüksek ve istenilen doğrulukla referanslandırılmış sayısal yükseklik verisine ihtiyaç duyan kullanıcılar için LIDAR’ı çekici bir teknoloji yapmıştır.

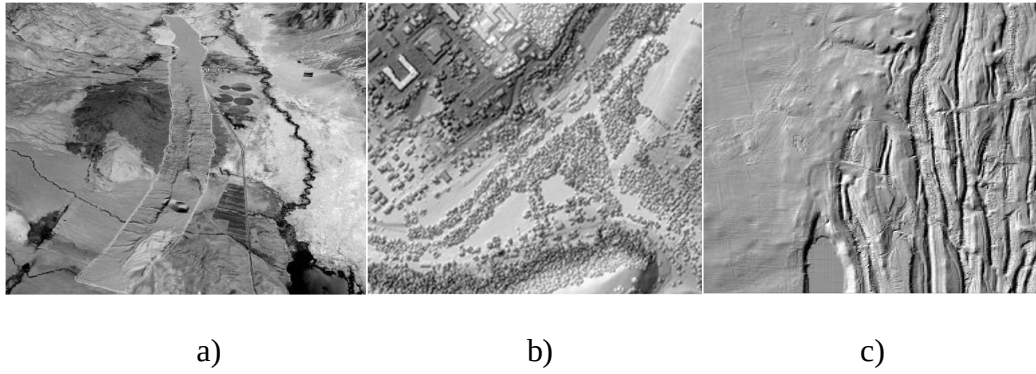
Hava LIDAR sistemindeki algılayıcıların aktif sistemler olması nedeniyle gün ışığından ve gölgeden etkilenmemekte, gece ya da gündüz kolaylıkla kullanılabilir. Yükseklik değerleri LIDAR verisine daha uygun olduğu için SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) kullanımına daha uygundur. Yüksek yoğunluklu geometrik özellikli sayısal yükseklik verisini klasik ölçmeler ile yaklaşık aynı doğrulukta, hava fotogrametrisinden daha hızlı oluşturmaya imkân vermektedir [Ekercin ve Üstün, 2004].

2.1.1.1.3. LIDAR’ın Uygulama Alanları

Uygulamaya bağlı olarak, LIDAR sistemi yersel ve fotogrametrik ölçme yöntemleri ile karşılaştırıldığında ya tamamlayıcı ya da rekabetçi bir teknolojidir. Birçok ölçme uygulamalarında uçaktan lazerle ölçme teknolojisi, diğer bilinen algılayıcıları içeren dijital kameralar, çok spektrumlu tarayıcılar ve termal kameralarla birlikte kullanılmaktadır [Ekercin ve Üstün, 2004]. Belirli mühendislik uygulamalarında diğer teknolojilerle toplanamayan özellikleri kolaylıkla elde eden bu sistemin en yaygın uygulama alanları;

- Çeşitli CBS/Harita Bağlantılı Ürünler için SAM Oluşturulması
- Sayısal Yükseklik Modeli ve Koridor Uygulamaları
- Ormancılık: Ormancılık endüstrisindeki kullanımı, LIDAR’ın ilk ticari alanlarından birisidir. Ağaç gölgesi altındaki arazi ve topografya hakkındaki doğru bilgiler hem ormancılık endüstrisi hem de doğal kaynak yönetimi için önemlidir. Ağaç yoğunlukları ve yükseklikleri hakkındaki doğru bilgi, yersel ve fotogrametrik ölçme yöntemleriyle elde edilmesi güç bir bilgidir [Ekercin ve Üstün, 2004].

- Kıyı Mühendisliği: Nemli topraklar gibi çevresel olarak hassas olan pek çok alana, sınırlı olarak girilebilmektedir. Bu tür bölgelerde, bitki örtüsünden dolayı fotogrametrik ölçme yöntemi ile değerlendirme yapmak zordur. LIDAR, bu alanları ölçmek için büyük bir imkândır. Bu teknoloji ayrıca zehirli atıkların bulunduğu endüstriyel çöplüklerin ölçülmesi için de kullanılabilir [Ekercin ve Üstün, 2004].
- Yapı Endüstrisi: Bu duruma otoyol koridorlarının ya da geniş yapı sitelerinin ölçmeleri örnek olarak verilebilir [Ekercin ve Üstün, 2004].
- Şehir Planlama: Haberleşme ve afet planlaması içeren çeşitli uygulamalar için söz konusu bölgelerin yüksek doğrulukla sayısal modellerine ihtiyaç vardır [Ekercin ve Üstün, 2004]. Lidar uygulama alanları sırası ile Şekil 2.3.a) ve Şekil 2.3.b)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: a) Koridor Uygulaması, b) SYM Uygulaması, c) SAM Uygulaması.

2.1.1.2. Video Sistemi

Ölçme uygulamalarında hareketli haritalama kullanılarak iki farklı görüntüleme sistemi işletilebilir. Birçok uygulamada görüntü verisinin amacı verinin iyi bir görsel yorumlamasını yapmaktır. Bu bakımdan normal video kamera kullanılabilir. Bu video kamera verisinin kontrol ünitesi tarafından zaman işaretlemesi yapılır ve lazer tarayıcı veri ile senkronize (eş zamanlama) edilir. Ölçüm esnasında yol üzerinde yer alan işaretlerin üzerindeki yazılar görünebilir boyuttaysa, kamera diğer algılayıcılara bağlı kalmadan ayrıca monte edilebilir. Bu durumda IMU ile olan bağlantı kesilmiş olmasına rağmen, kameranın konum ve oryantasyon bilgileri ölçüm için yeterli seviyede olacaktır [Gremer and Hunter, 2007].

Aşağıdaki şekilde Almanya'daki bir sokak görüntüsünün, sol tarafta normal video kamerayla çekilmiş görüntüsü sağ tarafta ise LIDAR nokta bulutu olarak görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2.4: a) Normal Kamera Görüntüsü, b) Nokta Bulutu Görüntüsü.

Eğer yüksek kalitede bir görüntü verisi elde edilmek isteniyorsa, dijital kamera kullanılmalıdır. GNSS/IMU sisteminden tüm yararlı oryantasyonları almak için kamera platforma diğer algılayıcılar ile birlikte monte edilmelidir [Gremer and Hunter, 2007].



Şekil 2.5: a) Dijital Kamera Görüntüsü, b) Nokta Bulutu (LIDAR ile Taranmış) Görüntü.

Şekil 2.5.a)'da verinin DigiCAM K14 ile çekilmiş görüntüsü gösterilmiştir. LIDAR ile taranmış görüntü ile kamera görüntüsü PHIDIAS yazılımı kullanılarak

Aachen, Germany firması tarafından Şekil 2.5.b)'de gösterilen nokta bulutu görüntüsü ile üst üste bindirilmiştir [Gremer and Hunter, 2007].

2.1.1.3. GNSS/IMU

LIDAR tarama sistemlerinde olduğu gibi kinematik yersel LIDAR haritalamanın doğruluğu, lazer tarayıcının veri toplama işlemi esnasındaki konum ve oryantasyonunun doğru hesaplanmasına bağlıdır. Yer ölçümünde kullanılan araçlar hava ölçümünde kullanılan araçlara göre GNSS/IMU bakımından daha farklı ihtiyaçlar gösterebilir. Kara araçları multipath (sinyal yansıma hatası) etkisinde kalabilir ve ağaç, bina gibi nesneler gölgeleme yaparak sinyallerin bozulmasına sebep olabilir. Diğer taraftan kara araçlarının ölçülen nesnelere uzaklığı hava araçlarına göre daha azdır. Kara araçları onlarca metre iken hava araçları nesneye yüzlerce metre uzaktadır. Bunun sonucunda GNSS konumlama hatasının tüm hataya etkisi, yükseklik hesaplama sırasında meydana gelen hatanın tüm hataya etkisinden çok daha büyüktür [Gremer and Hunter, 2007].

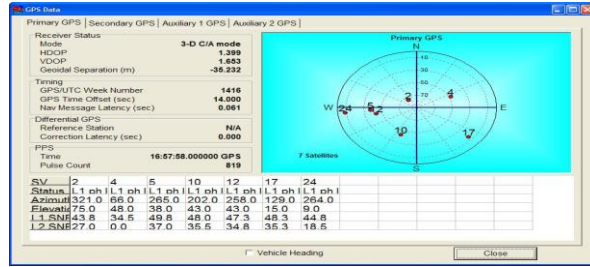
GNSS'nin zayıf olduğu durumlarda iç navigasyon sistemine destek sağlamak amacıyla GNSS/IMU navigasyon sistemi, eklenebilir hız algılayıcı kullanılarak genişletilmiştir. Navigasyon verisinin işlenmesine verdiği katkının yanında hız algılayıcı tünel, ağaç gibi GNSS'nin zayıf olduğu zamanlarda hatanın azaltılmasına da yardımcı olur [Gremer and Hunter, 2007].

i) IMU: IMU (Inertial Measurement Unit-İç Ölçme Ünitesi), aracın üç eksenindeki (x, y, z) hareket bilgilerini kaydeden ünitedir. Bu etkiler roll (öteleme), pitch (dönüklük), heading (yükseklik) olarak adlandırılır. Kısa mesafelerin taraması esnasında öteleme ve dönüklük açılarının tam olarak belirlenemediği durumlarda açısal doğruluk 0.004 derecenin altındadır. IMU, Şekil 2.6'da gösterilmiştir [Gremer and Hunter, 2007].



Şekil 2.6: IMU.

ii) GNSS Alıcısı: GNSS (Global Navigation Satellite System- Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri) uydularla konum belirleme tekniklerinin tümünü kapsayan terim olarak kabul edilir. Standart yapılandırmada daha çok GPS kullanılır. Sistemlerde iki veya üç adet GPS cihazı kullanılır. GPS cihazı hassas olarak koordinat bilgisinin toplanmasını ve kayıt edilmesini sağlar. GPS cihazlarından bir tanesi normal RTK çalışmalarındaki gibi koordinatı bilinen bir nokta üzerine kurulur. Diğer cihazlar ise araç üzerine takılır. Şekil 2.7’de GPS alıcısı ve anteni gösterilmiştir [Gremer and Hunter, 2007].



Şekil 2.7: GPS Alıcısı ve Anteni.

Hareketli haritalamada nesnelerin üç boyutlu haritalanmasında ölçülen verilerin doğrudan coğrafi referanslandırma işlemini yapmak amacıyla IMU ve GNSS kullanılır.

2.1.1.4. Kontrol Ünitesi

Kontrol ünitesi, PCS (POS (Position and Orientation) Computer System- Konum ve Yönlendirme Bilgisayar Sistemi) olarak adlandırılır. GPS alıcısı, IMU ve

hız algılayıcısından gelen ham verileri depolar. Post processing (sonraki işlem) aşamasında bir sonraki veri aktarımının eşzamanlanması için GPS zaman etiketlerinin doğruluğuyla birlikte gerekli olan lazer tarayıcı ve dijital kamera desteğini sağlar. Bu arayüz sayesinde operatör ölçümü başlatabilir veya durdurabilir, GNSS verilerine girerek kontrol edebilir ve farklı lazer tarayıcıları aynı anda başlatabilir veya durdurabilir [Gremer and Hunter, 2007].

İşlenmiş Data	
X,Y Pozisyonu(m)	0.20
Z(Düşey) Pozisyon(m)	0.30
Roll ve Pitch (Derece)	0.05
Gerçek Heading(Yön) (Derece)	0.02



Şekil 2.8: Kontrol Ünitesi(PCS).

2.1.1.5. DMI

Şekil 2.9’da gösterilen DMI (Distance Measurement Indicator-Mesafe Ölçme Göstergesi) sistemi aracın tekerleğine takılır ve tekerleğin alçalma-yükselme hareketlerini ölçer.



Şekil 2.9: DMI.

2.1.2. Sistemin Kurulması

Öncelikle araç üzerine sağlam bir platform monte edilir. Genellikle taşınacak ekipmanlar ağır olduğundan bu platform sağlam malzemeden olmalıdır. Kurulan bu platform üzerine daha önce bahsedilen Lazer Tarayıcı, GPS cihazları, IMU ve kameralar monte edilir. Araç içerisinde POS kontrol ünitesi ve kullanıcı arabirimi olan bilgisayar monte edilir. Tekerleğe DMI ünitesi takılır. Şekil 2.10'da ve Şekil 2.11'de bitmiş sistem örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Bitmiş Sistem Örnekleri (Araç Dışı).

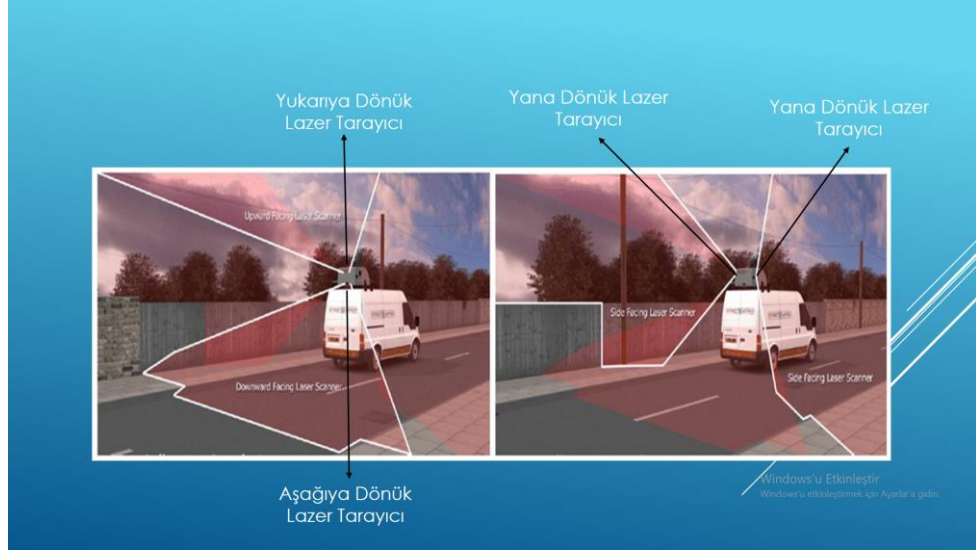


Şekil 2.11: Bitmiş Sistem Örnekleri (Araç İçi).

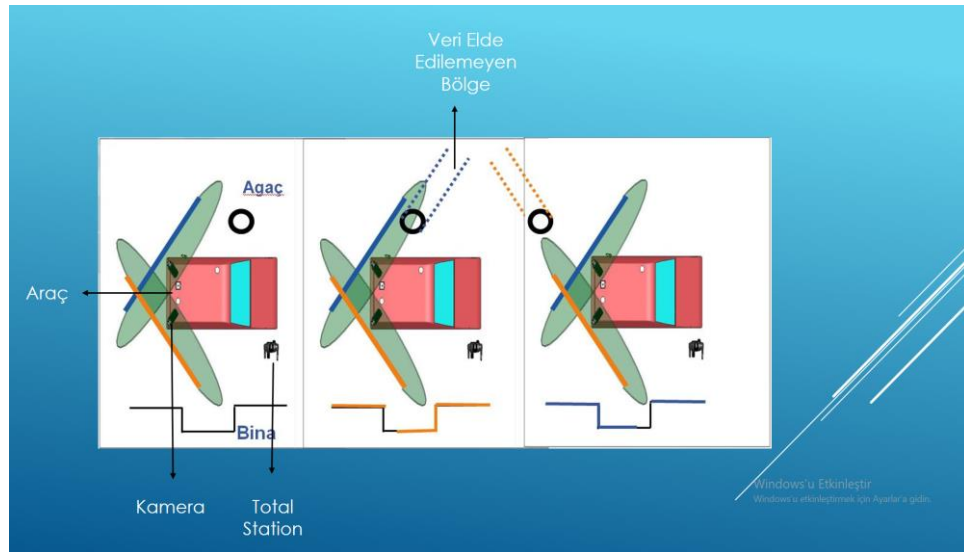
2.1.3. Ölçüme Başlama

Yeteri kadar nokta bulutu yoğunluğunu sağlamak için çoklu algılayıcı sistem kullanılır. Dört adet iki boyutlu lazer tarayıcının aynı anda çalışmasıyla da 360

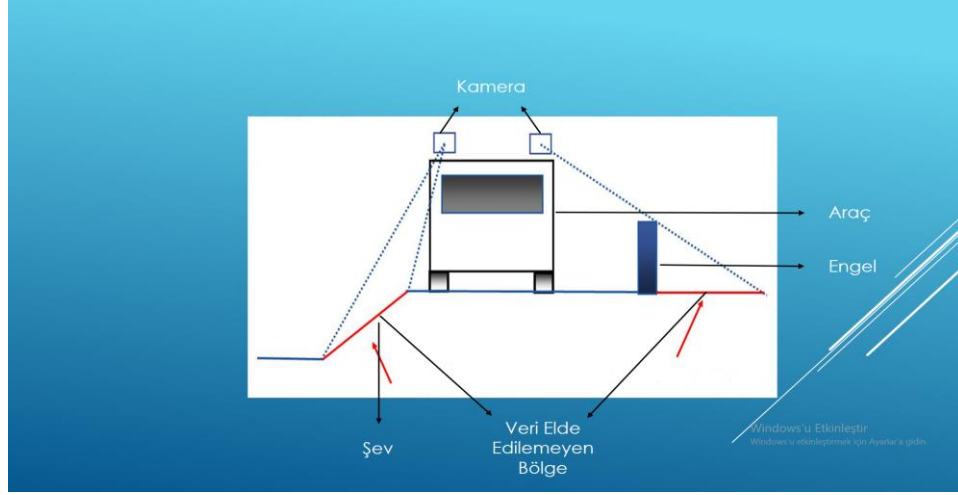
derecelik görüş alanı elde edilir. Ölçüm bölgesinde araç yaklaşık 10-20 km hızla ilerleyerek ölçüm gerçekleşir. Ölçüm esnasında çeşitli doğal şartlardan dolayı engellemeler oluşabilir. Bunun çözümü daha fazla algılayıcı kullanmaktır.



Şekil 2.12: Ölçüm İşlemi.



Şekil 2.13: Doğal Engeller.



Şekil 2.14: Önüne Geçilemeyecek Durumlar.

2.1.4. Sistemin Kullanım Alanları

- Koridor Ölçümlerinde: Tünel, Yol vb.
- Şehir Modellerinin Çıkartılmasında: Üç boyutlu arazi modeli veya arazi örtüsü modeli kullanılarak görselleştirme yapılabilir, şehir planlama gibi analizler gerçekleştirilebilir.
- Doğal Kaynak Yöntemi: Açık maden ocaklarının ölçümünde, ağaç yüksekliği hesaplamada, biyokitle (belli bir alan içindeki yaşayan tüm canlıların niceliği), kazı çalışmaları için hacim hesaplama gibi işlemlerde kullanılabilir.
- Askeri Uygulamalarda
- Altyapı Uygulamalarında
- Karayollarındaki Uygulamalarda: Hareketli harita yapım teknolojilerinin uzun soluklu kullanıldığı alanlardan biridir. Trafik işaretlerinin dökümü, hız sınırı ve park yasağı ihlallerini görüntüleme, yol ağı veritabanı oluşturma, lazer teknolojisi ile birlikte kullanıldığında yol yüzey koşullarının kontrolü vb. alanlar hareketli harita yapım sistemlerinin karayollarındaki kullanımlarından bazılarıdır.
- Enerji Nakil Hatlarındaki Uygulamalarda: Enerji nakil hatlarındaki kule direk vb. yapıların en üst ve en alt noktalarının ölçülmesi, düşük hatların belirlenmesi, döküm ve keşif çalışmaları vb. kullanılabilir.
- Hassas Tarımdaki Uygulamalarda: Hassas Tarımda hareketli harita yapım teknolojileri CBS ile birlikte özellikle değişim izlemesi (nerede, ne zaman,

nasıl) yapılarak etkili bir tarım planlamasına imkân tanır. Sadece değişim izleme ile değil bunun yanında toprak şartları ve kalite tespitleri vb. başka uygulamalar ile bu etkili planlamaya katkıda bulunabilir.

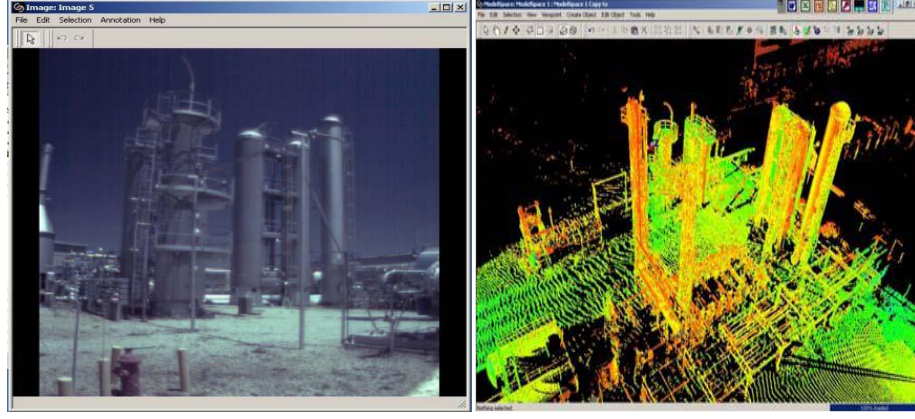
- Acil Arama ve Kurtarma Servisleri İçin Altyapı Haritaları Yapım Uygulamalarında: 911, 112 vb. acil arama kurtarma servisleri için binaların önemli noktaları, telefon kulübesi vb. yerlerin konum ve özellikleri toplanarak bir veritabanı oluşturulabilir.

2.1.5. Veri İşleme

Kontrol ünitesinin yeterli imkânı olsa da veri işleme en son adım olarak gerçekleşir. Veri işleme iki ana adımda gerçekleşir. Birinci adım geo-referans (coğrafi referans) noktalarını hesaplamak için gerekli olan hesaplamaları içerir. İkinci adım ise farklı özellikteki ürünlerin ve nokta bulutu dışındaki veritabanının oluşturulmasını kapsar [Haal et al., 2008].

2.1.5.1. Nokta Bulutu

Nokta bulutu bir lazer tarayıcı, motorize bir total station olarak tanımlanabilir. Taranacak nesnenin yüzey verisini, üç boyutlu koordinat olarak elde etmektedir. Tarama işlemi otomatik ve sistematik olarak yapılmakta ve saniyede binlerce noktanın x,y,z koordinatlarına ulaşılmaktadır. Yersel lazer taramalarından elde edilen yüksek yoğunluklu noktalar kümesi, tarama süresince genellikle nokta bulutu olarak toplanır. Toplanan bu nokta bulutu, taramayla eş zamanlı olarak, tarama programında görülebilmektedir. Nokta bulutu, bir nesne veya konumun mekânsal dağılımdaki genel referans sistemi içerisindeki x,y,z koordinatlarının toplamıdır. Şekil 2.15.a)'da görüntü bulutu, Şekil 2.15.b)'de nokta bulutu gösterilmiştir [Gümüş ve Erkaya, 2007].



a)

b)

Şekil 2.15: a) Görüntü Bulutu, b) Nokta Bulutu.

Nokta Bulutunun Hesaplanması

- Algılayıcı platformun konum ve oryantasyon hesabı yapılır. Bu adım kontrol ünitesinde gerçekleşir.
- Ham ölçüler, konumlar ve kalibre edilmiş oryantasyonlarla referans nokta bulutunun hesaplanması amacıyla birleştirilir. GNSS'nin çok zor olduğu koşullarda, mutlak doğruluğu artırmak için dengeleme yapılır.
- Farklı lazer tarayıcıların yoğunlukları, tek bir verisetinde birleştirilen farklı tarama verilerini etkinleştirmek için normalize edilir.
- Verisetleri, LIDAR veri analiz yazılımı ile işlenmek için farklı boyutlara ayrılırlar.
- Nokta bulutundaki noktalar; yeryüzü noktaları, bitki örtüsü, binalar gibi sınıflara ayrılırlar.
- Artık referanslandırılmış ve sınıflandırılmış nokta bulutları kullanıma hazırdır.

2.1.6. Sistem Kalibrasyonu

Farklı algılayıcıların konumları doğrudan, bağıl oryantasyon ya da hata veriden hesaplanabilir. Bu hata kalibrasyonu, multipath etkisi oluşturan bina köşeleri veya yol işaretleri gibi arazi özelliklerinden kaynaklanabilir. Lazer tarayıcı ve IMU'nun montajlanmasından dolayı, hata kalibrasyonu ciddi seviyede değişmez [Çelik H., 2011].

2.1.6.1. Donanımın Yerleştirilmesi

Bütün algılayıcılar aracın tavanına rahatlıkla monte edilebilir. Bir tane önde ve iki tane arkada olmak üzere üç tane anten mevcuttur. GPS antenleri aracın sol tarafına paralel olarak yerleştirilir. Böylece GPS, görüş imkânının iyi olması durumunda konum ve azimut değerlerini tanımlar. Aksi halde öndeki antenin altında bulunan iç ünite sürekli açı ve ivme ölçümü yapar. Bu durumda GPS antenleri görüntü karesini referans alır ve kamera X eksenini doğrultusunda yerleştirilir [Gontran et al., 1994].

2.1.6.2. Düşey Yönlü Kameranın Kalibrasyonu

Video görüntülerinin geo-referencing (coğrafi referanslandırma) işlemi esnasında resim ve fotoğraf karesindeki koordinatlar arasında dönüşüm imkânı sağlayan kalibrasyon prosedüründen yararlanılır. Bu basit operasyon her bir donanım ayarlandıktan sonra gerçekleştirilir [Gontran et al., 1994].

2.1.6.3. Yatay Yönlü Kameranın Kalibrasyonu

RTK modundaki iki GPS alıcısı ile hesaplanan gerçek zamanlı azimut hesabı sayesinde araç yola paralel olarak ayarlanır. Kamera tarafında çekilen resim, görüntü karesine bağlanır.

Hedeflerin ölçülü koordinatlarını elde etmek için bu resim, dönüşüm parametrelerinin bağlandığı küçük alanlara bölünür. Böyle bir teknik, distorsiyon hatalarının sıklığını azaltabilir [Gontran et al., 1994].

2.1.7. Sistem Doğruluğu

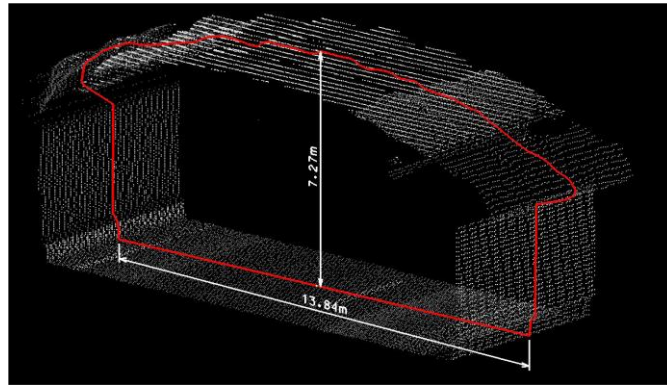
Sistemin doğruluğu iki farklı şekilde incelenebilir.

2.1.7.1. Bağıl Doğruluk

Kısa bir zaman diliminde, aynı bölgede bulunan iki nokta arasındaki ölçülerin dağılımı olarak tanımlanır. Bu hata lazer tarayıcı ölçümleri esnasında meydana gelen gürültü hatasından kaynaklanır. Hareketli haritalama ölçmeleri için bağıl doğruluk 2.5 cm civarındadır. İki arazi yapısı arasındaki ölçülmüş mesafenin doğruluğu bağıl doğruluğa eşit değildir. Arazi kesimlerinin nokta bulutu içindeki konumlarının belirlenmesi için bu doğruluğun güçlü bir şekilde dağılması gerekir. Arazi özelliklerinin ve nokta yoğunluğunun şekline bağlı olarak, bu doğruluk bağıl doğruluğa göre daha iyi veya daha kötü olabilir. Hareketli haritalama esnasında, bağıl doğruluk ve iki arazi kesimi arasındaki ölçülmüş mesafenin doğruluğu GNSS'in kısa vadeli şartlarından neredeyse bağımsızdır. GNSS sinyallerinin tam olarak alınamadığı veya kesik kesik alındığı durumlarda sadece mutlak doğruluk azalır [Gremer and Hunter, 2007].

2.1.7.2. Mutlak Doğruluk

Yersel haritalama koordinat sisteminde, lazer ölçümlerinin doğruluğu şeklinde tanımlanır. GNSS'nin çözünürlük kalitesi bu doğruluk için önemli bir etkidir. İyi koşullarda bu doğruluk 3 cm civarında iken kötü şartlarda 0.5 metreye kadar çıkabilmektedir. Bu durum arazinin bağıl konumunun önemli olmadığı zamanlarda kullanılabilir. Bu uygulamalar tünel içindeki mesafenin ölçülmesi veya büyük ve geniş yüklerin taşınması için planlı yol güzergâhlarında kullanılır [Gremer and Hunter, 2007].



Şekil 2.16: Tünel Ölçümü.

2.1.8. Sistemin Avantajları ve Dezavantajları

2.1.8.1. Sistemin Avantajları

- Çok kısa zamanda %99 oranında gerçeğin, bilgisayar ortamına taşınması sağlanır.
- Çok yüksek çözünürlüklü ve yoğun veri elde edilir.
- Sistem tek kişi tarafından çalıştırılabilir.

2.1.8.2. Sistemin Dezavantajları

- Sistemin maliyeti çok yüksektir.
- Sistemin üzerine kurulabilmesi için 4x4 bir araca ihtiyaç vardır. Araç tavanında en az 100 kg taşıyabilmelidir.
- Sistem kurulduktan sonra güvenlik için mutlaka kapalı bir garaja ihtiyaç vardır.
- Toplanan verilerin kayıt edilebilmesi için çok büyük kapasitelerde hard disklere İhtiyaç vardır (Terabayt mertebesinde).
- Böyle bir araçla yolda dikkat çekmemek mümkün değildir. Yavaş hızla giderken sağdan soldan aracın önüne atlayanlar olabilir.

3. MOBİL LAZER TARAMA SİSTEMLERİ

Mobil lazer sistem firmaları arasında; TOPCON ve TRIMBLE gibi büyük şirketlerin yanında, OPTECH, RIEGL, SITECO ve MDL gibi orta büyüklükte şirketleri de gösterebiliriz.

3.1. Road Scanner-SITECO Şirketi

2005 yılından itibaren Parma ve Bologna Üniversitelerinin ortaklığında SITECO, hareketli haritalama hakkında Road Scanner sistemini baz alarak yaptığı çalışmalarını sürdürmektedir. Hareketli haritalamada kullanılan araç; IXEA firmasının ürettiği ve fiber-optik teknoloji kullanılan Landins navigasyon sistemi, sekiz kamera setinden oluşan Basler Scout kamera kullanılarak birleştirilmiştir. Bu kameralardan iki tanesi mükemmel bir stereo çifti oluşturmak amacıyla biri sağ ön ve diğeri sol öne olmak üzere yerleştirilir. En az dört kamera yolun tamamını görebilmesi amacıyla 45° - 135° - 225° - 315° eğimlerle konumlandırılır. Bunun dışında sistem, Faro Photon 120 sayesinde helezonlu(sarmal) tarama yapabilir. Sistemin amacı yol kontrolünü sağlamaktır. Bu amaçla sisteme, düşey hataları hesaplamak için Dynatest marka algılayıcı, asfaltın katmanlarını kontrol etmek içinse IDL marka yer içini işleyebilen radar eklenmiştir [Puente et al., 2012].

3.2. MX8-TRIMBLE Şirketi

MX8-TRIMBLE sistemi, nesneleri ölçmek için görüntüleme ve lazer tarama özelliklerinin birleştirildiği ileri seviyede mobil veri elde etme sistemidir. Dizayn özelliği sayesinde birçok araca rahatlıkla monte edilebilir ve yüklenebilir. Veri yakalama sistemi, konumlandırma için APPLANIX (bir diğer TRIMBLE şirketi) tarafından üretilen POS LV 420 marka IMU/GPS alt sisteminden ve aracın heading hatasının tespiti için kullanılan iki TRIMBLES GPS alıcısından oluşur. Sistem, iki adet RIEGL VQ-250 tarayıcı ve altı adet 5 megapiksel dijital kameradan oluşan panoramik görüntüleme alt sisteminden oluşur.

TRIMBLE firması birçok yazılım paketi geliştirmeye devam etmektedir. Bu yazılımlar veri kazanımı için kullanılan TRIMBLE Trident-3D Data Capture Software, veri işlemek için kullanılan TRIMBLE-3D Analyst yazılımlarının yanında, yoldaki işaretlerin ve şeritlerin yarı otomatik olarak tespit edilmesi, tanımlanması ve analizinin gerçekleştirilmesinde kullanılır. MX8-TRIMBLE sistemi Şekil 3.1’de gösterilmiştir [Puente et al., 2012].



Şekil 3.1: MX8-TRIMBLE.

3.3. StreetMapper– 3D LM Şirketi

3D Laser Mapping şirketi, StreetMapper sistemini geliştirerek daha çok bir integratör (toplayıcı) rolünü üstlenmektedir. StreetMapper’ın yenilikçi dizaynı StreetMapper 360 sistemindeki üst düzey şartları taşıyan algılayıcıları önermekte ancak daha hafif montajlama, yoğunluk kontrolü ve güç ünitesi üzerinde çalışmalara devam etmektedir. Bu sistem, bir tane 300 kHz ölçüm hızına ve 200 m menzile sahip LIDAR iki boyutlu lazer algılayıcısı (RIEGLVQ-250), kontrol ünitesine eklenmiş IMU ve GPS bileşenleri ve her bir görüntünün kesin konumunu belirlemek için kullanılan zaman ayarı ünitesinin ekli olduğu bir adet 12 megapiksel dijital kameradan oluşan LIDAR tabanlı hareketli haritalama sistemidir [Puente et al., 2012].

3.4. Dynascan-MDL Şirketi

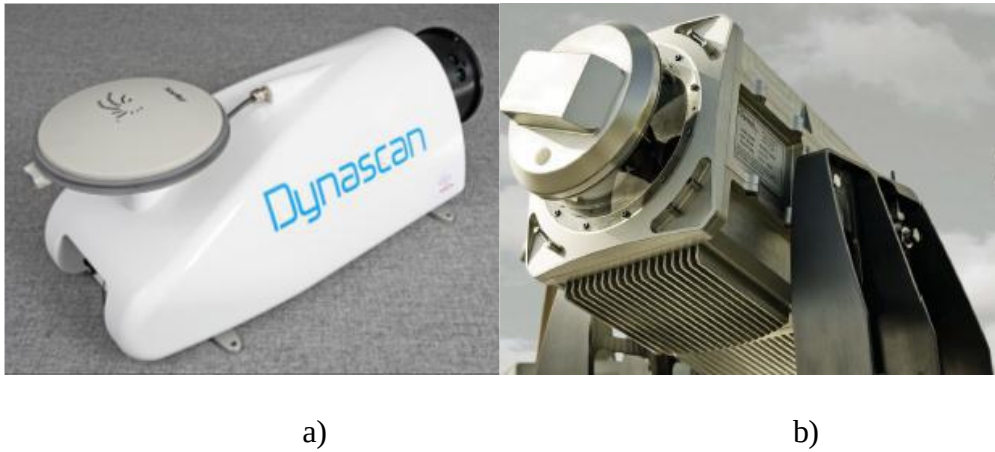
Bu sistem ilk olarak 2010 yılında Amsterdam’daki SPAR konferansında MDL şirketi tarafından yeni bir hareketli haritalama tarayıcısı olarak gösterilmiştir. Dynascan sistemi birbirine sorunsuz biçimde birleştirilmiş INS, RTK, GNSS sistemi

ve yüksek hız algılayıcısını içerir. Sistem hafif, küçük boyutta ve portatif özellikleri sayesinde hem kara hem de deniz araçlarına rahatlıkla monte edilebilir. Ayrıca 500 metre uzaklığa sahip nesnelerin üç boyutlu verilerini elde etmede kullanılabilir [Puente et al., 2012].

Tek ve çift MDL Lazer Tarayıcı olmak üzere iki versiyonu bulunmaktadır. Sistem veri toplama ve sonraki işlem yazılımı ile tamamlanır. Algılayıcıdaki bilgiler eşzamanlanır, zaman etiketlemesi yapılır ve kayıt edilir. Ham bilgiler daha çok üç boyutlu verileri ve CAD yazılım paketleri olmak üzere çıkartılabilir [Puente et al., 2012].

3.5. Lynx-OPTECH Şirketi

2007 yılının sonunda OPTECH firması tarafından zengin ölçüm seviyesine sahip LIDAR ve yüksek hızda görüntü veri özellikleri dikkate alınarak üretilmiştir. Lynx tarayıcılar maksimum 200 m menzile, 360°görüş açısına, 500 kHz sinyal hızına ve 100 Hz tarama hızına sahiptir. Konumlama sistemi (POS LV 420) APPLANIX şirketine, GNSS alıcısı ise TRIMBLE şirketine aittir. Sistem kontrol yazılımı, yüksek kalitede görüntü yakalamak amacıyla kamera görüntü karesinin boyutunu seçme imkânı verir. Bu sistem proje verilerinin yüksek doğrulukta elde edilmesini sağlar. DYNASCAN ve OPTECH sistemleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir [Puente et al., 2012].



Şekil 3.2: a) DYNASCAN Sistemi, b) OPTECH Sistemi.

3.6. IP-S2-TOPCON Şirketi

TOPCON, konumlama sistemi IP-S2 hareketli haritalama sistemini 2009 yılının baharında tanıtmıştır. Sistem TOPCON çift frekanslı 20 Hz hızında kırk kanala sahip GNSS alıcısı ile 100 Hz hızında Honeywell HG1700 IMU'dan oluşmaktadır. GPS/IMU konumsal veri sonuçlarına bütün konumlama kapasitesini tamamlamak için tekerleğe monte edilen DMI tarafından belirlenen açısal düzeltmeler eklenmektedir. Tüm bu donanımlara ek olarak sistemde saniyede on beş görüntü karesi yakalama hızı ile 360°panoramik görüntü sağlayan Ladybug çoklu kamera ünitesi mevcuttur. IP-S2 sistemi, ölçüm hızı 75 Hz olan SICK LMS 291 tarayıcı kullanmaktadır. Ancak TOPCON bu tarayıcıyı saniyede 1.3 milyon lazer noktası gönderme hızı ile üç boyutlu veri elde edebilen VELODYNE HDL-E64 S2 yüksek kaliteli LIDAR lazer tarayıcı ile değiştirmiştir. IP-S2-TOPCON ve Road Scanner-SITECO sistemleri sırası ile Şekil 3.3.a) ve 3.3.b)'de gösterilmiştir [Petrie G., 2010].



a)



b)

Şekil 3.3: a) IP-S2-TOPCON Sistemi, b) Road Scanner-SITECO Sistemi.

Hareketli lazer tarama sistemlerinin karşılaştırılması Tablo 3.1'de gösterilmiştir [Puente et al., 2012].

Tablo 3.1: Hareketli Lazer Tarama Sistemlerinin Karşılaştırılması.

MLS Sistemi	Road Scanner	IPS2 Compact	VMX-250	MX-8	StreetMapper 360°	Dynascan	Lynx
Tarayıcı	Faro Photon 120	Sick LMS 291	VQ-250			MDL Scanner	Lynx Scanner
Maximum Mesafe	120m	80m	200m			500m	200m
Mesafe Hassasiyeti	1mm@25m	10mm@20m	5mm@150m			-	8mm
Mesafe Doğruluğu	2mm@25m	35mm	10mm@150m			5cm	10mm
PRR	122-976 kHz	40 kHz	600 kHz			36 kHz	100 kHz
Tarama Hızı	48Hz	75Hz	200Hz			30 Hz	200Hz
Tarayıcı Alan Görüş Açısı	H360°/V320°	180°	360°			360°	360°
Çözünürlük	H0,00076°/V0,009°	1°	0,001°			0,01°	0,001°
Ağırlık	14.5kg	22.7kg	11kg			11kg	78kg

Tablo 3.1 incelendiğinde özellikle mesafe hassasiyeti ve mesafe doğruluğu bakımından Road Scanner Faro Photon 120 ile diğerlerine göre çok daha hassas ölçümler yapılabileceği görülmektedir.

3.6.1. IP-S2 Lazer Tarayıcı Sisteminin Donanım Özellikleri

- Lazer Noktalama Hızı: 1.33milyon/saniye
- Kullanılan Kamera Çeşidi: Ladybug Kamera
- Kullanılan Kamera Modeli: Ladybug-5.
- Kullanılan Kamera Çözünürlükleri: 12 megapiksel veya 30 megapiksel olarak isteğe göre değişebilir. Her bir kamera algılayıcısı 2 megapiksel ise $6 \times 2 = 12$ megapiksel, her bir kamera algılayıcısı 5 megapiksel ise $6 \times 5 = 30$ megapiksel.
- Ölçüm Aralığı: 5 metrede bir ölçüm yapılır (frame per second).

3.6.1.1. Ladybug-5 Kamera



Şekil 3.4: Ladybug-5 Kamera.

Şekil 3.4’de gösterilen Ladybug-5 kamerası, hareketli haritalamada ölçülen alanın tam görüntüsünü alabilmek amacıyla kullanılır. Ladybug-5 altı adet Sony marka dijital CCD video kameradan oluşur. Bu kameralardan beş tanesi yatay düzlemde 360 derece panoramik görüntü oluşturmak için yatay noktaları eş merkezli olacak şekilde kurulur. Saniyede beş görüntü karesi (sıkıştırılmamış yüksek kalitede) alabilir. IP-S2 lazer tarama sisteminde kullanılan 360° açıyla ölçüm yapabilen Ladybug kameraların genel özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Tablo 3.2’de Ladybug-5 kamerasının genel özellikleri, Tablo 3.3’de ise Ladybug-5 kamerasının desteklediği görüntü formatları gösterilmiştir [Web 3, 2018].

Tablo 3.2: Ladybug Kameralarının Genel Özellikleri.

Özellikler	Açıklama
Video Veri Çıktısı	8bit, 12 bit, 16 bit Raw formatında ya da sıkıştırılmış JPEG formatında
Görüntü Veri Formatı	Sıkıştırılmamış Raw8, Raw12, Raw 16 ya da JPEG formatı
Kısmi Görüntü Modu	İlgili bölüm seçilebilir.
Dijital Arayüz	USB 3.0
Transfer Oranı	5Gbit/s
Hafıza Kanalı Sayısı	2
Boyutları	197 mm çapında, 160 mm yüksekliğinde

Tablo 3.2: Devam.

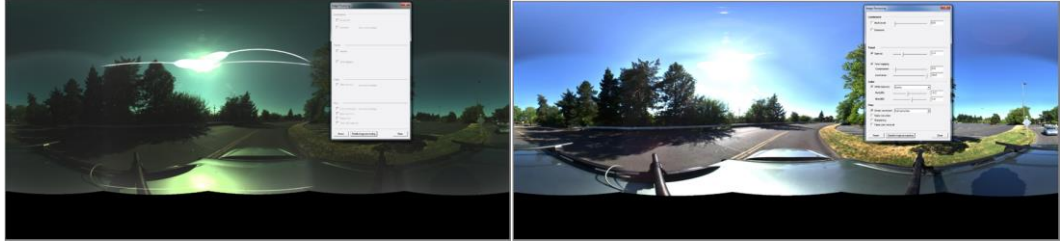
Ağırlık	3 kg
Güç Tüketimi	12-24 V
Optikler	Altı adet, yüksek kalitede, 4.4 mm odaklanma mesafesine sahip
Alan Görüş Açısı	%90 küresel görüş alanına sahip
Odaklanma Mesafesi	200m
Ölçüm Sıcaklığı	0C°-45C°
Depolama Sıcaklığı	30C°-60C°
Ölçüm Nem Oranı	80%
Depolama Nem Oranı	95%

Ladybug-5 kamerasında kullanılan piksel formatları, görüntü karesi oranı ve görüntü boyutu arasındaki ilişkiyi gösteren tablo aşağıda gösterilmiştir [Web 3, 2018].

Tablo 3.3: Ladybug-5 Kameraların Desteklediği Görüntü Formatları.

Pixel Formatı	Görüntü Karesi Oranı		Görüntü Boyutu	
	Tam (2448x2048)	Yarım (2448x1024)	Tam (2448x2048)	Yarım (2448x1024)
Raw8	8	16	30MB	15MB
JPEG8(Sıkıştırılmış)	10	16	Değişken	Değişken
Raw12	5	10	45MB	22.5MB
JPEG12(Sıkıştırılmış)	10	16	Değişken	Değişken
Raw16	4	8	60MB	30MB

Tablo 3.3’ de görüldüğü üzere Laydbug-5 kamerası farklı birkaç formatı desteklemekle birlikte görüntü kalitesi ve görüntü karesi oranını arttırmak için JPEG-12 formatı önerilmektedir. Bir kameranın maksimum boyutu en fazla 2448x2048 piksel olabilir. Ladybug-5 kamerası ile elde edilen ham görüntü ve işlenmiş görüntü sırası ile Şekil 3.5.a)’da ve Şekil 3.5.b)’de gösterilmiştir [Web 3, 2018].



a)

b)

Şekil 3.5: a) Ham Görüntü, b) İşlenmiş Görüntü.

Ladybug-5 kamerasında dört farklı projeksiyon bulunmaktadır.

- Radyal Projeksiyon: Çıktı görüntüsünün kullanımı kolay olan ve en çok kullanılan projeksiyonlardan biridir [Web 3, 2018].
- Silindirik Projeksiyon: Radyal projeksiyona benzer fakat görüş alanının sınırlılığı bakımından farklılık gösterir. Direklere yakın bazı alanlar kullanılamaz.
- Dome(Kubbe Şeklinde) Projeksiyon: Bu projeksiyon, küreden kubbe şekline dönüştürür [Web 3, 2018].
- Kübik Projeksiyon: Bu projeksiyonda her biri küpün bir yüzeyinde olacak şekilde altı görüntüye ihtiyaç vardır. Bütün küreyi altı görüntüye bölmek için her görüntü için sınırlı distorsiyon şartı mevcuttur. Panoramik görüntüyü yeniden oluşturabilmek için küp yüzeyindeki altı görüntüde üç boyutlu bilgisayar grafikleriyle görüntülenmelidir. Radyal projeksiyon görüntüsü ve dome projeksiyon görüntüsü sırası ile Şekil 3.6.a)'da ve Şekil 3.6.b)'de gösterilmiştir [Web 3, 2018].



a)

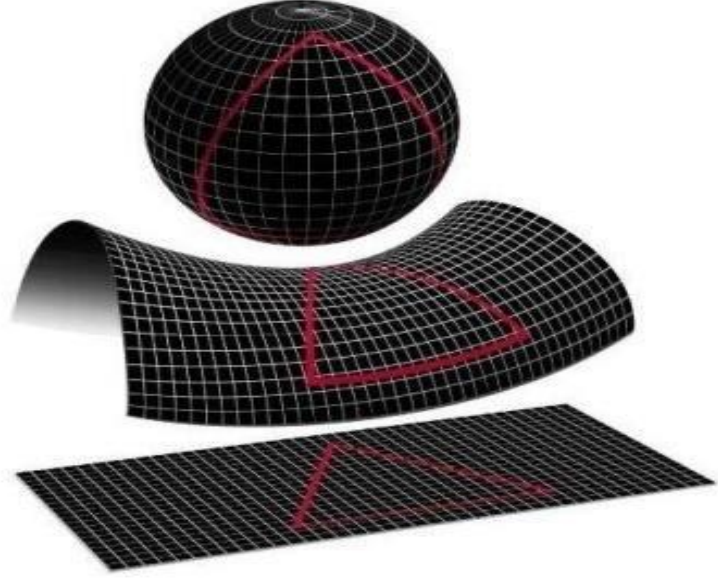
b)

Şekil 3.6: a) Radyal Projeksiyon Görüntüsü, b) Dome Projeksiyon Görüntüsü.

3.6.1.1.1. Panoramik Görüntü

Panoramik görüntü, çeşitli yazılım ve ekipmanlar ile görüntülerin daha geniş bir alanda çekilmesi ile oluşturulmuş, bazen de geniş açılı fotoğraf olarak nitelendirilen fotoğraf tekniğidir [Sarı vd., 2011]. Değişik objektif açıklıklarına bağlı olarak 5-180 derece arasında görüntü saptamak mümkündür. Oysa insan yatayda iki gözün dış uçları arasında 180 derece, düşeyde 135 derecelik görüş açısına sahiptir. Esasen fotoğraf makinelerinin göremeyeceği genişlikteki alanın ardı sıra çekilmiş fotoğraflar yardımıyla tek bir fotoğraf haline getirilmesi işlemidir. Bu işlem geçmişte basit el yöntemleriyle yapılmaktayken, günümüzde gelişen teknoloji ile geniş açılı panoramik fotoğraf makineleri, photoshop başta olmak üzere birçok yazılım ve teknikle hatta akıllı telefonlardaki yazımlarla yapılabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta fotoğrafların belirli bir bindirme oranı ile çekilmesi gerektiğidir. Oluşan görüntü 360 derecelik alanın tek bir fotoğraf üzerinde gösterilmesinden ibarettir. Oluşan bu görüntüler sonrasında çeşitli yazılımlar ve Hyper Text Markup Language (HTML) yardımı ile 360 derece döndürülebilir hale getirilmektedir. Yazılımlar, oluşan fotoğrafı bir küre yüzeyine giydirmekte ve kürenin merkezinden kullanıcılara bir bakış açısı sağlamaktadır. Böylece sonuç ürünü olarak ortaya çıkan görüntü, kişinin sanki oradaymış gibi etrafına bakabildiği bir ortam olarak nitelendirilebilir [Uzun and Özcan, 2015].

Şekil 3.7’ de 360 derecelik panoramik görüntü oluşturulması mantığı ve Şekil 3.8’de de bir nokta etrafında çekilen çoklu ve bindirmeli fotoğrafların belirli yöntemlerle birleştirilmesinden elde edilen panoramik görüntü gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Panoramik Görüntü Oluşturma Mantığı.



Şekil 3.8: 360 Derece Panoramik Görüntü.

4. TARAMA VERİLERİNİ İŞLEYEN YAZILIMLAR

4.1. Riegl Yazılımları

4.1.1. Rianalyze

Diğer adı ‘Dalga Şekli Analizi’ olan bu yazılım, lazer tarayıcı tarafından elde edilen sinyallerin sayısallaştırılması ve geometrik verilerin (mesafe, tarama açısı vb.) kartezyen koordinatlara dönüştürülme işlemlerini kapsar. Böylece daha sonraki işlemler için sayısallaştırılan sinyallerin verilerini konvansiyonel lazer verileriyle uyumlu hale dönüştürür [Web 2, 2018].

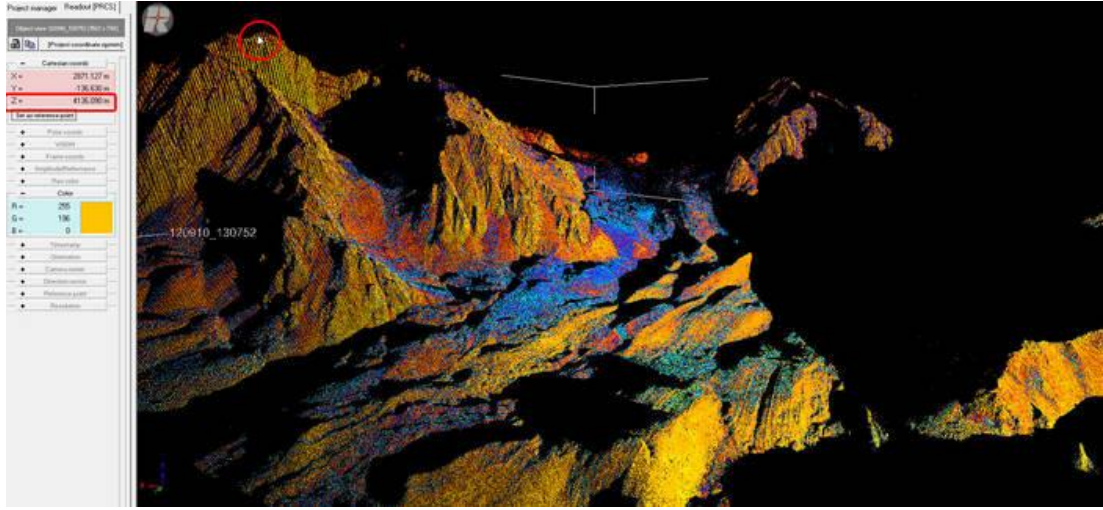
- RIEGL LMS-Q560, LMS-Q680(i), LMS-Q780, and LMS-Q1560 sistemleri tarafından elde edilen sayısal sinyal verilerinin şekil analizini yapmak.
- Koordinatların üç boyutlu lazer tarama koordinatlarına dönüştürülmesi işlemini yapmak.

4.1.2. Riscan Pro 2.0

Bu yazılım ölçüm için ihtiyaç duyulan girdi verilerinin oryantasyon işlemini yapar. Tarama, GPS verisi, dijital görüntü, kontrol noktası koordinatları, tarama sonucu elde edilen verilerin dönüşüm işlemini gerçekleştirmek için kullanılan dönüşüm matrisleri gibi verileri kapsar. Bu yazılımın amacı iş akışı kazanımını optimize etmek ve verilerin görsel kontrolü için gerekli olan imkânı sağlamaktır [Web 2, 2018].

Riscan Pro’nun tasarım özelliği sayesinde akışkan verilerin görüntü işleme evresine transfer işlemi gerçekleştirilir. XML tabanlı proje dosya yapısı yayınlanır ve belgelenir. Böylece rahatlıkla proje bilgilerine ulaşılabilir. Riscan Pro 2.0 yazılımı Şekil 4.1’de gösterilmiştir [Web 2, 2018].

- Hızlı bir şekilde çalışma alanında renklendirme yapma.
- Kalibrasyon, filtreleme ve kayıt etme özelliği.



Şekil 4.2: Resolve 2.0 Yazılım Görüntüsü.

4.1.5. RiDB

RiDB yazılımı, RIEGL nokta bulutları için veri tabanı oluşturarak çalışma alanı imkânı verir. Bu yazılım paketi üç bileşenden oluşur. Veri tabanı konektörü (birleştirici) RiscanPro yazılımındaki fonksiyonların RiDB veritabanına eklenebilmesini sağlar. Plugin (ekleme) ise yazılımdaki nokta bulutlarıyla direkt erişim kurmak amacıyla veritabanına bağlanma işlemini gerçekleştirir. RiDB, SQL veritabanı sistemine dayalı nokta bulutu depolama merkezi olarak düşünülebilir [Web 2, 2018].

- AVEVA Lazer Modelleyici Arayüzü (LMI) gereksinimleri arasındadır.
- SQL veri-tabanında nokta bulutu depolama.
- Veri-tabanına uzaktan erişim imkanı sağlar.

4.2. Faro-Scene Yazılımı

Scene yazılımı genel olarak tüm Faro lazer tarayıcı sistemleri için tasarlanmıştır. Bu yazılım otomatik nesne tanımlama, tarama kaydı ve konumlama özellikleri sayesinde tarama verilerini kolay ve etkili bir şekilde işler. Yüksek

kalitedeki verilerin hızlı ve etkili biçimde işlenmesini sağlar. İşlenecek olan tarama verilerini hazırlar. Elde edilen veriler kullanılmak veya başka bir bilgisayara aktarılmak üzere mikroSD kartlarda depolanır.

Scene Webshare Cloud, tarama verilerinin kolay ve güvenilir şekilde internet ortamında paylaşılmasını sağlayan bir bulut tabanlı Faro hizmetidir. Bu hizmet sayesinde kullanıcılar istediği zaman istediği yerde ilgili üç boyutlu dokümanlara ulaşabilirler [Web 5, 2018].

- Tarama verilerini hazırlamak.
- Proje veri yönetimi.
- Çalışma alanı oluşturma.
- Noktalar arasındaki mesafeyi ölçme.
- Mesafe ve düzgünlük analizi.
- Üç boyutlu navigasyon özelliği.

Uygulama Alanları

- Endüstri ve elektrik tesisi tasarımı.
- Mimari.
- Harita yapımı.
- Sivil mühendislik ve tesis tasarımı.
- Arkeoloji ve Kültürel Miras.
- Alışveriş, pazarlama ve bilgisayar grafikleri.

Girdiler ve Çıktılar

- Coğrafi konumlandırma için kontrol noktaları.
- Tarama Noktaları(FARO Scan, FARO Cloud, ASTM E57, .dxf, VRML, .igs, .txt, .xyz, .xyb, .pts, .ptx, .ptz, .pod).
- CAD nesneleri(.wrl, .igs, .dxf).
- Dijital foto import etme(.jpg, .png, .bmp, .tif).
- Panoramik görüntü çıkarma(.jpeg), ortofoto çıkarma(.tiff).
- AutoCAD, ReCap, Revit, Microstation, Geomagic, Polyworks, Rapidform, Pointools, Reconstructor, AVEVA, Intergraph, LFM, Point-sense, PointCab,

Carlson programlarına veri transferi sağlama. Scene yazılım görüntüsü Şekil 4.3'te gösterilmiştir [Web 5, 2018].



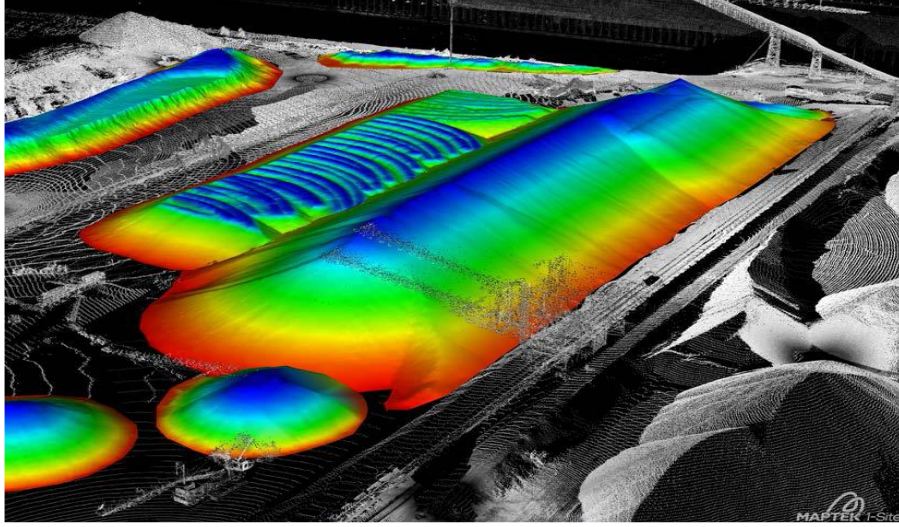
Şekil 4.3: Scene Yazılım Görüntüsü.

4.3. Maptek-I-Site Studio

Yüksek performanslı lazer tarayıcı sistemlerinden aldığı verileri konvansiyonel ölçmeler ve harita yapımında kullanır. Farklı kaynaklardan aldığı model nokta bulutu verilerini işler. I-Site Studio yazılımındaki tools seçeneği kullanılarak ölçüm verileri diğer tarayıcılara göre daha hassas doğrulukta girilebilir ve işlenebilir. Coğrafi mekansal lazer tarama verilerinden en verimli şekilde yararlanılmasını sağlar. Güçlü üç boyutlu grafik arayüzü, renk ve yoğunluk veri görüntüsü ve kullanımı kolay veri tarayıcısı özellikleri de bulunmaktadır [Web 7, 2019].

- Güçlü modelleme imkânı.
- Kesit ve münhane elde etme.
- Yüzey, katı ve diferansiyel hacim hesabı.
- Özel jeoteknik seçenek imkânı.
- Yeni jeolojik seçenek imkânı.
- Yeni raporlandırma modülü.
- Maden ölçmeleri çalışmalarında kullanılır [Web 7, 2019].

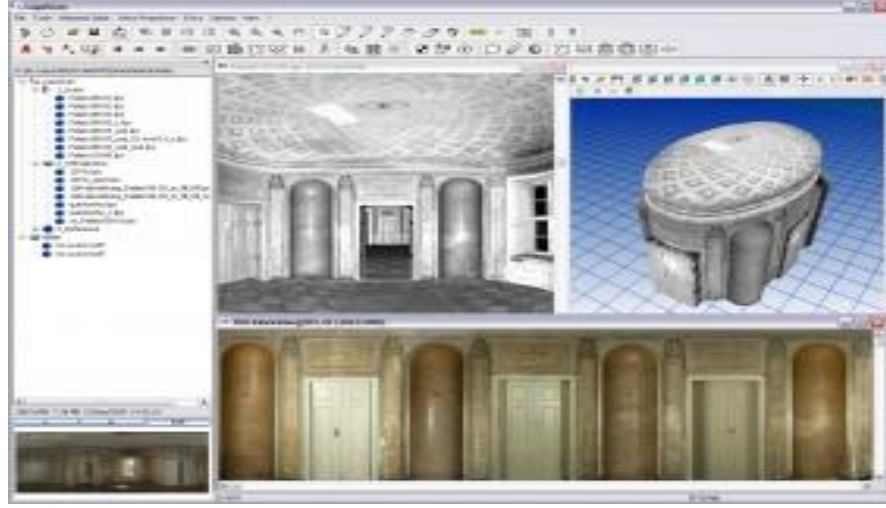
- Altyapı modellerini ve haritaları modernize ederek kullanılmasını sağlamak.
- Üç boyutlu modeller gibi CAD çizimleri oluşturmak.
- Yüzeyler arasındaki boyutlu mesafeler baz alınarak yapılan renklendirme.
- Alt kesitlerin doğru şeklini tespit etmek için üç boyutlu modelleme.
- Yer altı tünelleri oluşturmak.



Şekil 4.4: I-Studio Yazılımında Modellenmiş Görüntü.

4.4. LupoScan Yazılımı

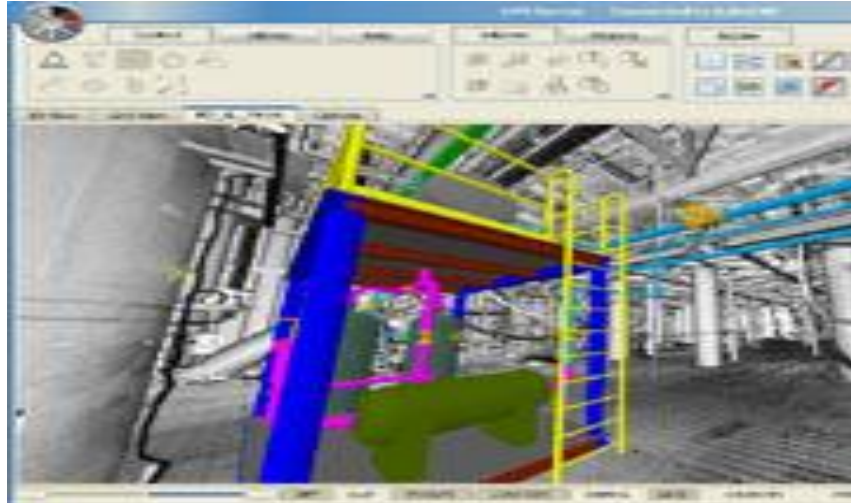
Üç boyutlu nokta bulutlarında ya da taranmış lazer verilerinde bulunan gerekli bilgilerin kolay ve etkili biçimde alınmasını sağlar. Lazer tarayıcı veya nokta bulutlarındaki yüksek yoğunluklu görüntüler kullanılarak oluşturulan üç boyutlu nesnelerin ve ortofotoların referanslandırılmasına imkân tanır. Yazılımın birçok formatı diğer yazılımlarla uyumluluk gösterir böylece diğer çalışma alanları ile kolaylıkla bütünleştirilir. Ayrıca oluşturulan nesneler arayüz yardımıyla CAD programlarına rahatlıkla eklenebilir. LupoScan yazılım görüntüsü Şekil 4.5’de gösterilmiştir [Web 6, 2019].



Şekil 4.5: LupoScan Yazılım Görüntüsü.

4.5. LFM (Light For Modeler) Yazılımı

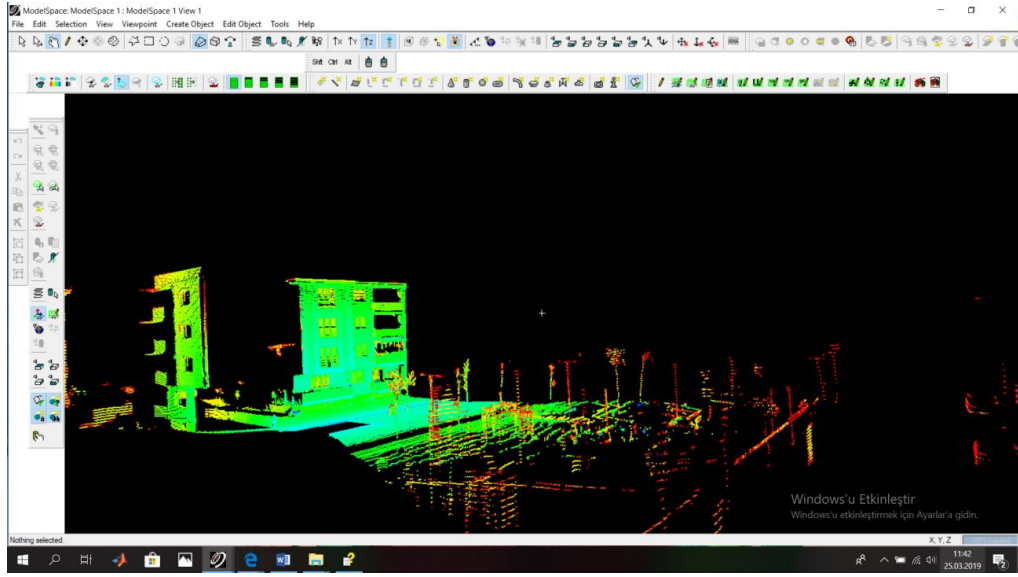
Lazer tarayıcıdan aldığı veriler CAD ve Review programlarına eklenir. İstenilen boyuttaki ve çeşitlilikteki veri setlerinin kullanılmasını sağlayan gelişmiş LFM teknolojisi sayesinde üç boyutlu lazer tarama sistemlerinden tam anlamıyla yararlanılmış olunur. LFM'nin özellikleri sayesinde kullanıcı zaman, depolama ve maliyetin önemini tecrübe eder. Kullanıcı lazer tarama verilerini kullanarak hızlı bir şekilde üç boyutlu tesis modeli oluşturabilir.



Şekil 4.6: LFM Yazılım Görüntüsü.

4.6. Leica-Cyclone Yazılımı

Lazer tarama yöntemiyle elde edilen üç boyutlu nokta bulutu verilerini işleyen bir yazılımdır. Taranan noktalar ile modellenen yüzey arasındaki mesafenin ölçülmesine imkân tanır. Birçok farklı girdi ve çıktı formatlarını destekler. Pan, zoom, rotate gibi özellikleriyle nokta bulutu verisi üzerinde etkili ve çok yönlü bir şekilde hareket edebilme olanağı sağlar. Şekil 4.7’de cyclone yazılım görüntüsü gösterilmiştir [Web 1, 2018].



Şekil 4.7: Cyclone Yazılım Görüntüsü.

4.7. PolyWorks Yazılımı

PolyWorks, üç boyutlu veri işleme ve analiz yazılım platformudur. PolyWorks tek nokta ölçümlerine ilave olarak bütün yüzey modellerinin analiz ve kontrolünü geliştirmektedir. Bu nokta bulutlarının oluşturulmasından yüzeylerin işlenip modellenmesine kadar bütün işlevleri kapsar [Web 4, 2018].

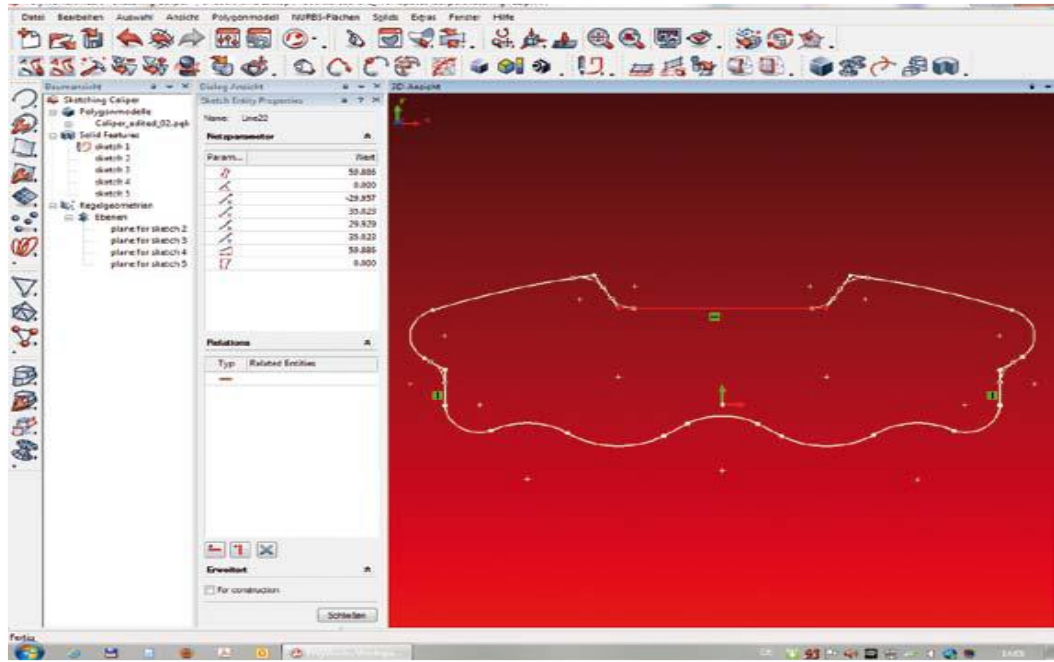
PolyWorks universal bir yazılım olarak geniş bir optik ve dokunmalı sayısallaştırıcı yelpazesıyla bütünleşik olarak çalışır. İster tasarım, ister kalite kontrol veya saha etüdü olsun yazılımın üç boyutlu ölçme cihazlarıyla birlikte uygulama alanları neredeyse sınırsızdır.

Üç boyutlu verileri karşılaştırmak için onları birbirine hizalamak ve ortak bir koordinat sistemine getirmek gerekir. PolyWorks çeşitli ölçüm ihtiyaçlarına

cevap verecek şekilde değişik referanslama imkân ve tekniklerini destekler. Desteklenen bütün referanslama stratejilerinde ilave sınır şartlar tanımlanarak daha duruma özel referanslama yapılabilir [Web 4, 2018].

Yazılım, bulut noktalarını birleştirerek bir çokgen aę oluşturur. Bu işleme üçgenleştirme denir. Parçanın topolojik bir sanal yüzeyi oluşturulmuş olur. PolyWorks mümkün olan her zaman altıgen yapı oluşturacak bir üçgen aę teşkil etmeye çalışır. PolyWorks yaptığınız ölçümleri görselleştirmek için kolaylıkla anlamlı ölçüm raporları hazırlamanızı sağlar. Sonuç tabloları, açıklama metinleri ve üç boyutlu izleme penceresinin görüntüleri serbestçe birleştirilip düzenlenebilir. Şekil 4.8’de PolyWorks yazılım görüntüsü gösterilmiştir [Web 4, 2018].

- Noktalar, doğru ve düzlemler arasında datumlar yaratıp değerlendirme.
- Maximum/minimum malzeme öngörülerini hesaplama.
- Bağlantılı nesnelerin otomatik ölçüm çıkarımı.
- Yüzey profil toleranslarının analizi.
- Datumlara göre doğrultma.
- PolyWorks en küçük toplam farkı oluşturacak şekilde yerleştirme yapar (en küçük kareler yöntemi). İstenirse tanımlı bölgelerdeki toleranslar hesaba katılır.
- Mesafelerin radyusların ve radyus başlangıç ve bitiş noktalarının tayini.
- Karakteristik radyus eğrilerinin sınıflandırılması.
- Nokta bulutlarının gürültü filtrelenmesi ve seyreltilmesi.
- Çokgen ağların hassasiyet ve belirsizlik ayarıyla büyük veri miktarlarında dahi çabuk elde edilebilmesi.
- Eğriler ve karakteristik çizgiler çıkarma.
- Eğri düzeltme ve optimize etme.



Şekil 4.8: PolyWorks Yazılım Görüntüsü.

5. KALMAN FİLTRELEME TEKNİĞİ

Modelin önceki bilgileriyle birlikte giriş ve çıkış bilgilerinden sistemin durumlarını tahmin edilebilen filtredir. Yöntem doğrusal dinamik sistemlerin tahmini için tasarlanmıştır [Çayırlioğlu İ., 2012].

Kalman Filtresi üç temel aşamadan oluşmaktadır. Prediksiyon (prediction, ekstrapolasyon), süzme (filtering) ve yumuşatma (smoothing). Bir kinematik model ile birlikte geçmiş zamandaki konumlama bilgilerini temel alan prediksiyon adımı bir sonraki ölçüm periyodu için beklenen konum koordinatları ve doğrulukları hesaplanır. Filtreleme aşaması, klasik en küçük kareler yönteminin uygulanmasıdır. Yapılan en son ölçme periyodu ve tamamlanan filtreleme adımından sonra tüm ölçülerin yeniden işlendiği yumuşatma adımı gerçekleştirilir. Kalman filtreleme en küçük kareler yöntemine göre dengelemenin özel bir biçimidir. Hareket eden bir aracın konumunu kestirmek (navigasyon) buna açık bir örnektir [Doğanalp S., 2003].

Kalman Filtresi, geleneksel tahmin edicilerde olduğu gibi filtreleme özelliğine rağmen, sistemin ölçülemeyen durumlarını tahmin etmek için çok güçlü ve yeteneklidir. Kalman filtresi pek çok farklı alanda sistemin durumunu, değerlerini tahmin edebilen bir yöntemdir. Matematiksel olarak doğrusal sistemlerin (lineer sistemlerin-hareket denklemleri birinci derece olan denklemler) durumlarını tahmin eder. Pratikte çok faydalı bir filtredir. Ayrıca teorik yönü de güçlüdür. Çünkü mevcut filtreler içinde kestirim hatasını (tahmini) minimize eden tek filtredir [Çayırlioğlu İ., 2012].

Uygulama alanları;

- Bütün dinamik sistemlerin durum değişkenlerinin kestiriminde kullanılır. Örneğin; radyo dalgalarının ve radar sinyallerinin kestiriminde.
- Sismik verilerin analizinde, görüntü işlemede.
- Hava raporlarının tahmininde, tarım ürünlerinin en uygun toplanma zamanlarının önceden tahmininde.
- Yersel ölçmelerde, navigasyon ölçmelerinde.
- Füze, mermi ve taşıt vb. nesnelerin izini sürmede.
- Deprem tahminlerinde, ekonomide.

- Deformasyon ve nesnelerdeki dinamik ve kinematik hareketlerin belirlenmesinde ve buna benzer birçok alanda kullanılabilmektedir [Doğanalp S., 2003].

5.1. Kestirilen (Tahmin Edilen) İşlem

Lineer fonksiyon ölçümlerinin kullanılarak lineer stokastik sistemin durumunun tahmin edilmesini sağlayan bir algoritmadır. Kalman filtresinin formülü en temel haliyle,

$$X_k = K_k Z_k + (1 - K_k) X_{k-1} \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada alt indis olarak kullanılan k harfi durumları gösterir. Z_k ölçülen değeri, K_k kalman kazancını ki en önemli değerdir, X_{k-1} sinyalin önceki durumdaki kestirimini ifade eder. Amaç, X koordinatının her bir k için tahmini değerini bulmaktır.

Her bir zaman diliminde Kalman filtresi gerçek bilinmeyen değerlerin tahminlerini belirsizlikleriyle beraber üretir. Sıradaki ölçümün sonucu gözlemlendiğinde, bu tahminler, belirsizliği düşük tahminlere daha fazla ağırlık vererek ağırlıklı ortalama ile güncellenir. Kalman kazancının iki denklemini aşağıdaki formüllerle gösterebiliriz [Pınarcı E., 2007].

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + w_{k-1} \quad (5.2)$$

$$z_k = H\hat{x}_k + v_k \quad (5.3)$$

Birinci denklem doğrusal bir denklemdir. Herhangi bir x_k değeri, önceki değerinin x_{k-1} üzerine kontrol sinyali u_k ve önceki işlem gürültüsü w_{k-1} eklenerek oluşturulan lineer bir kombinasyonla bulunur. Çoğu zaman kontrol u_k sinyali pek kullanılmaz [Pınarcı E., 2007].

İkinci denklem ise herhangi bir ölçüm değeri z_k , sinyalin değeri $\hat{x}_k$ ile v_k ölçümün gürültüsünün lineer bir kombinasyonundan oluşur. İşlem/süreç

gürültüsü w_{k-1} (process noise) ve ölçüm gürültüsü v_k (measurement noise) istatistiksel olarak birbirinden bağımsızdır [Pınarcı E., 2007].

A, B ve H elemanları matrislerin genel gösterimidir. Çoğu sinyal problemlerimizde bunlar sadece nümerik bir değerdir (bir sayıdır). Ayrıca ek bir kolaylık olsun diye, çoğu zaman, her bir aşamada bu değerler değişebilmesine rağmen, bu değerleri sabit varsayabiliriz [Pınarcı E., 2007].

5.1.1. Filtrenin Sayısal Kökenleri

$\hat{x}_{k-}$, k işlem adımıdaki (zaman dilimindeki) priori (önceki) durum kestirimini, $\hat{x}_k$ ise k işlem adımıdaki posteriori (sonraki) durum kestirimini ifade etmek üzere priori ve posteriori hataları,

$$e_k = x_k - \hat{x}_{k-} \quad (5.4)$$

$$e_k = x_k - \hat{x}_k \quad (5.5)$$

şeklinde yazılır.

Priori ve posteriori hata kovaryansları ise,

$$P_{k-} = E[(e_{k-})(e_{k-}^T)] \quad (5.6)$$

$$P_k = E[(e_k)(e_k^T)] \quad (5.7)$$

formülleri ile yazılır. Kalman kazanç matrisi,

$$K_k = P_{k-}H^T(HP_{k-}H^T + R)^{-1} \quad (5.8)$$

şeklinde ifade edilir.

5.1.2. Filtrenin Algoritması

Kalman filtresinin uygulamasında iki aşama mevcuttur. Bunlar tahmin ve düzeltmedir. Bu iki aşama aynı zaman diliminde yani “k” değerinde hesaplanır (her k değeri için) [Pınarcı E., 2007]. Formülleri ise şu şekildedir:

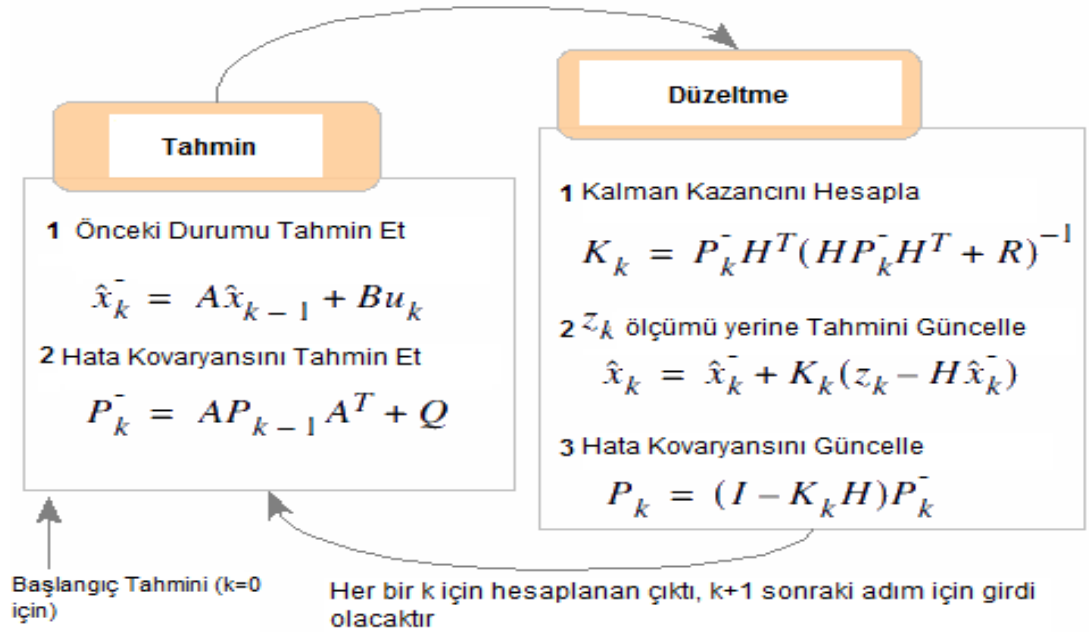
$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \quad (5.9)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k^-} + K_k (z_k - H \hat{x}_{k^-}) \quad (5.10)$$

$$P_k = (I - K_k H) P_{k^-} \quad (5.11)$$

Ölçü güncellemede hesaplanacak ilk değer Kalman kazancı K değeridir. Daha sonra gerçek ölçü z_k kullanılarak posteriori durum kestirimi hesaplanır. Son adım ise a posteriori hata kovaryansı hesaplanmaktadır [Pınarcı E., 2007].

Zaman ve ölçü güncellemeleri yapıldıktan sonra, işlem tekrarlı bir biçimde önceki posteriori kestirimlerini kullanarak yeni priori kestirimlerini hesaplar [Pınarcı E., 2007]. Aşağıdaki şekil bu işlemleri resmetmektedir.



Şekil 5.1: Kalman Filtresinin Çalışma Prensipleri.

6. İKİ BOYUTLU KALMAN FİLTRESİ

6.1. İki Boyutlu Kalman İşlemcisi

Kalman filtrelemesinin önemli bir kavramı durumdur. Durum, sistemin tepkisini belirlemek için kullanılan geçmiş ve şimdi ile ilgili minimum bilgidir. Durum kavramı aslında Kalman filtresini yönetmek için stokastik fark denklemlerini oluşturur [Ping W., 1998].

$$S_{(i,j)} = \begin{bmatrix} H_{(i,j)} \\ H_{x(i,j)} \\ H_{y(i,j)} \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

$H_{(i,j)}$ yüksekliği, $H_{x(i,j)}$ X eksenı boyunca yüksekliğin birinci kısmi türevini, $H_{y(i,j)}$ Y eksenı boyunca yüksekliğin kısmi türevini ifade eder. Burada türevler X ve Y eksenleri boyunca olan eğimi gösterir.

İşlemcinin veriyi işlerken belirli bir sırada, örneğin soldan sağa veya aşığıdan yukarıya, hesaplama yaptığı öngörölür. Bu nedenle noktalar işlenmiş, işlenmekte olan ve işlenecek noktalar olmak üzere işleme alınır [Ping W., 1998].

Durum vektör noktası (i, j) 'nin komşuları $(i - 1, j)$ ve $(i, j - 1)$ noktaları ile modellenebileceği varsayılır [Ping W., 1998].

$$H_{(i,j)} = b_{(i,j)} \left[H_{(i-1,j)} + H_{x(i-1,j)} dx \right] + c_{(i,j)} \left[H_{(i,j-1)} + H_{y(i,j-1)} dy \right] + v_{H(i,j)} \quad (6.2)$$

$$H_{x(i,j)} = H_{x(i-1,j)} + v_{H_x(i,j)} \quad (6.3)$$

$$H_{y(i,j)} = H_{y(i,j-1)} + v_{H_y(i,j)} \quad (6.4)$$

Burada v_{H_x} , v_{H_y} , v_{H_x} beyaz dizi, d_x ve d_y nokta bulutunun örnekleme aralığı, $b_{(i,j)}$ ve $c_{(i,j)}$ ise karışım faktörleridir. Buradan dinamik model,

$$S_{(i,j)} = B_{(i,j)} \cdot S_{(i-1,j)} + C_{(i,j)} \cdot S_{(i,j-1)} + v_{s(i,j)} \quad (6.5)$$

$$B_{(i,j)} = \begin{bmatrix} b_{(i,j)} & b_{(i,j)} dx & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{(i,j)} = \begin{bmatrix} c_{(i,j)} & 0 & c_{(i,j)} dy \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$v_{s(i,j)} = \begin{bmatrix} v_{H(i,j)} \\ v_{Hx(i,j)} \\ v_{Hy(i,j)} \end{bmatrix}$$

ile ifade edilir. Yükseklik gözlemesinin durum vektörü ile lineer bir ilişkiye sahip olduğu varsayılır [Ping W., 1998].

$$Z_{(i,j)} = D \cdot S_{(i,j)} + v_{z(i,j)} \quad (6.6)$$

Burada $D = [1 \ 0 \ 0]$, $v_{z(i,j)}$ ise bilinen $R(i,j)$ kovaryansı ve $v_{s(i,j)}$ ile bağımsız olmak üzere normal dağılımlı ölçülere ilişkin düzeltmelerdir. Buradan Kalman filtreleme için aşağıdaki eşitlikler üretilebilir,

$$S_{(i,j)} = B_{(i,j)} \cdot S^+_{(i-1,j)} + C_{(i,j)} \cdot S^+_{(i,j-1)} \quad (6.7)$$

$$P^-_{(i,j)} = B_{(i,j)} \cdot P^+_{(i-1,j)} \cdot B_{(i,j)}^T + C_{(i,j)} \cdot P^+_{(i,j-1)} \cdot C_{(i,j)}^T + Q_{(i,j)} \quad (6.8)$$

$$K_{(i,j)} = P^-_{(i,j)} D^T (D P^-_{(i,j)} D^T + R_{(i,j)})^{-1} \quad (6.9)$$

$$S^+_{(i,j)} = S^-_{(i,j)} + K_{(i,j)} (Z_{(i,j)} - D S^-_{(i,j)}) \quad (6.10)$$

$$P^+_{(i,j)} = [I - K_{(i,j)} \cdot D] P^-_{(i,j)} \quad (6.11)$$

Burada;

$S_{(i,j)}^-$ durum vektör kestirim matrisi,

$P_{(i,j)}^-$ $S_{(i,j)}^-$ ile ilişkilendirilmiş kovaryans matrisi,

$K_{(i,j)}$ Kalman kazancı,

$S_{(i,j)}^+$ durum vektör kestiriminin güncellenmiş hali,

$P_{(i,j)}^+$ $S_{(i,j)}^+$ ile ilişkilendirilmiş kovaryans matrisidir.

$B_{(i,j)}$ ve $C_{(i,j)}$ matrisleri $P_{(i-1,j)}^+$ ve $P_{(i,j-1)}^+$ 'in kapsadığı varyans ve kovaryans faktörlerine göre belirlenmelidir. İşlenen noktaya katkıyı eşit ağırlıkta sağlamak amacıyla bu değerler 0.5 olarak alınmıştır [Pıncı E., 2007].

6.2. İki Adımlı Filtreleme Yöntemi

Kalman filtreleme teorisine göre, durum vektörünün kalitesi, nokta bulutundaki pozisyonuna göre farklılık gösterecektir. Bu nedenle filtreleme yapılırken işlenmiş nokta sayısı artacak, dolayısıyla işleme kaydının son noktalarına yakın olan durum vektörü, başlangıç noktalarına yakın olan durum vektöründen genellikle daha iyi olacaktır [Ping W., 1998].

Bu problemin üstesinden gelmek için, önerilen iki boyutlu Kalman işlemcisini, aynı nokta bulutu verisinin üzerinden, farklı yöneltmeyle, iki defa uygulayan, iki adımlı filtreleme yöntemi tanıtılmıştır. İlk olarak, işlemci sağdan sola ve yukarıdan aşağıya doğru uygulanır. Sonrasında aynı işlem tam ters yönlerde soldan sağa ve aşağıdan yukarıya doğru olmak üzere uygulanır [Pıncı E., 2007]. Bu durumda (i, j) noktasının durum vektörü kestirimi ve onun kovaryansı aşağıdaki gibi türetilir;

$$S_{final(i,j)} = \left[\left(P_{B^+ (N-i, M-j)} \right)^{-1} + \left(P_{B^+ (i,j)} \right)^{-1} \right] \left[\left(P_{B^+ (i,j)} \right)^{-1} S_{B^+ (i,j)} + \left(P_{B^+ (N-i, M-j)} \right)^{-1} S_{B^+ (N-i, M-j)} \right] \quad (6.12)$$

$$P_{final(i,j)} = \left[\left(P_{B^+ (N-i, M-j)} \right)^{-1} + \left(P_{B^+ (i,j)} \right)^{-1} \right] \quad (6.13)$$

Burada N ve M nokta bulutunun satır ve sütun sayısı $S_{final(i,j)}$ ve $S_{B^+ (N-i, M-j)}$ en uygun durum vektör kestirimi $P_{final(i,j)}$ ve $P_{B^+ (N-i, M-j)}$ kovaryans matrisidir.

7. UYGULAMA

7.1. Amaç

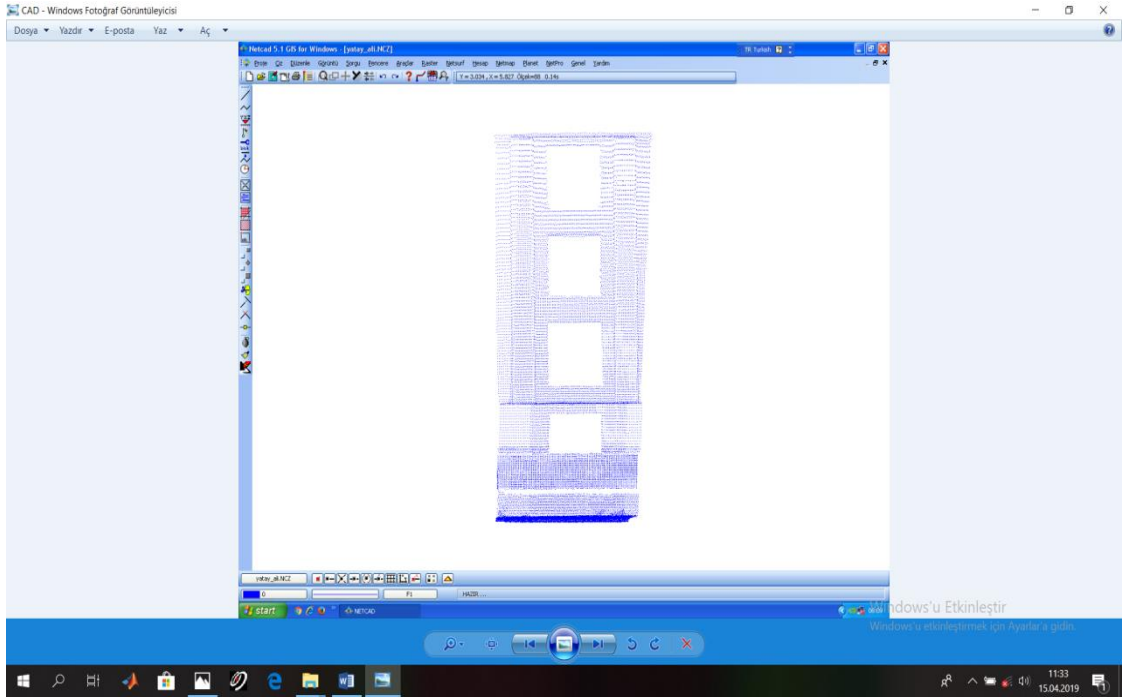
Bu tezde, hareketli lazer tarama verisinde bulunmayan pencere boşluklarına ait köşe koordinat değerlerinin Kalman filtresi ile elde edilmesi ve bu değerlerin bina cephe rölövesi üzerinde otomatik resim giydirilmesi için kullanılması amaçlanmıştır. Rölöve çiziminde, resmin rölöve üzerinden otomatik olarak elde edilebilmesi için pencere köşe noktaları resimlerin düşeye çevrilmesinde kontrol noktası olarak kullanılmıştır.

Lazer tarama verisi içinde bulunan fotografik verilerin ve nokta bulutu verilerinin rölöve üzerinde birlikte kullanılması fotogrametrik bir çalışmayı gerekli kılar. Pencerenin keskin köşeleri hem doğal hem de görüntünün düşeye çevrilme çalışmasında hedef noktalar. Bu sebeple lazer nokta bulutu verisi, filtreleme yöntemleriyle bu noktaların tespiti için kullanılmıştır. Daha sonra bu filtrelemeyle elde edilen pencere köşe noktaları orijinal CAD verisindeki değerlerle sayısal olarak karşılaştırılmış böylece çalışmanın analizi ve sonucu elde edilmiştir.

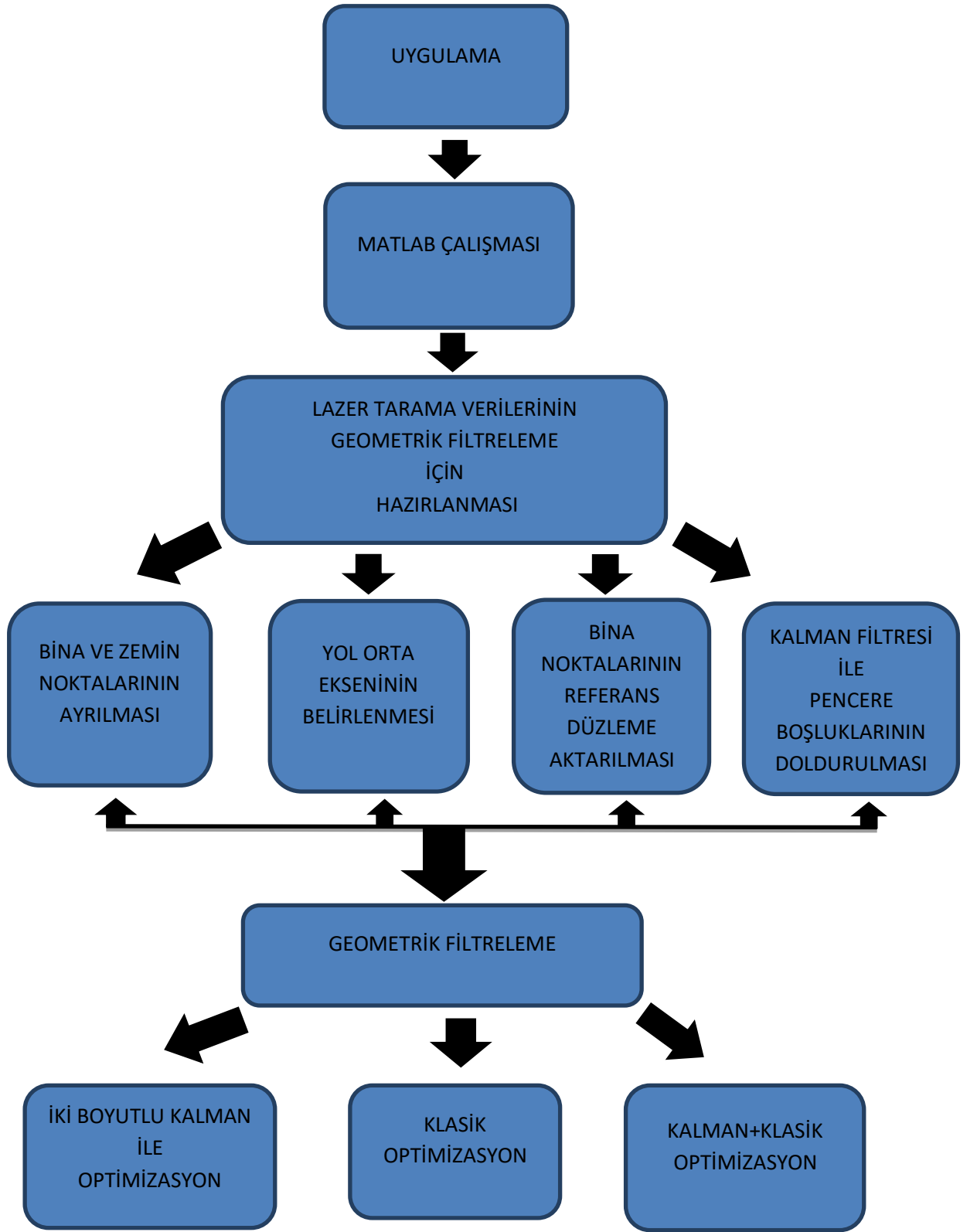
Tezde kullanılan nokta bulutu verileri, TOPCON şirketi envanterinde yer alan, hareketli haritalama için yeterli donanıma sahip, ölçüm esnasında hızı 10 km/sa ile 20 km/sa arasında değişen bir araçla Ankara'nın Balgat ilçesinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiştir. Fotogrametrik verinin üretilmesinde Ladybug-5 kamerası kullanılmıştır. Nokta bulutu verilerinin elde edilmesinde kullanılan araç Şekil 7.1'de, verilerin CAD ortamında gösterimi Şekil 7.2'de, yapılan uygulama çalışması işlem adımları ise şematik olarak Şekil 7.3' te gösterilmiştir.



Şekil 7.1: Nokta Bulutu Verilerinin Elde Edilmesinde Kullanılan Araç.



Şekil 7.2: Orijinal Verinin CAD Ortamında Gösterimi.



Şekil 7.3: Uygulama Çalışması İşlem Adımları.

7.2. Uygulamada Kullanılan Kalman Filtresi Parametreleri

Bu çalışma içerisinde kullanılan Kalman filtreleme yöntemi öncelikle pencere boşluklarının tespitinde (Kalman.m) sonrasında ise belirli bir alan içerisinde kalan (120 cm) noktaların optimizasyonunda (Kalman_P.m) kullanılmıştır.

Kalman.m kodunda noktalar arası mesafe başka bir ifadeyle pencereler için aranacak boşluk değeri 25 cm, Kalman_P.m kodunda ise 14.5 cm alınmıştır.

Filtre, altıncı bölümde anlatıldığı gibi veriler üzerinde iki adımda gezerek yükseklik değerlerini (Z) hesaplamıştır. İşlemin yönüne göre öncelikle noktaların sol ve önündeki noktalara göre veri toplanmıştır. Bu noktalar ölçülemediği takdirde gerekli ağırlık değişiklikleri (B ve C) filtre tarafından yapılarak işleme devam edilmiştir. İterasyonun ilk noktası;

- $S^- = \begin{bmatrix} Z \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

- $P = Q$

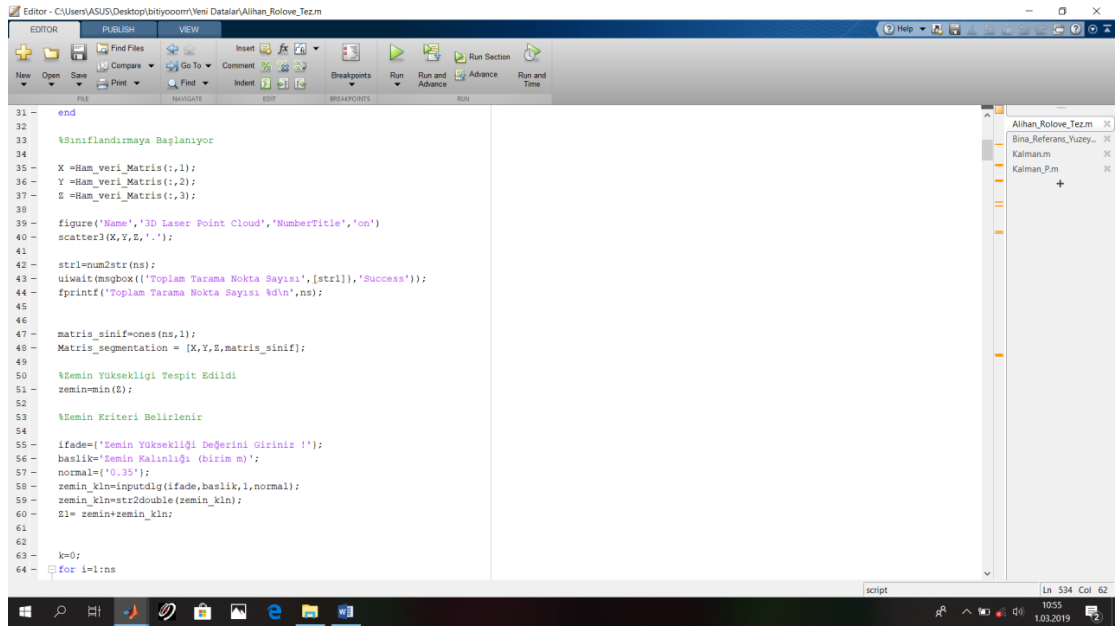
kabul edilmiştir.

Her iki adımda da değerler ayrı ayrı hesaplanmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak sonuç bir ascii dosyasına yazdırılmıştır.

7.3. Uygulama Çalışması İşlem Adımları

7.3.1. Zemin Noktalarının Belirlenmesi

Bu çalışmada ilk olarak cyclone programından elde edilen veriler Tamyatay.txt dosyası olarak kaydedilmiştir. Sonrasında ham verimizde üzerinde rölöve işlemi yapacağımız bina noktalarını zemin noktalarından ayırabilmek için zeminin en alt noktasından itibaren 35 cm yüksekte olan noktalar belirlenerek sınıflandırma işlemine başlanmıştır. Matlab programında sınıflandırmaya başlanması işlemi Şekil 7.4'te gösterilmiştir.

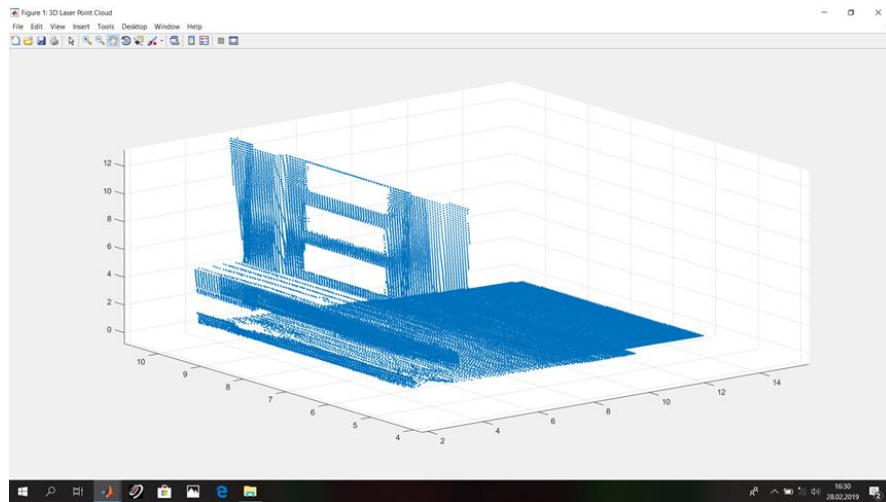


Şekil 7.4: Sınıflandırmaya Başlanması.

Zemin kriteri,

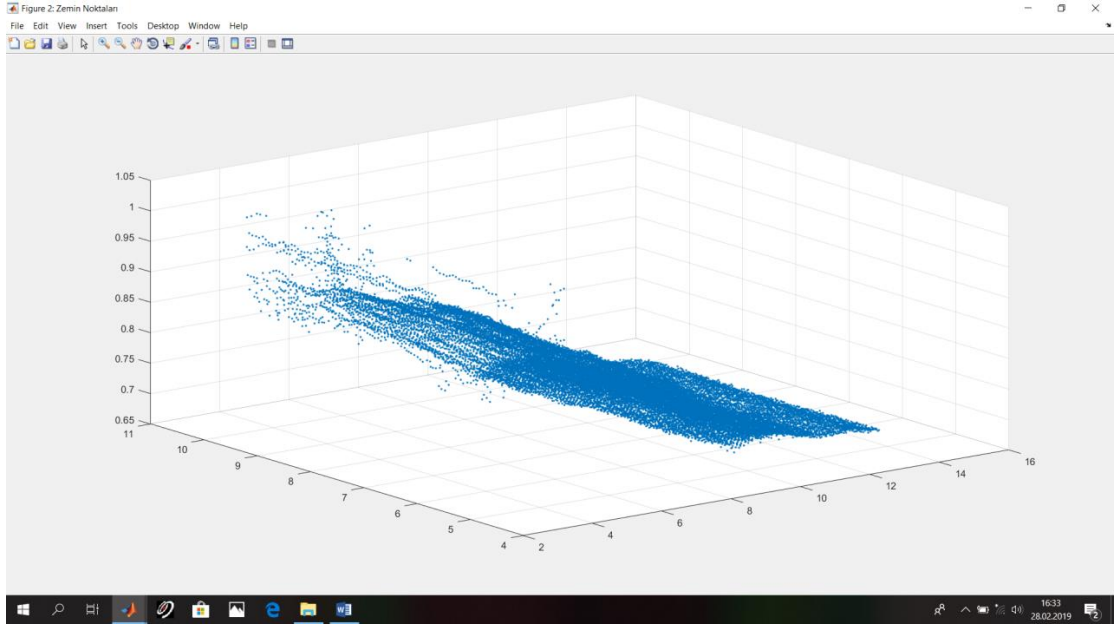
$$Z_1 = Z_{min} + zk \quad (7.1)$$

formülü ile belirlenmiştir. Burada kodda girilmesi istenen zemin yüksekliği değeri olan zk (zemin kalınlığı) değiştirilebilir. Yapılan çalışmada noktaları birbirinden daha kolay ayırabilmek için en uygun değer olarak 35 cm alınmıştır. Sınıflandırma işlemine başlamadan önce taranan nokta bulutlarının grafiği çizilmiştir. Matlab yazılımında çizilen üç boyutlu lazer nokta bulutu grafiği Şekil 7.5'te gösterilmiştir.



Şekil 7.5: Üç boyutlu Lazer Nokta Bulutu Grafiği.

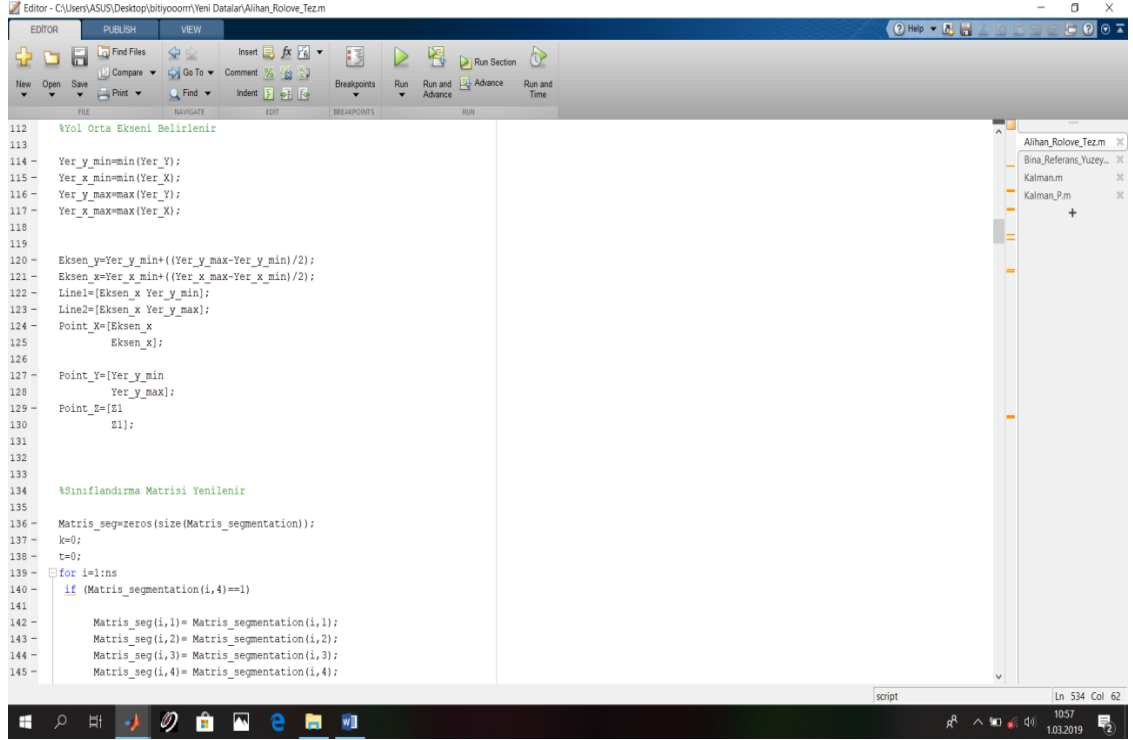
Sınıflandırma için öncelikle tüm noktaların sınıf sütununa 1 değeri atanmıştır. Daha sonra Z değeri zemin kriterinden küçük olan noktalara 0 değeri atanmıştır. Buradan 0 olarak atanan değerler çekilerek Matris_Yer zemin noktaları matrisi oluşturulmuş ve grafiği çizilmiştir. Şekil 7.6’da zemin noktalarının matlab programında çizilen grafiği gösterilmiştir.



Şekil 7.6: Zemin Noktalarının Grafiği.

7.3.2. Yol Orta Ekseninin Belirlenmesi

Zemin noktalarından maksimum ve minimum X ve Y değerlerine sahip olan noktalar kullanılarak yol orta eksenini (Eksen_y, Eksen_x) belirlenmiştir. Yol orta eksenini belirlenirken $Z_1 = Z$ olarak alınmış ve derinliği Z_1 değerine eşit ve üzerinde olan noktalardan bu eksen geçirilmiştir. Matlab yazılımında yol orta ekseninin belirlenmesi işlemi Şekil 7.7’de gösterilmiştir.



Şekil 7.7: Yol Orta Ekseninin Belirlenmesi.

Bu işlemler;

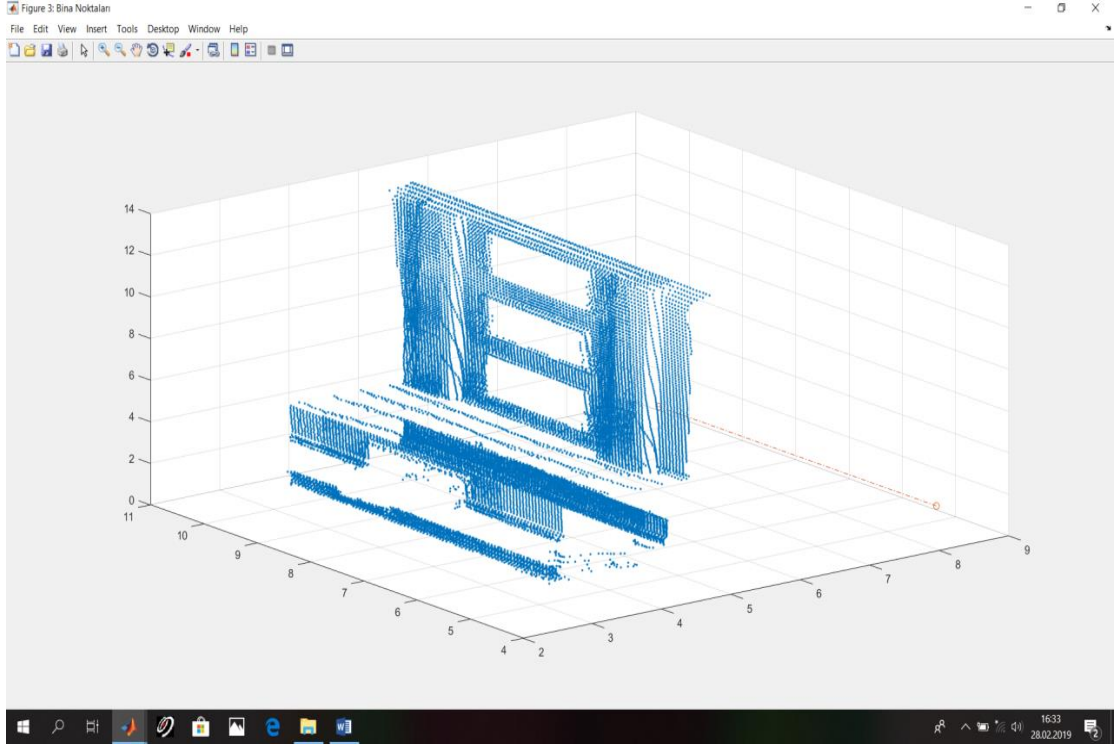
$$Eksen_y = Yer_{y_{min}} + \left(\frac{Yer_{y_{max}} - Yer_{y_{min}}}{2} \right) \quad (7.2)$$

$$Eksen_x = Yer_{x_{min}} + \left(\frac{Yer_{x_{max}} - Yer_{x_{min}}}{2} \right) \quad (7.3)$$

formülleri ile hesaplanmıştır.

7.3.3. Bina Noktalarının Belirlenmesi

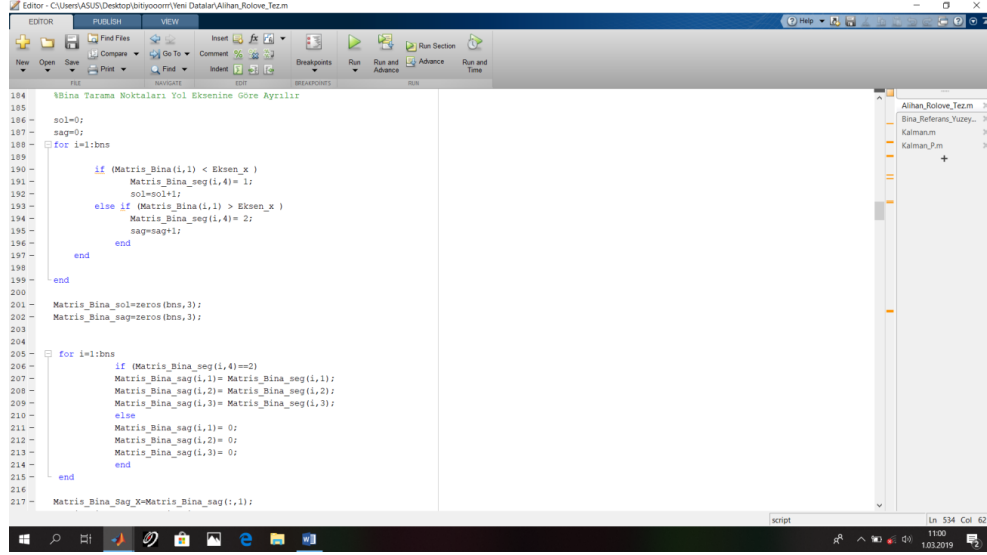
Sınıf sütununa 0 olarak atanan değerlerin(zemin noktaları) dışında kalan başka bir ifadeyle sınıf değeri 1 olarak atanan noktalar yani bina noktaları Matris_Bina_seg matrisi olarak kaydedilmiş ve grafiği çizilmiştir. Yol orta ekseninin matlab programında çizilen grafiği Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



Şekil 7.8: Yol Orta Eksenini Grafiği.

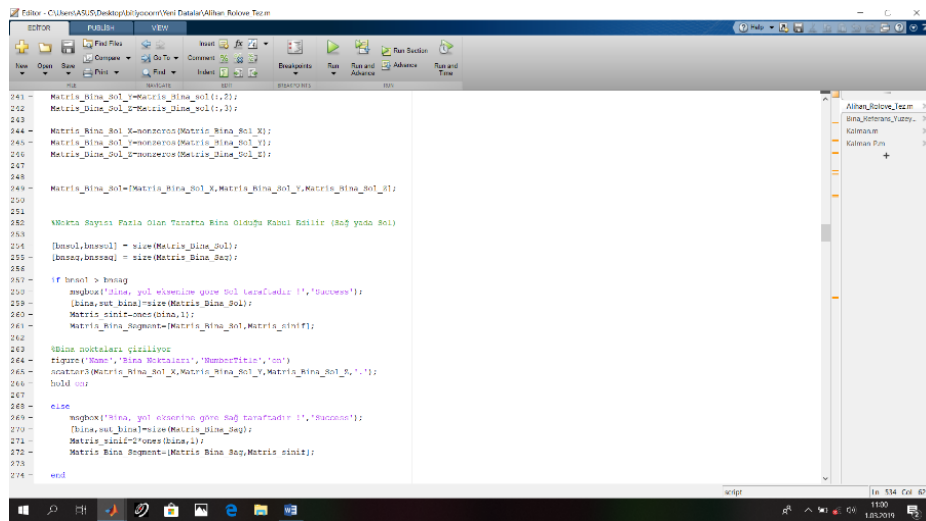
7.3.4. Binanın Yönünün Belirlenmesi:

Bina noktaları, 35 cm olarak belirlenen zemin yüksekliğinden ayrılmıştır ancak binanın, yol ekseninin sol tarafında mı ya da sağ tarafında mı kaldığını tespit etmek amacıyla yukarıda belirlediğimiz yol orta eksenini temelinde yeni bir sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Bunun için $Eksen_x$ (yol ekseninin derinliği) değerinden küçük noktalara 1 değeri, $Eksen_x$ değerinden büyük noktalara 2 değeri atanmıştır. Buradan 1 değeri olarak atanan noktalar *Matris_Bina_Sol* matrisinde, 2 değeri olarak atanan noktalar *Matris_Bina_Sag* matrisinde gösterilmiştir. Bina noktalarının yol orta eksenine göre ayrılması işlemi Şekil 7.9’da gösterilmiştir.

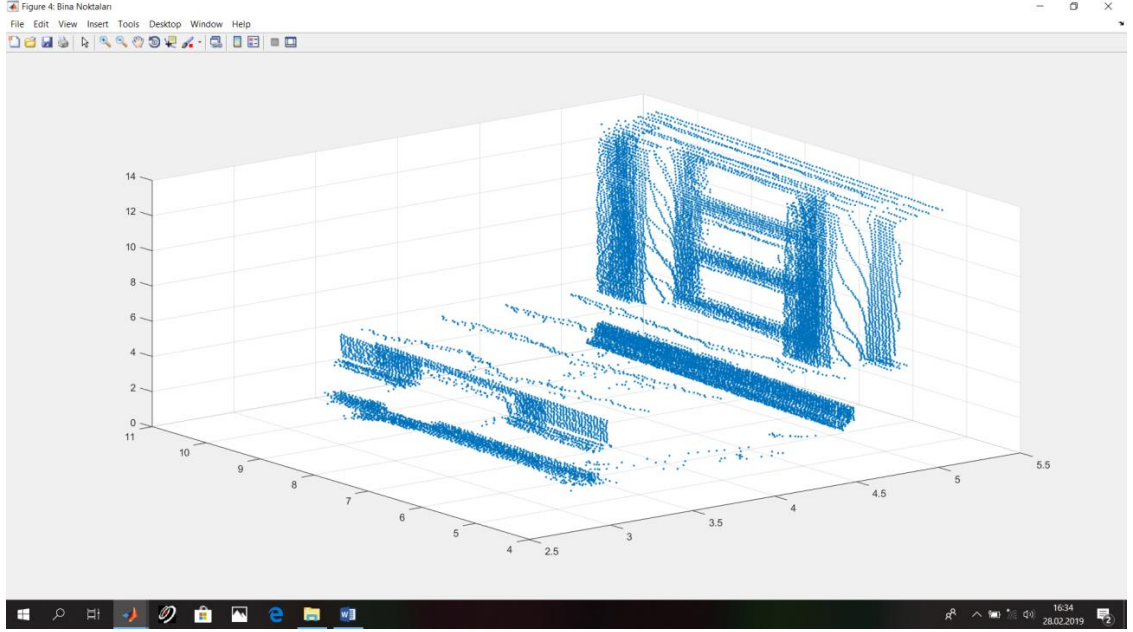


Şekil 7.9: Bina Noktalarının Yol Orta Eksenine Göre Ayrılması.

Nokta sayısı fazla olan tarafta bina olduğu kabul edilmiş, Matris_Bina_Sol ve Matris_Bina_Sag matrislerinin nokta sayıları hesaplanarak nokta sayısı fazla olan Matris_Bina_Sol matrisi değerleri bina noktalarının tamamen ayrıldığı Matris_Bina_Segment matrisi olarak yazdırılmış ve bina noktalarının grafiği çizilmiştir. Ayrıca verimizde olmamakla birlikte yol orta ekseninin sağ tarafında da belirlediğimiz yükseklik sınırını (Z_1) aşan noktalar bulunsaydı bina noktalarını tamamen ayırabilmek için bu sınıflandırma aşamasının yapılması zorunlu olacaktı. Bina yönünün belirlenmesi işlemi Şekil 7.10'da ve bina noktalarının grafiği şekil 7.11'de gösterilmiştir.



Şekil 7.10: Bina Yönünün Belirlenmesi.



Şekil 7.11: Bina Noktaları Grafiği.

7.3.5. Bina Noktalarının Referans Yüzeye Aktarılması

Bina noktaları tespit edildikten sonra bina pencerelerinin içinde yer alan mevcut veriler (duvar yansımaları) silinmiştir. Sonrasında bina cephe rölövesi çizimi için bina noktaları referans bir yüzeye aktarılmıştır. Bu aşamada matematiksel bir filtre fonksiyonu uygulanmıştır.

Filtre, matematik modeli oluşturan yüzey fonksiyonun maksimum ve minimumları içerisinde yüzeye bağlı yükseklik farkları temelinde çalışmaktadır [Ay E., 2008]. Yüzey denklemi n nokta sayısı olmak üzere;

$$ax_n + by_n + cz_n + d = 0 \quad (7.4)$$

bağıntısı ile ifade edilmiştir.

Filtre fonksiyonu olarak eksponansiyel bir filtreleme tekniği kullanılmıştır. Filtre fonksiyonu;

$$f(x) = e^{\Delta Bina} = \frac{1}{e^{\Delta Derinlik}} \quad (7.5)$$

olarak belirlenmiştir. Burada ΔX_{Bina} ve $\Delta_{Derinlik}$;

$$\Delta X_{Bina} = \frac{d+bZ_{Bina}+aY_{Bina}}{c} \quad (7.6)$$

$$\Delta_{Derinlik} = X_{Bina} - X_{max} \quad (7.7)$$

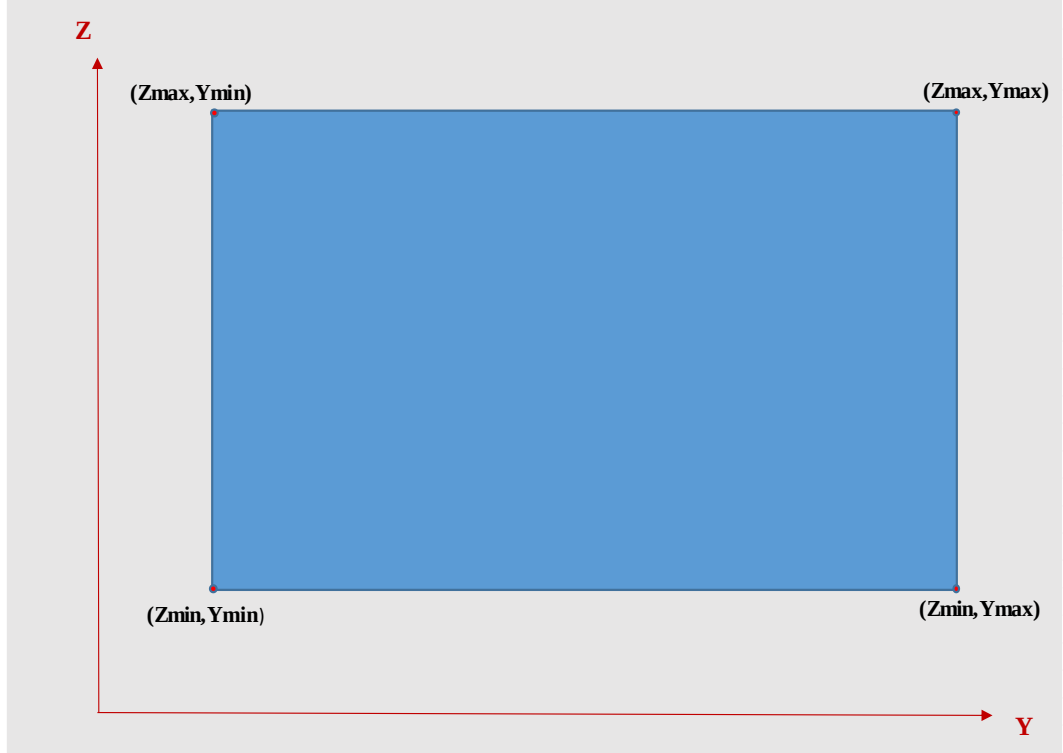
formülleri ile hesaplanmıştır. a , b , c , d düzlem denklem parametrelerini, ΔX_{Bina} bina noktalarının referans yüzeye olan derinliğini, $\Delta_{Derinlik}$ bina noktalarının referans yüzeye olan derinlik farklarını, $e^{\Delta Bina}$ fonksiyonun sonuç değerlerini, $e^{\Delta Derinlik}$ derinlik farklarının eksponansiyel değerlerini, $Eksen_y$ yol orta ekseninin y değerini ifade eder.

İzdüşüm işlemi için öncelikle bina referans yüzey noktaları tespit edilmiştir. Referans yüzeyin sınırları bina noktalarının minimum ve maksimum Z (yükseklik) ve Y (uzunluk) değerlerine sahip noktaları kullanılarak belirlenmiş ve dikdörtgen bir yüzey oluşturulmuştur. X derinlik değerinin yalnızca maksimum değeri kullanılmıştır. Bunun nedeni yüzeye aktaracağımız binanın en alt penceresinin (Pencere 1) diğer üç pencereye göre daha içeride bulunmasıdır. X değerinin minimumu alındığı takdirde en alt pencerenin arkasında kalan başka bir ifadeyle derinlik değeri daha küçük olan noktalar ile en alt pencere ve bina noktalarının birbirine karışma ihtimalinin olmasıdır. Belirlenen referans yüzey noktaları Bina_Referans_Yuzey_Noktaları.txt dosyasına yazdırılmış ve Tablo 7.1’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1: Bina Referans Yüzey Noktaları.

X(m)	Y(m)	Z(m)
5,424	10,537	13,598
5,424	4,762	13,598
5,424	10,537	1,014
5,424	4,762	1,014

Matlab programında çizilen bina referans yüzey noktaları, referans yüzey noktalarının tespiti işlemleri, en büyük referans yüzey noktaları, bina en büyük referans yüzeyi ve referans yüzey grafikleri sırasıyla Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15 ve Şekil 7.16’da gösterilmiştir.



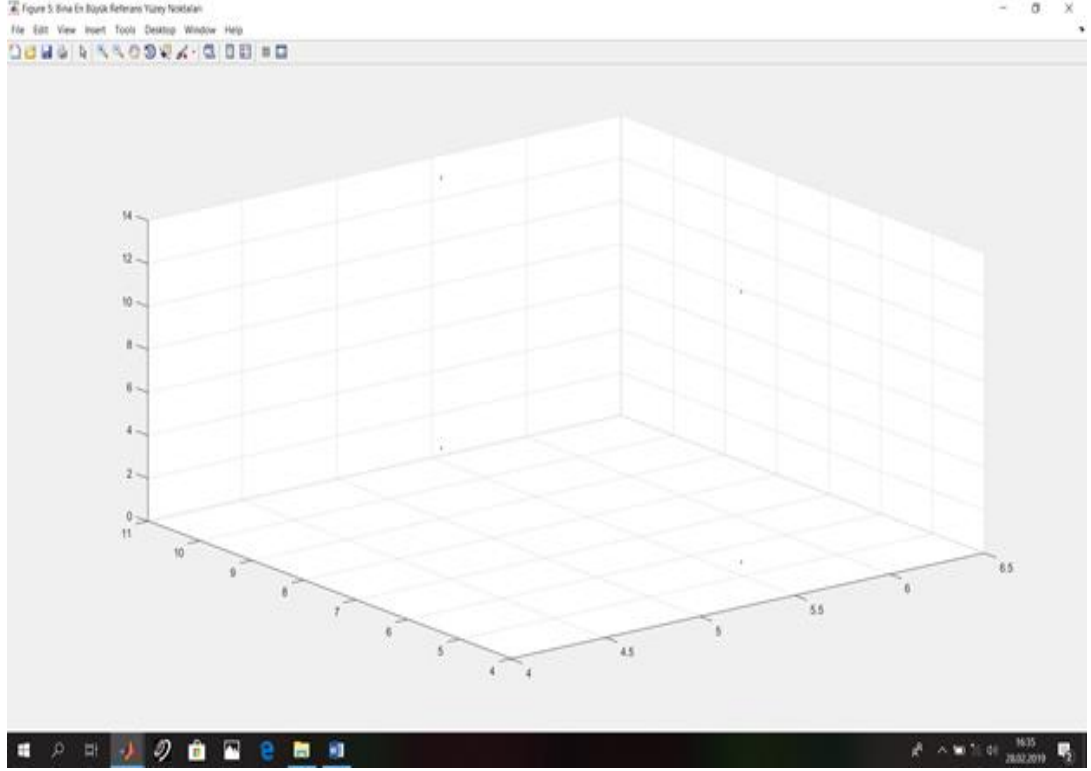
Şekil 7.12: Bina Referans Yüzey Noktaları Garfı.

```

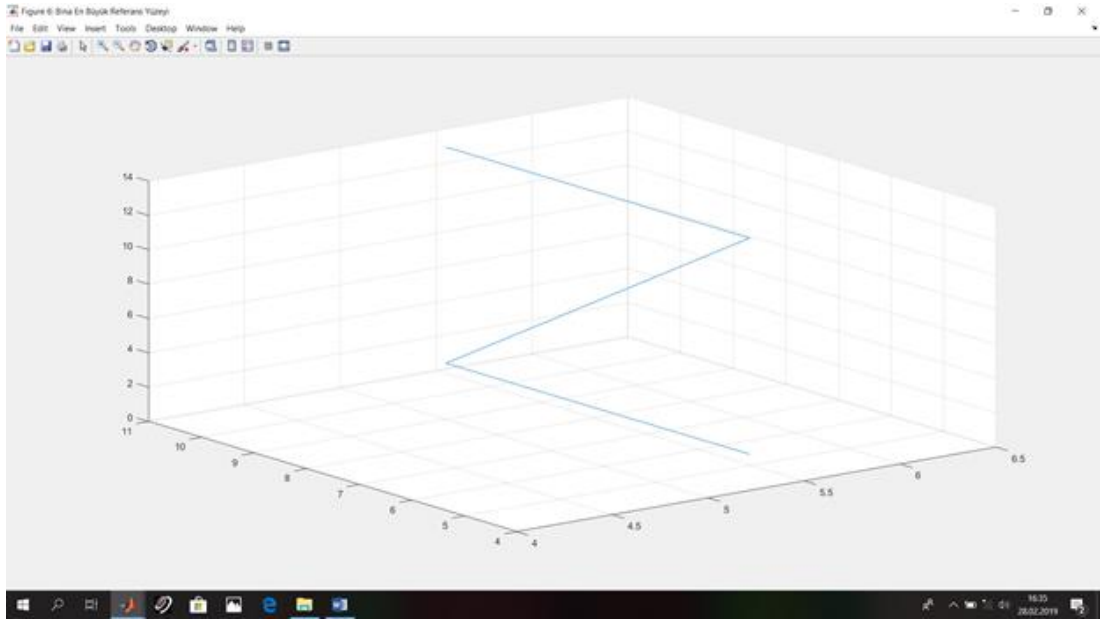
277 %Bina Yüzeyine Göre Yüzey Belirleme Yapılır
278
279 Bina_yuzey_X_max = max(Matris_Bina_Segment(:,1));
280 Bina_yuzey_X_min = min(Matris_Bina_Segment(:,1));
281
282 Bina_yuzey_Y_max = max(Matris_Bina_Segment(:,2));
283 Bina_yuzey_Y_min = min(Matris_Bina_Segment(:,2));
284
285 Bina_yuzey_X_max = max(Matris_Bina_Segment(:,1));
286 Bina_yuzey_Y_min = min(Matris_Bina_Segment(:,2));
287
288
289
290 BY1=[Bina_yuzey_X_max,Bina_yuzey_Y_max,Bina_yuzey_X_max,1];
291 BY2=[Bina_yuzey_X_max,Bina_yuzey_Y_min,Bina_yuzey_X_max,1];
292 BY3=[Bina_yuzey_X_min,Bina_yuzey_Y_max,Bina_yuzey_X_max,1];
293 BY4=[Bina_yuzey_X_min,Bina_yuzey_Y_min,Bina_yuzey_X_max,1];
294
295
296 BG1=[Bina_yuzey_X_max,Bina_yuzey_Y_max,Bina_yuzey_X_max];
297 BG2=[Bina_yuzey_X_max,Bina_yuzey_Y_min,Bina_yuzey_X_max];
298 BG3=[Bina_yuzey_X_min,Bina_yuzey_Y_max,Bina_yuzey_X_max];
299 BG4=[Bina_yuzey_X_min,Bina_yuzey_Y_min,Bina_yuzey_X_max];
300
301 BG=[BG1
302     BG2
303     BG3
304     BG4];
305
306 BGX=BG(:,1);
307 BGY=BG(:,2);
308 BGGZ=BG(:,3);
309
310 BY=[BY1

```

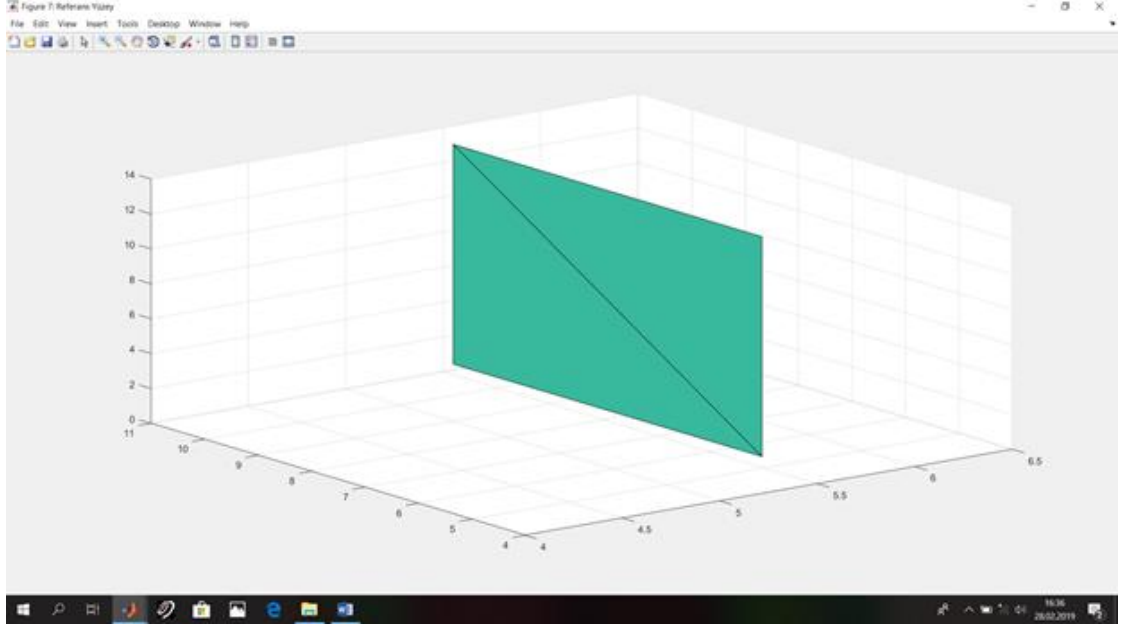
Şekil 7.13: Referans Yüzey Noktalarının Tespiti.



Şekil 7.14: En Büyük Referans Yüzey Noktaları Grafiği.



Şekil 7.15: Bina En Büyük Referans Yüzeyi Grafiği.



Şekil 7.16: Referans Yüzey Grafiği.

Referans yüzey noktaları tespit edildikten sonra bu noktalar kullanılarak bina referans düzlem parametreleri dengelemeli olarak hesaplanmış, PSag matrisi oluşturulmuş ve Bina_Referans_Düzlem_Par. txt dosyasına yazdırılmıştır. Tablo 7.2’de dengeleme sonucu elde edilen referans düzlem parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 7.2: Referans Düzlem Parametreleri.

Düzlem Parametreleri Katsayıları	
a	-0.0034287
b	-0.018451
c	0.039046
d	0.0071988

Dengeleme işleminde;

$$I = [4,1] \quad (7.8)$$

$$N = BY^T BY \quad (7.9)$$

$$n = N^{-1} I \quad (7.10)$$

$$X = N^{-1}[I] \quad (7.11)$$

formülleri kullanılmıştır. I birim matrisini, BY tespit edilen maksimum ve minimum yüzey noktaları matrisini, N normal denklem katsayılar matrisini, n yalın terimler vektörünü, X bilinmeyenler matrisini ifade eder.

Hesaplanan parametreler, fonksiyonun sonuç değerleri ($e^{\Delta Bina}$) kullanılarak bina noktalarının Z ve Y değerleri referans düzleme aktarılmıştır. Referans düzlemin X derinlik değeri ($Yüzey_{Derinlik}$) maksimum ve minimum X değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmış ve birim matris kullanılarak bina nokta sayısı kadar derinlik değerinin bulunduğu $Yüzey_{Filtre}$ matrisi oluşturulmuştur. Bu işlemler;

$$Yüzey_{Derinlik} = \frac{Yüzey_{X_{max}} + Yüzey_{X_{min}}}{2} \quad (7.12)$$

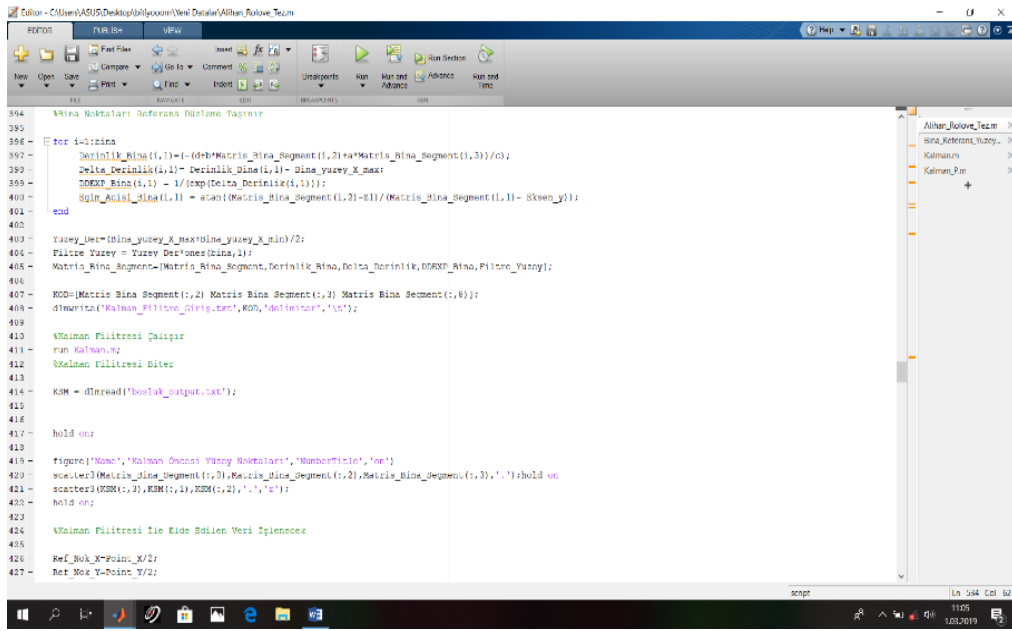
$$Yüzey_{Filtre} = Yüzey_{Derinlik} \cdot I_{Birim} \quad (7.13)$$

bağıntıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

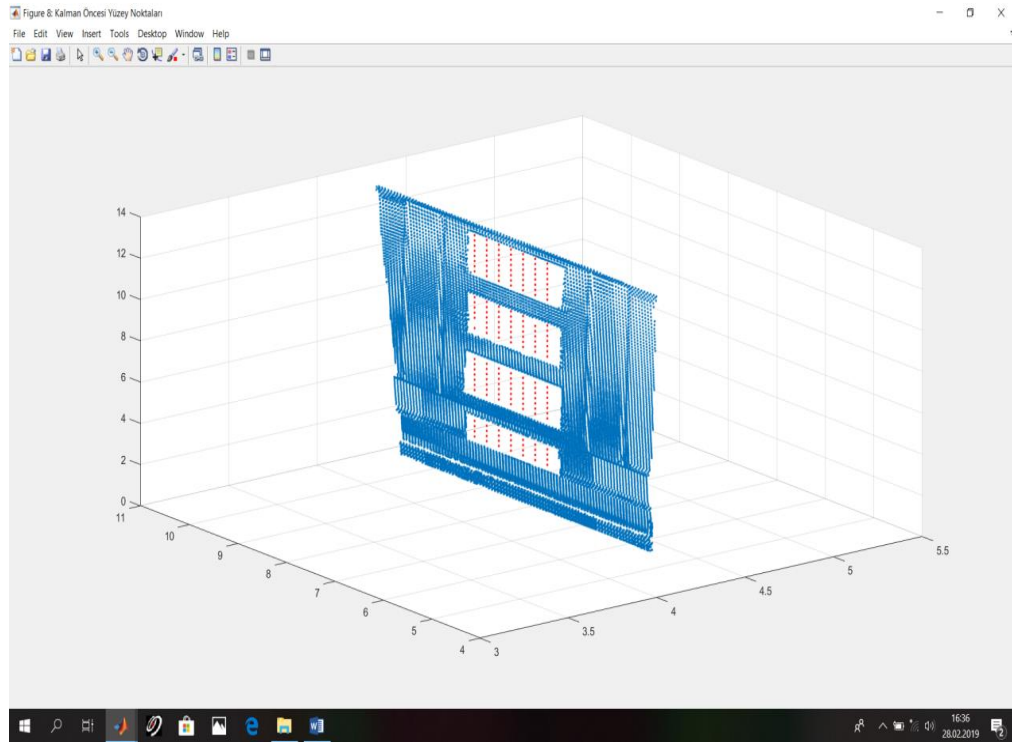
7.3.6. Kalman Kodunun Çalıştırılması

Matematiksel filtreleme sonucu elde edilen koordinat değerleri Kalman.m kodunda kullanılmak üzere KOD matrisi oluşturulmuş ve Kalman_Filtre_Giriş.txt dosyasına yazdırılmıştır.

Noktalar arası mesafe 25 cm olarak belirlenen Kalman.m kodu çalıştırılmış ve 180 tane yeni nokta ya da boşluk değerinin yazıldığı boşluk_output.txt dosyası oluşturularak grafiği çizilmiştir. Bu işlem sonucunda pencere boşlukları düşey olacak şekilde doldurulmuştur. Kalman kodunun çalıştırılması işlemleri Şekil 7.17’de, Kalman öncesi yüzey noktaları grafiği şekil 7.18’de gösterilmiştir.



Şekil 7.17: Kalman Kodunun Çalıştırılması.



Şekil 7.18: Kalman Öncesi Yüzey Noktaları Grafiğı.

7.3.7. Kalman Filtresi Sonuçlarının Sınıflandırılması

Kalman fitresi ile boşlukların bir blok halinde hesaplanmış olması nedeniyle noktaların hangi pencereye ait olduğunu tespit edebilmek için yeniden bir sınıflandırma

işlemi yapılmış ve bu işlem Şekil 7.19’da gösterilmiştir. Daha önce bina noktalarının referans düzleme aktarılması işleminde kullandığımız eksponansiyel filtre fonksiyonunun bir benzeri kullanılmıştır. Filtre fonksiyonu;

$$f(x) = e_{Kalman} = e^{(\alpha_{Kalman} \cdot bk)} \quad (7.14)$$

bağıntısı ile ifade edilmiştir. Burada;

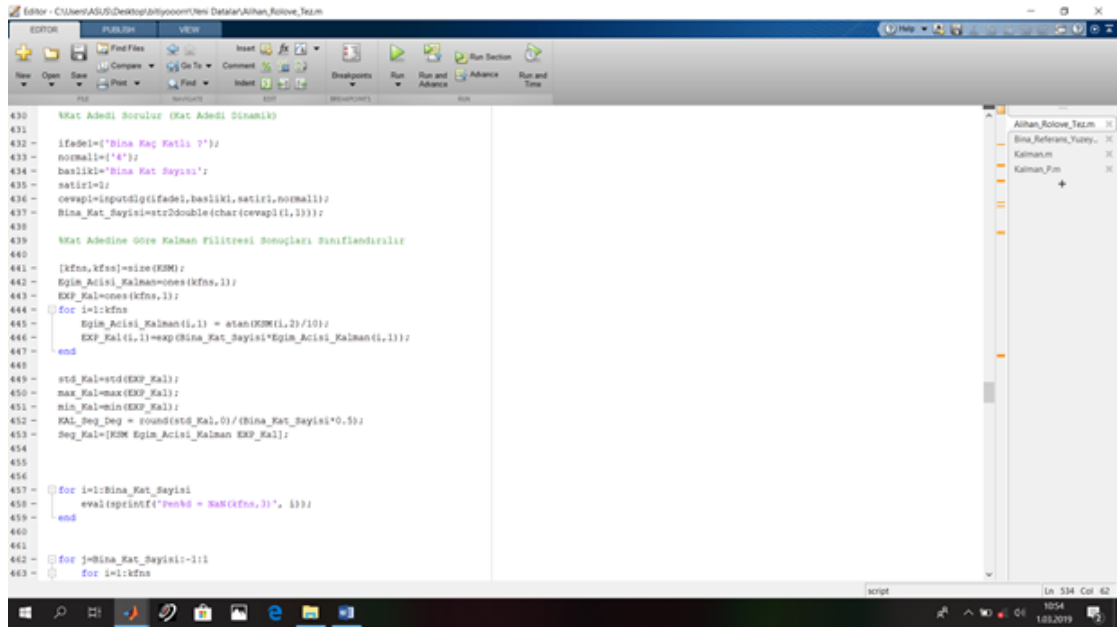
$$\alpha_{Kalman} = \tan^{-1} \frac{[Z]}{10} \quad (7.15)$$

$$S_{Kalman} = S(e_{Kalman}) \quad (7.16)$$

$$D_{Seg} = \frac{S_{Kalman}}{bk \cdot \frac{1}{2}} \quad (7.17)$$

formülleri ile hesaplanmıştır. α_{Kalman} eğim açılarını, Z yükseklik değerlerini (kalman sonrası), e_{Kalman} bina eksponansiyel değerlerini, S_{Kalman} eksponansiyel değerlerin standart sapmasını, D_{Seg} segmentasyon değerini ifade eder.

Öncelikle kodda bina kat sayısı sorularak kat sayısı istenmiştir. Bizim verimizde bina 4 katlı olduğu için ona göre sınıflandırma yapılmıştır. Ancak kodumuzda bina kat adedi dinamik olduğundan binanın kat sayısı farklı bir değer girilirse kod sınıflandırmayı ona göre yapacaktır. Bina kat sayısı değeri (bk) girildikten sonra her bir noktanın yükseklik değerlerine (Z) göre belirlenen eğim değerleri (α_{Kalman}) ve bina kat sayısı kullanılarak eksponansiyel değerler (e_{Kalman}) elde edilmiş ve Seg_Kal matrisi oluşturulmuştur. Buradan eksponansiyel değerlerin standart sapması hesaplanmış ve bu değer kullanılarak sınıflandırma değerlerinin yazıldığı KAL_Seg_Deg matrisi oluşturulmuştur.



Şekil 7.19: Kalman Filtresi Sonuçlarının Sınıflandırılması.

Hesaplanan S_{Kalman} değerlerine göre noktalardan S_{Kalman} değeri 3-6 değerleri arasında çıkanlar Pencere 1, 6-12 değerleri arasında çıkanlar Pencere 2, 12-24 değerleri arasında çıkanlar Pencere 3, 24 değerinin üzerinde olanlar Pencere 4 olarak atanmıştır. Her bir pencere için geriye kalan noktalar yani belirlenen değerler arasında olmayan noktalar ise NaN (boşluk) olarak atanmıştır. Atanan nokta değerleri ile NaN değerlerini ayırmak için snip.m kodu çalıştırılarak Pencere 1 için 28 nokta, Pencere 2 için 49 nokta, Pencere 3 için 47 nokta ve Pencere 4 için 56 nokta tespit edilmiş ve PP1, PP2, PP3, PP4 matrislerine yazdırılmıştır [Web 8, 2019].

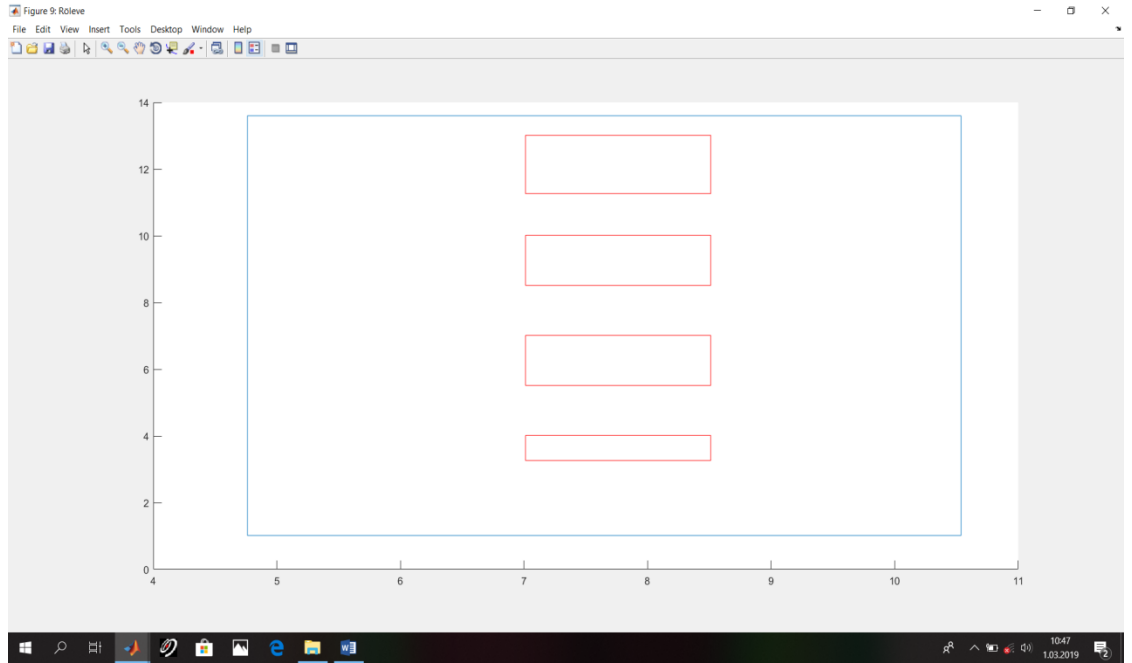
Burada yol orta ekseninin baz olarak kabul edilmesindeki amaç eksenin değişmesi yani binaya daha yakın veya daha uzak bir eksenin tercih edilmesi halinde noktaların tespit edilirken birbirine karışma ihtimaline sebebiyet vermesidir.

7.3.8. Rölöve ve Pencerelerin Optimizasyonu

Rölöve çiziminden sonra bina rölövesi ve pencerelerin optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon için Kalman filtresi ile optimizasyon, klasik optimizasyon ve Kalman+klasik optimizasyon olmak üzere üç yöntem kullanılmıştır.

7.3.8.1. Bina ve Pencere Rölövelerinin Klasik Optimizasyon ile Çizimi

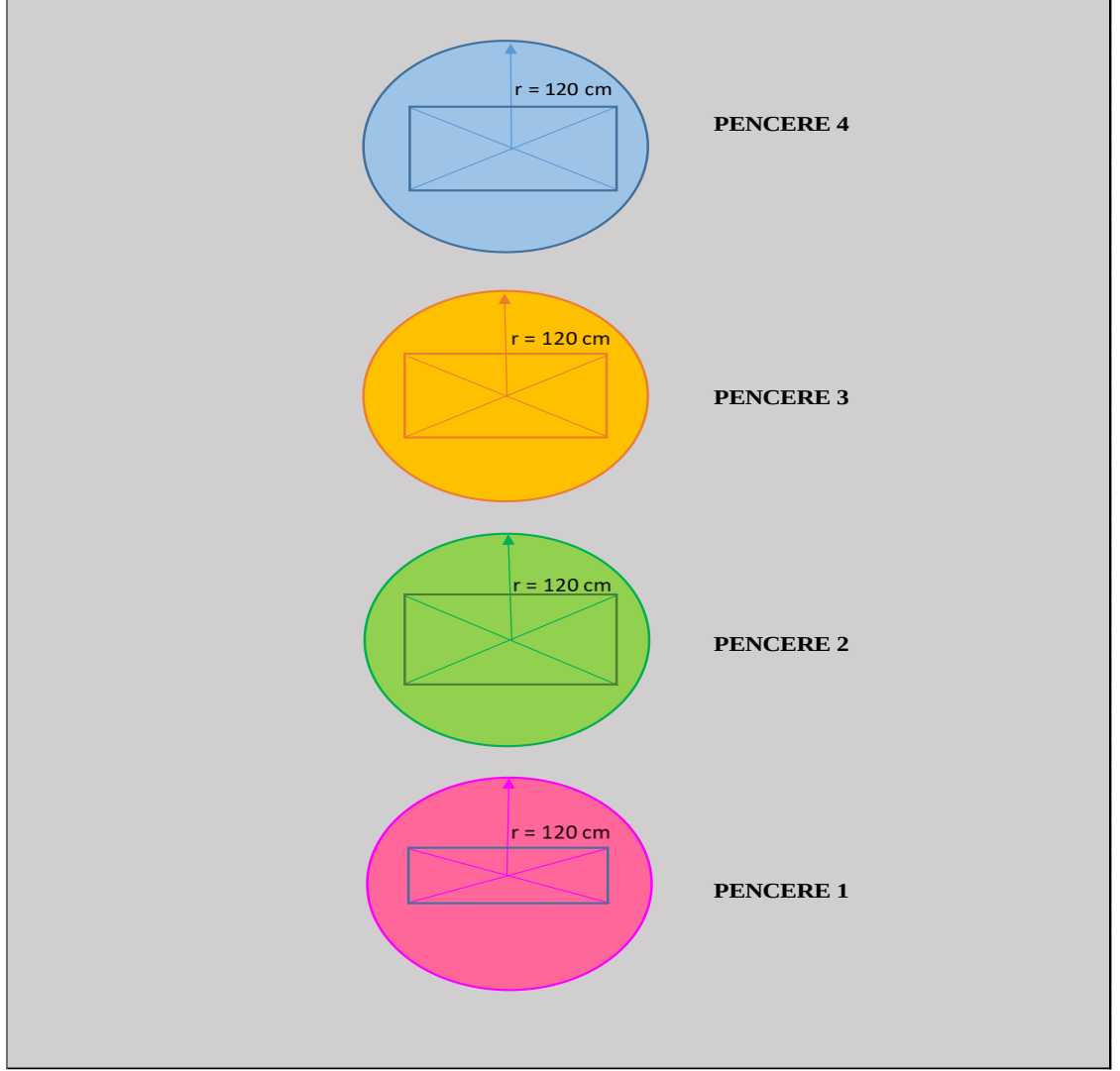
Pencereler belirlendikten sonra bina cephe rölövesi ve pencere çizimi yapılmıştır. KOD matrisinde yer alan bina noktalarından maksimum ve minimum Y ve Z değerlerine sahip olan noktalar kullanılarak bina cephe rölövesi çizilmiştir. Aynı şekilde sınıflandırılan pencere noktalarından yani PP1, PP2, PP3, PP4 matrislerinde yer alan noktalardan maksimum ve minimum Y ve Z değerlerine sahip olan noktalar belirlenerek pencere çizimi gerçekleştirilmiştir. Çizilen pencerelerin grafiği Şekil 7.20’de gösterilmiştir.



Şekil 7.20: Bina Cephe Rölövesi ve Pencerelerin Çizimi.

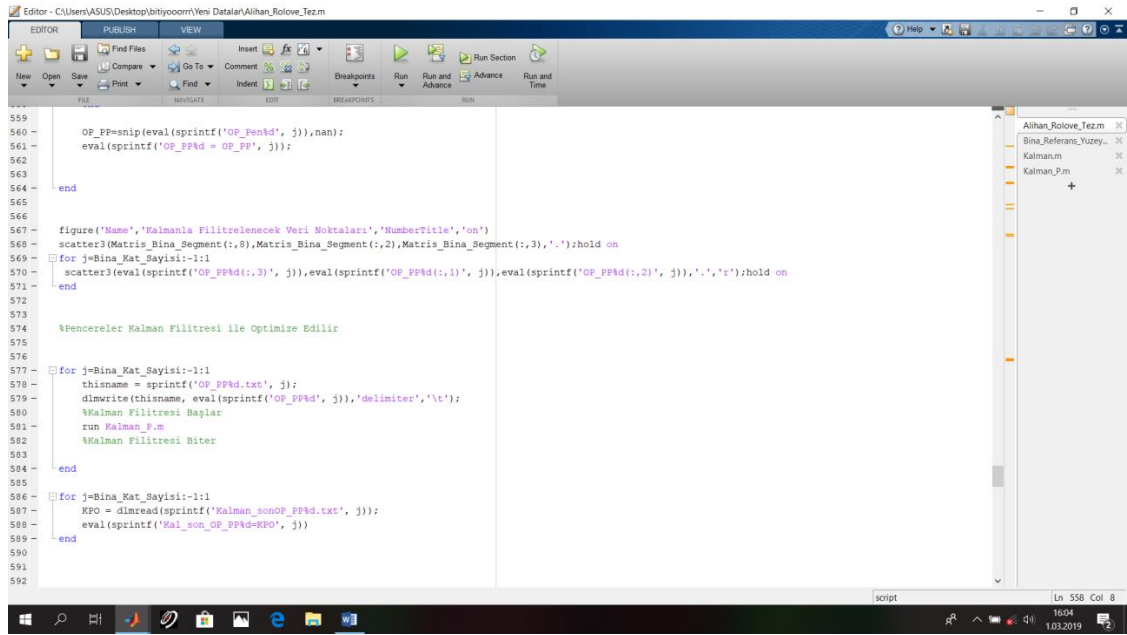
7.3.8.2. Kalman Filtresi ile Optimizasyon

Kalman filtresi ile optimizasyona girecek noktaları tespit etmek amacıyla rölövede çizilen pencerelere ait köşegenlerin kesişim noktaları hesaplanmış, bu noktalardan itibaren her bir pencerenin 120 cm yarıçapındaki dairesel alanına giren tüm noktalar belirlenmiş ve Şekil 7.21’de gösterilmiştir.



Şekil 7.21: Optimizasyonu Yapılacak Alan.

Bu noktaları atayabilmek için bina nokta sayısı kadar satıra ve NaN değerine sahip OP_Pen matrisi oluşturulmuştur. Sonrasında 120 cm sınırına giren noktalar KOD matrisi içinden seçilerek OP_Pen matrisine yazdırılmıştır. Atanan bu değerleri NaN değerlerinden ayırabilmek için snip.m kodu bir kez daha çalıştırılmıştır [Web 8, 2019]. Her bir pencere için optimizasyona girecek noktalar ayrıştırılarak nokta sayıları sırasıyla 2132, 646, 624, 383 olan OP_PP1.txt, OP_PP2.txt, OP_PP3.txt, OP_PP4.txt dosyaları oluşturulmuştur. Kalmanla filtrelenecek noktaların belirlenmesi işlemi Şekil 7.22’de, Kalmanla filtrelenecek veri noktalarının grafiği ise Şekil 7.23’te gösterilmiştir.

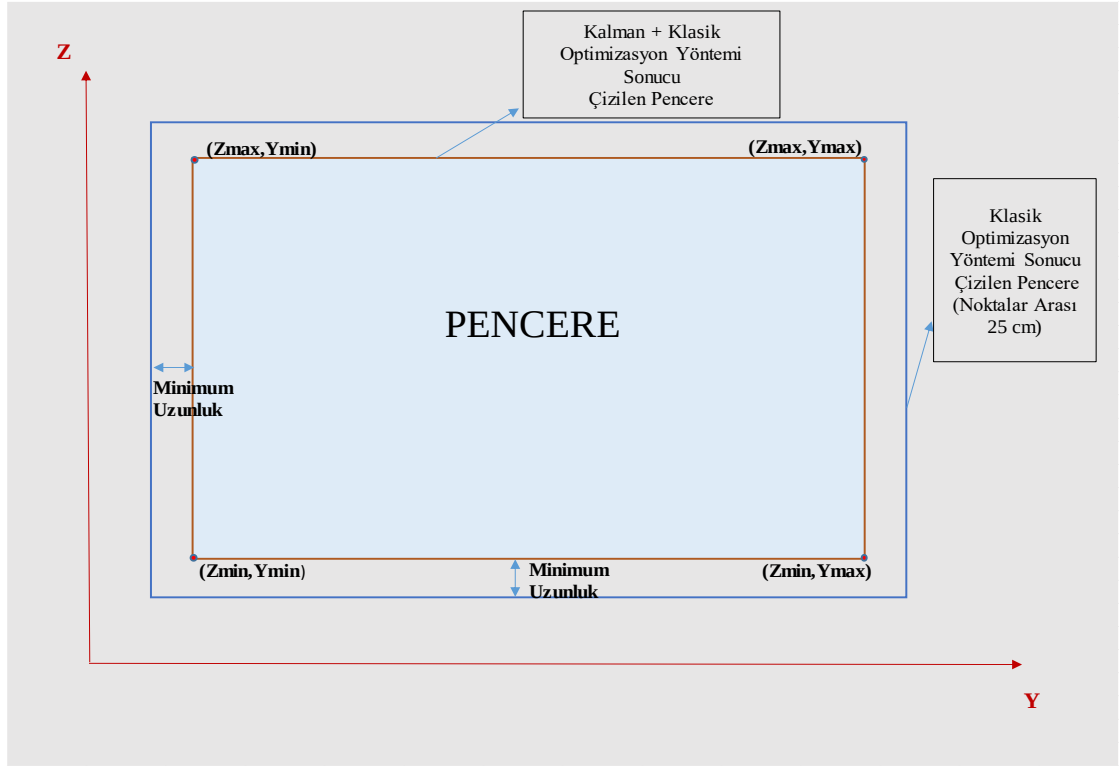


Şekil 7.24: Pencerelelerin Kalman Filtreleme Yöntemi ile Optimize Edilmesi.

Burada noktalar arası mesafenin 14.5 cm'den küçük alınması halinde binanın diğer noktalarına da boşluk atanarak pencerenin dışındaki bina noktalarının da seçilmesine ve sınırladığımız alanın dışına çıkılmasına başka bir ifadeyle veri tarama sıklığının içine girilerek kendi nokta bulutuna da nokta atanmasına neden olduğu için farklı değerler denenmiş ve 14.5 cm mesafenin en ideal aralık olduğu değerlendirilmiştir.

7.3.8.3. Kalman + Klasik Optimizasyon

Bu yöntemde pencereler en yakın mesafeye göre optimize edilmiştir. Öncelikle Kalman.m kodunun çalıştırılması ile elde ettiğimiz ve sınıflandırdığımız PP1, PP2, PP3, PP4 noktalarının minimum ve maksimum yükseklik ve uzunluk değerleri olan aax1, aax2, aax3, aax4, bby1, bby2, bby3, bby4 değerleri belirlenmiştir. Sonrasında pencere kesişim noktalarından 120 cm yarıçapında tarayarak elde ettiğimiz dairesel alana giren noktalar ile belirlediğimiz maksimum ve minimum noktalar arasındaki mesafenin en kısa olduğu noktalar tespit edilmiş ve çizilen pencereler Şekil 7.25'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar her bir pencere için ayrı ayrı OP_Window1.txt, OP_Window2.txt, OP_Window3.txt, OP_Window4.txt dosyalarına yazdırılmıştır. Yapılan işlemler Şekil 7.26'da gösterilmiştir.



Şekil 7.25: Klasik Optimizasyon Gösterimi

```

592 %Pencereler En Yakın Mesafeye Göre (Klasik Yöntem) Optimize Edilir
593
594 for j=Bina_Kat_Sayisi:-1:1
595     [on,son] = size(eval(sprintf('OP_PP%d', j)));
596     kon1=zeros(on,1);
597     kon2=zeros(on,1);
598     kon3=zeros(on,1);
599     kon4=zeros(on,1);
600     kon5=zeros(on,1);
601     for i=1:son
602         kon1(i,1) = abs(eval(sprintf('OP_PP%d(i,1)', j))) - eval(sprintf('btx%d', j)); %minx değeri için
603         kon2(i,1) = abs(eval(sprintf('OP_PP%d(i,1)', j))) - eval(sprintf('bax%d', j)); %maxx değeri için
604         kon3(i,1) = abs(eval(sprintf('OP_PP%d(i,2)', j))) - eval(sprintf('bby%d', j)); %miny değeri için
605         kon4(i,1) = abs(eval(sprintf('OP_PP%d(i,2)', j))) - eval(sprintf('bay%d', j)); %maxy değeri için
606     end
607
608     [kek1,ax] = min(kon1(:,1));
609     [kek2,bx] = min(kon2(:,1));
610     [kek3,ay] = min(kon3(:,1));
611     [kek4,by] = min(kon4(:,1));
612
613     PPP1 = eval(sprintf('OP_PP%d(ax,1)', j)); %minimum x
614     PPP2 = eval(sprintf('OP_PP%d(bx,1)', j)); %maksimum x
615     PPP3 = eval(sprintf('OP_PP%d(ay,2)', j)); %minimum y
616     PPP4 = eval(sprintf('OP_PP%d(by,2)', j)); %maksimum y
617     PPP5 = eval(sprintf('OP_PP%d(1,3)', j)); %z değeri
618     PPP6 = eval(sprintf('OP_PP%d(1,3)', j)); %z değeri
619
620     PPP=[PPP1,PPP3,PPP5;
621         PPP2,PPP4,PPP6];
622
623     eval(sprintf('PPP%d = PPP', j));
624
625
626

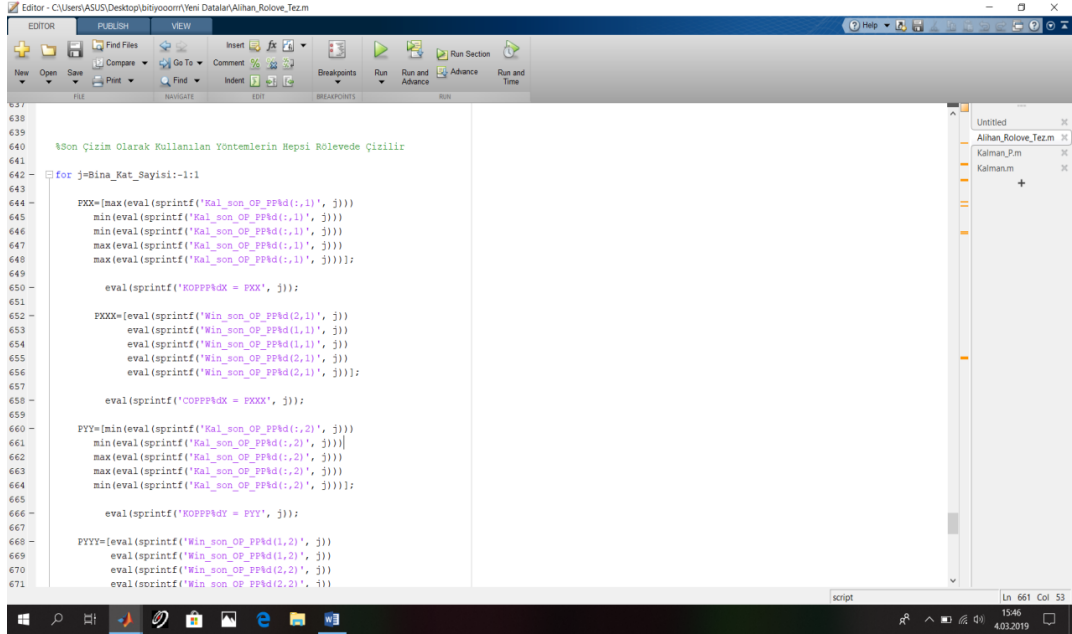
```

Şekil 7.26: Pencerelerin Kalman + Klasik Optimizasyon Yöntemi ile Optimize Edilmesi.

7.3.9. Tüm Yöntemlerin Birleştirilerek Rölövede Çizimi

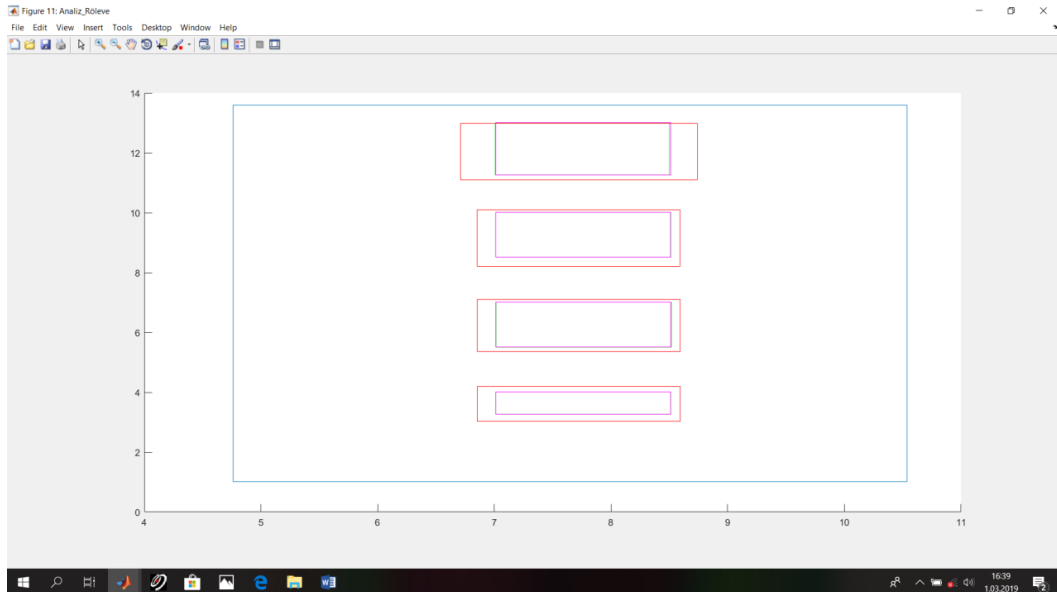
Son çizimlerde kullanılan yöntemlerin hepsi birleştirilerek rölövede çizilmiştir.

Şekil 7.27’de rölövelerin matlab programında çizim işlemi gösterilmiştir.

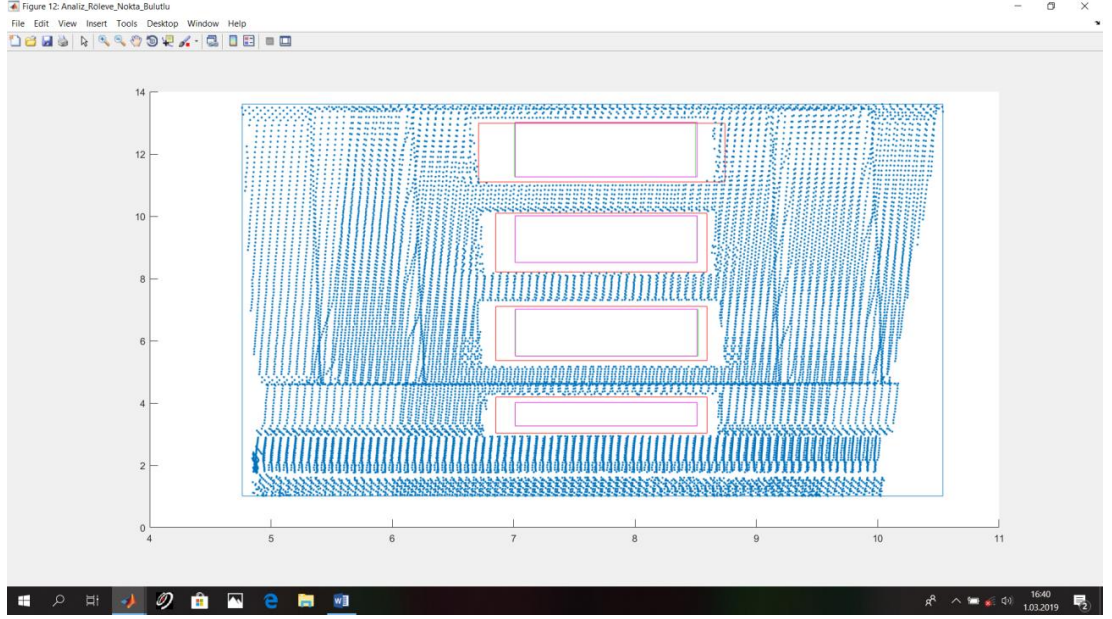


```
637
638
639 %Son Çizim Olarak Kullanılan Yöntemlerin Hepsini Rölövede Çizilir
640
641 for j=Bina_Kat_Sayisi:-1:1
642
643     FXX=[max(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,1)', j)))
644          min(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,1)', j)))
645          min(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,1)', j)))
646          max(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,1)', j)))
647          max(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,1)', j)))];
648
649     eval(sprintf('KOPPP%dX = FXX', j));
650
651     FXXX=[eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(2,1)', j))
652           eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(1,1)', j))
653           eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(1,1)', j))
654           eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(1,1)', j))
655           eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(2,1)', j))
656           eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(2,1)', j))];
657
658     eval(sprintf('COPPP%dX = FXXX', j));
659
660     FYY=[min(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,2)', j)))
661          min(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,2)', j)))
662          max(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,2)', j)))
663          max(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,2)', j)))
664          min(eval(sprintf('Kal_son_OP_PP%d(:,2)', j)))];
665
666     eval(sprintf('KOPPP%dY = FYY', j));
667
668     FYYY=[eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(1,2)', j))
669           eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(1,2)', j))
670           eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(2,2)', j))
671           eval(sprintf('Win_son_OP_PP%d(2,2)', j))];
```

Şekil 7.27: Rölövelerin Çizimi.



Şekil 7.28: Analiz Rölöve Grafiği.



Şekil 7.29: Analiz Rölöve Nokta Bulutu Grafiği.

Kırmızı renkle Kalman optimizasyon (noktalar arası mesafe 14,5 cm) sonucu, yeşil renkle Kalman+klasik optimizasyon sonucu, magenta rengiyle ise klasik optimizasyon sonucu elde edilen koordinat değerleri kullanılarak çizilen pencereler şekil 7.28’de ve 7.29’da gösterilmiştir.



Şekil 7.30: Binaya Ait Panoramik Görüntü.



Şekil 7.31: Düzeltilmiş Resim.

Şekil 7.30’da gösterilen binaya ait panoramik görüntü PI-3000 (TOPCON) yazılımı kullanılarak pencere köşelerine göre düşeye çevrilmiş (rektifiye) ve şekil 7.31’deki düzeltilmiş resim rölöve altlığı olarak hazırlanmıştır.

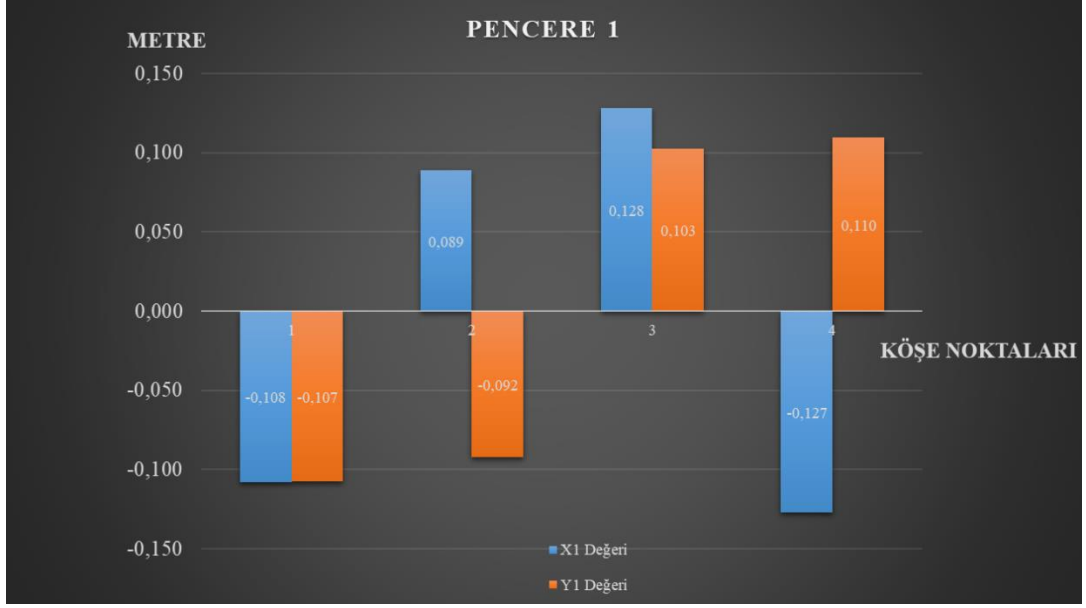
8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, günümüzde sıkça kullanılan hareketli lazer tarama yöntemiyle elde edilen verilerin Kalman filtreleme yöntemi kullanılarak fotogrametrik resim rektifikasyonunda kullanılacak verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Verilerde yer alan pencere boşluklarının köşe noktalarının koordinat değerleri bu yöntem ile hesaplanmış ve bu değerler kullanılarak bina cephe rölövesi için düşeye çevirme verilerinin (köşe koordinatları) elde edilmesi sağlanmıştır.

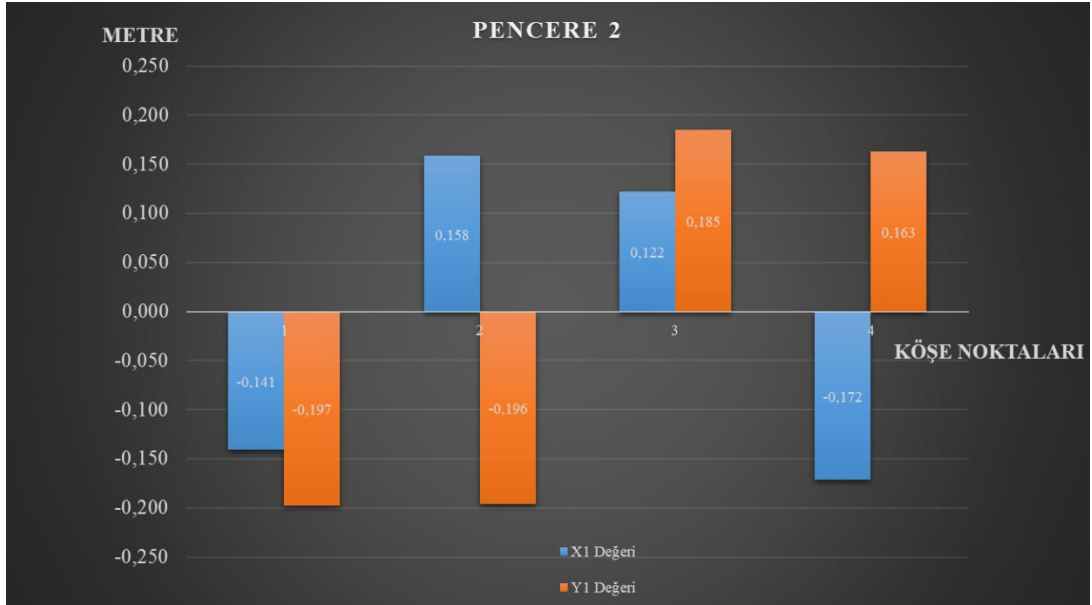
Bu amaç doğrultusunda Kalman filtresinden elde edilen sonuçların doğruluğunu anlayabilmek için aynı sonuçlar bir de klasik optimizasyon yöntemiyle hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Pencere köşe noktalarının son koordinat değerleri Tablo 8.1’de gösterilmiştir.

Tablo 8.1: Pencere Köşe Noktalarının Son Koordinat Değerleri ile ΔX ve ΔY Farkları

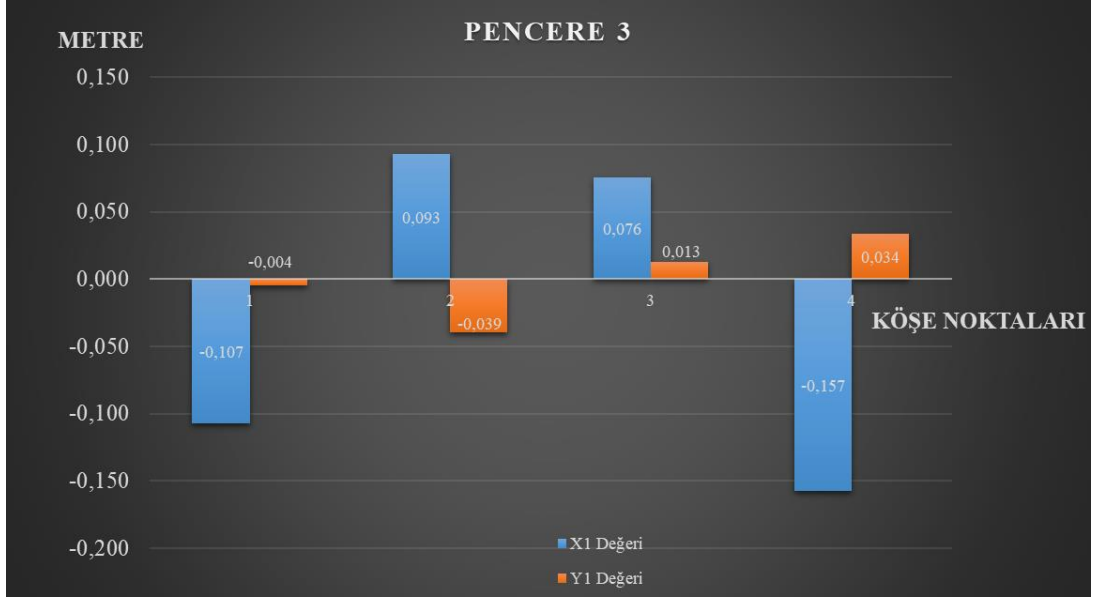
		Orijinal Data		Kalman Optimizasyon		Klasik Optimizasyon		Kalman Optimizasyon Farkları		Klasik Optimizasyon Farkları		Kalman-Klasik Optimizasyon Farklar	
		X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	$\Delta X1(m)$	$\Delta Y1(m)$	$\Delta X2(m)$	$\Delta Y2(m)$	$\Delta X3(m)$	$\Delta Y3(m)$
Pencere 1	Nokta 11	6,745	2,925	6,853	3,032	7,013	3,267	-0,108	-0,107	-0,268	-0,342	0,160	0,235
	Nokta 12	8,682	2,940	8,593	3,032	8,511	3,267	0,089	-0,092	0,171	-0,327	-0,082	0,235
	Nokta 13	8,721	4,295	8,593	4,192	8,511	4,014	0,128	0,103	0,210	0,281	-0,082	-0,178
	Nokta 14	6,726	4,302	6,853	4,192	7,013	4,014	-0,127	0,110	-0,287	0,288	0,160	-0,178
Pencere 2	Nokta 21	6,712	5,165	6,853	5,362	7,015	5,507	-0,141	-0,197	-0,303	-0,342	0,162	0,144
	Nokta 22	8,751	5,166	8,593	5,362	8,518	5,507	0,158	-0,196	0,233	-0,341	-0,075	0,144
	Nokta 23	8,715	7,287	8,593	7,102	8,518	7,014	0,122	0,185	0,197	0,273	-0,075	-0,088
	Nokta 24	6,681	7,265	6,853	7,102	7,015	7,014	-0,172	0,163	-0,334	0,251	0,162	-0,088
Pencere 3	Nokta 31	6,745	8,206	6,852	8,210	7,011	8,515	-0,107	-0,004	-0,266	-0,309	0,159	0,305
	Nokta 32	8,685	8,171	8,592	8,210	8,510	8,515	0,093	-0,039	0,176	-0,344	-0,083	0,305
	Nokta 33	8,668	10,108	8,592	10,095	8,510	10,017	0,076	0,013	0,159	0,091	-0,083	-0,078
	Nokta 34	6,695	10,129	6,852	10,095	7,011	10,017	-0,157	0,034	-0,316	0,112	0,159	-0,078
Pencere 4	Nokta 41	6,692	10,983	6,710	11,102	7,007	11,267	-0,018	-0,119	-0,315	-0,284	0,297	0,165
	Nokta 42	8,467	10,991	8,740	11,102	8,500	11,267	-0,273	-0,111	-0,033	-0,276	-0,240	0,165
	Nokta 43	8,654	13,158	8,740	12,987	8,500	13,008	-0,086	0,171	0,154	0,150	-0,240	0,021
	Nokta 44	6,646	13,170	6,710	12,987	7,007	13,008	-0,064	0,183	-0,361	0,162	0,297	0,021



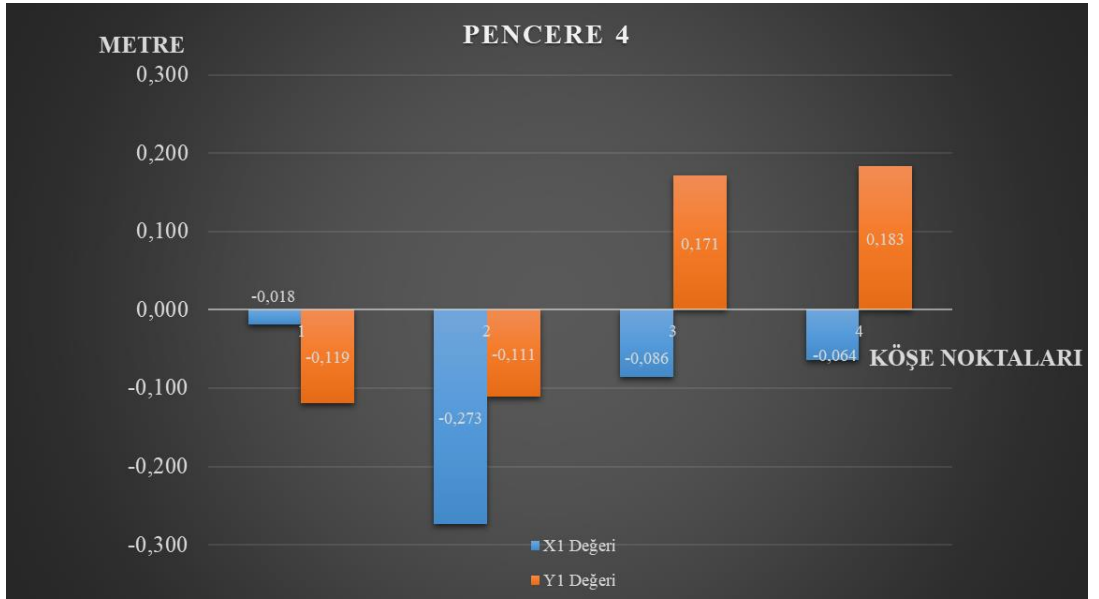
Şekil 8.1: Pencere 1 için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



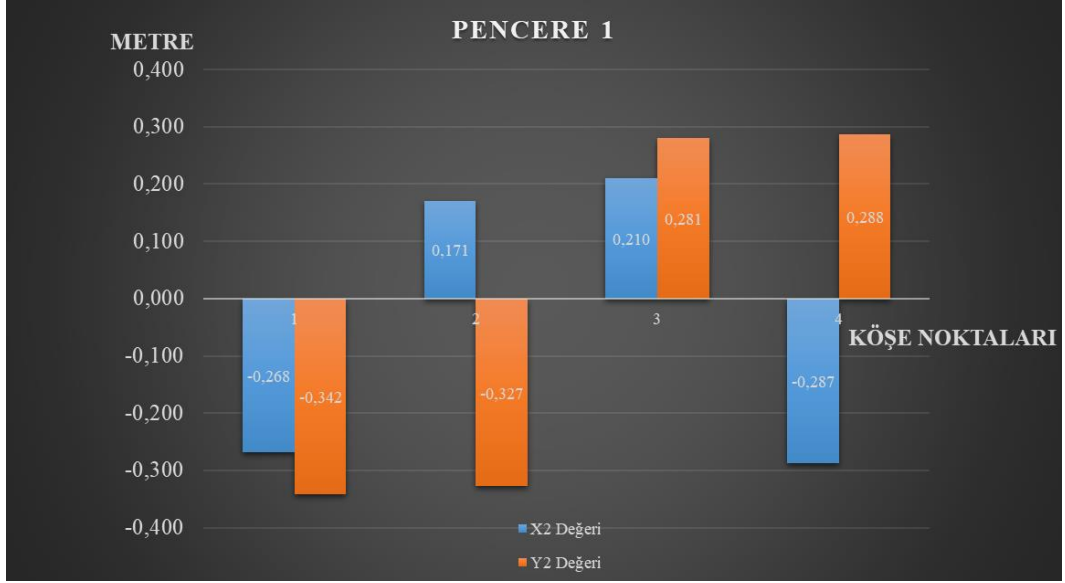
Şekil 8.2: Pencere 2 için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



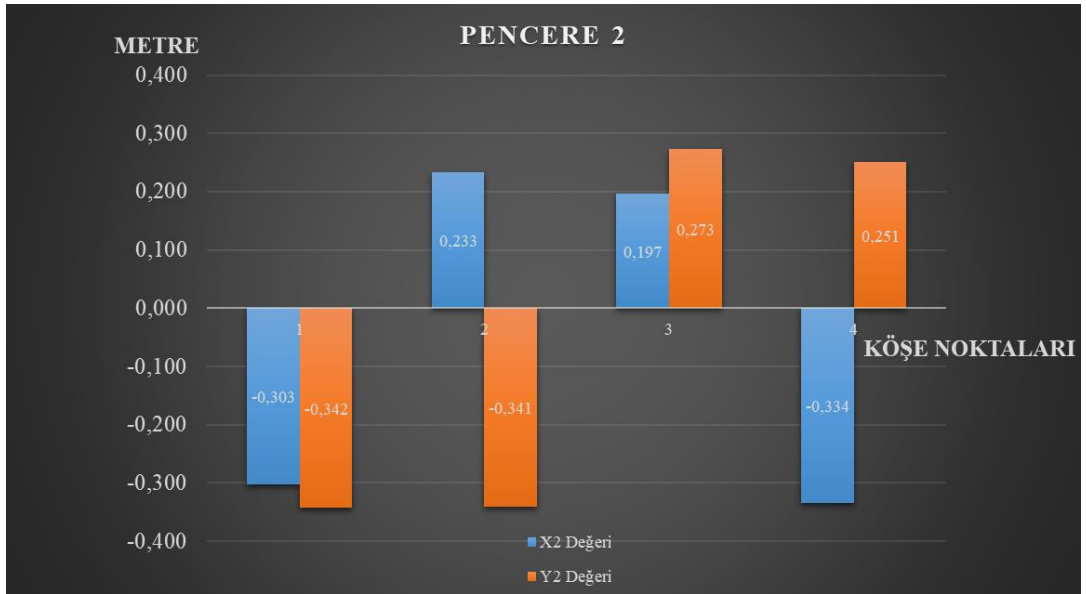
Şekil 8.3: Pencere 3 için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



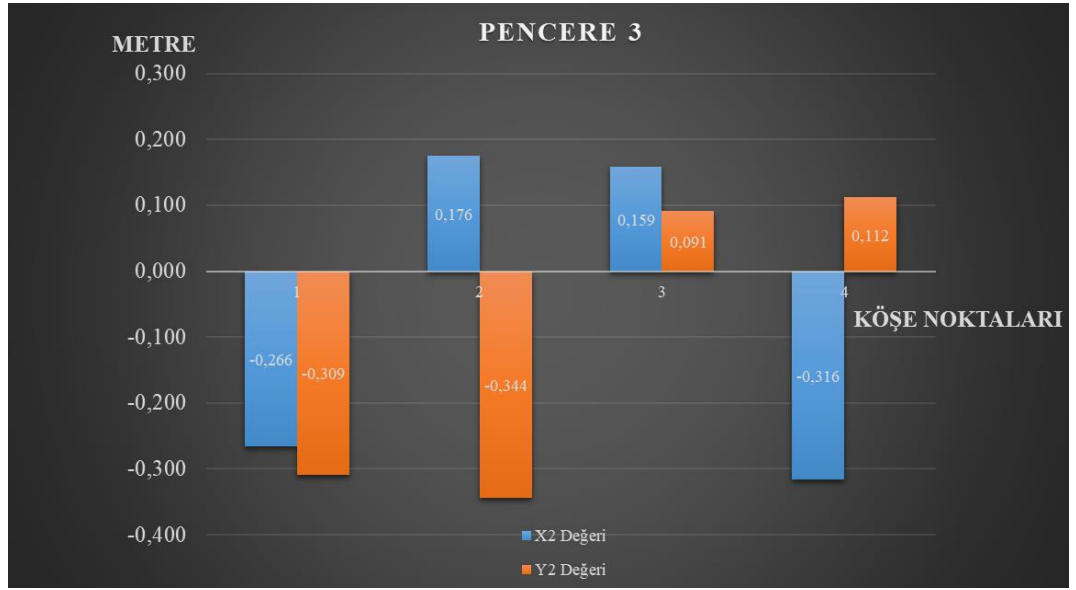
Şekil 8.4: Pencere 4 için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



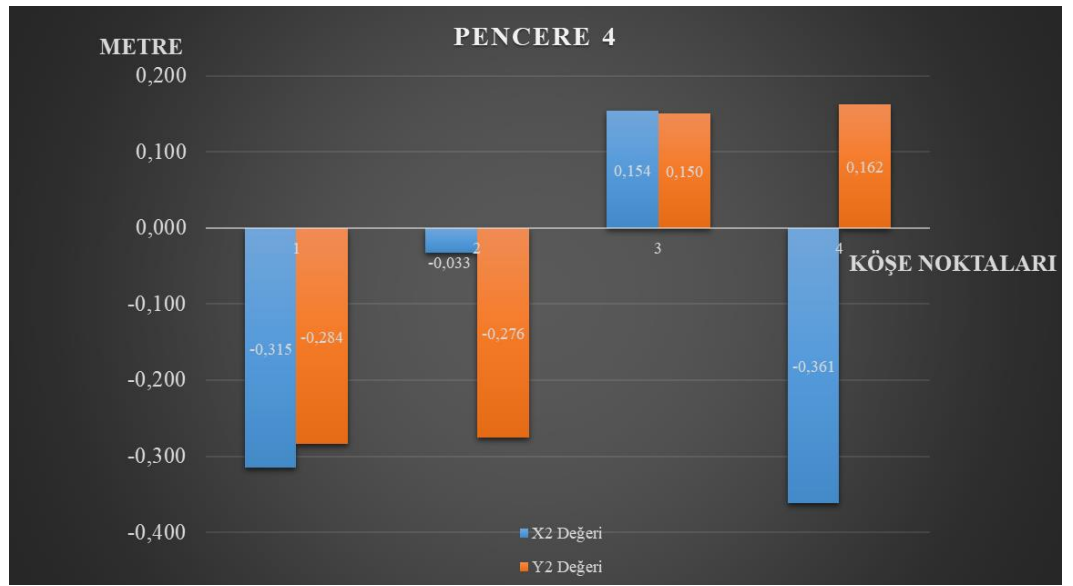
Şekil 8.5: Pencere 1 için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



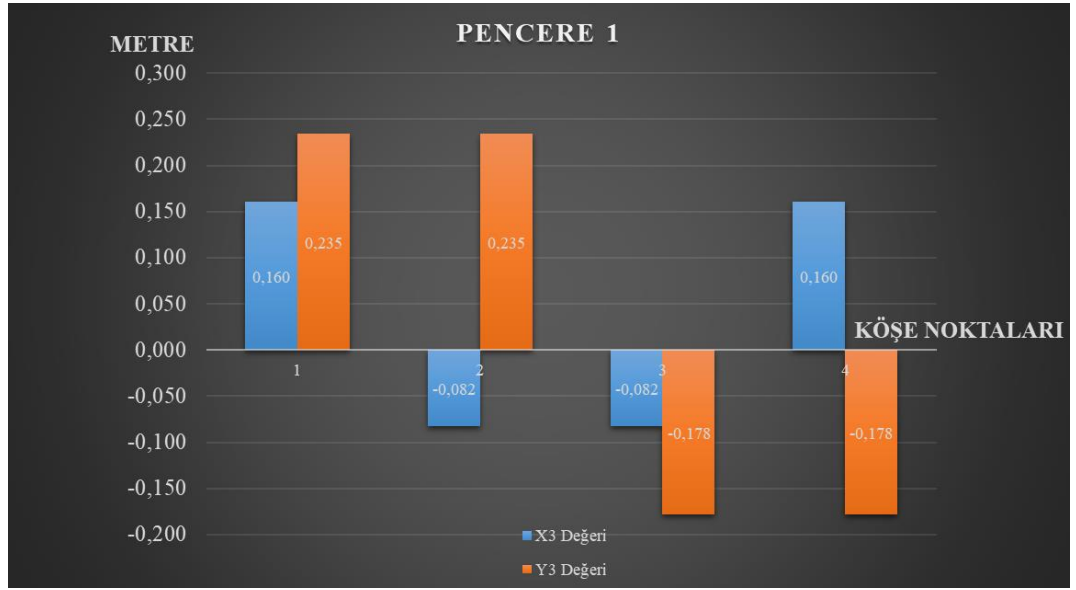
Şekil 8.6: Pencere 2 için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



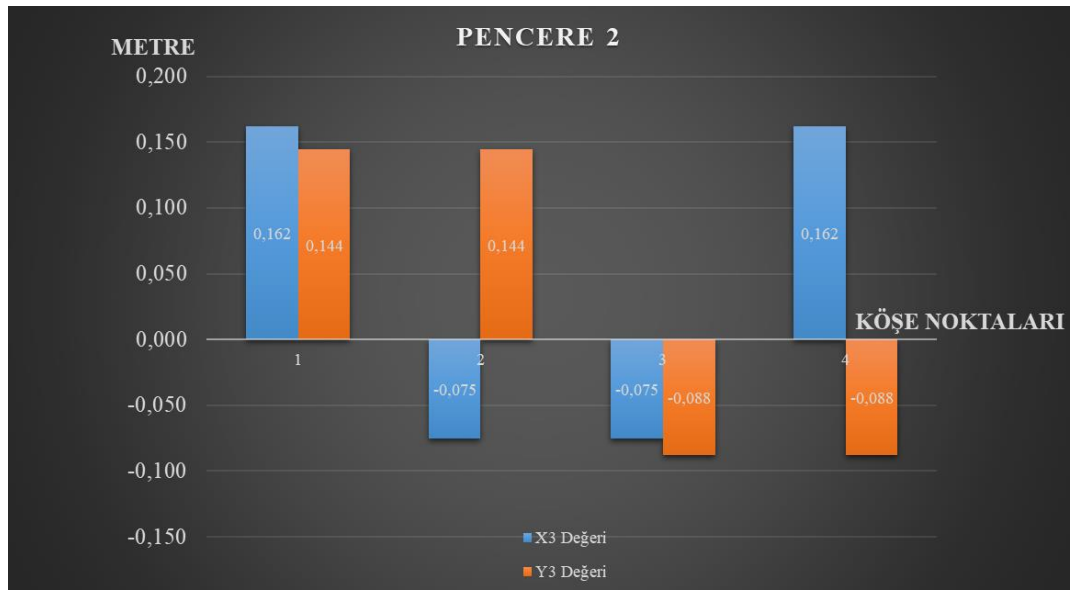
Şekil 8.7: Pencere 3 için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



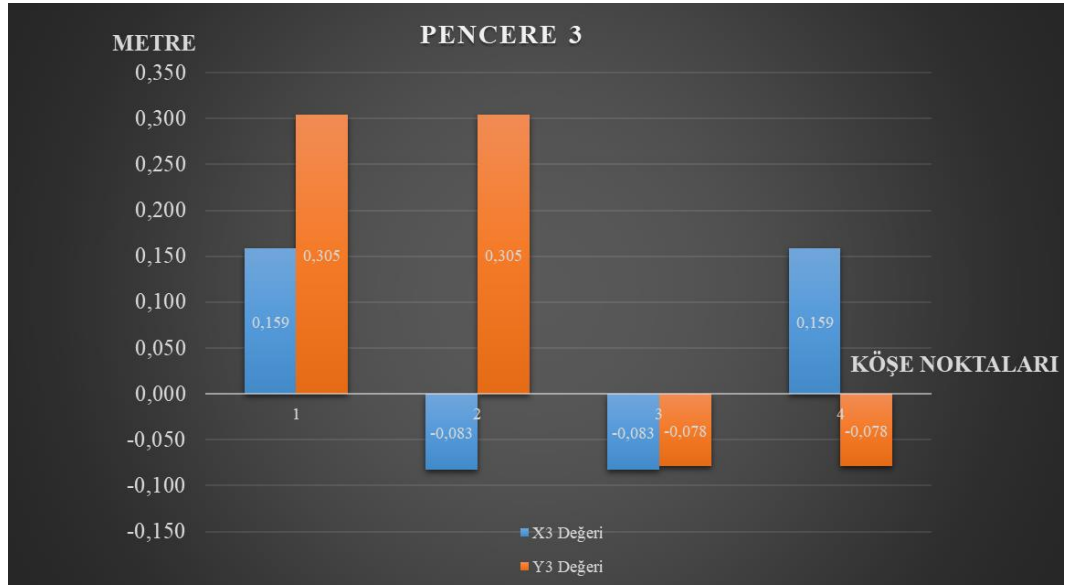
Şekil 8.8: Pencere 4 için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



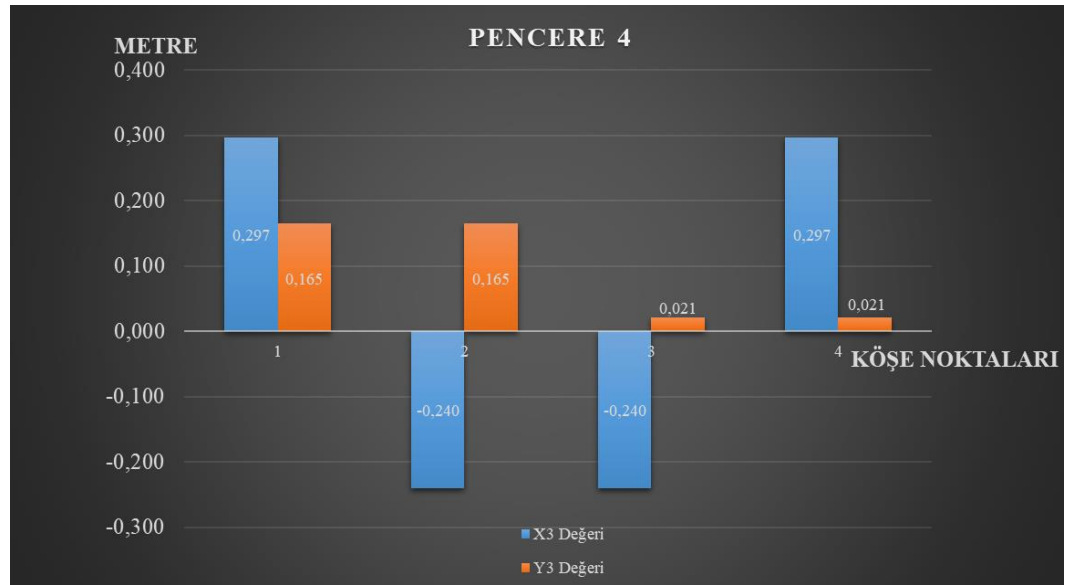
Şekil 8.9: Pencere 1 için Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



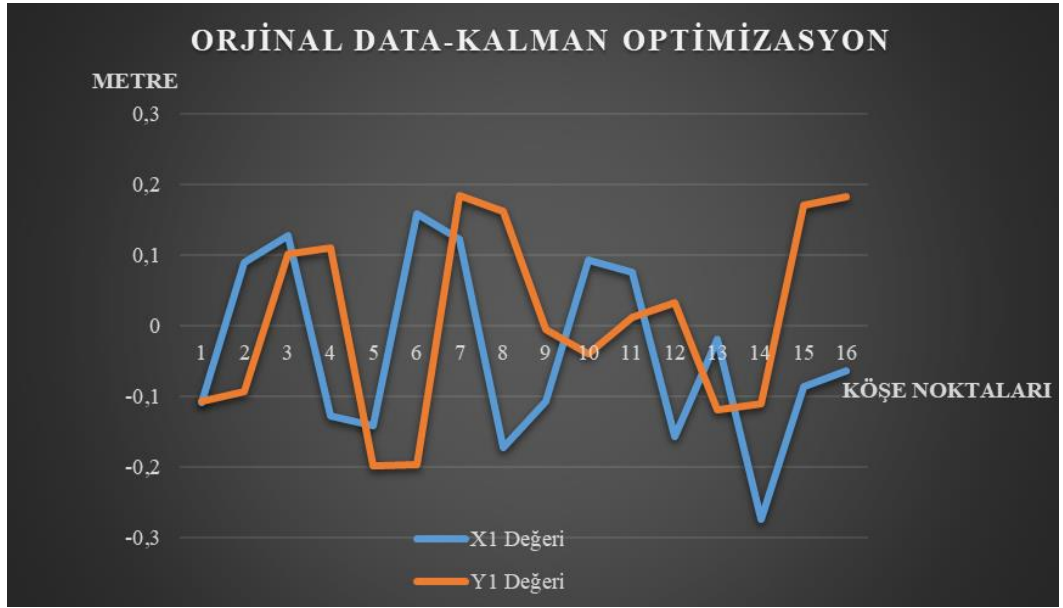
Şekil 8.10: Pencere 2 için Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



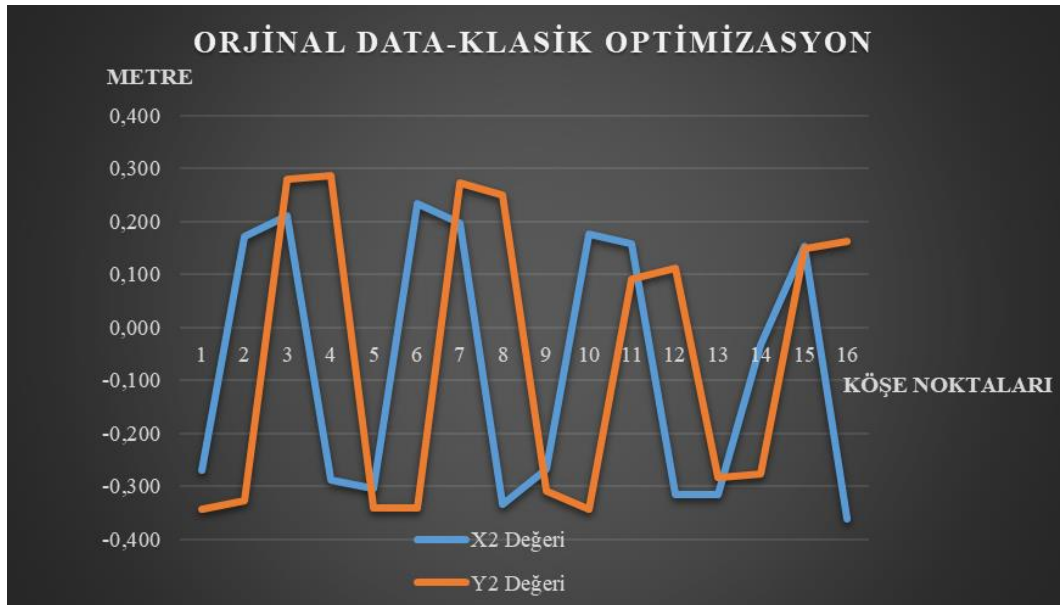
Şekil 8.11: Pencere 3 için Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



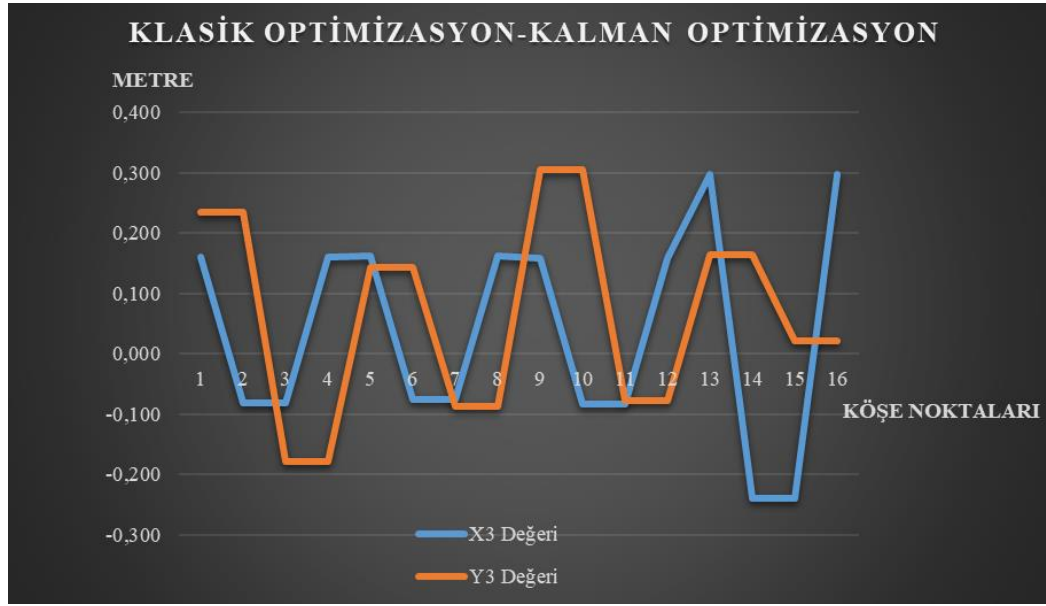
Şekil 8.12: Pencere 4 için Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyona göre Δx ve Δy Değerleri Grafiği.



Şekil 8.13: Tüm Pencereleler için Orijinal Veri-Kalman Optimizasyon Değerleri Grafiği.



Şekil 8.14: Tüm Pencereleler için Orijinal Veri-Klasik Optimizasyon Değerleri Grafiği.



Şekil 8.15: Tm Pencerelem iin Klasik Optimizasyon-Kalman Optimizasyon Değerleri Grafiği.

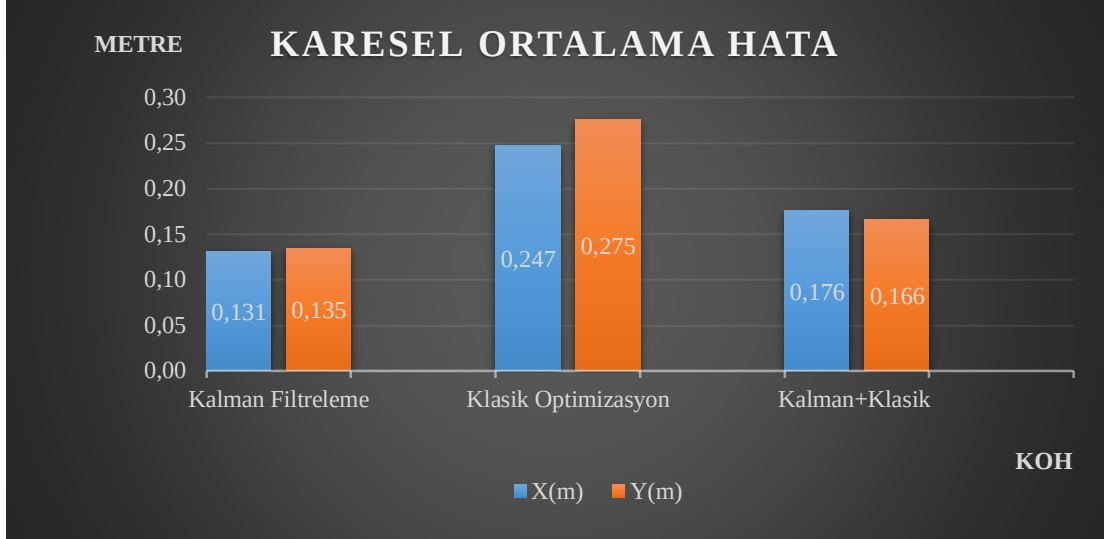
Şekil 8.1'den Şekil 8.12'ye kadar, orijinal veriler ile klasik optimizasyon ve Kalman optimizasyon sonucu elde edilen pencere köşe noktalarının koordinat değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Kalman optimizasyonun klasik optimizasyona göre daha doğru sonuçlar verdiği görölmüştür. Bununla birlikte rölöve çalışmalarında kabul edilebilir hata sınırının $\pm 2,5$ cm olduğu göz önüne alındığında Kalman filtreleme yöntemiyle elde edilen sonuçların yeterli olmadığı, hatanın ortalama 10-15 cm aralığında kaldığı belirlenmiştir.

Şekil 8.13, Şekil 8.14 ve Şekil 8.15'te tm pencerelerin koordinat değerleri arasındaki farklar tek bir grafikte gösterilmiştir. Bu grafiklerde, elde edilen değerler bakımından ideal olarak kabul edilen sinüsoidal bir eğrinin çıkmış olması Kalman filtreleme yönteminin doğruluğunun bir göstergesidir.

Ayrıca uygulamada gerçekleştirilen hem Kalman hem klasik optimizasyonun birlikte kullanıldığı durumda elde edilen sonuçlar Tablo 8.2'de ve Şekil 8.16'da gösterilmiştir.

Tablo 8.2: X ve Y Değerlerinin Standart Sapmaları.

	Kalman Filtreleme	Klasik Optimizasyon	Kalman+Klasik
koh X(m)	0,131	0,247	0,176
koh Y(m)	0,135	0,275	0,166



Şekil 8.16: X ve Y Değerlerinin Karesel Ortalama Hatalarını Gösteren Grafik.

Tablo 8.2’de Kalman filtreleme ile yapılan optimizasyonun standart sapmasının en küçük olduğu (sıfıra yakın) dolayısıyla klasik optimizasyona göre doğruya en yakın ya da en hassas sonucu verdiği gözlemlenmiştir.

Bunların dışında, duvar yansıma verilerinden tamamen temizlenen pencerelere ait boşluklar iki boyutlu Kalman filtreleme yöntemi kullanılarak başarılı bir şekilde doldurulmuştur.

Bütün bunların ışığında yapılan çalışmada elde edilen sonuçların avantaj ve dezavantajları aşağıda özetlenmiştir.

Avantajları;

- Bu filtreleme yöntemleriyle veri içerisindeki pencerelere ait konumlar doğru tespit edilmiştir.
- Pencere sayıları doğru tespit edilmiştir.
- Pencere boşlukları otomatik olarak tespit edilmiştir.
- Fotogrametrik düşeye çevirmede (düzeltme) kullanılacak nokta koordinatları otomatik tespit edilmiştir.
- Yazılan matlab programı ile rölöve ana hatları otomatik çizilmektedir.
- Panoramik görüntü, tespit edilen kontrol noktalarına göre otomatik olarak düşeye çevrilir.

Dezavantajları;

- Yapılan çalışma sonucunda kontrol noktası olarak kullanılacak pencere köşe noktaları için rölövede kullanılacak doğruluğa ulaşamamıştır.
- Nokta sayısı tabanlı çalışan matlab programının işlem süresi uzundur. (Bu süre kullanılan örnek veri için yaklaşık 50 dakikadır)
- Yazılan program sonucu çizilen rölöve ve kullanılan çizim algoritması geometrik olarak minimum nokta sayısına göre çalışmaktadır.
- Bina katlarının tespit edilmesinde yol noktalarına ait orta eksenin belirlenerek eğim hesabında kullanılması göreceli bir kabuldür. Veriden veriye değişiklik gösterebilir.
- Sınıflandırmada kullanılan eğim yöntemi, eğim açısı arttıkça sınıflandırmadaki hata ihtimalini artırmaktadır.
- Yazılan matlab programı farklı özelliklere sahip tarama veri setleriyle test edilmemiştir.
- Yazılan programın çalışması için veri yapısı, koordinat sistemi tarama eksenine tam paralel hale getirilmelidir.

Yukarıda belirtilen avantajlar ve dezavantajlar göz önüne alındığında, özellikle pencere köşelerindeki nokta konum doğruluğunun rölövede belirlenen hata sınırından yüksek olmasında, kullanılan veri setinin etkin olduğu düşünülmektedir. Keza, pencere boşluklarının otomatik tespiti için hazırlanan bu veri setinde boşluk kenarları tarama yapısına bağlı olarak düzgün geometriye sahip değildir. Bu durum çalışmadaki konum doğruluğunu direkt olarak etkilemektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, binanın tamamına ait veriler kullanılarak ve binaya paralel ve yola dik bir eksen belirlenerek binanın diğer kısımlarında bulunan pencerelerde köşe noktaları tespit edilebilir. Ayrıca Kalman filtreleme tekniğinden farklı bir yöntem kullanılarak veya Kalman ve klasik optimizasyon yöntemlerine üçüncü bir filtre ilave edilerek daha doğru sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

Asri İ., Çorumluoğlu Ö., (2013), “Fotogrametrik Mobil Harita Yapım Sistemi Çalışması”, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 23-25 Mayıs.

Ay E., (2008), “Lazer Tarama Verisinde Geometrik Nesne Tabanlı Üç Boyutlu Filtreleme Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Çayırlioğlu İ., (2012), “Kalman Filtresi ve Programlama”, Fen ve Teknoloji Bilgi Paylaşımı, 2012-(1), 1-6.

Çelik H., (2011), “Karayolları Etüt ve Proje Çalışmalarında Hareketli Harita Sistemlerinin Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Konya Selçuk Üniversitesi.

Doğanalp S., (2003), “Kalman Filtreleme Yöntemiyle Deformasyon Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Konya Selçuk Üniversitesi.

Ekercin S., Üstün B., (2004), “Uzaktan Algılamada Yeni Bir Teknoloji: Lidar”, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2004/91, 34.

Gontran H., Skaloud J., Gilliéron P.-Y., (2003), “A Mobile Mapping System for Road Data Capture Via a Single Camera”, Swiss Federal Institute of Technology, Geodetic Engineering Laboratory, Switzerland.

Gremer J., Hunter G., (2007), “Performance of the StreetMapper Mobile LIDAR Mapping System in Real World Projects”, Photogrammetric Week, University of Stuttgart, Germany, 215-225.

Gümüş K., Erkaya H., (2007), “Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler”, TMMOB 11’inci Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 2-6 Nisan.

Haal N., Peter M., Kremer J., Hunter G., (2008), “Mobile LIDAR Mapping for 3D Point Cloud Collectionin Urban Areas-A Performance Test”, Institute for Photogrammetry (ifp), Universitaet Stuttgart, Germany.

Navruz M., (2011), “Havadan (Airborn) Lidar Nedir”, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 11, 42-48

Patrie G., (2010), “An Introduction to Technology Mobile Mapping System”, Geoinformatics, 32-43.

Pınarcı E., (2007), “İki Boyutlu Kalman Filtresinin Yersel Lazer Tarama Verisine Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Ping W., (1998), “Applying Two Dimensional Kalman Filtering for Digital Terrain Modeling”, ISPRS Commission IV Symposium on GIS- Between Visions and Applications, 32/4, 649-656.

Puente I., González-Jorge H., P. Ariasand, J. Armesto, (2012), “Land-Based Mobile Laser Scanning Systems”, Close Range Remote Sensing and Photogrammetry Group, School of Mining Engineering, Vigo, Spain.

Sarı F., Erdi A., Kırtıloğlu, O.S., (2011), “Kampüs Bilgi Sistemi Çalışmaları ve Panoramik Görüntüler, Konya Selçuk Üniversitesi Örneği”, TMMOB 12’nci Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 18-22 Nisan.

Uzun M., Özcan S., (2015), “The Using of Panoramic Photograph In Studies of Geography”, The Journal of International Social Research, 38, 523-538.

Web 1, (2018), <http://www.leica.com>, (Erişim Tarihi: 25/03/2018).

Web 2, (2018), <http://www.riegl.com>, (Erişim Tarihi: 10/05/2018).

Web 3, (2018), <http://www.ptgrey.com>, (Erişim Tarihi: 14/06/2018).

Web 4, (2018), <http://www.innovmetric.com>, (Erişim Tarihi: 11/08/2018).

Web 5, (2018), <http://www.faro.com>, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).

Web 6, (2019), <http://www.lupo3d.com>, (Erişim Tarihi: 12/02/2019).

Web 7, (2019), <http://www.maptek.com>, (Erişim Tarihi: 12/03/2019).

Web 8, (2019), <http://www.mathworks.com>, (Erişim Tarihi: 19/03/2019).

Yılmaz M., Uysal M., (2014), “Hava Lidar Nokta Bulutu Örnekleme Yoğunluğunun Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluğuna Etkisi”, 7’nci Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 1-8, Hitit Üniversitesi, Çorum, 15-17 Ekim.

ÖZGEÇMİŞ

Alihan Aydın 18 Ocak 1985 tarihinde Zonguldak'ta doğdu. Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünü 2009 yılında, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı yüksek lisans eğitimini 2019 yılında başarıyla tamamladı. 2012 yılında subay olarak çalışmaya başladığı Jandarma Genel Komutanlığında halen Üsteğmen rütbesinde görev yapmaya devam etmektedir.

EKLER

EK: Diğer Ekler (AlihanRölöveTez Uygulama Kodu) (CD)