



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE LAZER TARAMA
SİSTEMLERİ İLE KAYA BLOKLARININ 3 BOYUTLU
MODELLENMESİ VE HACİM HESABI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Efdal KAYA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Müge AĞCA YILDIRIM

AKSARAY, 2017



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE LAZER TARAMA
SİSTEMLERİ İLE KAYA BLOKLARININ 3 BOYUTLU
MODELLENMESİ VE HACİM HESABI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Efdal KAYA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Müge AĞCA YILDIRIM

AKSARAY, 2017

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 152306002 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Efdal Kaya, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE LAZER TARAMA SİSTEMLERİ İLE KAYA BLOKLARININ 3 BOYUTLU MODELLENMESİ VE HACİM HESABI” başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Müge AĞCA YILDIRIM
Aksaray Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. H. Murat YILMAZ
Aksaray Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Murat YAKAR
Mersin Üniversitesi

Teslim Tarihi: 06.04.2017

Savunma Tarihi: 18.05.2017

ÖNSÖZ

Teknolojinin sürekli gelişmesi ile haritacılıkta sürekli kendini yenilemektedir. Klasik ölçme yöntemleri ile yapılan hâlihazır haritalar günümüzde insansız hava araçlarına yerleştirilen kameralar ve lidar tarama sistemleri kullanılarak yapılmaya başlanmıştır. Gelişmiş ülkeler birçok alanda bu tür İHA'lar kullanarak zaman, maliyet ve işgücü gibi birçok kazanım elde etmektedir. Hacim hesapları haritacılıkta bilinmesi gereken en önemli parametrelerdendir. Birçok çalışmanın altlığını ve maliyetini oluşturur. Hakediş işlemlerinde, kazı dolgu hesabında, planlama zarar azaltma projeleri kapsamında tedbir projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kadar yaygın ve önemli bir şekilde haritacılıkta kullanılan hacim hesabı bu tez çalışmasında farklı ölçme sistemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı çalışmalara yeni kapılar açması dileğiyle.

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden olduğuğunu ve bu eserleri her kullandışımda alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Efdal KAYA

TEŞEKKÜR

Hayatımda dönüm noktası olduğunu düşündüğüm Aksaray Üniversitesi Harita Mühendisliğine başlamam ile birlikte o günden bu yana öğrencilerine ışık olma misyonunu en iyi şekilde gösteren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Müge AĞCA YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunuyorum. Aksaray İl Özel İdaresi bünyesinde bulunan İnsansız Hava Aracı (İHA) 'nın tez çalışmamda kullanımına izin veren başta Genel Sekterimiz Ramazan ALTUNDAĞ Bey'e ve diğer Aksaray İl Özel İdaresi personellere şükranlarımı sunuyorum. Bu çalışmada, Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi (BAP) tarafından desteklenen 2016-043 numaralı "Mobil ve Yersel Lidar Sistemlerinin Kaya Bloklarının Hacim Hesaplanmasında Kullanımı ve Doğruluklarının Karşılaştırılması: Yaprakhisar, Aksaray İli Örneği" projesindeki mobil lazer tarama sistemi verileri kullanılmıştır. Aksaray Üniversitesi ve BAP birimine desteklerinden dolayı teşekkürler.

Her zaman desteğini esirgemeyen sevgili nişanlım Betül Gülay KARACA'ya ve dünyada ki en kıymetli hazinem olan aileme teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	ii
DOĞRULUK BEYANI	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMA ALANI ve METODOLOJİ	6
2.1 Çalışma Alanı.....	6
2.2 Metodoloji	9
2.2.1 Hacim hesabı.....	10
2.2.1.1 Yüzey tanımlama	11
2.2.1.2 Üçgenleme yöntemleri	12
2.2.1.2.1 Delaunay üçgenleme yöntemi	13
2.2.1.2.2 Üçgenlemede karşılaşılan sorunlar	14
2.2.1.3 Grid formatındaki arazi model	14
2.2.1.3.1 Uygun grid aralığının seçilmesi	15
2.2.1.4 Veri elde etme yöntemleri	16
2.2.1.4.1 Klasik jeodezik yöntemler.....	16
2.2.1.4.2 Fotogrametrik yöntemler.....	16
2.2.1.4.3 Uzaktan algılama yöntemleri	16
2.2.1.4.4 Lazer ölçme aletleriyle veri toplama yöntemi.....	16
2.2.1.5 Sayısal arazi modellerinde enterpolasyon	17
2.2.1.5.1 Lineer enterpolasyon	17
2.2.1.5.2 Ağırlıklı aritmetik ortalamayla enterpolasyon	18
2.2.2 Yersel lazer tarama sistemi	18
2.2.2.1 Nokta bulutlarının birleştirilmesi	21
2.2.2.2 Nokta bulutlarının analizi.....	24
2.2.3 Mobil lazer tarama sistemi	25
2.2.3.1 Mobil lazer tarama sistemi verilerinin analizi.....	28
2.2.4 İnsansız hava aracı sistemi (İHA)	30
2.2.4.1 Uçuş öncesi hazırlıklar	34
2.2.4.2 Uçuş verilerinin analizi	39
2.2.5 Hacim sonuçlarının karşılaştırılması.....	48
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	52
4. SONUÇ ve ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	61

ÖZET
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE LAZER TARAMA SİSTEMLERİ İLE
KAYA BLOKLARININ 3 BOYUTLU MODELLENMESİ VE HACİM
HESABI

Aksaray ili Güzelyurt ilçesine bağlı Selime beldesi, İhlara vadisinin giriş kapısı olması sebebiyle tarihi ve turistik öneme sahiptir. Bu tarihi ve kültürel mirasın tarihi dokusuna uygun bir şekilde korunması gerekmektedir. Kapadokya bölgesi boyunca yoğun bir şekilde bulunan peri bacaları, yağmur, rüzgâr, sıcaklık ve diğer fiziki etmenler nedeniyle sürekli deformasyona maruz kalmaktadır. Bu deformasyonlar ve kayaç yapıları nedeniyle bölgede çok fazla kaya düşmesi olayı meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında kültürel açıdan ülkemiz için büyük öneme sahip İhlara vadisinin giriş kapısı olarak düşünülen Selime beldesinde kaya düşmeleri meydana gelen pilot bir çalışma alanında, düşme potansiyeli olan kaya bloklarının hacimleri son teknolojik gelişmelere paralel olarak haritacılıkta geline en son teknolojik ölçme tekniği olan yersel lazer tarama (YLT), mobil lazer tarama (MLT) ve insansız hava aracı (İHA) sistemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada düşme potansiyeli olan kaya blokları üç boyutlu olarak modellenmiştir. Kaya düşmeleri analizlerinin yapılması sırasında en önemli girdi parametrelerinden olan sayısal arazi modeli (SAM) ve sayısal yükseklik modeli (SYM) her üç sistemle hassas bir şekilde oluşturulmuştur. İHA, MLT ve YLT sistemlerinden elde edilen hacim hesaplamaları incelenmiştir. Karşılaştırma sonrasında YLT ile MLT sistemleri arasında sırasıyla -1.39 m^3 , -3.12 m^3 , -1.04 m^3 ve -0.16 m^3 farklar elde edilmiştir. YLT ve İHA sistemleri arasındaki hacim değerleri farkları sırasıyla -2.34 m^3 , -5.28 m^3 , -3.47 m^3 , -1.66 m^3 bulunmuştur. Üç sistemden elde edilen hacim hesaplamalarının sonuçları arasında çok büyük farklar bulunmadığından bu üç sistemin hassas hacim hesaplanmasında kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yersel Lazer Tarama (YLT), Mobil Lazer Tarama (MLT), İnsansız Hava Aracı (İHA), 3B Modelleme, Hacim Hesabı, Kaya Düşmesi

ABSTRACT

THREE DIMENSIONAL MODELING AND VOLUME CALCULATION OF ROCK MASSES USING UNMANNED VEHICLE SYSTEMS AND LAZER SCANNER SYSTEMS

Selime town, up to Aksaray city's Güzelyurt district, has historical and touristic importance since it is the gateway of the Ihlara Valley. This historical and cultural inheritance should be protected relevantly with historic texture. Cappadocia is exposed to deformation because of fairy chimneys, rain, wind, temperature and other physical factors that exist along its shade. Due to these deformations and rock structures, many rock fall occurs in the region. In this thesis study, the rock mass volumes, that have falling risk, are measured using Terrestrial Lidar (TLS), Mobile Lidar (MLS), and Unmanned Vehicle (UAV) systems. Digital terrain model (DTM) and digital elevation model (DEM), which are two of the most important input parameters, were generated and modeled in 3D with all the systems sensitively. Volume measurements, made with UAV, MLS and TLS, were examined and compared. After comparison, differences between TLS and MLS systems were -1.39 m^3 , -3.12 m^3 , -1.04 m^3 , and -0.16 m^3 , respectively. The volume differences between the TLS and UAV systems were -2.34 m^3 , -5.28 m^3 , -3.47 m^3 , -1.66 m^3 , respectively. According to our results, there are not very large differences among all the systems that we used to calculate the rock mass volume. Therefore, it can be concluded that these three systems can be used for accurate rock mass volume calculation studies.

Keywords: Terrestrial Laser Scanning (TLS), Mobil Laser Scanning (MLS), Unmanned Aerial Vehicle (UAV), 3D Modelling, Volume Computing, Rockfall

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Çalışma alanı.	6
Şekil 2.2: Bölgeye ait jeoloji haritası.....	7
Şekil 2.3: Aksaray ili litoloji haritası.....	8
Şekil 2.4: Aksaray ili formasyon sınırları.....	9
Şekil 2.5: Araştırma iş akışı şeması.....	9
Şekil 2.6: Üçgen yapısı.....	12
Şekil 2.7: Voronoi diyagramı ile Delaunay Üçgenlemesi.....	14
Şekil 2.8: Kullanılan grid yapıları.....	15
Şekil 2.9: Yersel lazer tarayıcı ölçüleri, tarayıcı ve yer koordinat sistemleri.....	19
Şekil 2.10: Birinci Oturum.....	22
Şekil 2.11: Scanmaster yazılımında nokta bulutu.....	23
Şekil 2.12: Nokta bulutlarının Cloud Compare yazılımında birleştirilmesi.....	23
Şekil 2.13: TIN verisi.....	24
Şekil 2.14: SAM verisi.....	24
Şekil 2.15: SYM verisi.....	25
Şekil 2.16: Topcon IP-S2 yersel mobil lazer tarama sistemi.....	25
Şekil 2.17: IP-S2 sistem bileşenleri.....	26
Şekil 2.18: Odometer.....	27
Şekil 2.19: Veri kaydı.....	29
Şekil 2.20: MLT sistemleri ile kaya bloklarının hacimlerinin hesaplanması.....	30
Şekil 2.21: Havada kalış bazlı İHA sınıflandırması.....	31
Şekil 2.22: Simülasyonun başlatılması.....	35
Şekil 2.23: Çalışma alanının belirlenmesi.....	36
Şekil 2.24: Uçuş simülasyonunun başlatılması.....	37
Şekil 2.25: GE üzerinde uçağın izlenmesi.....	38
Şekil 2.26: Yer kontrol merkezinin ayarlarının yapılması.....	38
Şekil 2.27: Uçuşa başlanması.....	39
Şekil 2.28: Process flight data seçeneğinin seçilmesi.....	40
Şekil 2.29: Uçuş verilerine ait çıktı klasörlerinin oluşturulması.....	41
Şekil 2.30: Log dosyalarının okutulması.....	42
Şekil 2.31: Koordinat bilgilerinin girilmesi.....	42
Şekil 2.32: Düzeltile koordinat bilgileri.....	43
Şekil 2.33: Fotoğrafların gösterilmesi.....	43
Şekil 2.34: Çıktı dosyaları.....	44
Şekil 2.35: Pix4D Mapper Pro yazılımında dosyanın açılması.....	45
Şekil 2.36: Verilerin değerlendirilmeye başlanması.....	46
Şekil 2.37: Üretilen nokta bulutu.....	47
Şekil 2.38: Üretilen üçgenlenmiş mesh model.....	47
Şekil 2.39: Üretilen mozayık.....	47
Şekil 2.40: Üretilen SYM.....	48
Şekil 2.41: Üretilen SAM.....	48
Şekil 2.42: Shapefile dosyasının SYM'ler üzerine atılması.....	49
Şekil 2.43: YLT sistemi verisinden hacim hesaplama işlemi.....	50

Şekil 2.44: MLT sistemi verisinden hacim hesaplama.....	50
Şekil 2.45: İHA sistemi verisinden hacim hesaplama işlemi.	51
Şekil 3.1: KK1, KK2, KK3, KK4 sırasıyla üç boyutlu modellenen kaya bloklar.	53



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Lazer tarayıcılar ve bazı özellikleri	20
Çizelge 2.2: TOPCON GLS-1000 lazer tarayıcıya ait teknik özellikler	21
Çizelge 2.3: IP-S2 mobil haritalama sisteminin teknik özellikleri	28
Çizelge 2.4: SenseFly eBee Rtk model uçağın özellikleri.....	33
Çizelge 3.1: Hacim sonuçlarının klasik yöntemle karşılaştırılması.....	52



KISALTMALAR DİZİNİ

İHA	İnsansız Hava Aracı
MLT	Mobil Lazer Tarama
YLT	Yersel Lazer Tarama
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
MLS	Mobil Laser Scanning
TLS	Terrestrial Laser Scanning
DTM	Digital Terrain Model
DEM	Digital Elevation Model
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
LT	Lazer tarama
TIN	Triangulated Irregular Network
İHAS	İnsansız Hava Aracı Sistemleri
YÖA	Yer Örnekleme Aralığı
GSD	Ground Sampling Distance
GE	Google Earth
GPS	Global Positioning System
WGS84	The World Geodetic System
m³	Metreküp
3B	3 Boyutlu

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere ülkemiz jeolojik, morfolojik ve iklimsel konumu gereği farklı birçok doğal afet tehdidi altındadır. Doğal afetlerden dolayı uğradığımız maddi zarar, Gayri Safi Milli Hâsılamızın yaklaşık %3-4 ü oranındadır. Kaya düşmeleri büyük oranda yapısal hasara ve can kayıplarına neden olabilecek düzeyde potansiyele sahip doğal tehlikelerdir. Ülkemizde oldukça sık rastlanan kaya düşmeleri önemli kayıplara neden olabilmektedir. Ortaya çıkardıkları etki açısından depremler öne çıkan en önemli doğal afet türü olmasına karşın, kaya kütle duyarlılıkları, özellikle kaya düşmeleri de ülkemizin maruz kaldığı önemli afet türlerinden biridir. Kaya düşmelerinin oluşması iklim, litoloji, malzemenin bozunma özellikleri, topografya faktörlerine bağlı olup, bu çalışma ile ilgili alanda detaylı kaya düşmeleri analizi yapmak için oluşturulması gereken sayısal arazi modeli (SAM), sayısal yükseklik modeli (SYM), düşme potansiyeli olan kaya bloklarının hacimleri ve arazi çalışması sırasında belirlenen daha önce düşmüş kayaların hacimleri hesaplanmıştır.

Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2008 yılında hazırladığı rapora göre, 82 afet olayı ile en fazla kaya düşmesi olan ilçe, Nevşehir iline bağlı Ürgüp'tür. En çok kaya düşmesi olayının görüldüğü 20 ilçe içerisinde 15.sırada Aksaray iline bağlı Güzelyurt ilçesi vardır. Kaya düşmesi afet riskinin belirlenmesi ve kaya düşmesi tehlikesinin boyutlarının ortaya konulması bu tarihi ve turistik yerin korunması açısından önem arz etmektedir. Meydana gelen kaya düşmeleri kültürel ve doğal miras üzerinde olumsuz etkiler yaratır, bu sebepten dolayı bu tür zarar verici olaylar kaya düşmelerini daha da önemli hale getirmektedir.

Literatürde kaya düşmelerinin modellenmesi sırasında kullanılan SAM ve SYM'lerin oluşturulması için birçok ölçme tekniği kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Yakar vd., (2009), fotogrametri ve lazer tarama yönteminin hacim hesabındaki yerini incelemişlerdir. Seçtikleri kazı bölgesinde her iki yöntemle de hacim hesabı yapmışlardır. Bu iki yöntemi doğruluk, zaman ve maliyet bakımından karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda her iki yöntemde hacim hesapları bakımından kullanılabilir olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Yılmaz vd., (2005), yaptıkları çalışmada sayısal yersel fotogrametrinin hacim hesaplarındaki performansını araştırmışlardır. Çalışmalarında kullanılacak üç boyutlu fotomodellerin bazen erişilemez bazen de hız gerektiren karmaşık şekillerin hacim hesaplarında ne derece kullanılabilir olduğunu araştırmışlardır. Bu çalışma için uygun bir kazı alanı seçmişlerdir. Objeleri oluşturacak üç boyutlu fotomodellerin elde edilecek hacimlerini jeodezik teknikler ile elde edilen hacimlerle karşılaştırmışlardır. Yıldız vd., (2005), yapmış olduğu çalışmalarda büyük inşaatlarda, yol ve kanal çalışmalarında kazılacak toprak miktarının hesaplanması, maden işletmelerinde çıkarılacak maden miktarının belirlenmesinde hacim hesaplarının yapılacağından bahsetmişlerdir. Yaptıkları araştırmalarda en kesitlerden, yüzey nivelmanı ölçülerinden, eş yükseklik eğrili planlardan faydalanılarak hacim hesabı yapılacağını belirtmişlerdir.

Agliardi ve Crosta, (2003) merkez Alpler'de yüksek çözünürlüklü üç boyutlu kaya düşmesi modellemesi yaptıkları çalışmalarında risk altındaki elemanlar değerlendirilmiş, kaya düşmelerinden korunma ve önlemler üzerinde durulmuştur. Frattini vd., (2008) kaya düşmesi duyarlılığının değerlendirilmesi için istatistiksel ve fiziksel tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. STONE kaya düşmesi programı ile kaya düşmelerinin ilerleme mesafeleri ile ilgili üç boyutlu modeller oluşturmuşlar ve modelleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Tunusluoğlu ve Zorlu, (2009) yapmış oldukları çalışma ile Kapadokya bölgesinde yer alan önemli kültürel miraslardan olan Ortahisar Kalesi'nin tehlike potansiyelini değerlendirmeyi, bölgede meydana gelen kaya düşmelerini analiz etmeyi ve sonuçlarını tartışmayı amaçlamışlardır. Arazi çalışmaları esnasında düşen blokların ve düşme potansiyeline sahip blokların lokasyonları ve boyutları belirlenmiştir. Analiz aşamasında dokuz adet askıda bulunan blok Rocfall V.4 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak Ortahisar kalesi ve yakın çevresinde kaya düşmesi tehdidi altında bulunan alanlar için blokların ilerleme mesafelerini, sıçrama yüksekliklerini, kinetik enerjilerini ve hızlarını gösteren bir zonlama haritası oluşturulmuş ve otuz ev ve yüz elli kişinin kaya düşmesi tehdidi altında olduğu belirlenmiştir. Sümela manastırı ve yakın çevresi ile ilgili yapılmış tek uluslararası çalışma Gelişli vd., (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar yapmış oldukları çalışmada 2001 yılında Sümela manastırı şevlerinde meydana gelen kaya düşmelerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada kaya düşmeleri genel bir terim olarak ifade edilmiş olup, bu terim kaya düşmelerini, kaya kaymalarını, moloz kaymalarını, moloz akmalarını ve kaya çığlarını

içermektedir. Bu amaçla kaya şev duyarlılığının belirlenmesi amacıyla şevin kaya kütle özelliklerinin tanımlanmasına yönelik kaya kütle kalitesi (Q), kaya kalite göstergesi (RQD) ve kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR) uygulanmıştır. Bu değerlendirmelere göre manastır şevi aşırı zayıf-çok zayıf kaya sınıfında çıkmış olup; bu durum araştırmacılar tarafından duyarsız jeoteknik durumları ve manastır şevinde yüksek oranda kaya düşmelerini belirtmektedir. Gelişli vd., (2011) çalışma alanında şev eğiminin çok yüksek olduğunu ve zor çalışma koşulları bulunduğunu ifade etmişler ve sonuç olarak; bölgede bazı tehlike yaratan ve şevde birikmiş olan blokların kaldırılmasını, binaların korunması için sağlam kaya üzerine istinat duvarı yapılmasını ve çok eklemlili kaya kütlelerinin bulunduğu alanlarda ise çimento ile güçlendirme yapılmasını önermişlerdir. Topal vd., (2012) yapmış oldukları çalışma ile Kastamonu kalesinde meydana gelen kaya düşmelerini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla iki boyutlu kaya düşmesi analizleri gerçekleştirilmiş olup; Rocfall V.4.0 yazılımı kullanılmıştır. Düşme mesafesi, sıçrama yüksekliği, kinetik enerji ve kaya düşmelerinin gerçekleştiği kumtaşlarının hızı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen veriler olası kaya düşmesi tehlike zonunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Sonuç olarak potansiyel kaya düşmesi riski altındaki alanlar belirlenmiş ve bölgenin kaya düşmelerinden korunmasına yönelik çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Wang vd., (2012) Çin Shijing dağlarında Budistler için önemli bir yere sahip UNESCO dünya mirasları içinde yer alan Sutra mağaralarının kaya düşmesi tehlikesini değerlendirdikleri çalışmalarında kaya yüzeyinin profilinin belirlenmesi için lazer taraması yapmışlardır. Bu profil kaya düşmesi modellemelerinde kullanılmıştır. Kaya düşmesi modellemelerinde iki boyutlu simülasyon yazılımı olan Rocfall V.4.0 kullanılmıştır. Sonuç olarak kaya düşmesi tehlikesini azaltmak amacıyla kaya saptaması, enerjii absorbe edecek yumuşak zemin ve esnek bariyer önerilerinde bulunulmuştur. Yeşiloğlu vd., (2012) Eğirdir yerleşim merkezi ve yakın çevresinin potansiyel tehlikelerinin değerlendirilmesi ve haritalanması üzerine gerçekleştirdikleri çalışmalarında arazi çalışmaları ile moloz birikimleri, moloz akmaları, aktif, potansiyel ve paleo heyelan alanları, kaya düşmesi kaynak alanları, sığ heyelan alanları haritalanmıştır. Kaya düşmeleri için Rocfall v.4.0 yazılımı kullanılarak kaya düşmelerinin ilerleme mesafeleri belirlenmiş ve buna göre potansiyel kaya düşmesi alanları oluşturulmuştur. Keskin (2013) Boğaziçi Erzincan'da gerçekleştirdikleri çalışmalarında bölgenin kaya düşmesi durumunu değerlendirmişlerdir. Çalışmada düşen blokların boyutlarının belirlenmesi için hat etütleri yapılmış, düşen blokların

boyutları hesaplanmıştır. Kaya düşmesi analizlerinin gerçekleştirilmesi için Rocfall V.4.0 programı kullanılmıştır. Her bir kaya düşmesi hattı için düşen bloklara ait ilerleme mesafesi, kinetik enerji, blok hızı, sıçrama yüksekliği belirlenmiş ve elde edilen veriler kaya düşmesi dağılım haritasının oluşturulmasında ve yerleşim alanının risk açısından değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Santana vd., (2012) süreksizliklerin kaya düşmesi kaynak alanlarının belirlenmesinde ve dağılımında ve kopma hacminin belirlenmesinde YLT yöntemini kullanmışlardır. İspanya'da bulunan büyük tarihi bir kültürel miras olan Avila surların civarında Optech firmasının ürettiği LYNX Mobile Mapper marka MLT cihazı kullanılarak dokümantasyonu yapılmıştır (Rodríguez-Gonzálvez vd., 2017).

Konya ilinin Meram ilçesinde yapılan pilot bir uygulamada Topcon IP-S2 model MLT ve Optech ILRIS-3D marka YLT kullanılarak fotogrametrik rölöve çalışması yapılmıştır (Karasaka, 2012). MLT sisteminin temel çalışma prensibi, kullanılan yazılımlar ve donanımlar hakkında bilgiler verilmiştir (Tepeköylü, 2016).

YLT ile yapılan tezler incelendiğinde birçok farklı uygulama yapılmıştır. Kültürel mirasların korunması amacıyla Bursa ilinin Gölyazı köyünde Gölyazı kilisesi taranmıştır. Tarama sonrasında üç boyutlu model oluşturulmuş ve kilise sayısal ortamda arşivlenmiştir (Öksüz, 2012). Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) kampüsü içerisinde yer alan KOSGEB binası birinci aşama olarak; iki noktadan bindirmeli olarak üç cephesi Optech ILRIS 3D ve Mensi GS100 YLT aleti ile taranmıştır. Bu taramaların birleştirilmesi sırasında iki yöntem karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada YTÜ içerisinde bulunan Pembe Köşkün üç cephesi taranmış ve tarama sonrasında verilerin değerlendirilmesi için üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada, basit geometrik şekillere sahip objeler taranarak bu objelerin üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Modeller üzerinden yatay ve düşey yönde kesitler alınarak ölçülen uzunluklar ile obje üzerinden kumpas ile ölçülen uzunlukların karşılaştırılması yapılmıştır (Gümüş, 2008).

Bu çalışma kapsamında Aksaray ili, Güzelyurt ilçesi sınırları içerisinde, Selime Beldesinde bir pilot alanda meydana gelebilecek kaya düşmesi tehlikesine karşın, düşme potansiyeli olan kaya bloklarının hacimleri son teknolojik ölçme teknikleri ile hesaplanmıştır. Bu çalışma literatürde üç sistemi kullanarak düşme potansiyeli olan kaya bloklarının hacimlerinin hesaplanmasında bir ilki teşkil etmektedir. Aynı zamanda her yıl yüz binlerce turist tarafından ziyaret edilen Kapadokya bölgesinin giriş kapısı olarak değerlendirilen Selime beldesi, konumu itibari ile önemli bir turizm

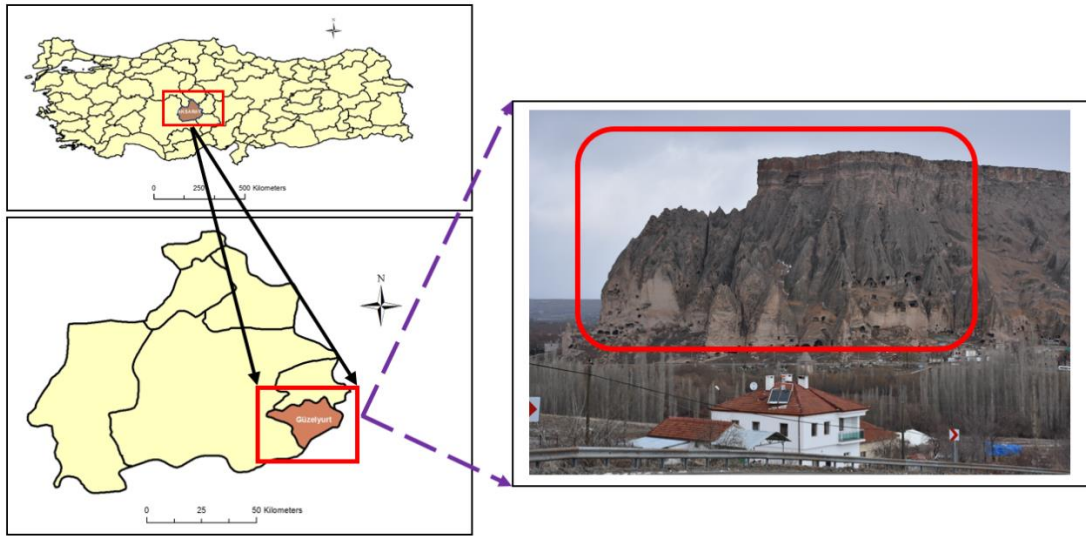
yeridir. Bu sebeple bu alan hem ziyarete gelen turistlerin kaya dmelerinden korunması ve hem de kültürel varlık olarak kaya dmelerinden kaynaklanan hasarlardan korunması açısından önem arz etmektedir.



2. ÇALIŞMA ALANI ve METODOLOJİ

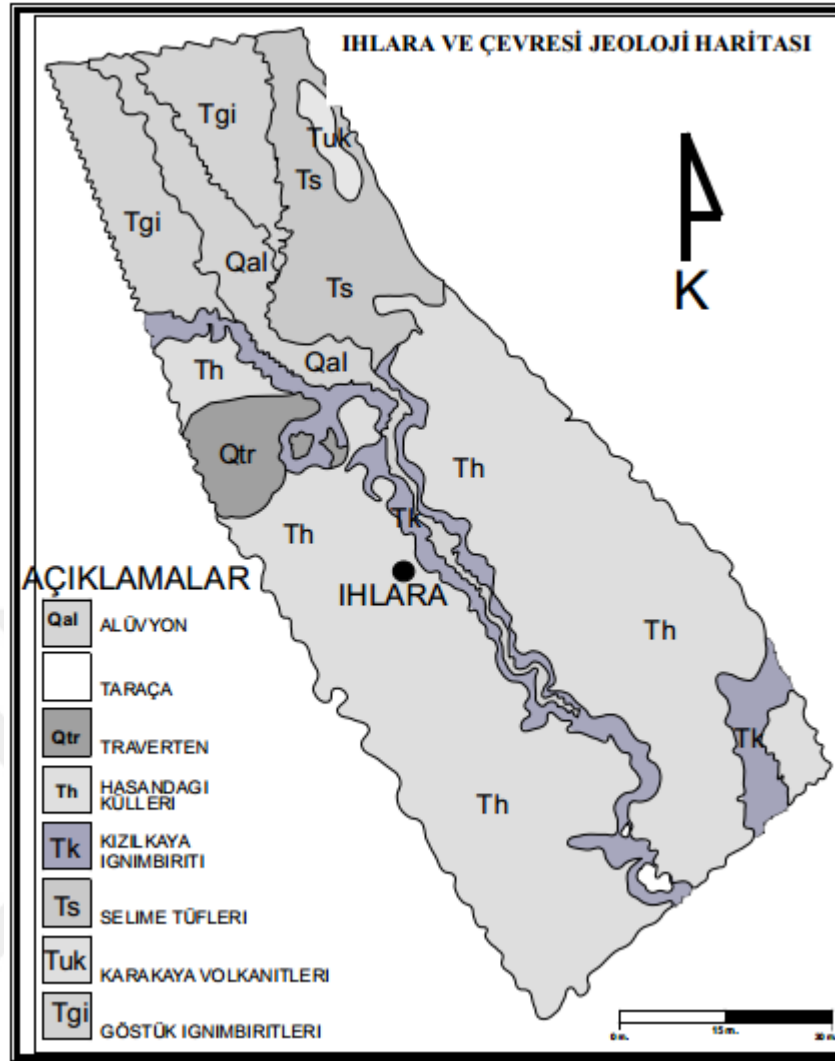
2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesinde bulunan Aksaray il sınırları içerisinde Güzelyurt ilçesine bağlı Selime beldesinde bir pilot alandır. Çalışma alanı, Aksaray şehir merkezine yaklaşık 30 km uzaklıkta olup $38^{\circ}18'04.24''$ kuzey enlemi ile $35^{\circ}15'28.10''$ doğu boylamı arasında konumlanmış, Aksaray ilinin güneydoğusunda ve deniz seviyesinden yüksekliği 1160 m'dir (Şekil 2.1) (URL1). Selime beldesinin batısında Aksaray merkez, doğusunda Niğde iline ait Çiftlik ilçesi, kuzeyinde Gülağaç, güneyinde ise Niğde iline bağlı Altunhisar ilçesi bulunmaktadır. Çalışma alanı Aksaray ili içerisinde önemli turizm merkezi olan Ihlara vadisine giriş olarak da kabul edilmektedir.



Şekil 2.1: Çalışma alanı.

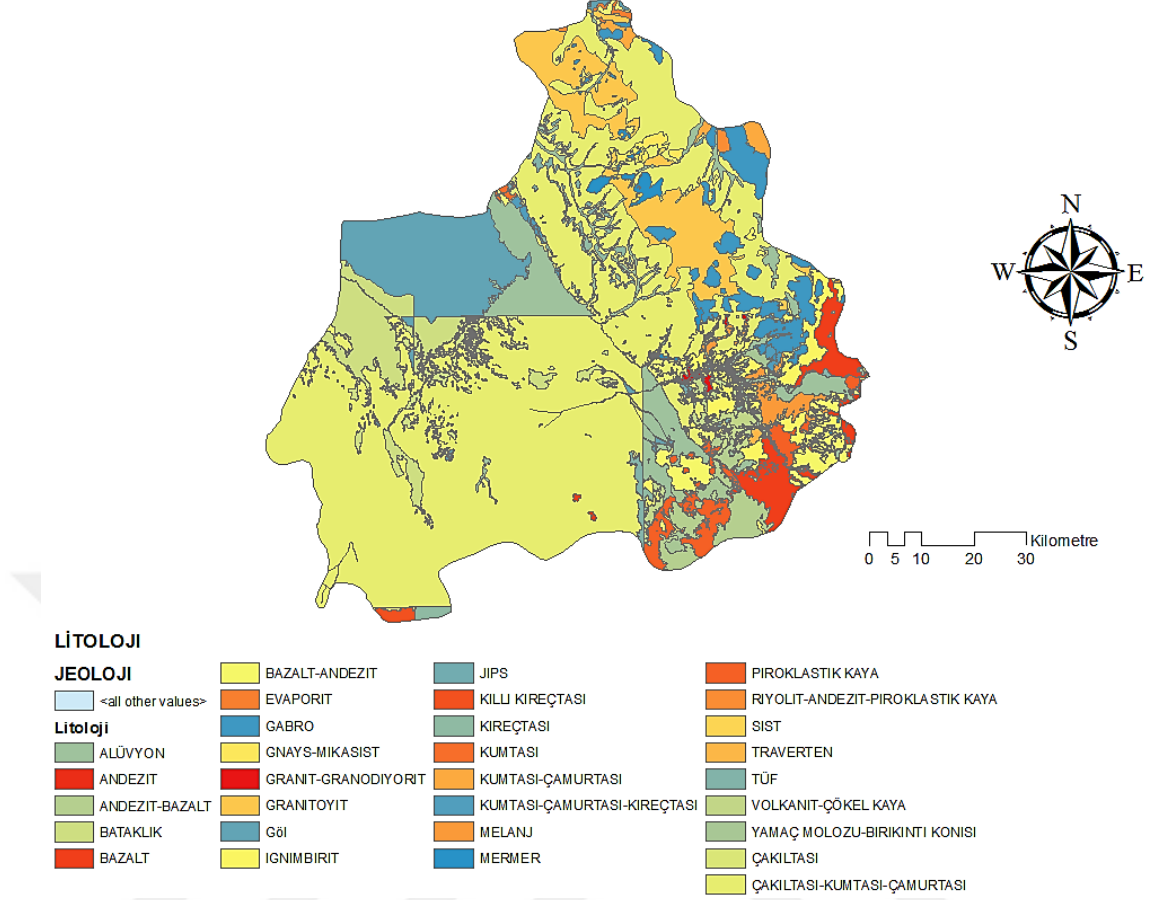
Bölgeye ait genel jeolojik yapıya bakıldığında stratigrafik birimler olarak, senozoik, tersiyer ve pilyosen bulunur. Yörede Pliyosen yaşlı volkanitler olarak temelden itibaren; Göstük ignimbiritleri, Karakaya volkanitleri (çökelleri), Selime tüfleri, Kızılkaya ignimbiritleri, Hasandağı volkanitleri ve Yamaç molozudur. Yörede Kuvaterner yaşlı çökeller ise; Traverten, Taraça, Alüvyon ve Toprak örtüsüdür (Şimşek, 1997). Bölgeye ait jeolojik yapı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Bölgeye ait jeoloji haritası (Şimşek, 1997).

Yörenin genel olarak jeomorfolojisi incelendiğinde yarı kurak İç Anadolu ikliminde bulunan Ihlara yöresinin jeomorfolojik yapısı Kuvaterner’de şekillenmiştir. Sert ve dayanımlı Kızıl Kaya İgnimbiritlerinin yamaç eğimi, çok yüksek ve dik olmaktadır. Ihlara Vadisindeki düşey yamaçlar bu kayalardan oluşmuş ve ilginç görünüm sunmuşlardır. Bu kayalar düzlüklerde ise mesa şekilli tablamsı yapılarda gözlenmektedir. Tuf ve volkan külleri ise kolay aşınmalı kötü arazi topografyası oluşturmuştur (Özdemir, 2007). Aksaray iline ait litoloji haritası Şekil 2.3’te gösterilmiştir.

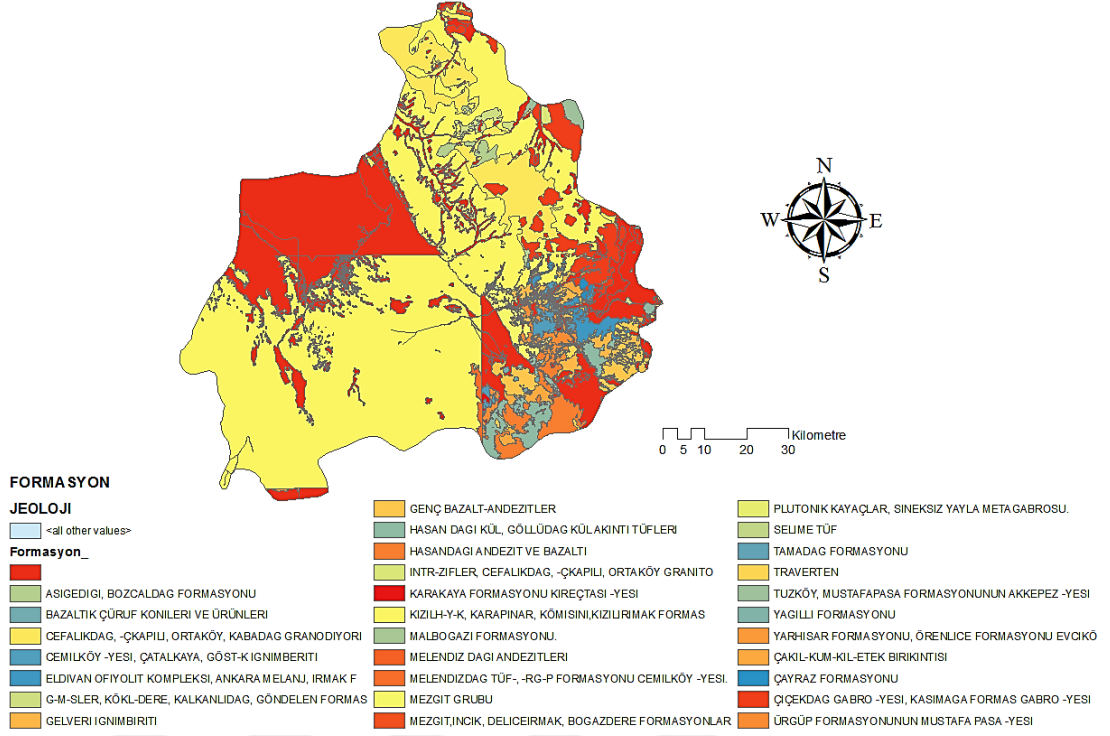
AKSARAY İLİ LİTOLOJİ SINIRLARI



Şekil 2.3: Aksaray ili litoloji haritası.

Litoloji haritasının yanı sıra Aksaray iline ait formasyon sınırları haritası Şekil 2.4'de oluşturulmuştur.

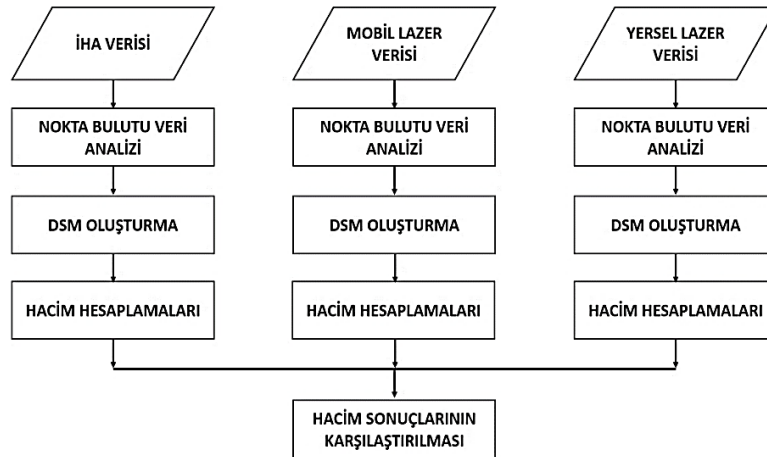
AKSARAY İLİ FORMASYON SINIRLARI



Şekil 2.4: Aksaray ili formasyon sınırları.

2.2 Metodoloji

Bu bölüm, İHA sistemlerinden nokta bulutu elde etme aşamaları, elde edilen nokta bulutu verilerinin işlenmesi ve hacim hesabı, MLT sistemlerinden elde edilen nokta bulutu verilerinin işlenmesi ve hacim hesabı, YLT sistemlerinden elde edilen nokta bulutu verilerinin işlenmesi ve hacim hesabı, üç sistem kullanılarak hesaplanan kaya bloklarının hacimlerinin karşılaştırılmasından oluşmaktadır. Kaya bloklarının hacimleri hesaplandıktan sonra üç boyutlu modelleri oluşturulmuştur. Şekil 2.5 çalışmanın iş akış şemasını göstermektedir.



Şekil 2.5: Araştırma iş akışı şeması.

2.2.1 Hacim hesabı

Günümüzde hacim hesabı bilgisayar teknolojisini kullanarak otomatik olarak yapılmaktadır. Yapılan projelerde en hassas şekilde hacim hesabının yapılması projeyi gerçekleştirecek firmalar ya da ilgili kurumlar açısından önem arz etmektedir. Tüm bu işler için gerekli hacim hesabı oluşturulan matematiksel model üzerinde yapılmaktadır. Ancak matematiksel modelleri var olan nesnelerin hacimleri doğrudan hesaplanabilmektedir. Fiziksel yeryüzü gibi düzgün olmayan yüzeylerin oluşturduğu nesnelerin hacimlerinin hesaplanmasında zorluklar vardır. Düzgün olmayan bu yüzeylerin bir matematik modele bağlanması gerekmektedir. Bu modellerin oluşturulması için bu modeli tanımlayan tüm noktaların var olması gerekir ki bu da pratikte mümkün değildir. Uygulamalarda bunun yerine yüzeyi temsil eden örnekleme (dayanak noktası veya referans noktası) noktaları kullanılır. Bu noktaların yüzeyi temsil yetisi hacim hesabının hassasiyetini belirlemede faydalı olduğu aşikârdır. Belli sınırları olan bu noktalar kümesi de basit fonksiyonlarla ifade edilebilen düzenli yüzeyler içinde en yaygın olarak kullanılan, düzlem yüzeyleridir. Bu düzlem yüzeyleri çoğu zaman bilinen bir geometrik şekle sahip değildirler. Karmaşık yüzeyler de hesap yapılabilmesi için bu yüzeyleri anlamlı geometrik şekilleri ayırarak, gerçek yüzeyin temsili şeklinin oluşturulması gerekir. Bunun için de en yaygın olarak üçgen, kare ve dikdörtgen şekli tercih edilir. Bilindiği gibi dünya yüzeyi itibariyle tek bir fonksiyonla tam olarak ifade edilemez. Bilinen geometrik şekillerle ifade edilemeyen karmaşık yüzeyleri eş üçgen, kare veya dikdörtgenlere bölmek gerekir. Bu bölme işleminde asıl önemli olan bu geometrik şekillerden hangisinin daha çok yarayacağını ve daha az vakit harcayacağını incelemesi gerekir. Bu aşamada karmaşık bir yüzeyi tarif etmek için kullanılacak basit geometrik şeklin üçgen veya kare olması durumunda sağlayacağı avantaj ve dezavantajları incelenir. Öncelikle karmaşık şeklin üçgenlere bölünme durumu ele alınırsa; tüm yüzey parçaları üçgenlerle ifade edilmelidir. Bu durumda üçgenlerin birbirine göre konumları karmaşık bir hal alacaktır. Bu da algoritma sürecini uzatacaktır. Eş üçgenler alınarak kısmen süreç kısaltılabilmektedir. Üçgenlerin oluşturulurken arazi noktalarının kullanılmasında; hangi noktanın hangi noktayla birleşeceği önemlidir. Gerçek yüzeyin temsili modeli, bu birleşimlerin doğru yapılmasıyla yakından ilgilidir. Günümüzde SAM için birçok paket program yazılmıştır. Bu yazılan her program birbirinden bağımsız olarak yazılmış ve genellikle bir uygulama veya belirli bir bilgisayarda kullanılabilir şekilde geliştirilmiştir. Sonuçta

bu farklılıklara rağmen bunların karakteristik yapıları incelendiğinde bir ya da iki tane temel yaklaşım göze çarpar. Bunlar;

- Yükseklik verileri düzgün grid formatı,
- Rastgele yerlerden seçilmiş noktalardan oluşan üçgen ağları formatı, şeklinde olabilir.

Hacim hesabı yapabilmek için arazi yüzeylerinin en doğru biçimde modellenmesi gerekmektedir. Bu yüzeyi oluşturmak için örnekleme noktalarından seçilen enterpolasyon yöntemleriyle yüzey modeli oluşturulur. Oluşturulan yüzey modeli kullanılarak modelin hacmi hesaplanır.

Haritacılıkta birçok uygulamanın temelinde hacim hesabı yatmaktadır. Hacim hesabı ne kadar hassas olursa projelerdeki maliyet o kadar gerçek değere yakın olur. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak hacim hesaplama teknikleri de gelişmektedir. Hacim hesaplamasında temel olarak doğruluğa etki eden iki faktör vardır. Birinci faktör, veri elde etme; noktaların arazi yüzeyindeki yoğunluğu, dağılımı ve ölçülen noktaların kalitesi, arazinin morfolojik özellikleridir. İkinci faktör, kullanılacak enterpolasyon yöntemleri ve kullanılacak olan programın arazideki özel doğal yapıyı tam olarak yakalayabilmesidir (Üstüntaş, 1994). Hacim hesabının en doğru şekilde hesaplanabilmesi arazi yüzeyinin en doğru şekilde tasvir edilmesine ve en uygun enterpolasyon yönteminin seçilmesine bağlıdır.

2.2.1.1 Yüzey tanımlama

Düzenli yüzey; basit matematiksel bir fonksiyonla ifade edilebilen, belirli sınırlar içerisinde kalan sabit doğrultulu ve eğimli noktalar kümesidir. Belli sınırları olan bu noktalar kümesi de basit fonksiyonlarla ifade edilebilen düzenli yüzeyler içinde en yaygın olarak kullanılan, düzlem yüzeyleridir. Bu düzlem yüzeyleri çoğu zaman bilinen bir geometrik şekle sahip değildirler. Karmaşık yüzeyler de hesap yapabilmemiz için bu yüzeyleri anlamlı geometrik şekillere bölerek gerçek yüzeyin temsili şeklini oluşturmamız gerekir. Bunun içinde en yaygın olarak üçgen, kare ve dikdörtgen tercih edilerek kullanılır.

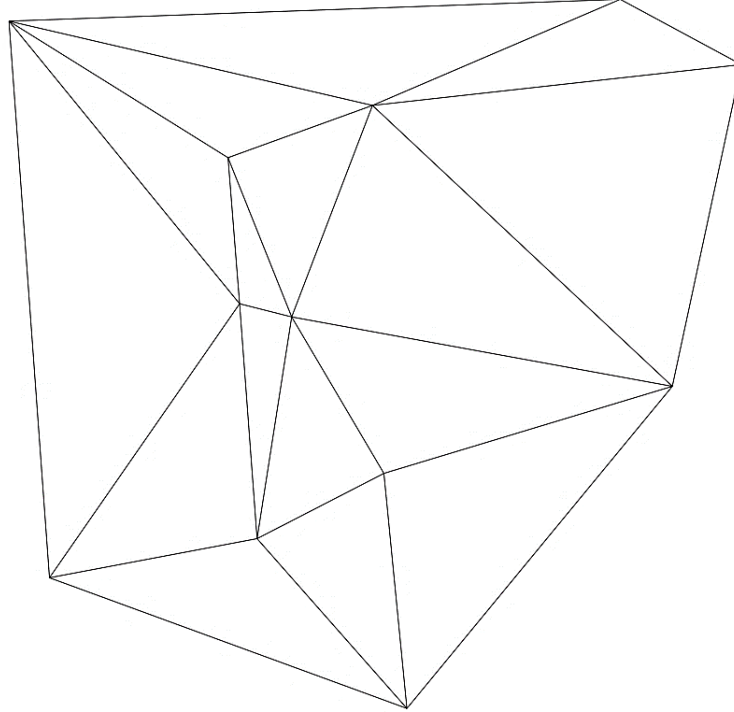
Gerçek arazi yüzeyini temsil için hesap işlerinin kolay olduğu daha küçük üçgen veya dörtgen yüzey parçalarına bölmek gerekmektedir. Bu bölme işleminde asıl önemli olan bu geometrik şekillerden hangi geometrik formun daha yararlı ve daha az vakit harcayacağının incelenmesi gerekir. Bu aşamada karmaşık bir yüzeyi temsil etmek için kullanılacak basit geometrik şeklin üçgen veya kare olması durumunda sağlayacağı avantaj ve dezavantajları incelenir. İlk olarak yüzeyin üçgenlere bölünme durumu ele

alınırsa: Tüm yüzey parçaları örnekleme noktaları açıkta kalmayacak ve her nokta bir üçgen köşesi olacak şekilde ifade edilmelidir. Buna rağmen üçgenlerin birbirine göre konumları karmaşık bir hal alacaktır. Bu da algoritma sürecini uzatacaktır. Eş üçgenler alınarak kısmen süreç kısaltılabilmektedir. Bu da veri toplama aşamasında zorluklara sebep olacaktır. Üçgenlerin oluşturulurken arazi noktalarının kullanılmasında; hangi noktanın hangi noktayla birleşeceği önemlidir. Gerçek yüzeyin temsili modeli bu birleşimlerin doğru yapısıyla yakından ilgilidir. Çok değişik üçgenleme algoritmaları geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi aşağıda ayrıntılı şekilde anlatılmıştır.

2.2.1.2 Üçgenleme yöntemleri

Üçgenleme yöntemleri günümüzde hızla yüzey modellemede kullanılmaktadır. Üçgenleme yöntemine ‘Düzensiz Üçgen Ağı (TIN – Triangular Irregular Network)’ adı da verilmektedir. Bu yöntemin amacı söz konusu olan yüzeyi üçgenlere bölerek üçgen elemanlarından oluşan bir bütün halinde göstermektir. Üçgenlerin birbiri üzerlerine binmemeleri gerekmektedir.

Üçgenlemenin amacı ise dayanak noktalarını ilişkilendirmektir. Oluşan bir üçgenin kenarını oluşturan iki dayanak noktasının birbirleri ile ilişkili olduğu düşünülür. Bunun sonucunda ise aynı veri kullanılarak farklı üçgenler ağı oluşturulabilir.



Şekil 2.6: Üçgen yapısı.

Bu üçgenlemelerden bazıları sistematığı ve algoritması kurulabilen üçgenlemeler, bazıları ise bir sistematığı bulunmayan dolayısıyla programlama olanağı olmayan

üçgenlemelerdir. Elle yapılan uygulamalarda sistematik olmayan bir üçgenleme algoritması içeren bir yazılıma gerek duyulur. Bu nedenle üçgenleme terimi sistematik olarak modellenebilen üçgenlemeler olarak algılanmalıdır (Yanalak, 1991).

Bir TIN yüzeyi aşağıdaki kaynakların bir veya daha fazlasından oluşturulabilir:

- Nokta, çizgi ve poligon verileri,
- Eş yükseklik haritaları,
- Stereo kıymetlendirme verileri,
- ASCII formdaki rastgele dağılmış noktalar,
- Kırıklı çizgi verileri,
- SYM grid yapısı

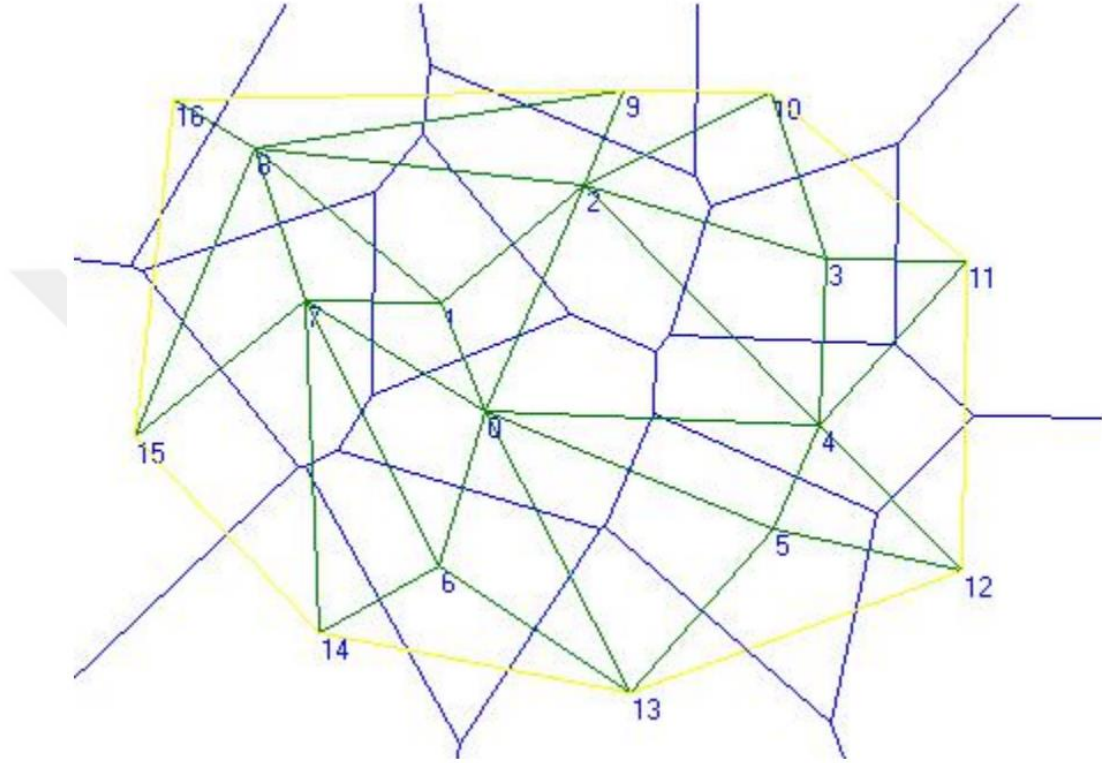
Enterpolasyon olarak düşündüğümüzde ise; üçgenlerin enterpolasyonları lineerdir. Bu yöntemde ise modellenmesi yapılacak yüzey üçgenlerle temsil edilmekte, kullanılan dayanak noktaları üçgenlerin köşe noktalarını oluşturduğundan yüzey dayanak noktalarından geçmektedir. Kullandığımız üçgenlerin içinde kalan kestirim noktalarına ait yükseklikler, kullandığımız üçgenlerin köşe noktalarının yükseklikleri yardımıyla değişik fonksiyonlar kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu çözümde en önemli nokta etkin bir üçgenleme algoritmasına ihtiyaç duyulmasıdır. Üçgenleme yöntemini kullanacağımıza karar verdiğimizde dikkate alacağımız en önemli konu hangi noktaların üçgen ağına dâhil edileceğini tespit edilmesidir. Bu durumda ise üçgen ağına alınacak noktalar yeryüzünün karakteristik özelliğinin değiştiği veya eğimde değişmelerin olduğu noktalar olmalıdır. Üçgenlemede kullanacağımız üçgenleri oluşturan bu dayanak noktaları yüzeyin daha iyi modellenmesi için çok özenle seçilmelidir.

2.2.1.2.1 Delaunay üçgenleme yöntemi

Delaunay tarafından önerilen bu yöntemde arazi, rastlantısal ya da düzgün olarak dağılmış bulunan dayanak noktalarının birleştirilmesi ile düzlem üçgenlerden oluşan çok yüzlü (polihedron) bir yüzeyle kaplanır. Bu yöntemle yapılan ilk çalışmalar, arazi yapısını gösteren çizgiler ve arazinin kırık çizgileri üzerine bulunan dayanak noktalarına, üçgenlemede bir öncelik vermeksizin tüm noktalar aynı nitelikte olduğu varsayımına dayandırılmıştır (Özer, 1988).

Delaunay üçgenlemesi oldukça önemlidir. Bu üçgenlemenin önemini anlamak için Voronia Diyagramının tanımlanması gerekir. Voronoi diyagramı literatürde Dirichlet, Thiessen veya Wigner-Seitz diyagramı olarak da anılmaktadır. Düzlemde yer alan

sonlu nokta kümesine ait herhangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine o noktanın Voronoi Çokgeni (poligonu) denilmektedir. Bir noktanın Voronoi çokgeni herhangi bir noktayı, kendisine en yakın konumdaki komşu noktalardan ayırmaktadır. Kümedeki tüm noktaların Voronoi çokgenlerinin birleşimi, o kümenin Voronoi diyagramını oluşturur (Yanalak, 2001).



Şekil 2.7: Voronoi diyagramı ile Delaunay Üçgenlemesi (McAllister ve Snoeyink, 2000).

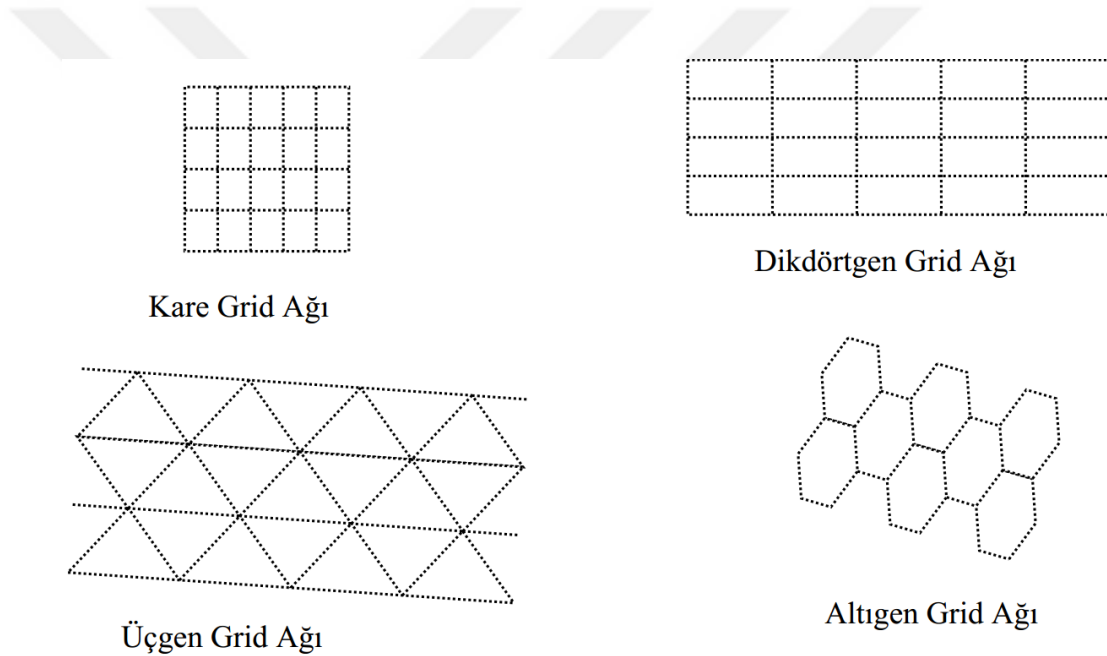
2.2.1.2.2 Üçgenlemede karşılaşılan sorunlar

Kullanacağımız üçgenleme algoritmasının istediğimiz gibi verimli çalışabilmesi için çözümlenmesi gereken bazı sorunlar vardır. Kullanacağımız bu algoritma hızlı çalışmalı, istediği bilgi az olmalı ve veri alanı için bir sınır olmalıdır.

2.2.1.3 Grid formatındaki arazi model

Bir geometrik şekil kare veya dikdörtgen alınması durumunda ise: kareler ağı kurulması üçgenlere göre çok kolay ve hızlıdır. Koordinat sistemine paralel olarak alınan kare veya dikdörtgen şekilli basit fonksiyonlar karmaşıklığı ortadan kaldıracaktır. Bu parçaların alınmasıyla hesaplamalardaki hızı önemli oranda artmaktadır. Çünkü bir önceki kare veya dikdörtgen kendinden sonraki gelen

dikdörtgen veya karenin zaten bir kenarını vermektedir. Hatta daha alt ve ara sıralara geçildikçe bilinen parametre sayısı artmaktadır bu da hesaplanacak işlemlerin azalmasını sağlamaktadır. Böyle bir ağın kurulması için başlangıç ve bitiş noktalarının koordinatları ile birim aralıkların bilinmesi yeterlidir. Ancak burada ele alınan tanımlama noktalarının uygun bir enterpolasyon yöntemiyle oluşturulan kareler ağının köşe noktalarına aktarılması öne çıkmaktadır. Bu kadar kolaylığın yanı sıra kare veya dikdörtgenle oluşturulacak düzlemlerin kare veya dikdörtgeni temsil etmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Oluşturulacak yüzeyin en küçük parçası geometrik şekil olarak kare veya dikdörtgen alınmasıyla şekildeki esneklik kaybolmaktadır. Bu düzlemdeki esnekliği sağlamak için en küçük parça olarak üçgenin alınması zorunlu hale gelmektedir.



Şekil 2.8: Kullanılan grid yapıları.

2.2.1.3.1 Uygun grid aralığının seçilmesi

Sayısal arazi modellerinde dikkat edilecek önemli konulardan biri de kullanacağımız gridlerin aralıklarını seçmektir. Modellemek istediğimiz arazi gridleme yöntemi ile elde edildikten sonra elde edeceğimiz ürünler grid veriye dayanmaktadır. Bundan dolayı araziyi iyi bir şekilde yansıttığı düşünülür. Günümüze kadar gelen bu uygulama için yapılan çalışmalarda, kestirim yapılacak grid nokta sayısının, dayanak noktasına eşit olduğu tespit edilmiştir. Ancak dikey ve yatay olarak toplanan veri kümelerinin gridlenmesinde, tespit edilen bu yaklaşım olumlu sonuç vermemektedir.

2.2.1.4 Veri elde etme yöntemleri

Bundan sonraki aşamada kullanacağımız verileri nasıl elde edeceğimiz önemli bir konudur. Modellenmek istenen düzlemi oluşturacak basit geometrik şeklin tercih ettiğimiz yöneme göre ne olacağına karar verilir. Veri elde etme yöntemlerinden en önemli dört tanesi klasik jeodezik yöntemler, fotogrametrik yöntemler, uzaktan algılama verileri, lazer ölçme aletleriyle veri toplama yöntemidir.

2.2.1.4.1 Klasik jeodezik yöntemler

Bu yöntemde hesaplanacak yüzey için araziye çıkılır. Arazi yüzeyini temsil edebilecek karakteristik noktalar yeterli sıklıkta klasik jeodezik yöntemlerle zeminde okunur. Elde edilen bu veriler seçilen yöntemin özelliğine göre uygun bir metot kullanılarak hesaplanır. Buradaki çalışmada karakteristik noktalar yeterli sıklıkla arazide okunur. Bu yöntem kare grid ağı için pek tercih edilen bir yöntem değildir. Genellikle üçgenleme yönteminde tercih edilir.

2.2.1.4.2 Fotogrametrik yöntemler

Bu yöntemle modellenmek istenen yüzey fotoğrafları çekilir. Hava fotoğrafı veya yersel fotogrametri yöntemi tercih edilebilir. Fotogrametrik yöntem bizim işimizi oldukça kolaylaştırmaktadır. Çekilen bu fotoğraflarla istediğimiz şekilde sıklaştırmalar yaparak hassasiyeti arttırabiliriz. Bu yöntemde genellikle kare veya dikdörtgenler kullanılmaktadır. Bu sayede fazladan kullanılacak her bir arazi noktası yerine, n sayıda yeni noktanın yüksekliğini enterpole etmek, bilgisayar belleğinde yer kazanmak ve işlem azlığı açısından çok daha yararlıdır.

2.2.1.4.3 Uzaktan algılama yöntemleri

Bu yöntemle modellenmek istenen yüzey uydular yardımıyla elde edilen uydu görüntüleri üzerinde araziden ölçülen yer kontrol noktaları kullanılarak üç boyutlu ortorektife edilmiş görüntü elde edilir. Elde edilen üç boyutlu veri kullanılarak hacim hesaplamaları yapılabilir.

2.2.1.4.4 Lazer ölçme aletleriyle veri toplama yöntemi

Lazer ölçme aletleri lazer ışın demetinin cisme gönderilmesi ile alıcı ve verici arasındaki mesafe sinyalin gönderilmesi ve alınması arasında geçen zaman farkından hesaplanır. Bu yöntem elektronik takeometrelerde de bu şekilde kullanılmaktadır. Bu aletlerdeki fark elektronik takeometrelerde ki gibi tek ışın yerine yüzlerce ışının bir anda gönderilip ölçülecek yüzeydeki bir objenin yüzeyinden yansdıktan sonra alıcıdan toplanılması ile sinyallerin işlenmesinden oluşmaktadır. Ölçülecek objenin yüzeyi seçilen tarama aralıklarıyla lazer ölçme aletiyle otomatik olarak taranmaktadır.

Aletin hafıza biriminde toplanan her noktaya ait eğik uzaklık yatay ve düşey olmak üzere iki açı ölçüleri kaydedilerek ölçülen objeye ait üç boyutlu koordinatlar hesaplanabilmektedir. Üretilen bu nokta bulutu ölçülecek objenin yüzeyinin oluşturulmasında dayanak noktası olarak kullanılacaktır.

2.2.1.5 Sayısal arazi modellerinde enterpolasyon

Enterpolasyon, x,y,z dayanak nokta kümesi ile verimli olan bir alan içinde ya da bu kümenin bir alt kümesi ile sınırlandırılan arazi içinde herhangi bir x, y konumuna sahip noktanın Z değerinin belirlenmesidir (2.1). Bu ifade;

$$Z = F(x, y, x_i, y_i, z_i) \quad (2.1)$$

Z: Sınırlandırılan arazi içinde herhangi noktanın enterpolasyon ile hesaplanan kotu

x_i, y_i, z_i : Dayanak Noktası kümesi elemanı

x, y: Sınırlandırılan arazi içinde herhangi bir noktanın koordinatları

Burada çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılır. Kullanılan yöntemlerin bir bölümünde ölçülen ilk yükseklik değerleri hatasız kabul edilir, bazılarında ise belirli bir dengeleme ya da düzensiz hataların filtrelemesi yapılır.

Kullanılan yöntem ne kadar uygun ise hesaplanan Z değeri ile gerçek arazi yüksekliği arasındaki fark o kadar küçük olur. Yani kısacası (Z) değeri ne kadar gerçek arazi yüksekliğine yaklaşırsa sayısal arazi güvenliği de o kadar artar.

2.2.1.5.1 Lineer enterpolasyon

Enterpole edilecek noktaların yüksekliği, bu noktaya en yakın, en az üç dayanak noktasının koordinatları yardımı ile katsayıları aşağıdaki polinom yardımıyla elde edilir (2.2).

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y \quad (2.2)$$

Z: Enterpole edilecek noktanın yüksekliği

a_0, a_1, a_2 : Dayanak noktasının katsayıları

x, y: Dayanak noktasının koordinatları

Matris formu ile;

$$Z = A.X \quad X = A^{-1}.Z$$

Buradan;

$$X = [a_0 \ a_1 \ a_2]^T \quad \text{Bilinmeyen vektörü olmak üzere,}$$

$$Z = [z_0 \ z_1 \ z_2]^T \quad \text{Dayanak noktalarının yükseklik değerlerinin vektörüdür.}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n \end{bmatrix} \quad \text{Dayanak nokta koordinatları ile oluşturulan katsayılar}$$

matrisi.

A matrisi dayanak nokta koordinatları ile oluşturulan katsayılar matrisidir. Enterpole edilecek noktaların koordinatlarının başlangıç değeri (0,0) olarak alınabilir.

2.2.1.5.2 Ağırlıklı aritmetik ortalamayla enterpolasyon

İlk olarak Laurer tarafında kullanılması önerilmiş olan bu yöntemde, Enterpolasyon noktasının yüksekliğini, çevresinde bulunan arazi noktaların yüksekliklerinden ağırlıklı olarak hesaplanır. Her bir dayanak noktasının yüksekliğine verilecek olan ağırlık değeri o noktanın enterpolasyon noktasına olan uzaklığının bir fonksiyondur.

Fonksiyonu formülize etmek istersek bir enterpolasyon noktasının yüksekliği (2.3):

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

eşitliğiyle bulunur. Açıkça yazmak gerekirse,

$$z = \frac{|W_1 \times z_1 + W_2 \times z_2 + \dots + W_n \times z_n|}{|W_1 + W_2 + \dots + W_n|}$$

olur.

W_1, W_2, W_n : Ağırlık vektörü

z_1, z_2, z_n : Arazi noktalarının yükseklik vektörü

Matris gösterimiyle,

$$z = \frac{Wz^T}{Wu^T} \quad (2.3)$$

W_z : Arazi noktalarının ağırlık vektörü

W_u : Birim vektörün ağırlık vektörü

olur (Avcı, 2010).

2.2.2 Yersel lazer tarama sistemi

YLT sistemleri klasik ölçme yöntemlerine göre çok daha hızlı bir veri toplama tekniğidir (Altuntaş ve Yıldız, 2008). Lazer ile mesafe ölçümü için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlar üçgenleme, faz farkı ölçümü, ışığın gidiş/dönüş zamanı ölçümü ya da puls metodudur. YLT sistemlerinde kısa zaman aralıklarıyla lazer ışınlarının gönderilmesi ve ölçülmesi esasına dayanan puls metodu kullanılmaktadır (Lichti ve Gordon, 2004).

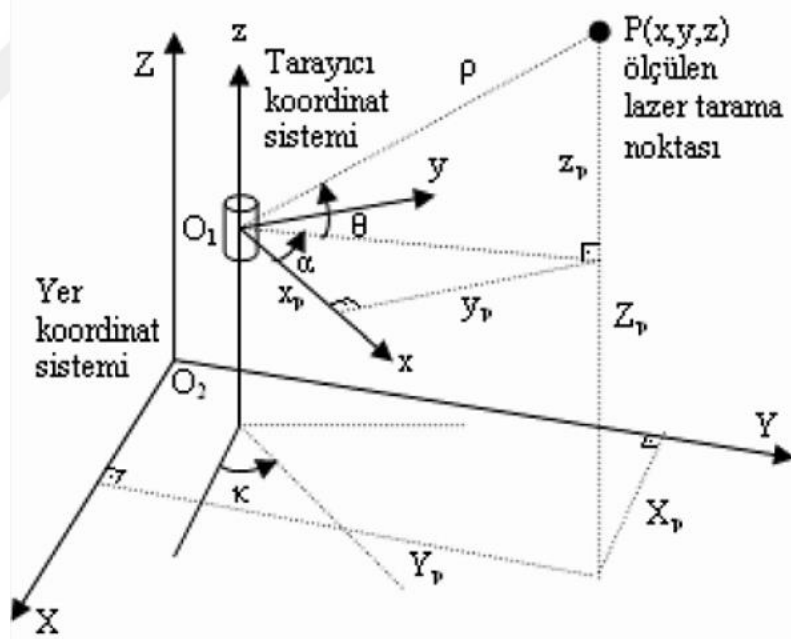
Lazer tarama işlemiyle elde edilen nokta bulutundan; temel klasik ölçme verileri, ortofoto görüntüleri, 2 veya 3 boyutlu çizimler, 3 boyutlu animasyon, katı yüzey

modelleri ya da doku giydirilmiş 3 boyutlu modeller ile istenilen yere ait alan ve hacim bilgileri elde edilebilir. Bu yöntemin avantajları;

- Hızlı ve obje ile temas kurmadan ölçme,
- Aynı ölçme alanı için daha fazla veri toplama,
- Lazer ölçülerinin var olan başka tür ölçülerle kolayca entegrasyonu,
- Daha güvenli veri toplama imkânı,
- Yüksek doğrulukla SYM üretebilme,
- Ölçme alanının belirli periyotlarla tamamen ölçülebilmesi

olarak sıralanabilir (Waggot vd., 2005).

Lazer tarayıcılar, ölçülecek objeyi yatay ve düşey yönde belirli bir açı altında nokta dizileri şeklinde tarayarak nokta bulutu halinde görüntülenmesini sağlar (Lichti ve Gordon, 2004). Her lazer noktası için tarayıcı alet merkezli kutupsal koordinatlar ölçülür. Bunlar; ölçülen noktaya olan eğik uzaklık ρ , ölçüm doğrusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı Θ 'dır. Aynı zamanda ölçülen yüzeyin yapısına ve ölçme uzaklığına bağlı olarak dönen sinyalin yoğunluğu da ölçülerek kaydedilir.



Şekil 2.9: Yersel lazer tarayıcı ölçüleri, tarayıcı ve yer koordinat sistemleri.

YLT sistemleri ile ölçülen büyüklükler ve tarayıcı koordinat sistemi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekil 2.9'da;

- x,y,z : Tarayıcı alet orijinli nokta bulutu koordinatları,
- ρ : Lazer tarayıcı ile ölçülen obje noktası arasındaki eğik mesafe,
- α : Işın doğrultusunun x eksenine yaptığı açı,

- Θ : Işın doğrultusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı,
- O_1 : Lazer tarayıcı yerel koordinat sistemi merkezi,
- O_2 : Yer koordinat sistemi merkezidir.

Bu ölçüler arasındaki geometrik ilişki ve taranan noktaların tarayıcı alet orijinli üç boyutlu koordinatları (x,y,z) , aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Elkhrachy ve Niemeir, 2006, Scaioni,2005, Lichti ve Gordon,2004) (2.4).

$$x = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos\theta \cos\alpha \\ \rho \cdot \cos\theta \sin\alpha \\ \rho \cdot \sin\theta \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

x, y, z : taranan noktaların tarayıcı alet orijinli üç boyutlu koordinatları

ρ : Lazer tarayıcı ile ölçülen obje noktası arasındaki eğik mesafe

Θ : Işın doğrultusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı

α : Işın doğrultusunun x eksenine ile yatay düzlemde yaptığı açı

Piyasada yaygın olarak kullanılan lazer tarayıcılara ait özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Lazer tarayıcılar ve bazı özellikleri (URL2, URL3, URL4, URL5, URL6, URL7, URL8).

Marka	Model	Ölçme Mesafesi	Ölçme Hızı	Tarama Açısı	Mesafe Doğruluğu
Riegl	VZ-6000	6000 mt	222000 (nok/sn)	360° H/ 60° V	2000 mt 240 mm
Optech	ILRIS-LR	3000 MT	10000 (nok/sn)	360° H/ 360° V	100 mt 4 mm
Leica	Leica C5	300 mt	50000 (nok/sn)	360° H/ 270° V	50 mt 10 mm
	Leica C10	300 mt	50000 (nok/sn)	360° H/ 270° V	0-50 mt 4.5 mm
	Leica P40	270 mt	1000000 (nok/sn)	360° H/ 290° V	100 mt 6 mm
Topcon	GLS1000	100 mt	3000 (nok/sn)	360° H/ 70° V	40 mt 6 mm 100 mt 1mm
	GLS1500	500 mt	30000 (nok/sn)	360° H/ 70° V	150 mt 4 mm 500 mt 7 mm
	GLS2000	500 mt	120000 (nok/sn)	360° H/ 270° V	1-150 mt 3.5 mm

Çalışmada kullanılan Topcon marka GLS-1000 seri lazer tarayıcıya ait özellikler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2: TOPCON GLS-1000 lazer tarayıcıya ait teknik özellikler (URL6).

Tipi	Lazer darbe
Lazer sınıfı	1. Sınıf
Tarama sıklığı	Saniyede 3000 nokta
Tarama yoğunluğu	Nokta büyüklüğü: 130 derecede 0.24" (40 metre mesafede 6 mm)
Görüş açısı	Yatayda: 360 derece Düşeyde: 70 derece
Kamera	2 megapiksel
Batarya	4 batarya ile 4 saat
Çalışma sıcaklığı	0 – 40 derece
Boyutları	24 x 24 x 56,6 cm
Ağırlık	16 kg
Batarya ağırlığı	245 gram (1 batarya)
3B Çizim programı	Polyworks



2.2.2.1 Nokta bulutlarının birleştirilmesi

Nokta bulutları taranan objeye ait bütün detayları göstermek için değişik noktalardan çok sayıda tarama yapar. Her taramada elde edilen nokta bulutu alete ait kendi lokal koordinat sistemindedir. Taranan objelerin üç boyutlu modelini oluşturmak için nokta bulutları seçilen koordinat sistemine dönüştürülmeli ve bu koordinat sisteminde bütün nokta bulutları birleştirilmelidir. Nokta bulutlarının seçilen referans koordinat sisteminde birleştirilmesi için geliştirilen yöntemler;

- İteratif en yakın nokta (Iterative closest point)
- En küçük karelerle üç boyutlu yüzey eşleme (Least square 3D matching)
- Bağımsız model yöntemi (Independent model triangulation)
- Doğrudan jeodezik koordinatlı ölçmeler (Direct georeferencing) (Altuntaş ve Yıldız, 2008)

İteratif en yakın nokta yöntemi (Iterative closest point); bu yöntem Besly ve Mckay, (1992) ve Zhang (1994) tarafından geliştirilmiştir. Yöntem farklı veri türleri için farklı şekilde uygulanmasını içeren değişik türleri bulunmaktadır (Sharp vd. 2002, Godin vd., 2001, Johnson ve Kang,1996). Yöntemde nokta bulutları arasındaki üç boyutlu dönüşüm parametreleri iteratif olarak bulunur. Yöntem, referans noktası kümesi (M)

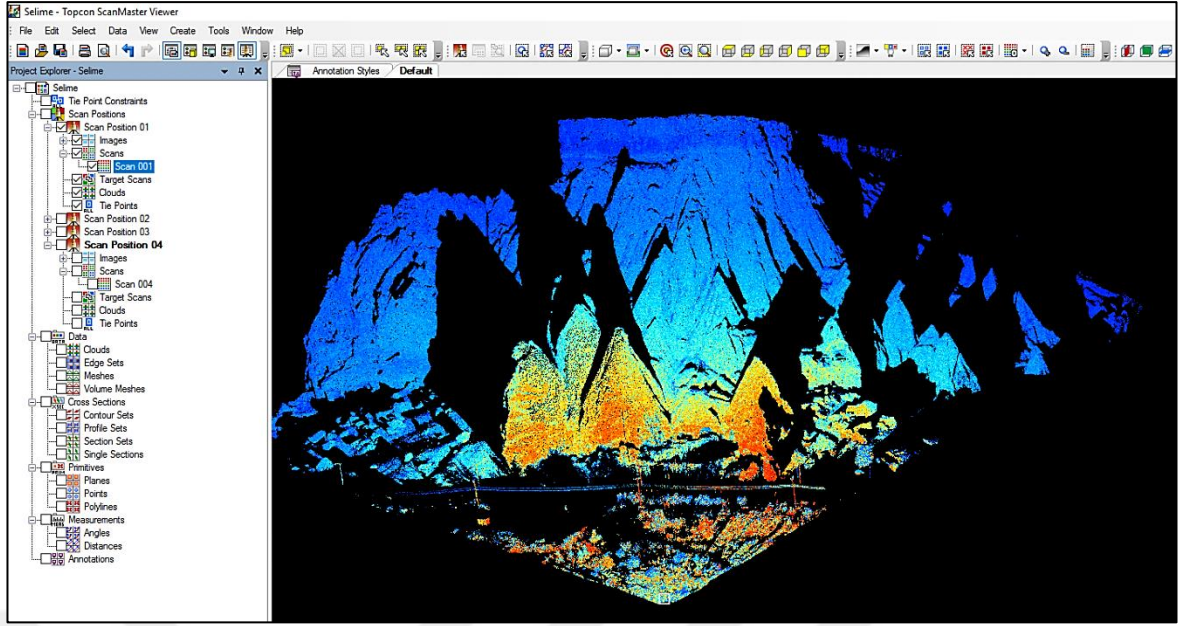
ve araştırma nokta kümesi (N) aynı ölçekli kabul edilir ve dönüşüm parametrelerinin en yakın nokta çiftleri ile bulunması temeline dayanır. Başlıca üç adımda uygulanır. Birinci adımda yüzeyler, aralarında benzerlik ilişkisi kurularak yaklaşık olarak yöneltilir. İkinci adımda, araştırma nokta kümesindeki her nokta için referans nokta kümesindeki en yakın nokta bulunarak noktalar eşleştirilir ve en yakın nokta çiftleri ile dönüşüm parametreleri hesaplanır. Üçüncü adımda, hesaplanan dönüşüm parametreleri araştırma nokta kümesinin bütün elemanları için uygulanarak dönüşüm yapılır. Bu üç adım araştırma nokta kümesi referans nokta kümesi ile eşleştirilinceye kadar iteratif olarak devam eder. İlk yaklaşık değerler çok iyi seçildiğinde yöntem oldukça etkilidir. Dönüşüm, araştırma ve referans nokta kümeleri arasında Öklid mesafesi (Üç boyutlu uzayda iki nokta arasındaki doğrusal uzunluk) en kısa olan eşlenik noktalarla yapılır. Araştırma nokta kümesindeki noktaların referans nokta kümesindeki eşleniklerinin bulunması için araştırma nokta kümesine ait nokta ile referans nokta kümesinin bütün noktaları için Öklid mesafesi hesaplanır. Öklid mesafesi en küçük olan nokta o noktanın eşleniği olarak alınır.

Çalışma alanındaki kayalık bölgenin modellenmesi için YLT sistemi ile iki farklı oturum şeklinde bindirmeli olarak tarama yapılmıştır. Taramalara ait görüntü Şekil 2.10'de gösterilmiştir.



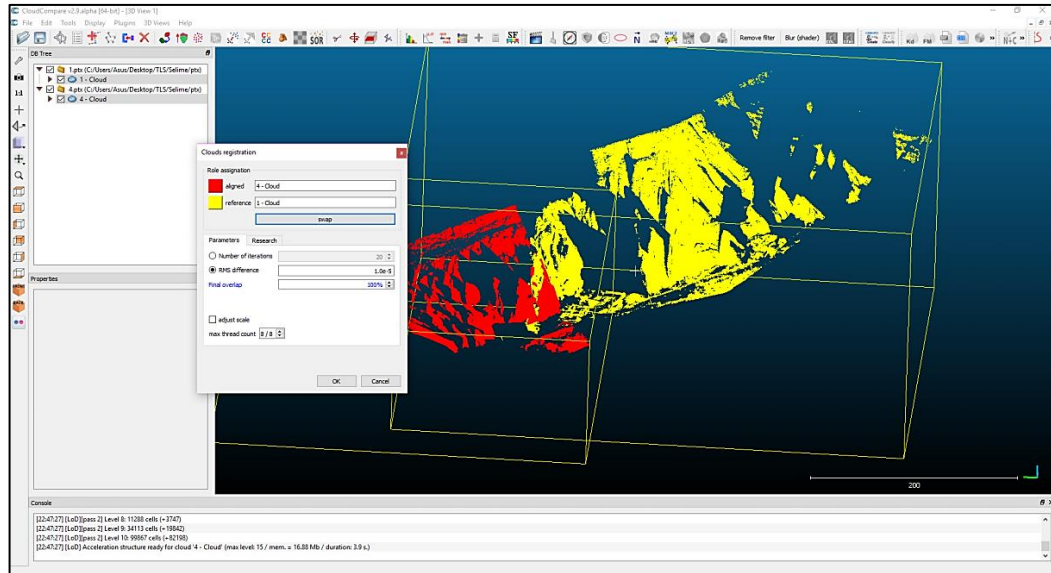
Şekil 2.10: Birinci Oturum.

Nokta bulutlarını birleştirmeden önce renklendirme farklı kaydetme işlemi için Topcon Scanmaster 2.4.1 yazılımı kullanılmıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Scanmaster yazılımında nokta bulutu.

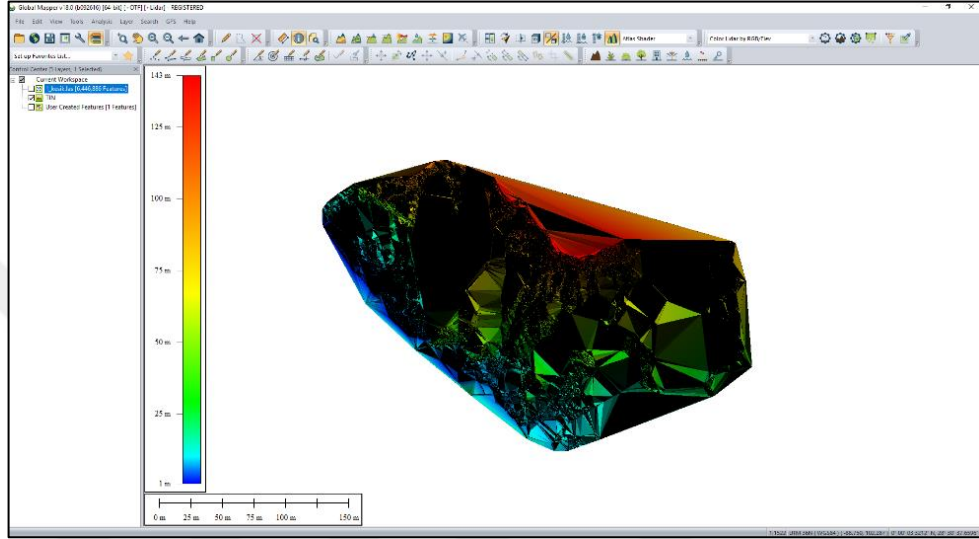
Birinci oturumda toplamda 946166 nokta bulunmaktadır. 2.oturumda ise; 745250 nokta bulunmaktadır. Nokta bulutları Scanmaster yazılımında ptx formatında kaydedildikten sonra Cloud Compare yazılımına aktarılmıştır. Bu çalışmada iteratif en yakın nokta yöntemini kullanarak, ücretsiz ve açık kaynak kodlu yazılım olan Cloud Compare V2.8.1 birleştirilmiştir (Şekil 2.12). Nokta bulutları birleştirildikten sonra koordinat sistemi WGS84 koordinat sistemine dönüştürülmüştür.



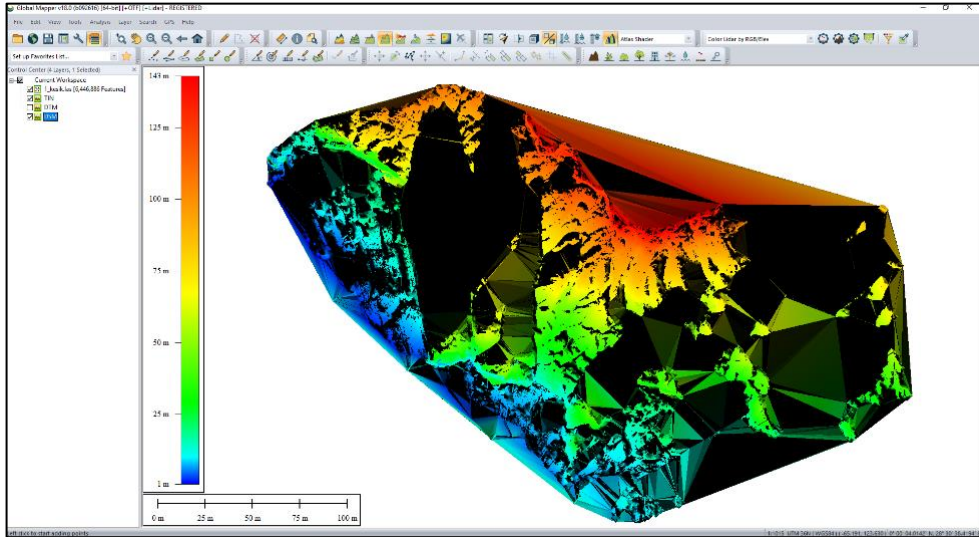
Şekil 2.12: Nokta bulutlarının Cloud Compare yazılımında birleştirilmesi.

2.2.2.2 Nokta bulutlarının analizi

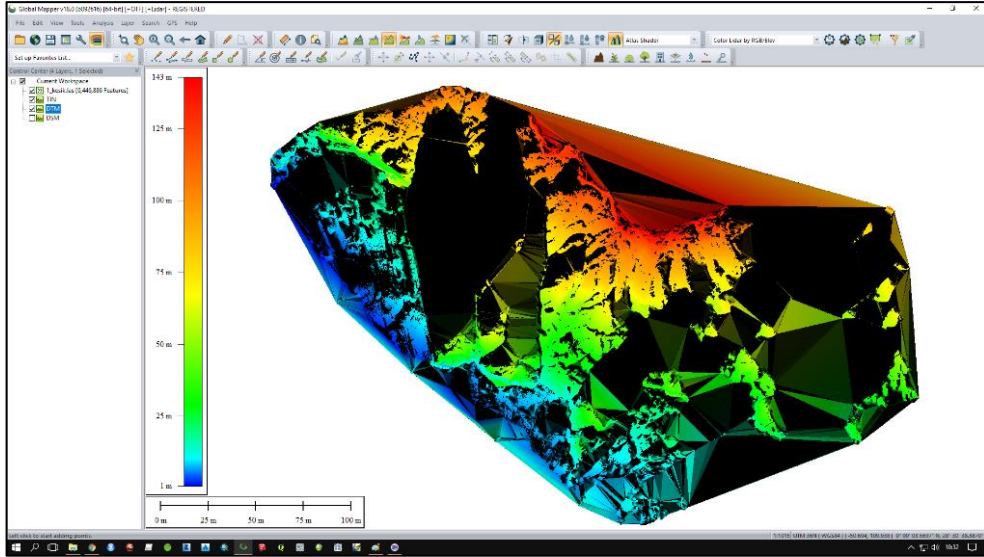
İki farklı oturum şeklinde taranan çalışma alanı Cloud Compare V2.8.1 yazılımında birleştirildikten sonra tek bir nokta bulutu olarak kaydedilmiştir. Kaydedilen bu nokta bulutu Global Mapper V18.0 yazılımında görüntülenmiştir. Değerlendirme sonrasında nokta bulutundan TIN, SAM ve SYM oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veriler Şekil 2.13, Şekil 2.14, ve Şekil 2.15’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.13: TIN verisi.



Şekil 2.14: SAM verisi.



Şekil 2.15: SYM verisi.

Nokta bulutu üzerinden oluşturulan veriler kullanılarak hacim hesaplamaları Cloud Compare v2.8.1 yazılımında yapılmıştır.

2.2.3 Mobil lazer tarama sistemi

Bu çalışmada dinamik ölçmeler için Topcon IP-S2 yersel mobil lazer tarama sistemi kullanılmıştır. Yersel mobil lazer tarama sistemleri ülkemiz için çok yeni bir teknoloji olup ilk olarak 2010 yılının son çeyreğinde Türkiye pazarına girmiştir. IP-S2' nin standart panelvan oto ve kamyonet gibi iki farklı taşıyıcı platform üzerine montaj seçeneği vardır. Bu tez çalışmasında, IP-S2 sistemi panelvan bir araç üzerine monte edilmiştir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16: Topcon IP-S2 yersel mobil lazer tarama sistemi.

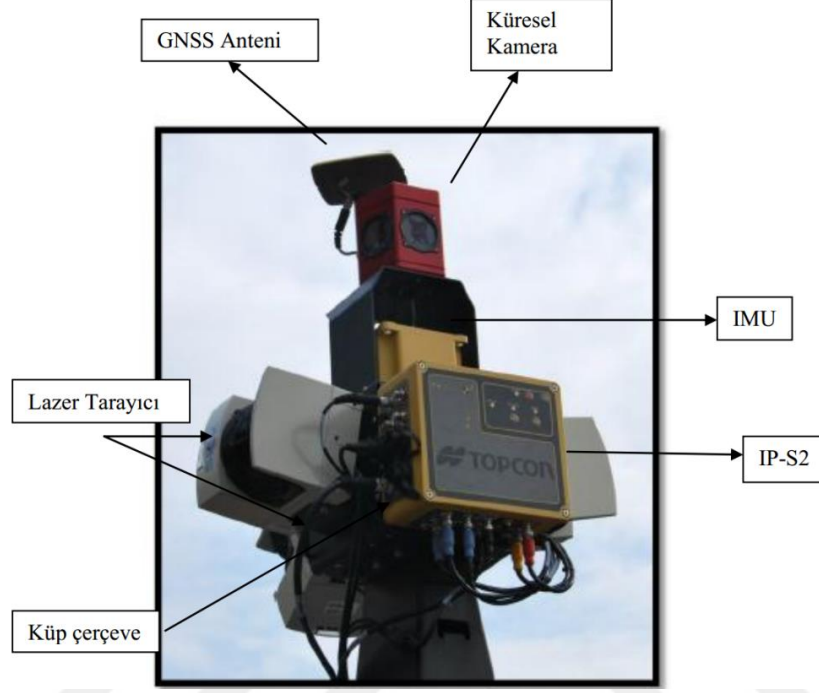
Topcon IP-S2 sistem bileşenleri 3 ana başlık altında toplanabilir;

- a. Görüntüleme birimleri (360⁰ panoramik görüntü kamerası, lazer tarayıcı)

b. Konumlandırma birimleri (GNSS, IMU, Odometer)

c. Entegrasyon birimleri (araç içi yazılım, araç içi bilgisayar, veri toplama yazılımları)

IP-S2 sisteminin görüntüleme ve konumlandırma sensörlerinin bütünleşik görseli Şekil 2.17' de verilmiştir.



Şekil 2.17: IP-S2 sistem bileşenleri (Karasaka, 2012).

a) Görüntüleme birimleri

Küresel kamera: Topcon IP-S2, Point Grey firmasına ait Ladybug3 yüksek çözünürlüklü kamera kullanır. Ladybug3 küresel (360⁰) digital video kamera sistemi fotoğraf veya video görüntü toplamaya imkân veren altı adet Sony marka 2MP çözünürlüklü, 3.3 mm odak uzaklıklı kameraya sahiptir.

Lazer tarayıcı: Topcon IP-S2 yersel mobil lazer tarama sistemi TOF mesafe ölçme prensibi ile çalışan 2 adet SICK™ LMS 291-S05, 1 adet SICK™ LMS 291-S14 olmak üzere toplamda 3 adet lazer tarayıcıya sahiptir. Arazinin tam bir üç boyutlu modelinin elde edilebilmesi için lazer tarayıcıların yatay ve düşey yönde boşluk kalmadan tarama yapması gerekmektedir. Dolayısıyla bir mobil lazer tarama sisteminin tasarımında kullanılacak lazer sensörlerinin sayısı, yatay ve düşey yöndeki tarama açısı ve hangi konumlarda platformun üzerine monte edileceği gibi unsurlar önemlidir.

b) Konumlandırma birimleri

GNSS: IP-S2 sistemi Topcon marka çift frekanslı, 40 kanallı, 20 Hz çalışma frekansında GNSS alıcısı içerir. GNSS alıcısı, Honeywell HG1700 IMU bileşeni ile bütünleşik çalışır. Topcon IP-S2 mobil lazer tarama sisteminde kullanılan GNSS alıcısı stand-alone (tek başına) çözüm yaptığı için hassasiyeti yeterli değildir. Hassasiyeti artırmak için koordinatı bilinen bir noktaya sabit bir GPS alıcısı kurulması gerekir.

IMU: İnersiyal ölçme birimi, kesintisiz olarak 3 ortogonal doğrusal ivme vektörünü ve açılal dönüklüğü ölçen bir sistemdir. INS teorisine göre hareket halindeki bir aracın gücü, sistemin doğrusal ivmesi ile yerçekimi ivmesinin doğrusal bir kombinasyonundan elde edilebilir. IMU jiroskop ve ivme ölçme sistemlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan bir sistemdir.

Odometer (Encoder): Mobil haritalamada kullanılan birçok GNSS/IMU sistemi, mesafe ölçme aleti (DMI) veya odometer ile desteklenmektedir. Odometer, konumlamannın doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaktadır. MLT sistemi ile haritalama aracının arka tekerleğine monte edilen bu alet, aracın hızını doğru bir biçimde belirleyebilmek için kullanılır (Şekil 2.18). Aracın hız bilgisine ilaveten elde edilen diğeri bir bilgi ise tekerin devir sayısına göre katedilen mesafedir.



Şekil 2.18: Odometer.

Topcon IP-S2 yersel mobil tarayıcısı sistem bileşenleri ile ilgili teknik özellikler Çizelge 2.3' de verilmiştir.

Çizelge 2.3: IP-S2 mobil haritalama sisteminin teknik özellikleri.

GNSS Bileşenleri	
Kanallar	20 uydu izleme, all-in-view, L1, GPS, L1/L2 GPS, L1/L2 GLONASS, MSAS, EGNOSL1/L2 GPS + L1/L2 GLONASS, WAAS,
Soğuk/sıcak çalışma süresi	< 60 sec / < 10 sec
Titreşim	30 g's kadar dinamik
Anlık konumlama & ham data	20 Hz' e kadar güncelleme hızı
IMU	
Cinsi	Honeywell HG1700
Veri hızı	100Hz
Gyro bias/drift rate	1°/saat, 3°/saat
GÜÇ	
Girdi besleme voltajı	10-18V
FİZİKSEL	
Boyut	20 x 23 x 10.9 cm (IP-S2 alıcısı) / 58.5 x 58 x 67.3 cm (IPS2 sistemi)
Ağırlık	3.6 kg (IP-S2 alıcısı) / 22.7 kg (IP-S2 sistemi)
LAZER TARAYICI	
Cinsi	2 adet SICK™ LMS 291-S05, 1 adet SICK™ LMS 291-S14
Tarama açısı/Açısal çözünürlük	180°/1° açısal çözünürlük
LMS 291-S05	90°/0.5° açısal çözünürlük
LMS 291-S14	
Ölçme doğruluğu	±45 mm
Menzil	30 m (Max. 80m ile 10% yansıtırlık)
Veri hızı	75 Hz tarama

c) Entegrasyon birimleri

IP-S2: Topcon IP-S2 yersel mobil lazer tarama sisteminin beyni IP-S2 kutusudur. Tüm sistem bileşenlerinin bağlantıları IP-S2 kutusu üzerinde yer alan giriş portları ile sağlanmaktadır.

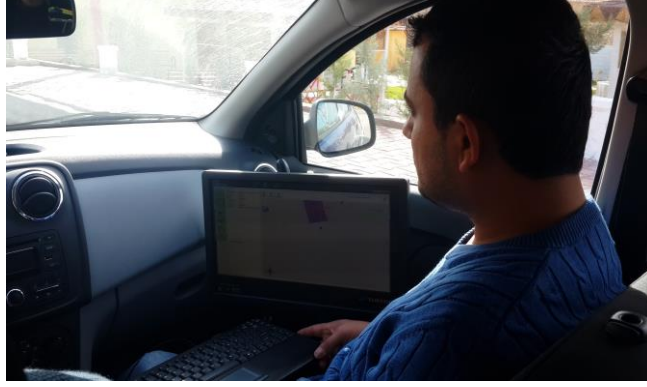
Küp çerçeve-(Cube Mount): Topcon IP-S2 bütün sensörleri tek bir blok üzerinde birleştiren küp çerçeve sistemi kullanır. Küp çerçeve sistemi sayesinde bütünleşik IP-S2 sistemi araç üzerine kolayca ve hızlı bir biçimde monte edilip tekrar sökülebilir.

Araç içi bilgisayar: Ethernet ve 1394b kablosu üzerinden IP-S2'ye bağlı bir araç içi bilgisayar bağlantısı ile veri kaydının yanı sıra tüm sensörlerin sağlıklı bir şekilde çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. IP-S2 araç içi bilgisayarı zaman senkronizasyonu için bir arayüz sağlamaktadır.

2.2.3.1 Mobil lazer tarama sistemi verilerinin analizi

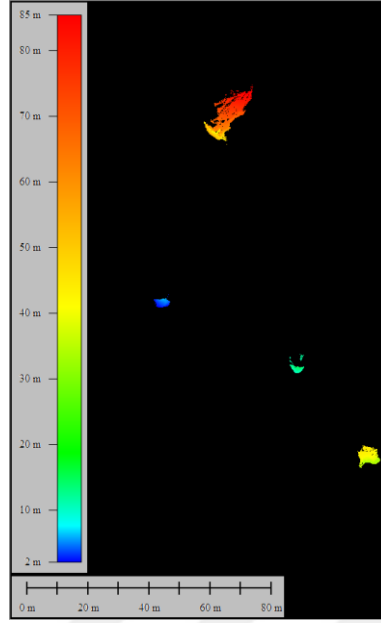
Yersel mobil lazer tarama sistemi ile yüksek çözünürlüklü LİDAR verisi elde etme çalışmalarına başlamadan önce bütünleşik IP-S2 sisteminin araç için özel tasarlanmış platform üzerine kurulumu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan IPS2 lazer tarama sistemi panelvan bir araç üzerine monte edilmiştir.

Tek bir blok üzerinde (küp çerçeve) bütün sensörlerin konumlandırılmış olması Topcon IP-S2'yi piyasada bulunan diğer yersel mobil lazer tarama sistemleri içerisinde araçtan bağımsız olarak kolayca taşınabilen en hafif sistem kılmaktadır. Bütünleşik IP-S2 sisteminin araç üzerindeki platforma kurulumu kısa sürede tamamlandıktan sonra tüm sistem bileşenlerinin araç içi bilgisayar ile iletişimini sağlayan GPS, IMU, LiDAR ve odometer verilerinin aktarıldığı ethernet kablosu ve kamera görüntülerinin aktarıldığı 1394b kablosunun bağlantıları yapılmıştır. Tüm bağlantılar tamamlandıktan sonra konumlandırma ve görüntüleme sensörlerinin sağlık bir şekilde çalışıp çalışmadığı RT Viewer, Ladybug Cap Pro yazılımları ile kontrol edilmiştir. Veri elde etme parametreleri ayarlandıktan sonra tüm sensörler için veri kaydı Spatial Collect yazılımı aracılığıyla başlatılmıştır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19: Veri kaydı.

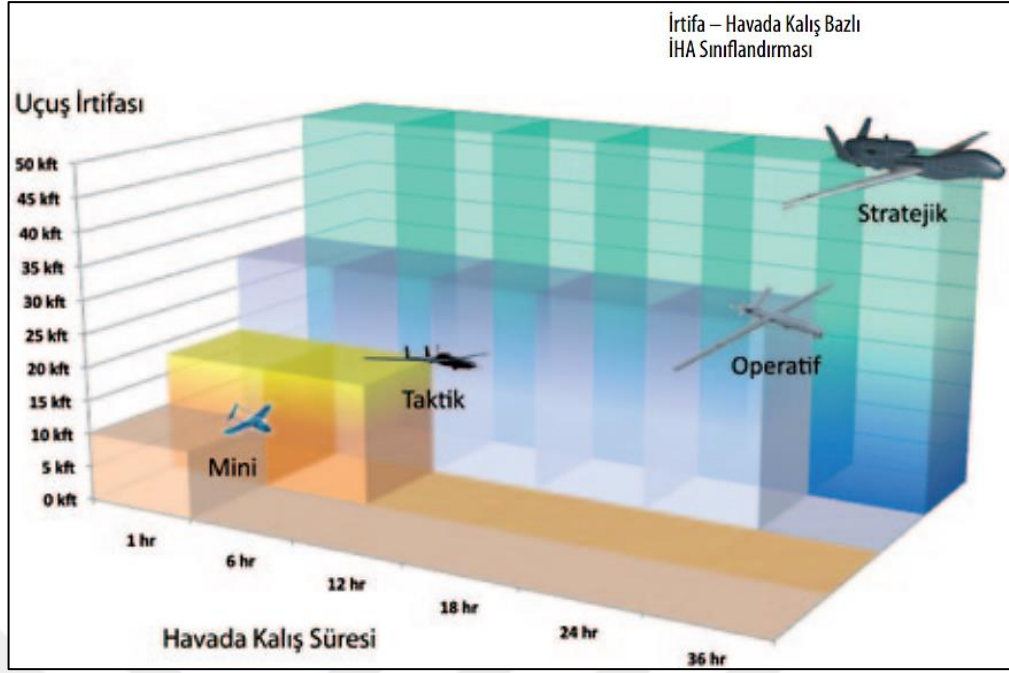
IP-S2 yersel mobil lazer tarama sistemi ile toplanan ham verileri işlemek için TOPCON tarafından geliştirilen GeoClean yazılımı kullanılmaktadır. Geoclean yazılımında ham verilerin işlenmesinden sonra IP-S2 yörüngesi ve panoramik görüntülerle ilişkilendirilmiş georeferanslanmış nokta bulutu verisi Spatial Factory yazılımına aktarılmaktadır. Basit bir kullanıcı arayüzüne sahip olan Spatial Factory yazılımı nokta bulutu ve görüntülerin aynı anda görüntülenmesini imkân tanımaktadır. 3 boyutlu uzayda mesafe ölçümü yapılabilmekte, 3 boyutlu nokta ve çizgi verisi oluşturulabilmektedir. Konumsal veritabanı oluşturabilmek için nesnelere .shp formatında CBS ortamına aktarılabilmektedir (Karasaka, 2012). Veriler oluşturulduktan sonra .las formatında kaydedilip Global Mapper v18.1 yazılımında kaya bloklarının hacimleri hesaplanmıştır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20: MLT sistemleri ile kaya bloklarının hacimlerinin hesaplanması.

2.2.4 İnsansız hava aracı sistemi (İHA)

İnsansız Hava Araçları (İHA), içerisinde uçuş ekibi (pilot) olmadan, aerodinamik uçuş prensiplerine göre aralıksız olarak otomatik ya da yarı otomatik uçabilme özelliğine sahip araçlardır (Saripalli, 2003). İHA kullanımında yer ile irtibatı sağlayan tümleşik otomasyon sistemleri İnsansız Hava Aracı Sistemleri olarak tanımlanmaktadır. İHA kullanımının ilk örnekleri 1. Dünya Savaşı sırasında ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda İHA'lar askeri amaçlar doğrultusunda taarruz, izleme, keşif, gözetleme ve haritalama görevlerinde kullanılmıştır (Remondino vd, 2011). Geomatik uygulamalar için gerçekleştirilen ilk sivil çalışma ise Przybilla ve Wester-Ebbinghaus (1979) tarafından yapılmıştır. İHA havada kalış sürelerine, ağırlıklarına, irtifa yüksekliklerine ve kullanım alanlarına göre farklı sınıflandırmalara tabi tutulmuştur. İHA ve İHAS sınıfları Mini, Taktik, Operatif ve Stratejik olarak 4 ana gruba ayrılmaktadır (Haser 2010, Akgül vd. 2016) (Şekil 2.21).



Şekil 2.21: Havada kalış bazlı İHA sınıflandırması (Haser, 2010).

İHA' ların genel olarak avantajları;

- İHA' lar kullanıcılarına geniş bir görev yelpazesinde çok daha yüksek esneklik sağlamaktadır.
- Pilotlu uçaklara göre üretim veya satın alma maliyetleri çok daha azdır.
- Yakıt tüketimi ve uçuş maliyetleri düşüktür.
- Bir yer operatörü birden fazla aracı kontrol edebileceği için hem maliyet hem yetişmiş operatör ihtiyacı noktasında önemli bir avantaj getirmektedir.
- Risk altında bir pilot veya operatör yoktur. Aracın kaybının insani ve toplumsal bir sonucu yoktur.
- Mini İHA' lar hedef bölgelere çok yakın görev yaparak, bölgenin kuş bakışı görüntülerini aktarabilmektedir.
- Kimyasal, biyolojik ve radyoaktif olarak kirletilmiş bölgelerde görev yapabilmekte, kirlenme ve derecesi ile ilgili ölçümler yapabilmektedir.
- Bir pilot için geçerli olan hız, basınç ve hava şartları gibi sınırlamalardan çok daha az etkilenmektedir.
- Operatör yetiştirme maliyeti uçak pilotlarına göre daha düşüktür.
- Yer operatörünün değişebilirliği nedeniyle, bir pilotun gösterebileceği yorgunluk ve tükenmişlik gibi fiziki ve psikolojik olumsuzluklar söz konusu değildir.

- Yer operatörünün desteği olmadan uçabilecek ve iniş kalkış yapabilecek modeller geliştirilmektedir.
- Haberleşme linkleri sayesinde karadan, havadan ve denizden komuta ve kontrole uygundur.
- 48 saate kadar çok uzun süreler havada kalabilmektedir. Bu süre gelecekte farklı yakıt ve enerji sistemleri ile artacaktır.
- Havada yakıt ikmali yeteneğinin kazandırılması ile uçuş süresi artabilecektir.
- Sınıfına göre 65 bin feet irtifaya kadar yükseklikte görev yapabilmektedir. Bu irtifa yeni bazı modellerde 90 bin feet' e kadar çıkabilecektir.
- Elektro-optik sistemlerle gece ve gündüz görev yapabilmektedir.
- Faydalı yük taşıma kapasitesine göre üzerine her türlü iletişim ve optik araç monte edilebilmektedir.
- Uzun süreler için eş zamanlı bilgi ve görüntü alma ve aktarma yeteneğine sahiptir.
- Takım halinde uçurulması durumunda çok daha büyük alanları boşluk bırakmaksızın gözetleme imkânı sunmaktadır.
- Oldukça sessiz olması, küçüklüğü, düşük radar izi nedeniyle havadayken varlığının tespiti çok daha zordur.
- Sınıfına göre, her yeni model artan kapasitede mühimmat ve faydalı yük taşıma kapasitesine ulaşmakta ve sürekli gelişim göstermektedir.

İHA'ların dezavantajları;

- İHA operatörünün taktik alandaki ortamsal duyarlılığı uçak içinde görev yapan pilottan daha düşüktür. Bu nedenle, İHA operatörleri araca yönelebilecek tehditleri algılama yeteneğinden yoksundur.
- Araç ile operatör arasındaki mesafe tepki süresindeki gecikmeyi beraberinde getirmektedir.
- İnsanlı hava araçları gibi ekstrem hava şartlarında uçuşları riskli ve sınırlıdır.
- Ağ merkezli bir komuta kontrol ve muharebe yönetim sistemine ve iletişim ağına bağımlıdır.
- Geniş bant haberleşme ağına ihtiyaç duymaktadır.
- İletişim ve veri akışının izlenmesi ve sürece müdahale edilmesi mümkündür.
- İHA' lar ile yer kontrolü arasındaki bağı kopması durumunda araçlar yer unsurları için risk oluşturabilmektedir.

- Hedeflerin doğruluğunu teyit edecek diğer karar destek ve operasyon unsurları ile birlikte çalışılmaması durumunda silahlı İHA' larla masum sivillerle zarar verilmesi kaçınılmazdır.

Bu tez çalışmasında Parrot Group tarafından üretilen SenseFly eBee Rtk model uçak kullanılmıştır. Bu uçağa ait teknik özellikler Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4: SenseFly eBee Rtk model uçağın özellikleri (URL9).

	
Ağırlık (Kamera ile birlikte)	Yaklaşık 0,73 kg
Kanat Genişliği	96 cm
Malzeme	EPP Köpük, Karbon şekillendirici, Kompozit malzeme
Motor	Elektrikli pervane, 160 W fırçasız DC motor
GNSS/RTK alıcısı	L1/L2, GPS & GLONASS
Batarya	11.1 V, 2150 mAh
Maksimum uçuş zamanı	40 dakika
Belirlenen uçuş hızı	40-90 km/s
Radyo link mesafesi	3 km'ye kadar
Kullanılabileceği maksimum rüzgâr	45 km/s'e kadar
İniş doğruluğu	Yaklaşık 5 m hassasiyetle
3B Çizim programı (Diğer uçaklardan üretilen veriler için de kullanılabilmektedir.)	Menci Software, Pix4D Mapper

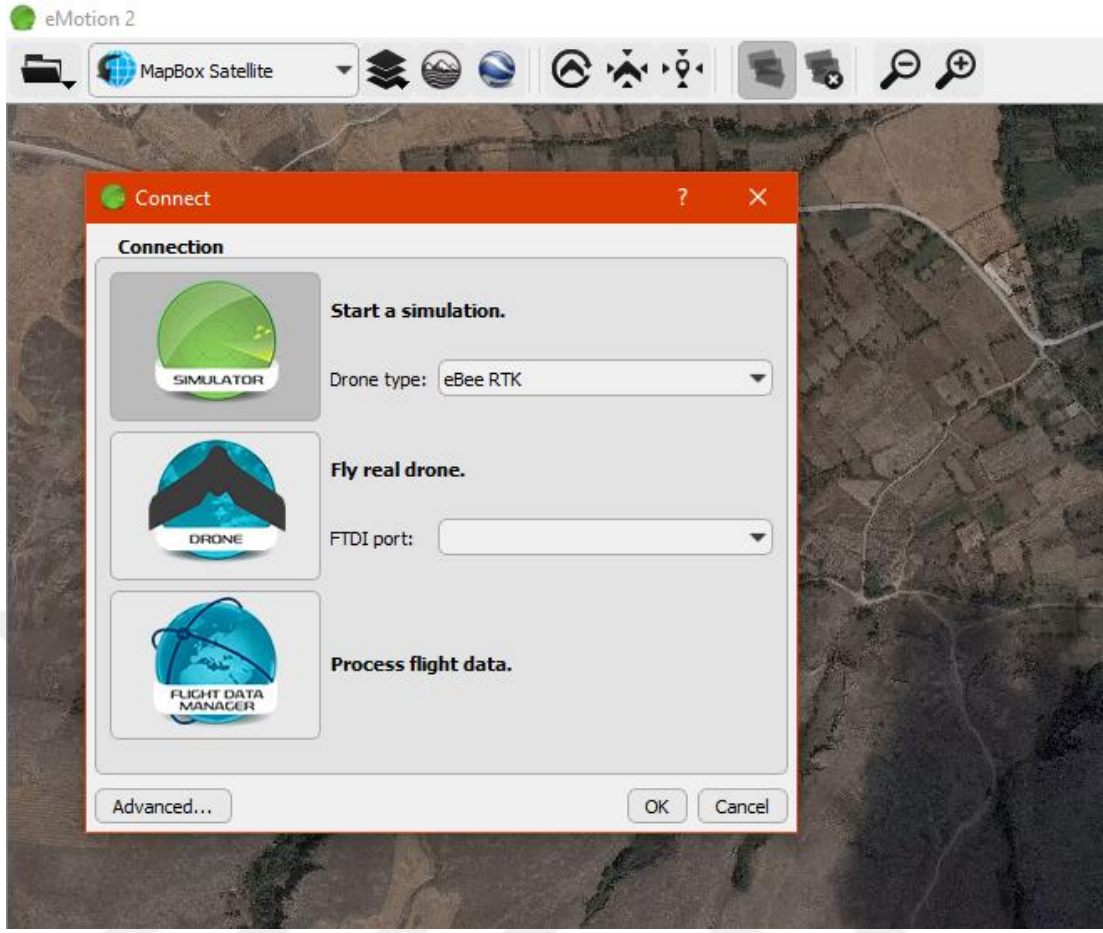
İHA'ların genel olarak kullanım alanları;

- Sayısal arazi modeli üretimi ve 3 boyutlu kent modellemeleri
- Ortofoto harita üretimi,
- Sayısal harita üretimi,
- Kentsel dönüşüm alanlarının ölçümü,
- İnşaat alanlarının takibi,

- Baraj havzalarının ölçümü ve haritalanması,
- Havza alanlarının yönetilmesi,
- Tarihi yapıların tespiti,
- Arkeolojik çalışma alanlarının ölçümü,
- Orman amenajman altlıklarının hazırlanması,
- Orman yangın alanlarının ölçümü,
- Büyük sanayi bölgelerinin ölçülmesi ve 3 boyutlu modellenmesi,
- Maden sahalarının ölçümü,
- Taşocaklarının ölçümü- Hacim hesaplamaları,
- Bataklık alanların ölçümü,
- Çöp atık alanlarının ölçümü,
- HES projeleri için sayısal yükseklik modellerinin oluşturulması,
- Mera alanlarının ölçümü,
- Doğal afet bölgelerinin acil durum haritalarının hazırlanması,
- Sivil taşımacılık ve nakliye,
- Hava durumu tahmini, atmosferik araştırma, okyanus gözlemleri, kasırga oluşumu incelenmesi, volkanik çalışmalar,
- Keşif, gözetleme, istihbarat, sel izleme, deprem izleme, sahil gözetleme, uluslararası sınır devriyesi, uyuşturucu trafiği kontrolü, çevresel gözetleme, nükleer ve zehirli gaz radyasyonu izleme, ekin ve harman izleme,
- Hedef tespiti ve izleme,
- Fiziksel saldırı ve tahrip olarak sıralanabilir.

2.2.4.1 Uçuş öncesi hazırlıklar

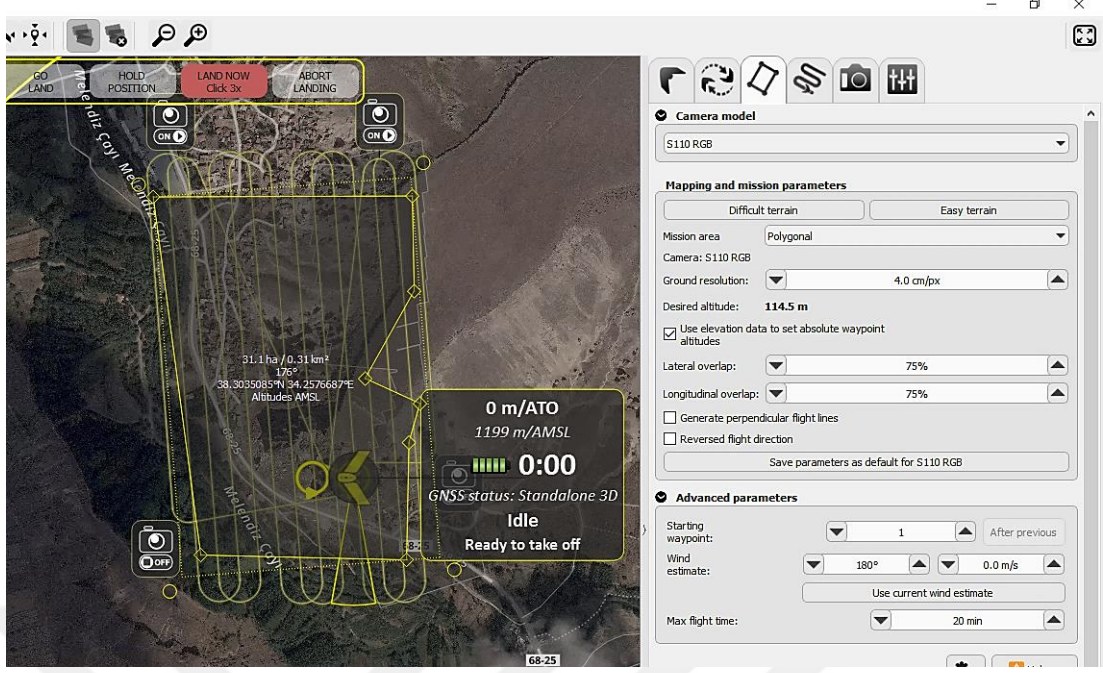
İHA ile uçuş yapılması planlanan alan yaklaşık 75 hektar olarak belirlenmiştir. İHA ile uçuş yapmadan önce planlama aşamasında detaylı uçuş planı hazırlanarak uçuş simüle edilmelidir. Uçuş öncesinde riskli alanlar var ise simülasyon sayesinde uçağın çakılma ya da düşme potansiyeli değerlendirilmiş olacaktır. Çalışmada kullanılan İHA'nın uçuş planlaması e-Motion programı yardımıyla yapılmaktadır. Program açıldığında karşımıza 3 farklı seçenek çıkar. Karşımıza gelen seçeneklerden ilkinde yer alan uçak tipine göre seçim yapılarak uçuşa dair simülasyon başlatılır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22: Simülâtörün başlatılması.

Karşımıza gelen ekranda yer alan 2.seçenek ile uçuş planı hazırlandıktan sonra uçağın uçuş esnasında kontrol edilmesini sağlar. 3.seçenek ise herhangi bir uçuş sonrasında verilerin aktarılıp değerlendirme yazılımlarında işlenmesini sağlar.

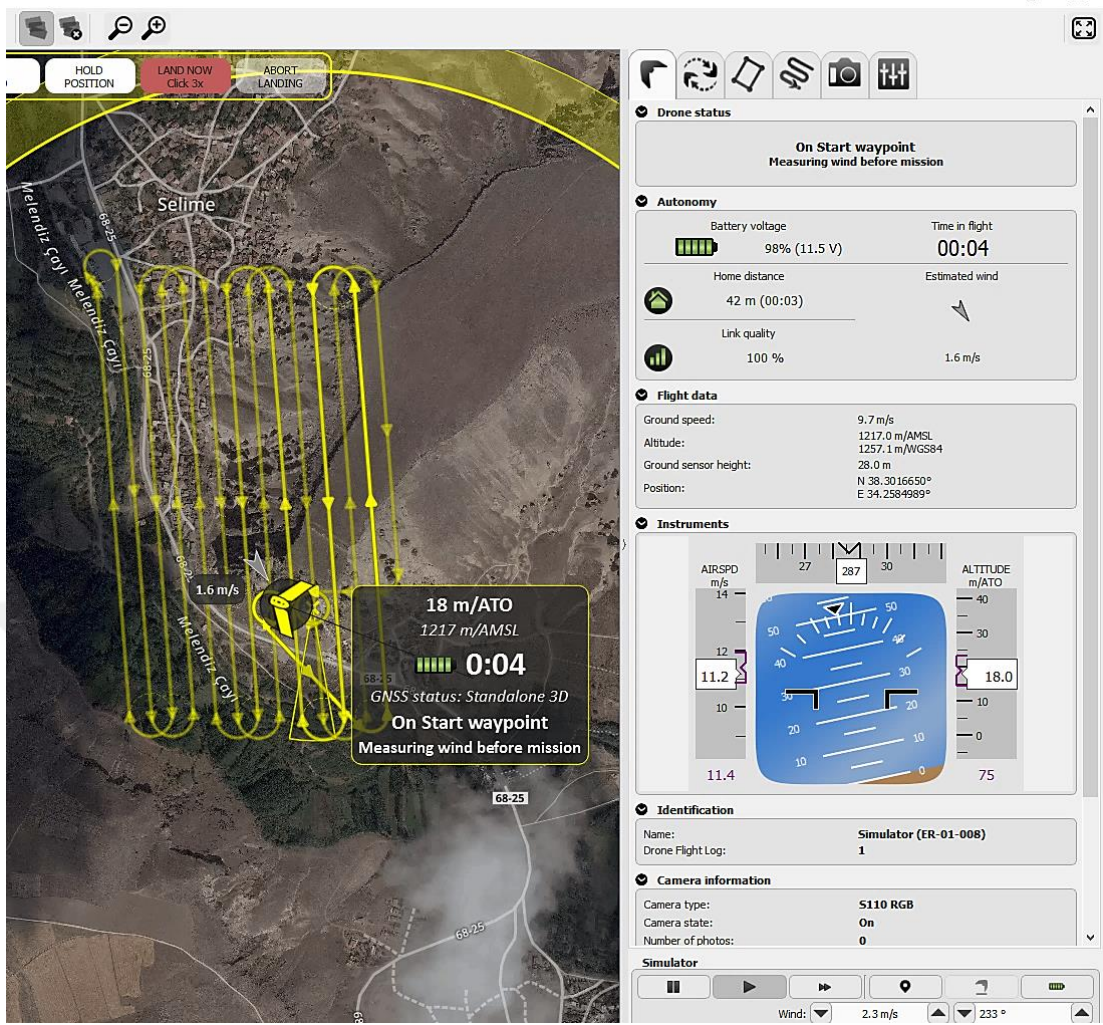
Simülâtör çalıştırıldıktan sonra ilk olarak çalışma alanı belirlenir. Poligon şeklinde çalışma alanı seçildikten sonra uçuş yönü okları takip ederek belirlenir. Uçuş yönü belirlendikten sonra yer örnekleme aralığı (YÖA) girilir. Çalışmada YÖA 4 cm olarak belirlenmiştir. YÖA girildikten sonra uçuş esnasında uçağın topografyayı göz önünde bulundurması için gerekli olan seçenek işaretlenir. Enine bindirme %75 ve boyuna bindirme %75 olarak ayarlanmıştır. Temel parametreler programa girildikten sonra uçağın iniş kalkış yeri yaklaşık olarak belirtilir. Bu yer arazide kontrol edilerek tekrar güncellenir. Bilgiler girildikten sonra program otomatik olarak uçuş sayısını vermektedir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23: Çalışma alanının belirlenmesi.

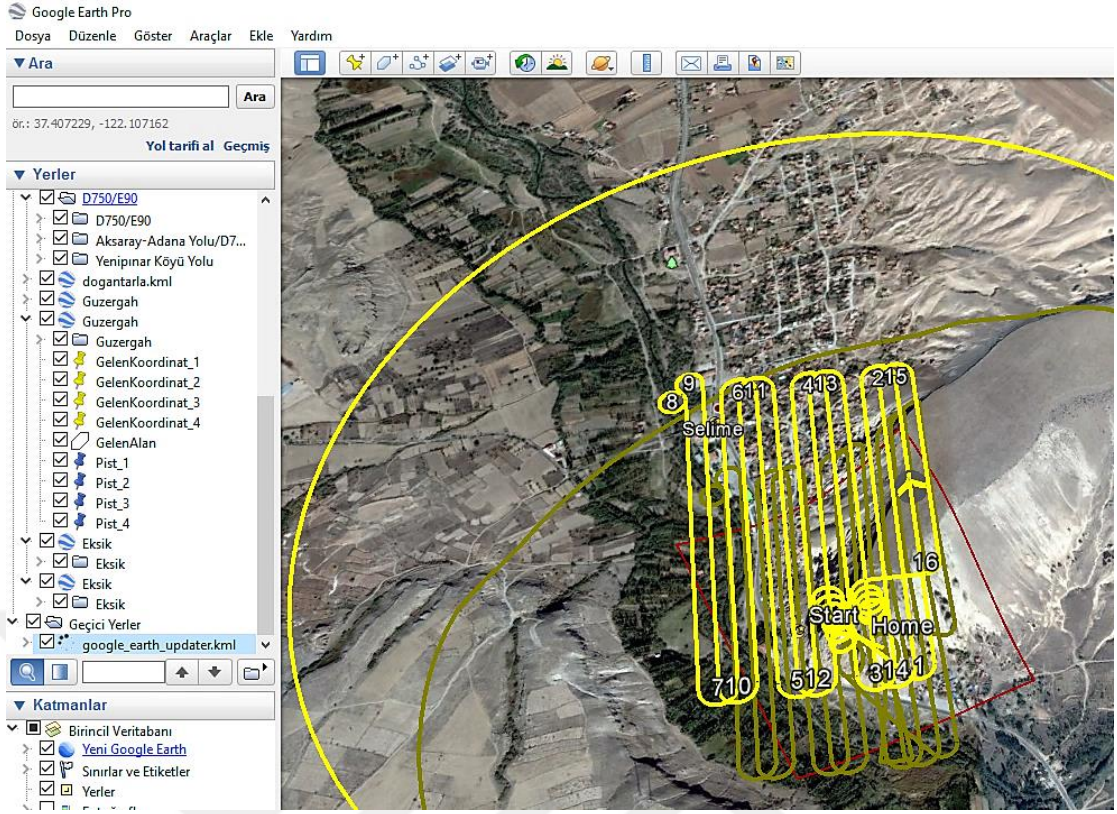
Risk almamak adına uçağın en fazla gidebileceği yer daire olarak verilerek, uçağın o sınır içerisinde uçuşması sağlanır. Çalışmada bu daire sınırı yarıçap 1500 metre olarak belirlenmiştir.

Bütün parametreler girildikten herhangi bir uçuş seçilerek uçuş simülasyonu başlatılır. Örnek uygulamada 1. uçuş güzergâhı seçilmiştir. Uçuş izlenerek risk yaratan bir durum varsa planlama duruma göre güncellenir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24: Uçuş simülörünün başlatılması.

Uçuş simülörüyle Google Earth (GE) birlikte çalıştırılarak uçağın kalkış-iniş, uçuş kolonuna giriş, güzergâhlardaki fotoğraf çekim anları gibi uçuş sırasındaki bütün özellikler izlenebilir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25: GE üzerinde uçağın izlenmesi.

Uçuş ile ilgili büroda yapılması gereken ön hazırlıklar tamamlandıktan sonra araziye çıkılarak planlanan uçuşların gerçekleştirilebilmesi için öncelikle konum itibarıyla mümkünse planlanan alanın yaklaşık orta noktasına sabit Global Positioning System (GPS) aleti kurulur. Sabit istasyon kurulurken etrafta ağaç, büyük bina gibi uçak ile yer kontrol merkezinin sinyalini kesecek detaylara dikkat edilmelidir. Sabit GPS kurulduktan sonra yer kontrol merkezi ile ilgili ayarlamalar yapılır ve bilgisayarımıza uçuş planı yüklenir (Şekil 2.26). Uçuşa başlamadan önce rüzgâr durumu göz önüne alınır.



Şekil 2.26: Yer kontrol merkezinin ayarlarının yapılması.

Uçuş öncesi hazırlıklar tamamlandıktan sonra uçak fırlatılarak uçuş gerçekleştirilir (Şekil 2.27).

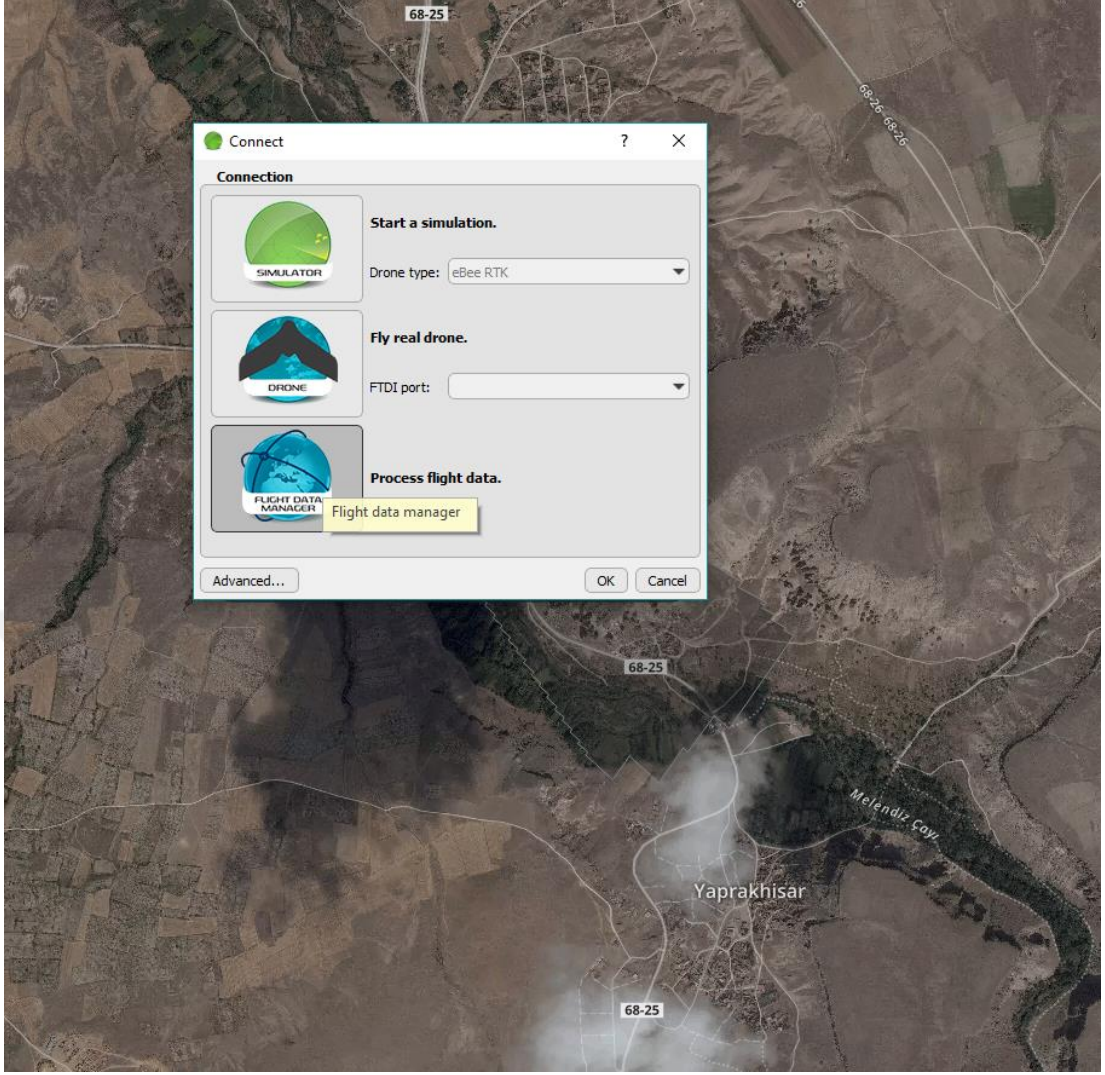


Şekil 2.27: Uçuşa başlanması.

2.2.4.2 Uçuş verilerinin analizi

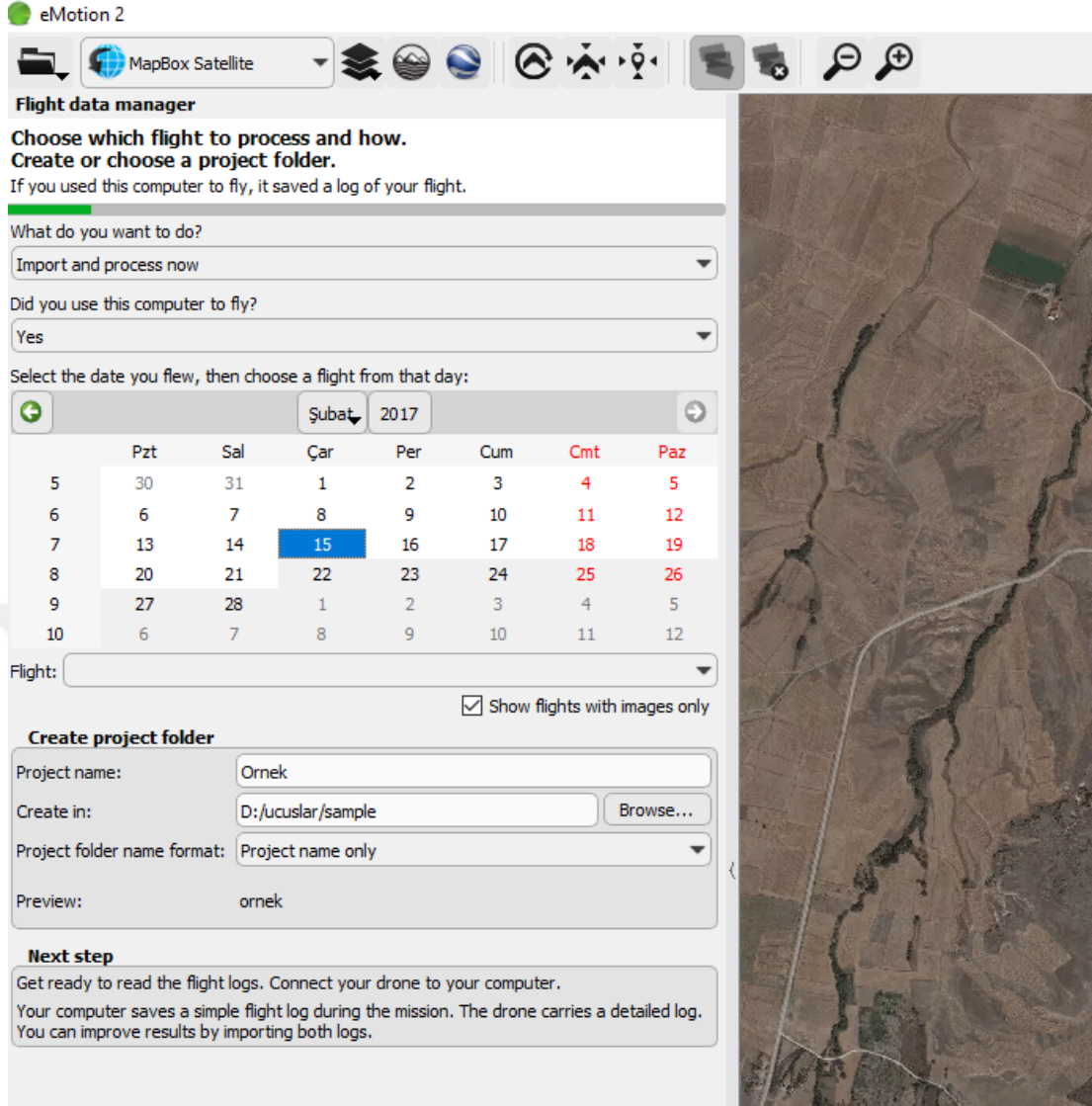
Uçuş verilerinin analizine başlamadan önce veriler düzenlenmelidir. Düzenleme esnasında sabit olarak kurulan GPS alıcısının koordinatı uçuş bittikten sonra (Çalışmada koordinat 60 epokluk ölçü ile belirlenmiştir) WGS84 koordinat sisteminde iki kez ölçülmüştür. Yapılan bu iki ölçümün ortalaması alınmıştır ve sabit olarak kurulan noktanın koordinatı bu değer olarak belirlenmiştir.

eMotion programını çalıştırılır. Karşımıza gelen ekranda 3.seçenek olan Process flight data seçilir (Şekil 2.28).



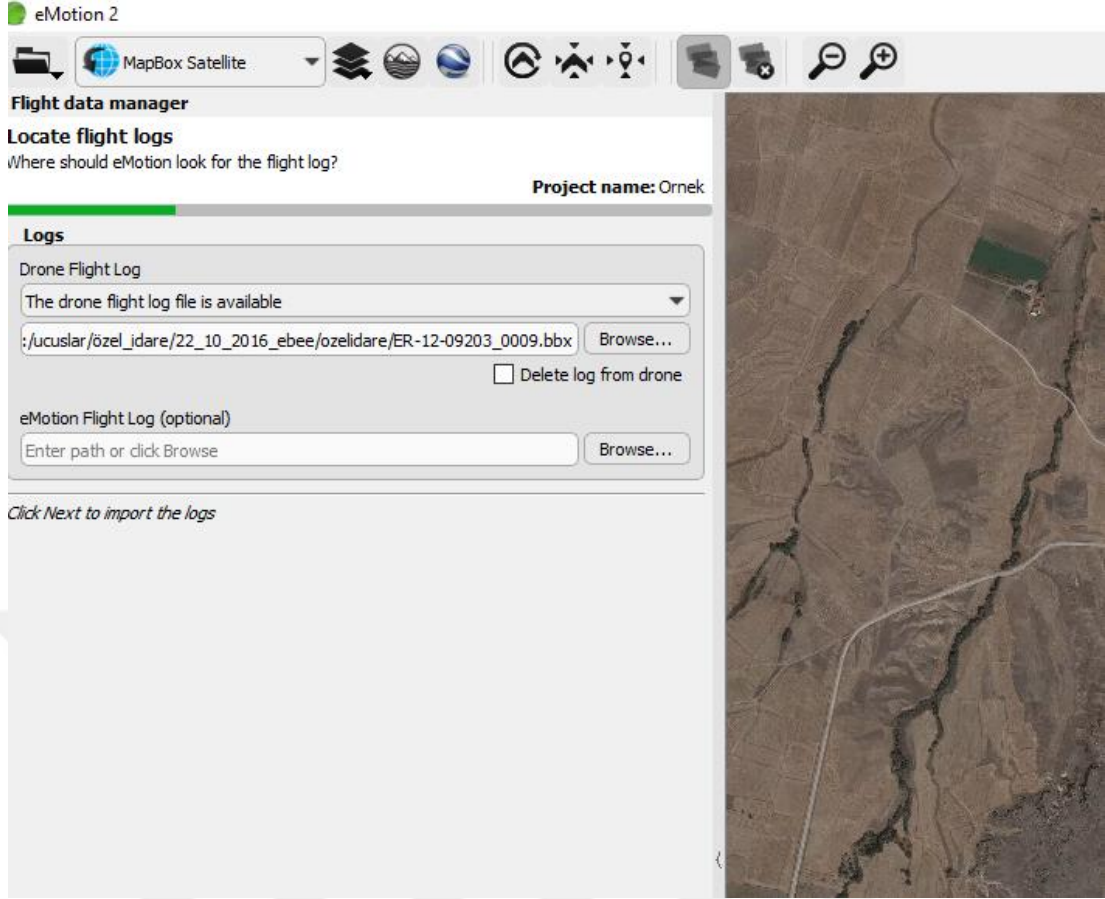
Şekil 2.28: Process flight data seçeneğinin seçilmesi.

Açılan ekranda uçuş ile ilgili ne yapmamız gerektiğini sormaktadır. Bu kısımda process işlemini seçiyoruz. Eğer başka bilgisayar kullanılarak uçuş esnasında uçak kontrol edilmişse o seçeneği seçilir. Uçuş tarihini seçtikten sonra alt kısımda yer alan proje çıktı dosyalarının nereye kayıt edileceği gösterilir (Şekil 2.29).



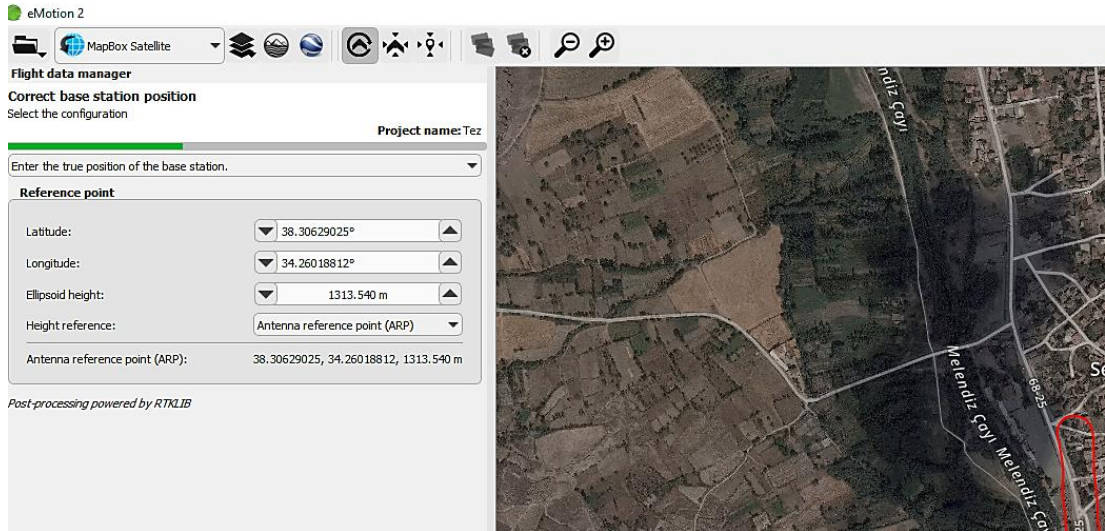
Şekil 2.29: Uçuş verilerine ait çıktı klasörlerinin oluşturulması.

Arayüzde ilerlenerek bir sonraki kısma geçilir. Uçağa ait log (uçuş esnasında uçuşa ait bilgilerin olduğu dosya) dosyası gösterilir ve bir sonraki bölüme geçilir.



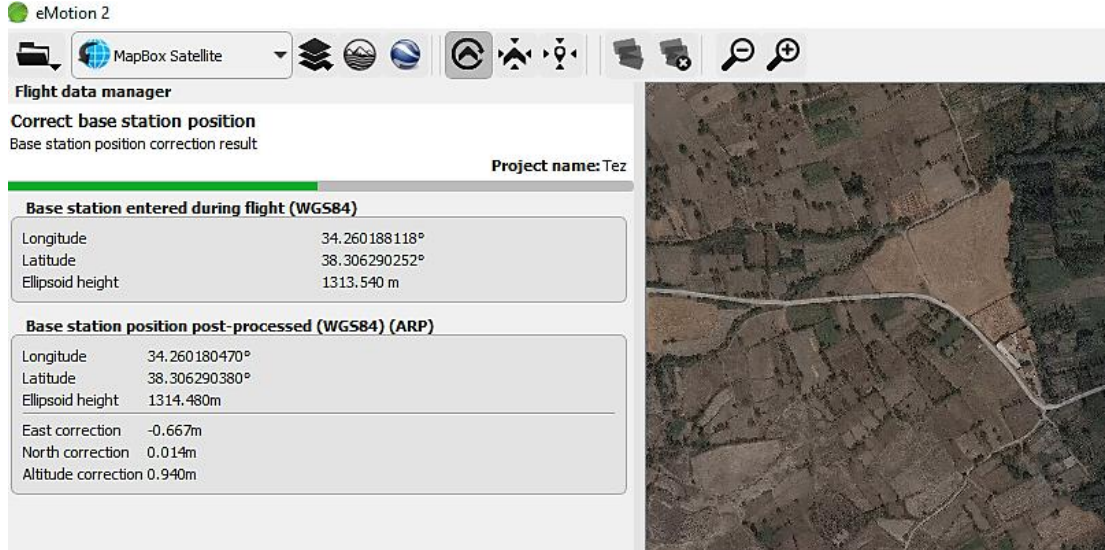
Şekil 2.30: Log dosyalarının okutulması.

Bu kısımda ortalaması alınan koordinat değerleri coğrafik koordinat sisteminde girilir (Şekil 2.31).



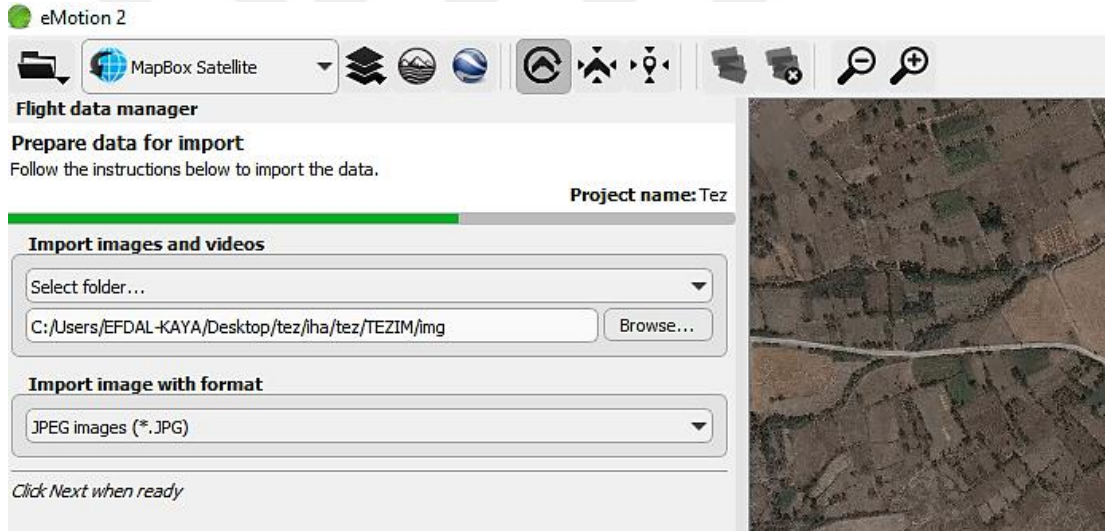
Şekil 2.31: Koordinat bilgilerinin girilmesi.

Koordinat bilgilerini girdikten sonra uçuşa başlamadan önce alınan koordinat değerine getirilen düzeltmeler görülmektedir (Şekil 2.32).



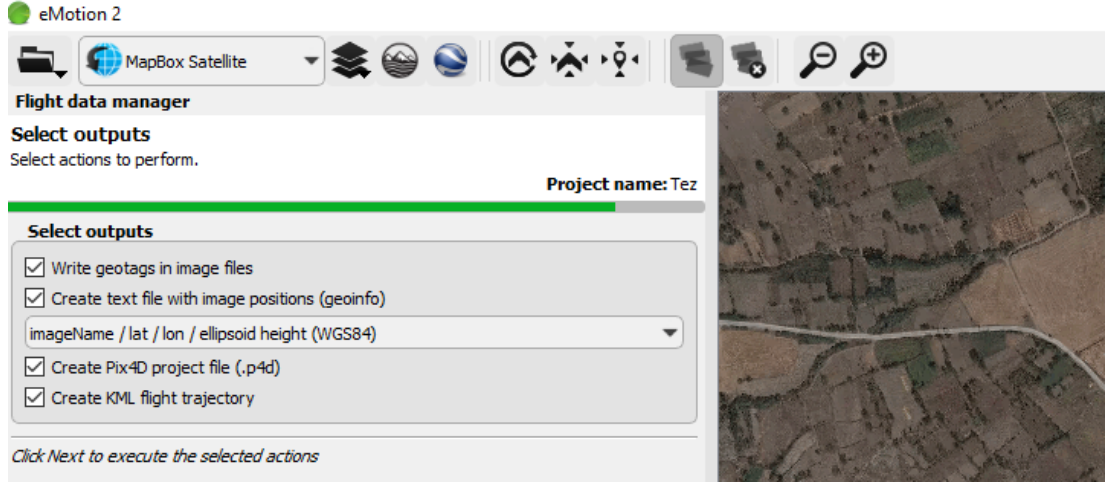
Şekil 2.32: Düzeltilen koordinat bilgileri.

İleri seçeneğine tıklandıktan sonra karşımıza gelen ekranda, fotoğrafların bulunduğu dizin gösterilir (Şekil 2.33).



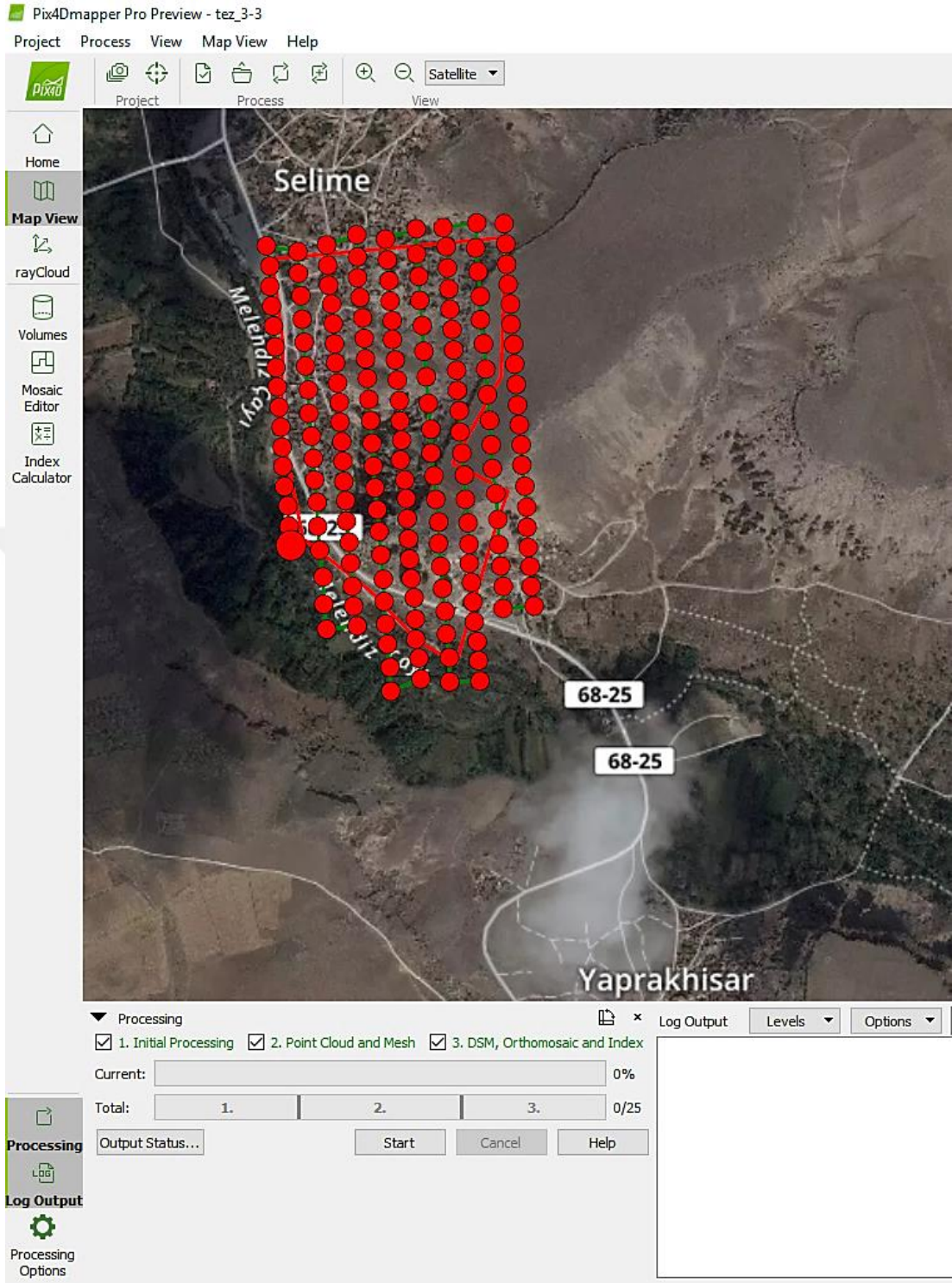
Şekil 2.33: Fotoğrafların gösterilmesi.

Fotoğrafların uçuş sırasında GPS alıcısından alınan koordinat bilgileri ve kameraya ait bilgilerin eşleştirme durumu incelenir ve diğer bölüme geçilerek Pix4D yazılımında kullanmak üzere dosya oluşturulur (Şekil 2.34). Aynı zamanda çalışma alanına ait GE dosyası da oluşturulur.



Şekil 2.34: Çıktı dosyaları.

eMotion programında referans koordinat bilgileri girildikten sonra son işlem adımında oluşturulan Pix4D dosyası Pix4D Mapper Pro yazılımında açılır (Şekil 2.35).



Şekil 2.35: Pix4D Mapper Pro yazılımında dosyanın açılması.

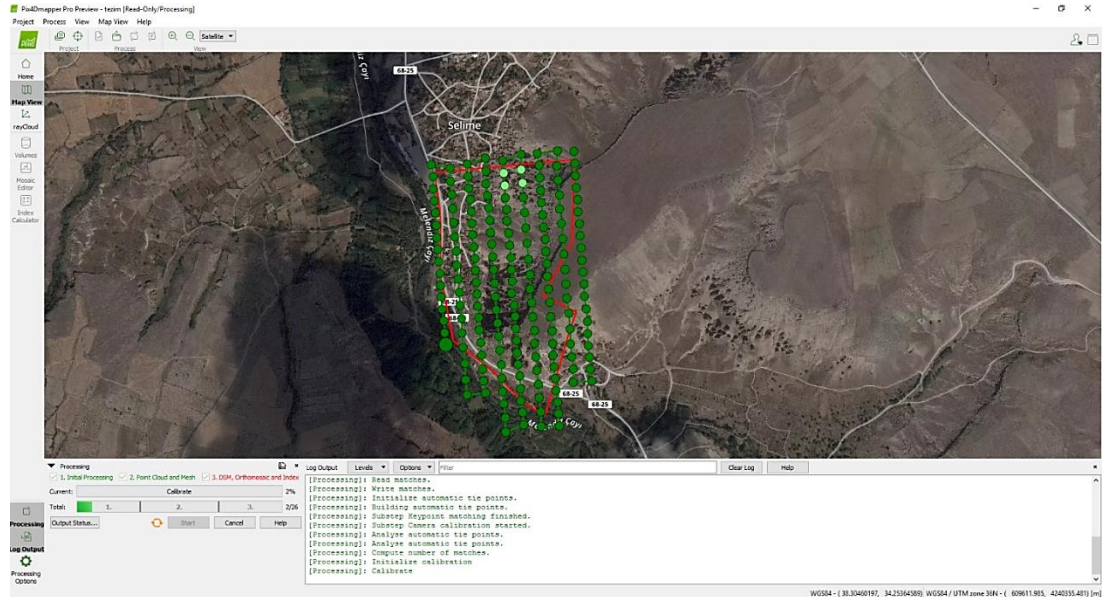
Dosya açıldıktan sonra Processing Options kısmı açılarak ayarlar yapılır. Bütün veriler aynı anda ya da parçalara ayırarak değerlendirilebilir. Process süreci üç kısma ayrılır. İlk kısım Initial Processing olarak isimlendirilir. Bu kısımda çekilen fotoğraflar eşlenir. Oluşturulacak nokta bulutu, SAM, SYM gibi sonuç ürünlerinin özellikleri hesaplanır.. Bu işlem tamamlandıktan sonra projeye ait bir çıktı dokümanı otomatik

olarak oluşturulur. Çıktı dokümanı içerisinde projeye ait özet bilgiler, ortomozaik, SAM, SYM, fotoğrafların başlangıç pozisyonları, bağlama noktalarının konumları, kameraya ait iç yöneltme değerleri, blok dengelemesine ait detaylar, sistem bilgileri, oluşturulacak nokta bulutlarına ait özellikler bulunur.

İkinci kısım, nokta bulutu ve mesh model ayarlarının yapıldığı kısımdır. Point cloud menüsü içerisinde nokta bulutunun oluşturulması sırasında kullanılan fotoğrafların hangi boyutta kullanılacağı, nokta bulutunun yoğunluğu, nokta bulutunun hangi formatta kaydedileceğine dair ayarlar yapılır. 3D Textured Mesh bölümünde ise mesh modelin hangi çözünürlükte oluşturulacağı ve istediğimiz sonuç ürün formatları seçilir.

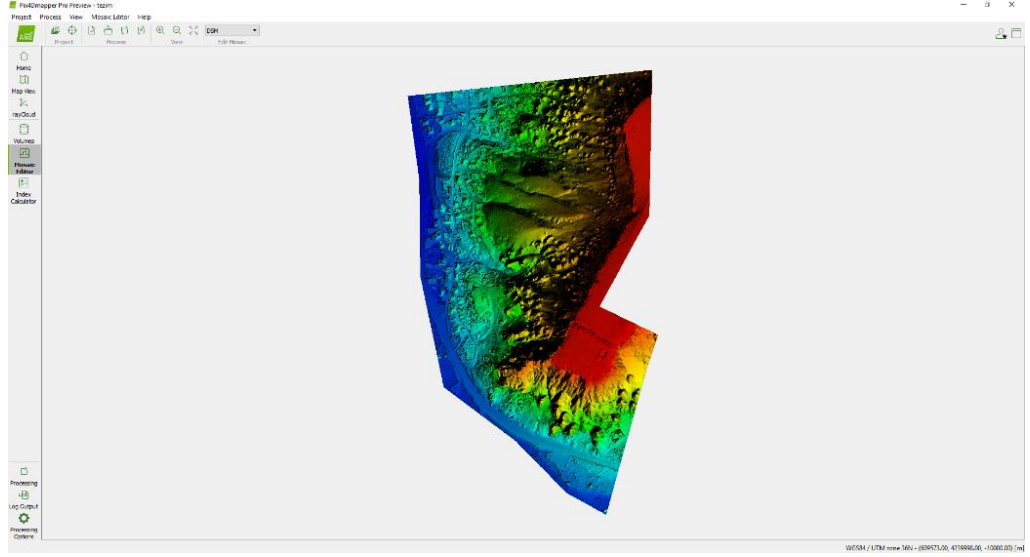
Son kısımda ise; SYM, SAM, Orthomosaic ve Index ayarlarının yapıldığı kısımdır. SAM and Orthomosaic bölümünde çözünürlük, SYM oluşturulurken kullanılacak filtreleme yöntemi, Raster SYM ve Orthomosaic ayarları yapılır. Additional Outputs bölümünde grid çıktı formatları, Raster SAM çözünürlük ayarı ve oluşturulması istenilen kontur eğrileri ile ilgili ayarlar yapılır. Index Calculator bölümünde ise radyometrik işlem ve kamera kalibrasyon ayarları ile tarımsal indeksler için gerekli ayarlar yapılır.

Bu çalışma sırasında bütün ayarlar aynı anda yapıldıktan sonra işlem süreci başlatılmıştır (Şekil 2.36).

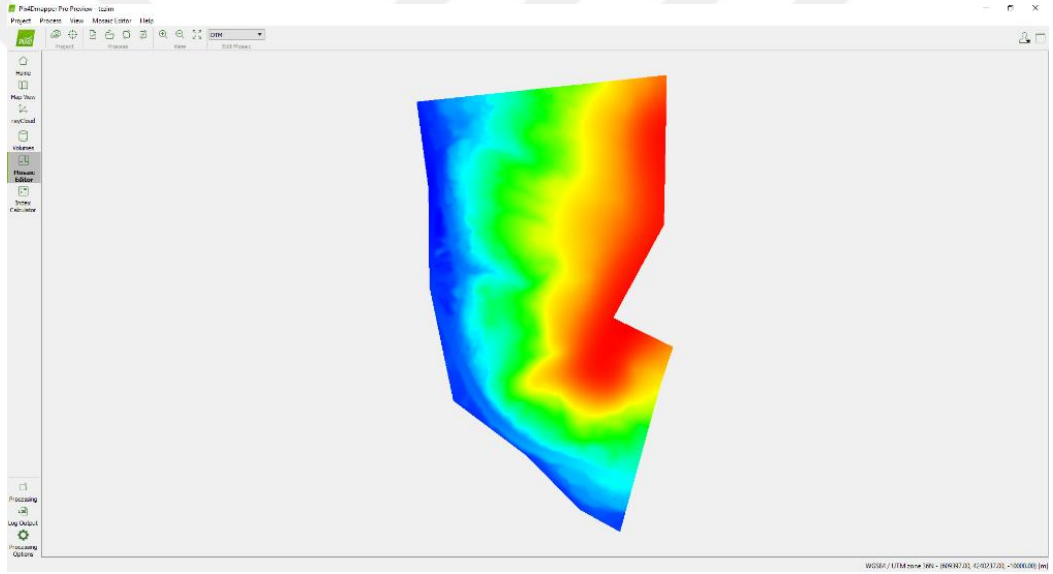


Şekil 2.36: Verilerin değerlendirilmeye başlanması.

Verilerin değerlendirme işlemi bittikten sonra elde edilen sonuç ürünler Şekil 2.37, Şekil 2.38, Şekil 2.39, Şekil 2.40 ve Şekil 2.41’de verilmiştir.



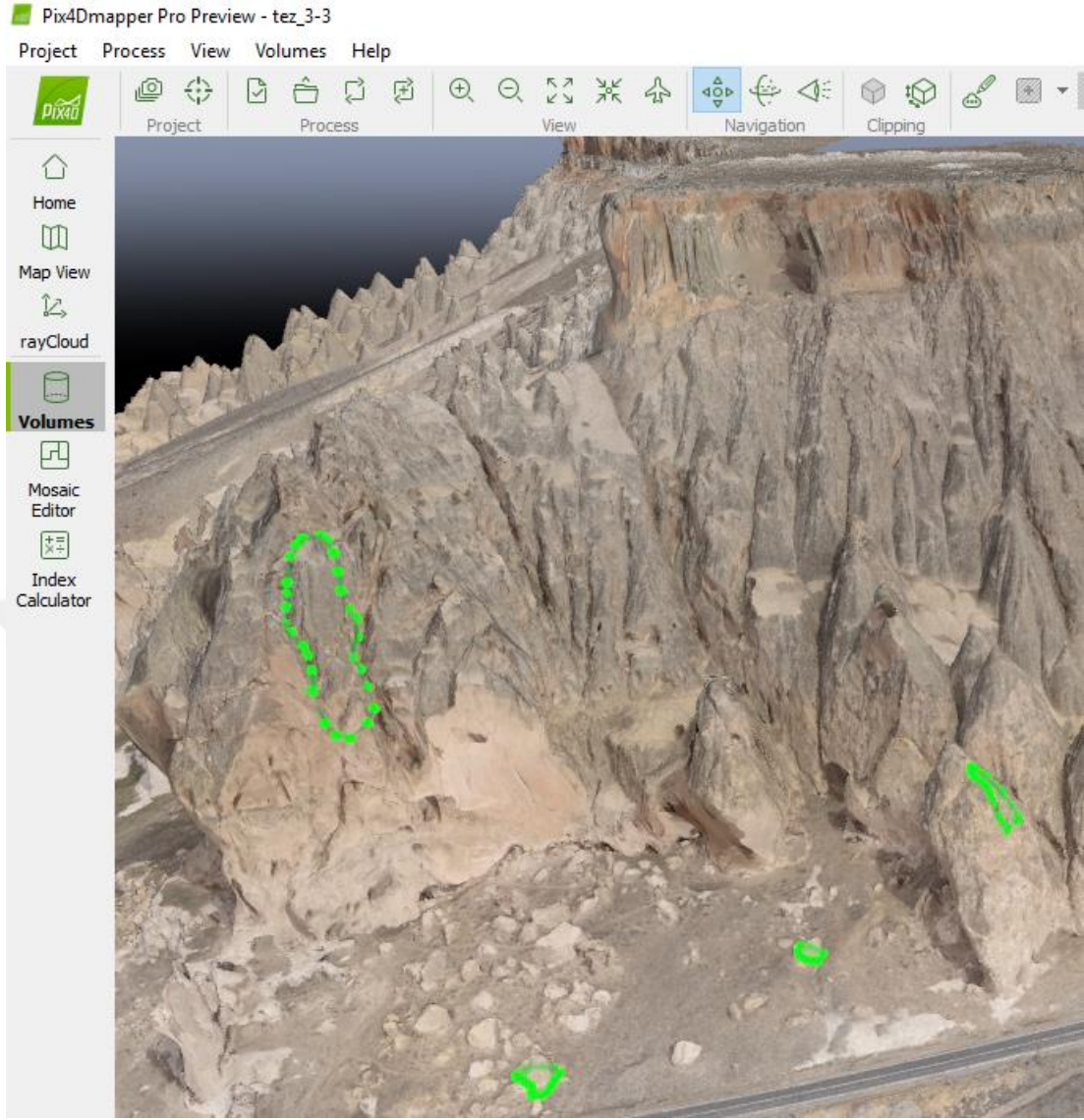
Şekil 2.40: Üretilen SYM.



Şekil 2.41: Üretilen SAM.

2.2.5 Hacim sonuçlarının karşılaştırılması

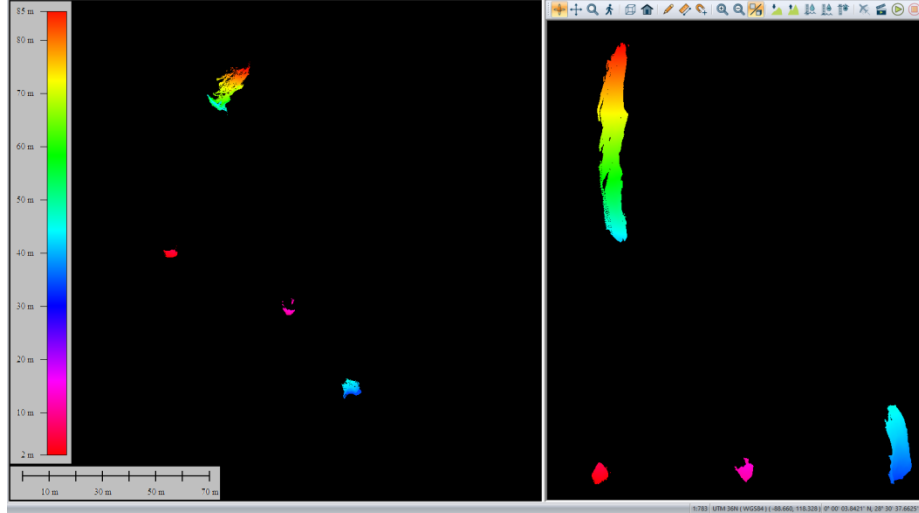
Üç farklı sistemden üretilen SYM üzerinde kaya bloklarının sınırları belirlenerek shapefile formatında kaydedilmiştir. Kaydedilen bu poligon dosyaları her üç sistemden elde edilen SYM üzerine atılmıştır (Şekil 2.42).



Şekil 2.42: Shapefile dosyasının SYM'ler üzerine atılması.

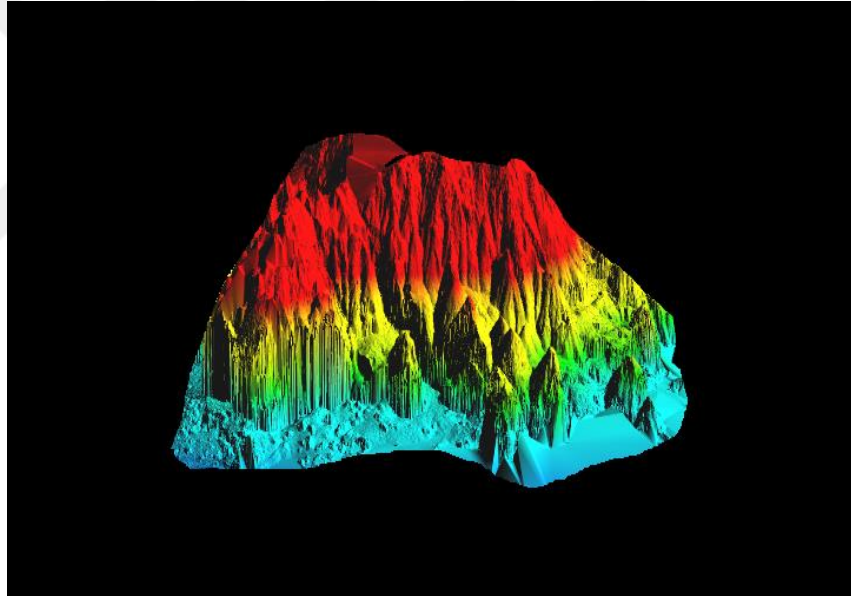
Shapefile dosyaları kullanılarak kaya bloklarının hacimleri her üç sistemden elde edilen SYM'ler kullanılarak hesaplanmıştır. YLT sisteminde hacim hesaplaması yapılan alanlar Şekil 2.43'da gösterilmiştir.

YLT sisteminden elde edilen nokta bulutu verisinden 4 örnek alan kesilmiştir. Kesilen bu alanlarda önce TIN oluşturulmuştur. Daha sonra SAM ve SYM oluşturulmuş ve hacimler Cloud Compare v2.8.1 programında hesaplanmıştır. Bu sistemden elde edilen hacim değerleri sırasıyla; 462.39 m^3 , 39.22 m^3 , 16.67 m^3 , 22.49 m^3 'tür.



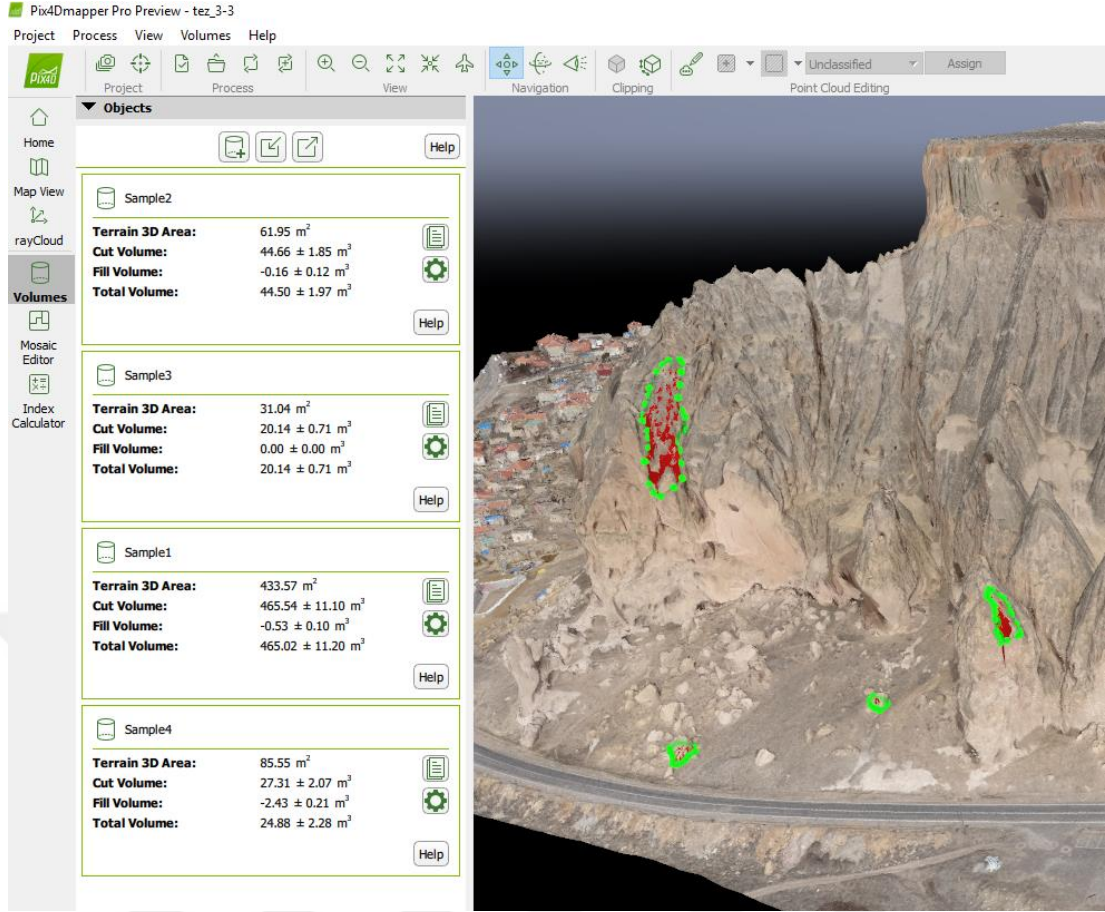
Şekil 2.43: YLT sistemi verisinden hacim hesaplama işlemi.

MLT sisteminden hesaplanan hacim değerleri sırasıyla; 463.78 m³, 48.04 m³, 17.71 m³, 21.89 m³ 'tür.



Şekil 2.44: MLT sistemi verisinden hacim hesaplama.

İHA verilerinden hesaplanan hacim değerleri sırasıyla; 464.73 m³, 44.50 m³, 20.64 m³ ve 24.88 m³ 'tür.



Şekil 2.45: İHA sistemi verisinden hacim hesaplama işlemi.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

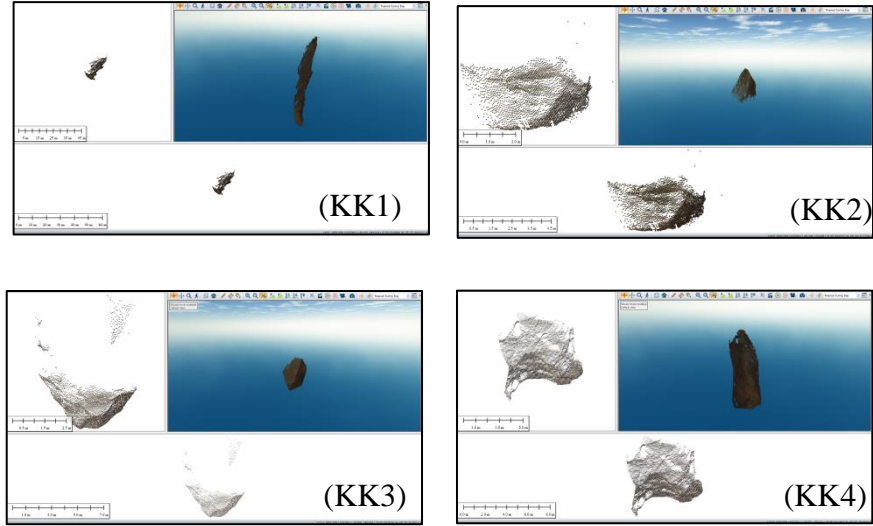
Bu çalışmada, YLT, MLT ve İHA sistemlerinden elde edilen nokta bulutları işlenerek her sistemden ayrı ayrı SAM ve SYM oluşturulmuştur. Nokta bulutu oluşturma ve işleme aşamasında yüksek kapasiteli bilgisayarlar gerekmektedir. Bir başka önemli konu ise nokta bulutlarının işlenmesinde kullanılan lisanslı yazılımların yanı sıra açık kaynak kodlu yazılımlarında birçok lisanslı yazılımın yaptığı işlemleri yapmasıdır. Özellikle nokta bulutu verileri üzerinden SAM ve SYM oluşturma, profil çıkarma, nokta bulutunu sınıflandırma, istenilen yerin alan ve hacmini hesaplama yapma gibi işlemleri gerçekleştirmeye olanak sağlamasıdır.

Kaya bloklarının SYM üzerinden hacim hesaplamaları yapılmıştır. Ulaşamayacak yerde bulunan düşme tehlikesi olan 2 adet KK1 ve KK4 isimli kaya bloklarını ve yere düşen KK2 ve KK3 isimli blokların hacimleri hesaplanmıştır. Yakar, (2009), Yakar vd., (2009b), Yakar vd., (2010a), Yakar vd., (2010b), Yakar, (2011), ve Yakar vd., (2011b) tarafından yapılan bilimsel çalışmalarda YLT sisteminden elde edilen hacim hesaplamalarının klasik yöntemlerden elde edilen hacim hesaplamalarına göre daha doğru olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle, bu çalışmada kullanılan tüm sistemlerden elde edilen hacim hesaplamalarının doğruluk analizleri için YLT sisteminden elde edilen hacim sonuçları kullanılmıştır. Karşılaştırılan blok hacim değerleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Hacim sonuçlarının klasik yöntemle karşılaştırılması.

Kaya Kütleleri (KK)	Ölçme Tekniği			Hacim Farkları	
	YLT (m ³)	MLT (m ³)	İHA (m ³)	YLT-MLT (m ³)	YLT-İHA (m ³)
KK-1	462.39	463.78	464.73	-1.39	-2.34
KK-2	39.22	42.34	44.5	-3.12	-5.28
KK-3	16.67	17.71	20.14	-1.04	-3.47
KK-4	23.22	23.38	24.88	-0.16	-1.66

Düşme tehlikesi olan kaya blokların üç boyutlu modellemeleri yapılmıştır. Modellenen kaya blokları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: KK1, KK2, KK3, KK4 sırasıyla üç boyutlu modellenen kaya bloklar.

Çalışmadaki örnek alanların KK1 ve KK4 numaralı kaya kütlesi askıda, KK2 ve KK3 numaralı bloklar yere düşmüştür. KK1 ve KK4 numaralı kaya kütleleri $466,44 \text{ m}^3$ ve $25,36 \text{ m}^3$ olarak klasik yöntemle hesaplanmıştır. TLS ile $462,39 \text{ m}^3$ ve $23,22 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. MLT ile $463,78 \text{ m}^3$ ve $23,38 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. İHA ile $464,73 \text{ m}^3$ ve $24,88 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Oluşan farklar analiz edildiğinde; askıda ve yüzeyi dışa dönük olan blokların hacmi İHA ile daha hassas şekilde modellenmektedir. TLS ile arka kısımların tam olarak modellenememesi sebebiyle fark olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde MLT sisteminde de eksiklikler görüldüğü düşünülmektedir. KK2 ve KK3 numaralı blokların hacimleri klasik yöntemle $45,24 \text{ m}^3$ ve $20,41 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. TLS ile $39,22 \text{ m}^3$ ve $16,67 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. MLT ile $42,34 \text{ m}^3$ ve $17,71 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. İHA ile $44,50 \text{ m}^3$ ve $20,14 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Oluşan farklar analiz edildiğinde; yeryüzünde ve arka kısımlarına gidilemeyecek blokların hacmini İHA ile daha hassas şekilde hesaplanmıştır. TLS ile arka kısımların tam olarak modellenememesi sebebiyle fark olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde MLT sisteminde de eksiklikler görüldüğü düşünülmektedir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

YLT, MLT ve İHA sistemleri hacim hesaplamalarında gelişen teknolojiye paralel olarak yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle hassas bir şekilde hesaplama gerektiren önemli yol projelerinde, köprü inşaatı projelerinde, maden sahaları projelerinde, büyük inşaat projelerinde vs. kazı dolgu miktarında meydana gelen hacimsel değişimler çok önemlidir. Bu yüzden kazı-dolgu hacimlerinin en hassas bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışma ile klasik ölçme yöntemlerine alternatif olacak teknolojiler ile düşme tehlikesi olan kaya blok hacimleri hesaplanmış olup elde edilen sonuçların haritacılıkta kullanılabileceği anlaşılmıştır. Çalışmada hesaplanan kaya bloklarının yüzeyleri düzgün bir geometriye sahip değildir bu yüzden hacim hesaplamasında parabolik bir yüzey olarak kabul edilip hesaplanmıştır. Kullanılan sistemlerin topografyaya bağlı olarak avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Askıda olan blokların arka kısmı başka bir açıdan taranamadığında kaya blokları tam olarak modellenememektedir. Buna karşın dışa dönük yüzeylerin modellenmesinde iyi sonuçlar verebilmektedir. Aynı zamanda çalışma alanları kısa bir zamanda taranıp ofis ortamında değerlendirme aşamasına kısa sürede geçilebilip sonuçlar hızlı bir şekilde üretilebilmektedir.

MLT sistemlerinin avantajı ise hızlı bir şekilde veri üretilmesidir. Aynı zamanda bütün detayların lazer darbeleri kullanılarak ölçülmesi ile modelleme yapılan yüzey kısımlarında optimum modelleme fırsatı sağlamaktadır. Fakat veri üretilirken aracın sabit hızda gitmemesi, yüksek binalar, yüksek tepelik yerlerde yapılan ölçümler neticesinde kullanılan sistemde ki lazer türüne göre hedef bölgede verinin kaliteli bir şekilde üretilmesi değişebilmektedir. İHA sistemleri, çalışma alanını bir bütün olarak ortofoto üzerinden ele alıp nokta bulutu ve diğer topografik verileri ürettiği için kendi içinde daha doğru bir veri ürettiği düşünülmektedir. Üretilen veri sırasında elbette sabit olarak kurulan GPS alıcısının atmosferik ve çevresel etkileri göz ardı edilerek düşünüldüğünde çok hassas bir veri üretimini sağlamaktadır. Buna karşın uçuş planlamasında kolonlar arası mesafe fotoğraf çekim açısı, 2 fotoğraf çekim arası mesafe kısalığı gibi etkenlerden dolayı veri kalitesi düşebilmektedir.

İHA sistemleri uçuş yüksekliğine bağlı olarak düşme tehlikesi olan kaya bloklarının hacimlerinin hesaplanmasında ve üç boyutlu modellenmesinde YLT ve MLT sistemlerinden daha başarılı sonuçlar vermiştir. Sabit kanatlı İHA sistemlerinde tarama açısından dolayı bazen kör noktalar oluşabilmektedir. Bu noktalarda uzak mesafelerin ölçümü için kullanılabilen YLT tarayıcılar ile MLT sistemlerinin entegrasyonu sağlanarak daha sağlıklı veriler üretilebilir. Üretilen verilerden hassas üç boyutlu modeller oluşturulabilir. Hassas bir şekilde kaya blokları üç boyutlu modellendikten sonra hacim hesaplamaları hassas bir şekilde gerçekleştirilir. Hassas bir şekilde hacim hesaplamaları yapıldıktan sonra önemli derecede kazı-dolgu hesabı gerektiren büyük inşaat projelerinde, yol projelerinde, maden ölçmelerinde, jeolojik çalışmalarda vs. kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- Agliardi, F., ve Crosta, G., 2003. High resolution three-dimensional numerical modelling of rockfalls, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40, 455–471.
- Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A.E., Gülci, S., ve Öztürk, T., 2016. İnsansız Hava Araçları ile Yüksek Hassasiyette Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi ve Ormancılıkta Kullanım Olanakları, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 2016, 66(1): 104-118.
- Altuntaş, C., ve Yıldız, F., 2008. Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi* 2008/1 Sayı 98.
- Avcı, Ü., 2010. İki Yüzey Arasında Hacim Hesabı Yapan Program ve Algoritma Geliştirme, Yüksek Lisans Tezi, SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Besly, P.J., ve McKay, N.D., 1992. A Method for Registration of 3-D Shapes, *IEEE Trans. On Pat.Anal. and Mach.Intelligence*, 14(2), February 1992, pp 239-256.
- Elkhrachy, I., ve Niemeir, W., 2006. Optimization and Strength Aspects for Geo-Referencing Data With Terrestrial Laser Scanner Systems, 3rd IAG/12th FIG Symposium, CD Room, Baden, 22-24 May 2006.
- Frattini, P., Crosta, G., Carrara, A., ve Agliardi, F., 2008. Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches, *Geomorphology*, 94, 3–4, 419-43.
- Gelişli, K., Şeren, A., Babacan, A.E., Çataklı, A., Ersoy, H., ve Kandemir, R., 2011. The Sumela Monastery slope in Maçka, Trabzon, Northeast Turkey: rock mass properties and stability assessment, *Bull Eng Geol Environ*, 70, 577–583.
- Godin, G., Laurendeau, D., ve Bergevin, R., 2001. A Method for the Registration of Attributed Range Images, *International Conference on 3D Imaging and Modelling*, s.179-186, Quebec, May 28-June 1, 2001.
- Gökçe, O., Özden Ş., ve Demir, A., 2008. Türkiye'de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı.

- Gümüş, K., 2008. Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Haser, A.B., 2010. Bu insansız hava aracından daha önce yapmamış mıydık?, Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık sayısı.
- Johnson, A.E., ve Kang, S.B., 1996. Registration and Integration of Textured 3-D Data, Technical Report, Digital Equipment Corporation, Cambridge Research Lab., 40 pages, United states, Oct., 1996.
- Karasaka, L., 2012. Mobil Yersel Lazer Tarama Sistemlerinin Fotogrametrik Rölöve Projelerinde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, SÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Keskin, I., 2013. Evaluation of rock falls in an urban area: the case of Boğaziçi (Erzincan/Turkey). Environ Earth Sci, DOI 10.1007/s12665-013-2247-9.
- Lichti, D.D., ve Gordon, S.J., 2004. Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording, Proceedings of FIG Working Week, s.on CD, Athens, Greece, 2-27 May 2004.
- Mcallister, M., ve Snoeyink J., 2000. Medial Axis Generalization of River Networks, Cartography and geographic Information Science, v.27, n.2,2000, s.129-138.
- Öksüz, H., 2012. Yersel Lazer Tarama Teknolojisi ve Kültürel Mirasın Korunması Uygulamasında Tarihi Gölyazı Kilisesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, BEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Özdemir, N., 2007. Ihlara Kasabasının Zemin Özelliklerinin Jeolojik-Jeoteknik-Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Pesci, A., Bonali, E., Galli, C., ve Boschi, E., 2012. Laser scanning and digital imaging for the investigation of an ancient building: Palazzo d'Accursio study case (Bologna, Italy), 88, Journal of Cultural Heritage 13, 215–220.
- Przybilla, H., ve Wester-Ebbinghaus, W., 1979. Bildflugmitferngelenktem Kleinflugzeug, Bildmessung und Luftbildwesen 47(5): 137-142.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., ve Sarazzi, D., 2011. UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling–current status and future perspectives, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 38 (1): C22.
- Rodríguez-Gonzálvez, P., Fernández-Palacios, B.J., Muñoz-Nieto, A.L., Arias-Sanchez, P., ve Gonzalez-Aguilera, D., 2017. Mobile LiDAR System: New Possibilities for the Documentation and Dissemination of Large Cultural Heritage Sites, Remote Sens. 2017, 9, 189; doi:10.3390/rs9030189

- Santana, D., Corominas, J., Mavrouli, O., ve Garcia-Sellés, D., 2012. Magnitude–frequency relation for rockfall scars using a Terrestrial Laser Scanner, *Engineering Geology*, 145–146, 50–64.
- Saripalli, S., Montgomery, J.F., ve Sukhatme, G.S., 2003. Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle, *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 19(3): 371-380.
- Scaioni, M., 2005. Direct Georeferencing of TLS in Surveying of Complex Sites, *The ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.36, Part 5/W17, s.on CD, 2005.
- Sharp, G.C., Lee, S.W., ve Wehe, D.K., 2002. ICP Registration Using Invariant Features, *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(1), (January 2002), s. 90-102.
- Şimşek, Ş., 1997. Ihlara Özel Çevre Koruma Bölgesinin Jeolojisi ve Bölgede Yer alan Termal Kaynakların Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Araştırması ve Korumaya İlişkin Önerileri.
- Tagliavini, F., Reichenbach, P., Maragna, D., Guzzetti, F., ve Pasuto, A., 2009. Comparison of 2-D and 3-D computer models for the M. Salta rock fall, Vajont Valley, northern Italy, *Geoinformatica*, 13, 323–337.
- Tepeköylü, S., 2016. Mobil Lidar Uygulamaları, Veri İşleme Yazılımları ve Modelleri, ISSN: 2564-6761, *Journal of Geomatic Engineering Research* 2016; 1(1);1-7.
- Topal, T., Akin, M.K., ve Akin, M., 2012. Rockfall hazard analysis for an historical Castle in Kastamonu (Turkey), *Nat Hazards*, 62, 255–274.
- Tunusluoglu, M.C., ve Zorlu, K., 2009. Rockfall hazard assessment in a cultural and natural heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey), *Environmental Geology*, 56, 963–972.
- Waggot S.M., Clegg P., ve Jones R.R., 2005. Combining Terrestrial Laser Scanning, RTK GPS and 3D Visualisation: Application of Optical 3D Measurement in Geological Exploration, *Proceedings of the 7th Conference on 3-D Optical Measurement Techniques*, s.on CD, Vienna,Austria, 3-5 Oct. 2005.
- Wang, X., Zhang, L., Wang, S., Agliardi, F., Frattini, P., ve Crosta, G.B., 2012. Field investigation and rockfall hazard zonation at the Shijing Mountains Sutra caves cultural heritage (China). *Environmental Earth Sciences*, 66, 1897-1908.
- Yakar, M., 2009. Digital Elevation Model Generation By Robotictotal Station Instrument, *Experimental Techniques*, March/April 2009, doi: 10.1111/j.1747-1567.2009.00375.x
- Yakar, M., 2011. Using Close Range Photogrammetry to Measurethe Position Of Inaccessible Geological Features, *Experimental Techniques*, January/February 2011, doi: 10.1111/j.1747-1567.2009.00583.

Yakar, M., ve Yilmaz, H.M., 2011b. Determination Of Erosion On A Small Fairychimney, Experimental Techniques, September/October 2011, doi: 10.1111/j.1747-1567.2010.00661.

Yakar, M., Yilmaz, M.H., ve Mutluoğlu, Ö., 2009b. Hacim Hesaplarında Lazer tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 11- 15 Mayıs 2009, Ankara.

Yakar, M., Yilmaz H.M., ve Mutluoglu O., 2010a. Close range photogrammetry and robotic total station in volume calculation, International Journal of the Physical Sciences Vol. 5 (2), pp. 086-096, February, 2010.

Yakar, M., Yilmaz, H.M., ve Yurt, K., 2010b. The Effect Of Grid Resolution In Defining Terrain surface, Experimental Techniques, November/December 2010, doi: 10.1111/j.1747-1567.2009.00553.

Yesiloglu-Gultekin, N., Gokceoglu, C., ve Sonmez, H., 2012. Geohazard reconnaissance mapping for a settlement area, Environmental Earth Sciences, 66, 6, 1653-1666.

Yıldız, F., 1992. Sayısal Arazi Modelleri, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilimdalı Ders Notları, 1992.

Yılmaz, M., Yakar, M.H., Karabörk, H., ve Bayrak, T., 2005. Dijital Yersel Fotogrametri ile Hacim Hesabı, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2.Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23- 25 Kasım 2005. İTÜ – İstanbul.

Zhang, Z.Y., 1994. Iterative Point Matching for Registration of Free-Form Curves and Surfaces, International Journal of Computer Vision. 13,2, s.119-152.

URL1 <<http://www.selime.bel.tr/tr>> alındığı tarih: 07.03.2017

URL2 <<http://www.riegl.com/nc/products/terrestrialscanning/produktdetail/product/scanner/33/>> alındığı tarih: 21.02.2017

URL3 <<http://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-c5>> alındığı tarih: 21.02.2017

URL4 <<http://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-c10>> alındığı tarih: 21.02.2017

URL5 <<http://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30>> alındığı tarih: 21.02.2017

URL6 <<http://www.chaoyang.com.tw/upload/product/A2009121817281.pdf>>
alındığı tarih: 21.02.2017

URL7 <http://www.getlaserscanning.com/downloads/leaflet_GLS_1500.pdf>
alındığı tarih: 21.02.2017

URL8 <https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/gls-2000_broch_7010_2152_rev_d_tf_sm_1.pdf> alındığı tarih: 21.02.2017

URL9 <<http://www.paksoytekNIK.com.tr/index.php/urunler/xxx-2/abee>> alındığı
tarih: 21.02.2017



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Efdal Kaya
E-posta adresi : kayaefdal@gmail.com
Doğum Yeri ve Tarihi : Adana / 21.09.1990

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Aksaray Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi – Harita Mühendisliği – 2015
Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi – Harita Mühendisliği Anabilim Dalı - 2017
MESLEKİ DENEYİM : Aksaray İl Özel İdaresi, Harita Mühendisi