

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ İLE ARKEOLOJİK HARİTA
ÜRETİMİ: KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYDIN İÇEL

TEMMUZ 2018

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ İLE ARKEOLOJİK HARİTA
ÜRETİMİ: KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aydın İÇEL

DANIŞMAN: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

ZONGULDAK
Temmuz 2018

KABUL:

Aydın İÇEL tarafından hazırlanan “Yersel Lazer Tarama Teknolojisi ile Arkeolojik Harita Üretimi: Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
12/06/2018

Danışman: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet BİLİR

Düzce Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hamza EKMEN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

..../..../2018



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Aydın İÇEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ İLE ARKEOLOJİK HARİTA ÜRETİMİ: KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Aydın İÇEL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

Temmuz 2018, 53 sayfa

Yüzyıllardır yapılan doğrusal ölçümler cetvel, teodolit, çekül doğrultusu gibi araçlarla yapılırdı. Hatta Romalıların yaptığı su kanallarının yumuşak ve şaşmaz düzgünlükteki eğimi bu aletlerle gerçekleşmişti. Modern zamanda bununla da yetinilmeyerek totalstation ve küresel konum belirleme (GPS) yöntemi gibi yeni teknoloji ürünlerinin katılmasıyla mm. hassasiyetinde ölçümler yapılmaya başlandı. Fakat geleneksel jeodezik ölçme yöntemleri, objenin hızlı bir şekilde geometrik ve görsel bilgilerine ulaşmak için çok uygun olmayan yöntemlerdir. Bu nedenle, obje geometrisinin yüksek doğrulukla 3 boyutlu ölçümüne direkt izin veren başka bir tekniğin uygulanması gereğini getirmektedir. Bu sebeple 1990'lı yılların sonunda 2000'li yılların başında ortaya çıkan yersel lazer tarama metodu geliştirilmiştir. Bu metod ile uzun zaman alan, ulaşılması güç veya tehlikeli bölgelerin ölçülmesinde ve ölçülen bütün obje hakkında eksiksiz 3 boyutlu geometrik ve görsel bilgiye ulaşılabilir.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında arkeolojik haritaların yersel lazer tarama tekniği ile oluşturulmasını ve bu oluşum aşamalarında karşılaşılan sorunlara yapılması uygun görülen çözüm olanakları anlatılmıştır.

ÖZET (devam ediyor)

Anahtar Kelimeler: Yersel Lazer Tarama, 3B, Arkeoloji.

Bilim Kodu: 616.02.04



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ARCHEOLOGICAL MAP PRODUCTION BY TERRESTRIAL LASER SCANNING TECHNOLOGY: PROBLEMS AND SOLUTION

Aydın İÇEL

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

July 2018, 53 pages

For centuries, linear surveys have been made with rulers, theodolites and plumb lines. Even the Roman waterways owed their smooth and accurate slopes to these equipments. In the modern era, new devices such as total station as well as Global Positioning System (GPS), which allow more precise surveying, were introduced. However, the traditional geodetic measurement methods fail in providing an object's geometric and visual data in a short period of time. Thus, techniques that enable highly accurate and 3-dimensional surveying of object geometry are required. To this end, in late 1990s and early 2000s, terrestrial laser scanning was developed. With this technique, it is possible to survey remote or dangerous surfaces and acquire detailed, 3D geometric and visual data regarding the surveyed object.

In this dissertation, the use of terrestrial laser scanning in the production of archeological maps, the problems encountered during this production are discussed. Also, suggestions are made to overcome these problems.

ABSTRACT (continued)

Keywords: Terrestrial Laser Scanning, 3D, Archeological.

Science Code: 616.02.04



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi kapsamında yapılan çalışmaların yürütülmesinde bilgi birikimini ve desteğini esirgemeyerek her konuda bana yol gösteren tez danışmanım değerli hocam Sayın Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK 'e saygı ve sevgilerim ile teşekkürlerimi sunarım.

Arkeolojik kazı alanında yapılmış olan ölçümler ve bu ölçümlerin ilgili tez çalışmasında kullanılmasında büyük emeği olup gerekli izinleri sağlayan Almanya Bochum Ruhr Üniversitesi Arkeoloji Bölümünde görev yapan Sayın Prof. Dr. Ünsal YALÇIN 'a teşekkür ederim.

Arkeolojik çalışmalar ile ilgili bilgi ve desteğini esirgemeyen Bülent Ecevit Üniversitesi Arkeoloji Bölümü Protohistorya ve Önasya Arkeolojisi Anabilim Dalında görev yapan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hamza EKMEK 'e teşekkür ederim.

Ayrıca tez yazım ve uygulama alanlarında bilgilerini ve yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Can ATALAY 'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 MOTİVASYON.....	1
1.2 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ.....	1
1.3 ÇALIŞMANIN YAPISI.....	2
BÖLÜM 2 ÇALIŞMA KONUSU İLE İLGİLİ LİTERATÜR.....	3
2.1 LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ.....	7
2.2 LAZER TARAMANIN TEMELLERİ.....	9
2.2.1 Üçgenleme Yöntemi.....	10
2.2.2 Faz Karşılaştırma Yöntemi.....	10
2.2.3 Lazer Işını Geliş-Gidiş Zamanı İle Çalışan Tarayıcılar.....	11
2.3 VERİ YAPISI VE ÖZELLİKLERİ.....	12
2.4 NOKTA BULUTU BİRLEŞTİRİLMESİ.....	13
2.4.1 İteratif En Yakın Nokta Yöntemi.....	13
2.4.2 En Küçük Karelerle 3B Yüzey İşleme Yöntemi.....	14
2.4.3 Bağımsız Model Yöntemi.....	15
2.4.4 Doğrudan Jeodezik Koordinatlı Ölçme Yöntemi.....	16

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.5. YERSEL LAZER TARAMA UYGULAMA ALAN ÖRNEKLERİ.....	17
2.5.1 Adli Tıp.....	17
2.5.2 Endüstri.....	18
2.5.3 Orman Uygulamaları	19
2.5.4 Mimari Çalışmalar	20
2.5.5 Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları	22
2.5.6 Doğal Afetler	23
2.6 BOZULMALAR	24
2.6.1 Aletsel Hatalar	24
2.6.2 Çevresel Hatalar.....	25
2.6.2.1 Işın Gezinmesi.....	25
2.6.2.2 Işın Parlamaşı	25
2.6.2.3 Olumsuz Hava Koşulları	26
2.6.3 Nesnel Hatalar	26
2.6.3.1 Kapama Sınırları (BOUNDARİES OF OCCLUSIONS).....	26
2.6.3.2 Yüzey Yansıması (Surface Reflectance).....	27
2.6.4 Seçilen Yöntemden Kaynaklanan Hatalar	28
BÖLÜM 3 ÇALIŞMA ALANI VE MATERYALLER.....	29
BÖLÜM 4 METODOLOJİ.....	37
5.1 PLANLAMA VE İSTİKŞAF (ÖLÇÜMLERİN PLANLANMASI).....	39
5.2 ARAZİ ÖLÇÜMLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	39
5.3 VERİ HAZIRLAMA.....	40
5.4 VERİ İŞLEME	42
5.4.1 Hedefli Birleştirme (Küre).....	42
5.4.2 Geo-Referanslandırma İşlemi	43
5.4.3 Mesh.....	44
5.5 GİYDİRİLMİŞ 3B MODEL OLUŞUMU.....	45
5.6 VEKTÖR HARİTA.....	46

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 GENEL SONUÇ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ.....	47
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	53





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Babillilerin Kil Tablet Haritası	3
Şekil 2.2 Bursa İznik Gölü Aziz Neophytos Bazilikası çalışma sahası	4
Şekil 2.3 Kazılarda bulunan mezarların çizim örneği	5
Şekil 2.4 LIDAR tekniği ile ortaya çıkarılan mayalılara ait yerleşim yerleri	6
Şekil 2.5 Radar teknolojisi ile bulunan mummyalar	6
Şekil 2.6 Yükseklik ölçekli, renkli dijital yüzey modeli örneği	8
Şekil 2.7 ALS sisteminin yapısı	8
Şekil 2.8 Tek kamera yöntemi.....	10
Şekil 2.9 Çift kamera yöntemi.....	10
Şekil 2.10 Faz karşılaştırma yöntemi	11
Şekil 2.11 Lazer ışını geliş-gidiş zamanı ile çalışan lazer tarayıcılar	11
Şekil 2.12 Yapılan bir çalışmada oluşan nokta bulutu	12
Şekil 2.13 İterasyon yöntemi ile eşlenik nokta tespiti.....	14
Şekil 2.14 Adli tıp uygulama örneği	18
Şekil 2.15 Otomotiv sanayinden bir uygulama ve elde edilen nokta bulutu verisi	18
Şekil 2.16 Taraması yapılan meşcere örnekleri	19
Şekil 2.17 1) Göğüs hizası çaplarının ölçüldüğü kısımların ortaya çıkması 2) Gövdelerin birbirini örtmesi sonucu oluşan gövde etkisi	20
Şekil 2.18 Genel alan taraması.....	21
Şekil 2.19 Çalışma alanının ortofoto görüntüsü.....	21
Şekil 2.20 Sorgulama örnekleri	23
Şekil 2.21 Heyelan sebebiyle Taşkent-Balcılar yolunun bozulan kısmı (sol) ve İksa duvarındaki Deformasyon (sağ)	24

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.22 Lazer ışınının gezinmesi	25
Şekil 2.23 Kapama sınırı hatası nedeni ile oluşan gürültülü veri örneği.....	27
Şekil 2.24 Bülent Ecevit Üniversitesi hedef analizi çalışması	27
Şekil 3.1 Çalışmanın Yapıldığı Çorum İli.....	29
Şekil 3.2 Erikli I açması kazıları	30
Şekil 3.3 Erozyon etkisi ile deforme olan kısımlar	31
Şekil 3.4 Tespit edilen yapı örnekleri.....	31
Şekil 3.5 Kullanılan Yersel Lazer Tarama Cihazı.....	32
Şekil 3.6 SATLAB SL 6000 GNSS aleti	33
Şekil 3.7 Phantom 3 Advanced İHA	35
Şekil 5.1 Çalışma yapılan alanın YLT sonucu oluşan nokta bulutu verisi	39
Şekil 5.2 Belirlenen tez çalışma alanı	40
Şekil 5.3 Çalışma alanının orto-foto görüntüsü	41
Şekil 5.4 Nokta eliminasyonu yapılmadan önceki gereksiz noktalar kümesi	41
Şekil 5.5 Hedefli birleştirme için seçilen küre boyutları.....	42
Şekil 5.6 Analiz sonuç ekranı.....	43
Şekil 5.7 Geo-Referanslandırma için seçilen Flat Target örneği	43
Şekil 5.8 Projeksiyon model seçimi	44
Şekil 5.9 Projeksiyon model seçimi	44
Şekil 5.10 Giydirilmiş 3B model şekli	45
Şekil 5.11 Giydirilmiş 3B model şekli	45
Şekil 5.12 Giydirilmiş 3B model şekli	46
Şekil 5.13 Vektör harita	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Obje yüzey renkleri ve tarama hassasiyetleri.....	28
Çizelge 3.1 Faro Focus ^{3d} x 330 teknik özellikler	33
Çizelge 3.2 SATLAB SL 600 GNSS teknik özellikleri	34
Çizelge 4.1 Çalışmanın iş akış diyagramı	37
Çizelge 4.2 Küre ve kağıt hedeflerin avantaj ve dezavantajları	38





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

c	: Işıık hızı
κ	: Kappa
φ	: Fi
ω	: Omega
m	: Ölçek Katsayısı

KISALTMALAR

2B	: 2 Boyutlu
3B	: 3 Boyutlu
ALS	: Airborne Laser Scanner
CAD	: Computer Aided Design
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CCD	: Charge Couple Device
DTM	: Dijital Terrestrial Model
FPS	: Frame Per Second
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
İHA	: İnsansız Hava Aracı
LASER	: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LIDAR	: Light Detection and Ranging
RGB	: Red-Green-Blue
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YLT	: Yersel Lazer Tarama



BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 MOTİVASYON

Türkiye'nin bulunduğu topraklar üzerinde, yıllardır din, dil, ırk, inanç yönünden farklılığa sahip birçok medeniyet yaşamıştır. Üzerinden yüzlerce yıl geçmesine rağmen günümüzde bu medeniyetlerin etkisini, bıraktıkları kültürel miraslar ile görmekteyiz. Ülkemizde yapılan son çalışmalarda 2017 sonu ile taşınmaz kültür varlığı sayısının 106.359 olduğu belirlenmiştir (URL-1). Böylesine çok sayıda kültürel varlığın bulunduğu ülkemizde bu alanda yapılan çalışmaların ne denli önemli olduğu aşikardır.

Günümüze kadar ulaşan bu kıymetli kültürel miraslar savaş, iklim, doğal afetler vb. doğal ya da doğal olmayan sebeplerden dolayı yok olmakta ya da çok ciddi hasarlara uğramaktadır. Bu kıymetli eserleri korumak, istenildiği zaman yeniden inşa etmek ve gelecekteki nesillere aktarmak için günümüzde en hızlı gelişen sektörlerden birisi olan teknoloji yardımı ile eserlerin orijinal haline yakın, hassas ve hızlı bir şekilde belgelenmesi gerekmektedir. Bahsettiğimiz kriterleri yapabileceğimiz en uygun teknoloji bu alanda 3B modelleme ve sayısal arşivleme olanağı sunan yersel lazer tarama teknolojisidir (Çömert vd. 2012).

Bu çalışmayı yapmaya bizi iten en temel sebep, ülkemizde bulunan kültürel mirasların 3B modelleme yapılarak korunmasını ve aynı zamanda bizden sonra bu alanda yapılacak olan uygulamalarda, kişi ya da kurumlara karşılaşılabilecekleri hataları ve çözüm olanaklarını göstermektir.

1.2 ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Haritacılığın her alanın da olduğu gibi yersel lazer tarama çalışmalarında da en önemli husus yapılacak işi hata sınırları içerisinde minimum hata ile sonuçlandırmaktır. Özellikle 3B görsel

verilerin kullanıldığı bu alanda, yapılacak hataların az olması büyük önem arz eder. Bunu yapabilmek için de birçok araştırma yapılarak hata kaynaklarının tespiti ve çözümü iyi irdelenmelidir. Fakat haritacılıkta yersel lazer tarama uygulamaları için literatürde özellikle ulusal ölçekte benzer çalışmaların çok az sayıda olması ve bu çalışmalarda da karşılaşılan sorun ve çözümlerin istenilen seviyede olmaması büyük sıkıntılar oluşturmaktadır.

Yapılacak olan yüksek lisans tez çalışmasındaki uygulamada en temel amaç, arkeolojik çalışmaların haritacılık ile ilişkisinin incelenmesi ve haritacılıkta yersel lazer tarama uygulamasında karşılaşılan sorunların belirlenmesi ve bu sorunların bir sonraki çalışmalarda tekrarlanmaması için ne gibi çözüm önerilerinin sunulacağına açıklanmasıdır.

1.3 ÇALIŞMANIN YAPISI

Çalışma hedefler doğrultusunda 6 bölüme ayrılmıştır. 2. bölümde yersel lazer taramanın da içinde bulunduğu haritacılık yöntemlerine ilişkin literatür bilgisi verilmiştir. 3. bölümde çalışmada kullandığımız objenin özellikleri ve içinde bulunduğu ilin tarihi yapı, nüfus, topografya gibi özelliklerinden bahsedilmiştir. 4. bölümde iş akış diyagramı ile uygulama esnasında gerçekleştirilen işlemler adım adım anlatılmıştır. 5. bölümde yapılan 3B modellemelerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Son olarak 6. bölümde uygulamanın genelinden elde edilen sonuçlar ve çözüm önerileri anlatılmıştır.

BÖLÜM 2

ÇALIŞMA KONUSU İLE İLGİLİ LİTERATÜR

Herhangi bir mesleğin bilincinde olmak öncelikle o mesleğin tarihinin bilincinde olmayı gerektirir. Haritacılık dünya tarihinin en eski mesleklerinden birisi olarak kabul edilmiştir. Haritacılığın temellerinden birisi olan geometrinin, Nil insanlarının yaşadığı bölgede yaklaşık 4000 yıllık bir geçmişinin olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, ilk dünya haritası Babilliler tarafından 2700 yıl öncesinde kil tablet üzerine çizilmiştir (Köktürk 2014).



Şekil 2.1 Babillilerin Kil Tablet Haritası

Şekil 2.1’ de gördüğümüz haritanın gün yüzüne çıkmasında, arkeolojik çalışmalar çok önemli bir yer tutar.

Eski Yunancanın "Arkhaios" (eski) ve "Logos" (bilim) kelimelerinden türeyen arkeoloji, ‘Eskinin Bilimi’ anlamına gelse de aslında tüm bilim dallarının kaynağını oluşturmaktadır.

Arkeoloji, günümüz insanına geçmişini ve köklerini öğreterek geleceğini aydınlatmasında yol göstermektedir. Bu olayın gerçekleşebilmesi için de geçmişten günümüze kalan arkeolojik kalıntıların titiz ve hassas bir şekilde korunup belgelenmesi gerekir (URL-2).

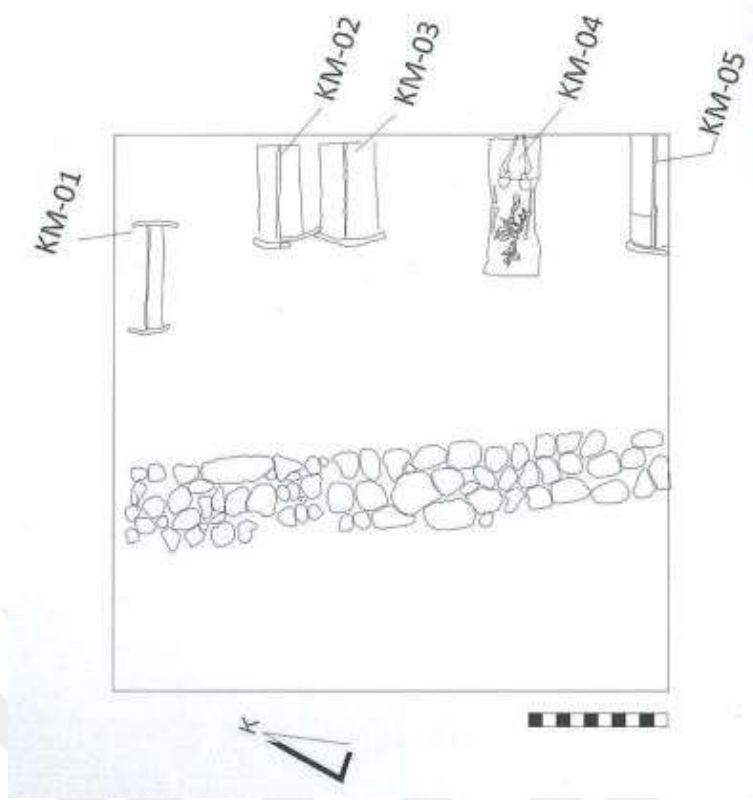
Tarihsel süreçte gerçekleşen doğal, kültürel ve tarihsel değişimlerin, gelişimlerin haritada gösterilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu bağlamda gerçekleştirilen veya gerçekleştirilme olan arkeolojik çalışmalarda harita mühendislerine fazlasıyla ihtiyaç duyulmaktadır. Arkeolojik çalışmalar, yersel ölçüm yöntemleri, fotogrametrik yöntemler, uzaktan algılama yöntemi gibi haritacılıktaki veri elde etmeyi sağlayan yöntemler ile arşivlenip korunabilir.

Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan fotogrametri yani havadan fotoğraflama yöntemi ile tesadüfen keşfedilen İznik gölünün altındaki kilise kalıntıları Roma askerleri tarafından 1500 ile 1600 yıl öncesinde Aziz Neophytos adına inşa edildiği anlaşılmıştır (URL-3).



Şekil 2.2 Bursa İznik Gölü Aziz Neophytos Bazilikası çalışma sahası (URL-3)

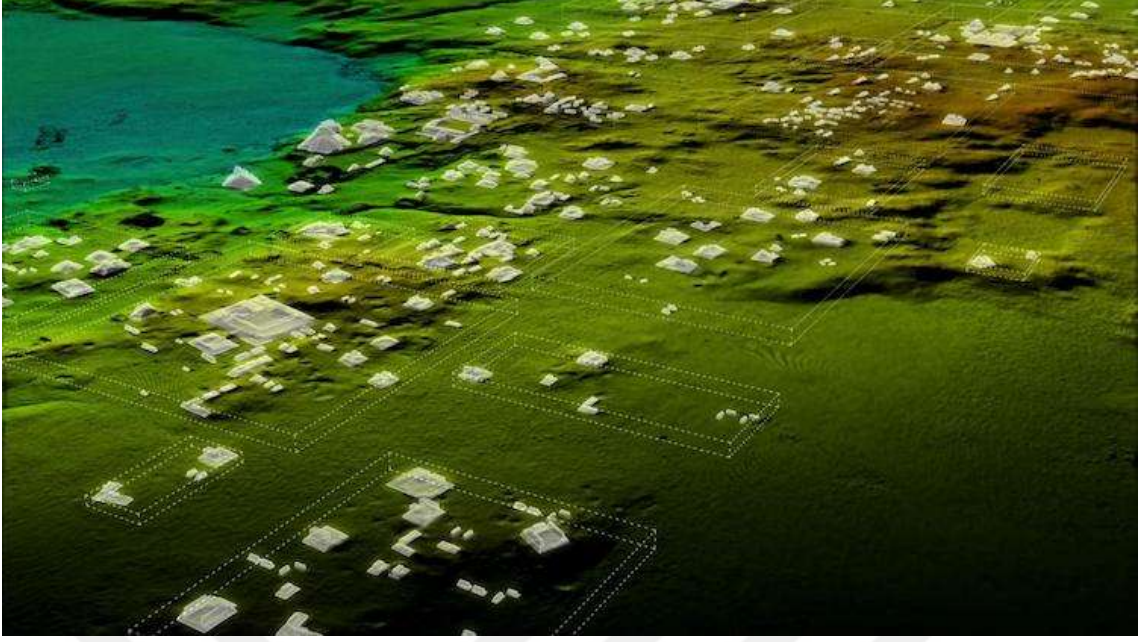
Sonrasında Uludağ Üniversitesi Arkeoloji Bölümü Prof. Dr. Mustafa Şahin başkanlığında yürütülen çalışmalarda bulunan mezarların arşivleme çalışmaları yapılmıştır ve çalışmalar devam etmektedir (Şahin 2016).



Şekil 2.3 Kazılarda bulunan mezarların çizim örneği

Arkeolog Francisco Estrada-Belli' nin "LIDAR, arkeoloji alanında, Hubble Uzay Teleskobunun astronomide yarattığı devrim gibi bir devrim yaratıyor. Tüm veriyi işlemek ve gördüğümüz şeyleri gerçekten anlamamız için 100 yıl gerekir " sözleri ile arkeolojik araştırmalar için dijital teknoloji konusunda uzman olan Thomas Garrison' un aşağıda anlatılan çalışmayla ilgili "LIDAR görüntüleri, bu bölgenin tamamının ölçek ve nüfus yoğunluğunun, tahmin edilenden çok daha yüksek bir yerleşim sistemi olduğunu ortaya koyuyor" sözleri LIDAR teknolojisinin arkeolojik çalışmalar için ne kadar önemli olduğunu gösterir niteliktedir.

Bahsedilen çalışmada LIDAR tekniği kullanılarak GUATEMALA'NIN Petén Bölgesinde bulunan ormanlık alanın altında Maya Dönemine ait yerleşim yerlerinin tespiti sağlanmıştır (URL-4).



Şekil 2.4 LIDAR tekniği ile ortaya çıkarılan mayalılara ait yerleşim yerleri (URL-4)

Radar teknolojisi ile Mısır'ın Minya kentinde Kahire Üniversitesi öğrencilerinden oluşan bir ekip M.Ö. 300 lü yıllara dayanmış olan Mısırın Greko-Romen dönemine ait olduğu düşünülen ve neredeyse hiçbir bozulmaya uğramamış yer altı mezarlığı tespit ettiler (URL-5).



Şekil 2.5 Radar teknolojisi ile bulunan mumyalar

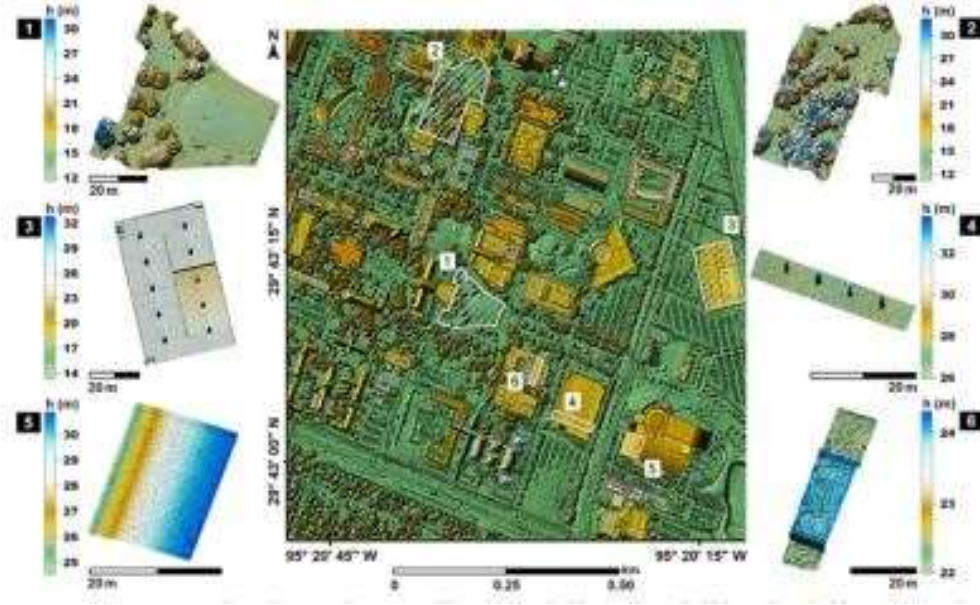
Haritacılıkta yukarıda belirtilen veri elde yöntemleri ile yapılan arkeolojik çalışmalar görülmektedir. Fakat günümüzde en modern ve hassas yöntem birçok avantajından da anlaşılacağı gibi YLT yöntemidir (Demir 2005). Yersel ölçme yöntemleri yüksek çözünürlüklü sonuçlar elde edilmesini sağlar. Günümüzde en modern ve yüksek doğruluklu yersel ölçme yöntemi yersel lazer tarama yöntemidir.

2.1 LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ

Lazer teknolojisi 1960 yılında Amerikalı Gordon Gould tarafından bulunmuş olmakla birlikte bu buluşun içerdiği bilimsel temeller 100 yıl öncesine dayanır. Bu bilimsel temellerin ortaya çıktığı ilk çalışma Alman asıllı Amerikalı fizikçi Albert Einstein 1917 yılında yayınladığı “Işımanın Kuantum Kuramı” başlığını taşıyan makalesidir. Bu makale, lazer ile uğraşan bilim adamlarına ışık tutmuş ve uyarılmış salınım olayını açıklamıştır. Lazerlerin anlaşılmasında elektromanyetik ışışmanın soğurulması ve salınması gibi olgular vardır. Uyarılmış salınım olarak literatüre giren bu kavram lazer ışığının üretilmesinde son derece önemlidir. Bilim insanları ve mühendisler uyarılmış salınım olayını kullanarak, aynı dalga boylarına sahip dalgalardan oluşan düzgün ışık atomları üretmeye çalıştılar. Üretilen bu ışık atomları ilk lazerlerdi. Bu lazerler aynı dalga boyuna sahip olduğundan zamanla farklı dalga boylarına sahip lazerler üretmeye başladılar.

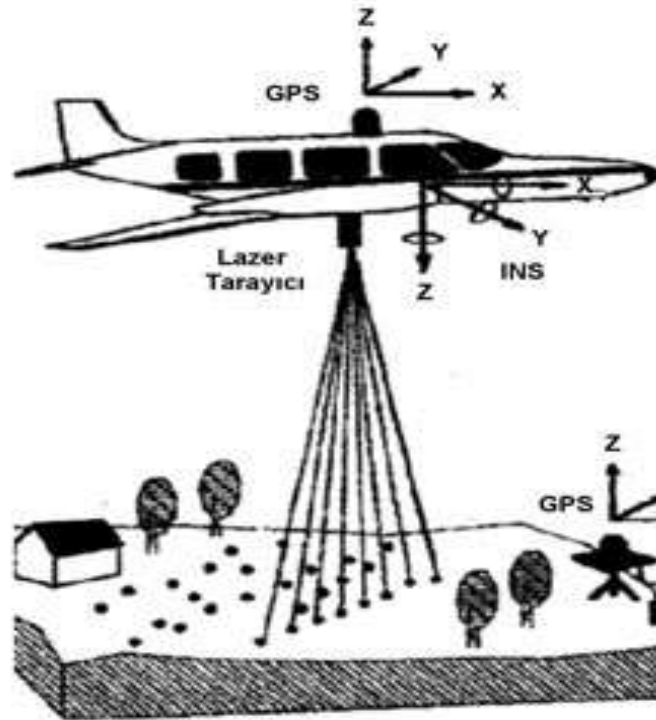
LASER, uyarılmış ışın salınımıyla ışığın kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir ve uyarılmış ışınlar kullanılarak LIDAR sistemi geliştirilmiştir (Demir 2005). Geliştirilen LIDAR sistemi uçaktan lazerle tarama sistemleri (ALS) ve lazer tarama sistemleri (LSS) olmak üzere 2 kısma ayrılmıştır.

ALS, yoğun ve hassas nokta bulutu verilerinin kullanılmasına imkan verdiği için kısa sürede uzaktan algılama teknolojileri içinde önemli bir yer kazanmıştır ve finansal açıdan güçlü ülkelerde fotogrametriye en büyük alternatif yöntem olmuştur. ALS tekniğinin en çok kullanılan alanları olarak, belirlenen bir alanın topoğrafyasının 3B görünümünü sağlayan dijital yüzey ve arazi modelleridir (Sefercik vd. 2016).



Şekil 2.6 Yükseklik ölçekli, renkli dijital yüzey modeli örneği (Sefercik vd. 2016)

Uzaktan algılama sistemleri kullandıkları enerji türüne göre 2 sınıfa ayrılır. Bir cisimden doğal olarak yayılan enerjinin kullanıldığı sistemlere pasif sistemler, kendi iç kaynağından objeye enerji gönderip objeden dönen enerjiyi kullanan sistemlere aktif sistemler adı verilir. Örneğin, optik uyduların enerji kaynağı güneş olduğu için pasif sistemlere, lazer teknolojisindeki tekniklerde lazer ışını kullanıldığı için aktif sistemler sınıfına girer.



Şekil 2.7 ALS sisteminin yapısı (Ekercin ve Üstün 2004)

Klasik jeodezik ölçüm yöntemleri, yer ölçümleri, GPS gözlemleri obje geometrisi ve görsellik hakkında istenilen sonuçları tek nokta şeklinde ölçüm yapmasından dolayı verememektedir ve bu yöntem çok yavaş bir yöntemdir. Gelişen teknoloji ile birlikte laser total station aleti gibi nokta bazlı tarama özelliği bulunan teknikler obje geometrisi hakkında bilgiler verir fakat bu yöntemlerin zamandan tasarruf sağlamaması, nokta sayısının istenilen düzeyde olmaması ve taranan nesnenin modeline uygun sonuçlar vermemektedir (Gümüş ve Erkaya 2007).

Dijital fotoğraflama yöntemleri, klasik ölçüm yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verse de model oluşturmada yöneltme, Şekil işleme gibi işlemlerin yapılmasının uzun sürmesi ve iklim, hava koşullarına bağımlı olmasından dolayı istenilen sonuçların istenilen zamanlarda alınamama durumunu oluşturmuştur. Bu sebeple, yapıların, objelerin 3B şekilde ve yukarıda belirtilen sıkıntılar olmadan ortaya çıkarılması amacıyla 90'lı yılların sonu 2000'li yılların başlarında Yersel Lazer Tarama Tekniği ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki belirtilen avantajlar sayesinde YLT yöntemi fazlasıyla önemli ve teknolojiyle paralel şekilde gelişmekte olan bir yöntemdir (Gümüş ve Erkaya 2007).

Yersel lazer tarama yönteminin avantajları arasında;

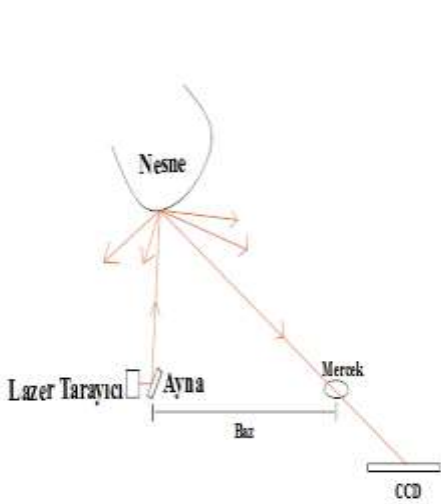
- Objeye teması olmadan hızlı ölçme imkanı
- Belirlenen alanda daha fazla veri toplama imkanı
- Gerçek renkli görüntü imkanı
- Zamandan tasarruf
- Yapılan lazer ölçümlerinin kolay entegrasyonu
- Ölçme alanının belirli periyotlar eşliğinde tamamen ölçülme imkanı
- Yüksek doğruluklu DTM üretimi bulunur (Altuntaş ve Yıldız 2008).

2.2 LAZER TARAMANIN TEMELLERİ

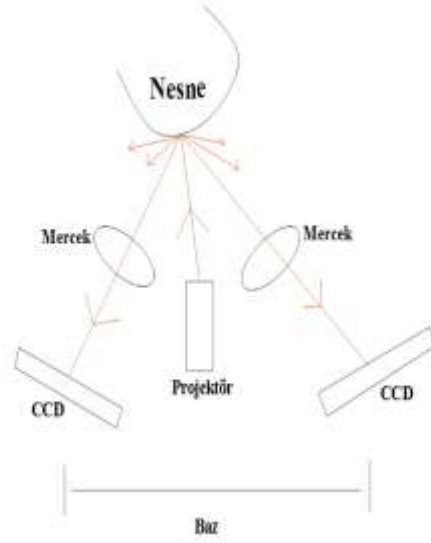
Lazer tarama yöntemi ile nesnelerin 3 boyutlu koordinatlarını belirlemek amacıyla farklı çalışma ilkesine sahip lazer tarayıcılar kullanılmaktadır. Bu çalışma ilkelerinden oluşan lazer tarayıcılar; üçgenleme yöntemi ile çalışan tarayıcılar faz karşılaştırma metodu ile çalışan tarayıcılar ve lazer ışını gidiş geliş zamanı ile çalışan tarayıcılardır.

2.2.1 Üçgenleme Yöntemi

Üçgenleme yönteminin çalışma prensibinde kullanılan aletin yansıtıcı kısmından çıkan lazer ışınları, nesneye gittikten sonra alet bünyesinde bulunan CCD kamera sayesinde toplanır ve nesne yüzeyinde bulunan nokta koordinatları üçgenleme yapılarak elde edilir. Üçgenleme yöntemi kendi içerisinde bulunan CCD kamera sayısına göre tek kameralı üçgenleme yöntemi ve çift kameralı üçgenleme yöntemi olarak 2'ye ayrılır (İçel vd. 2015).



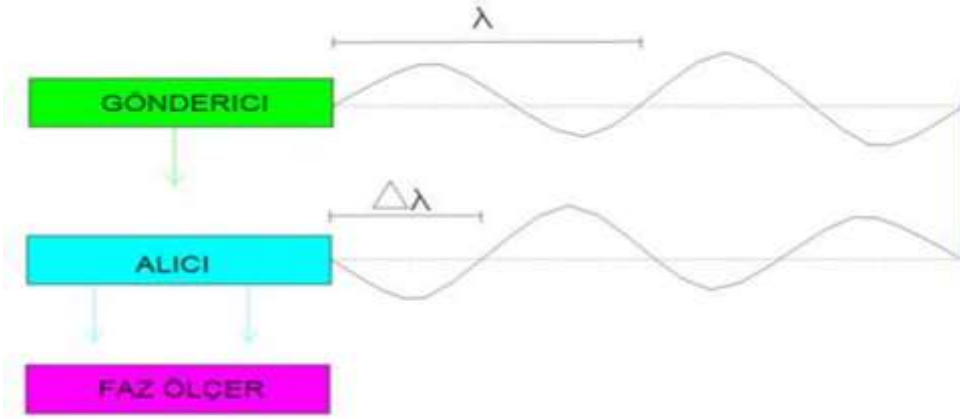
Şekil 2.8 Tek kamera yöntemi



Şekil 2.9 Çift kamera yöntemi

2.2.2 Faz Karşılaştırma Yöntemi

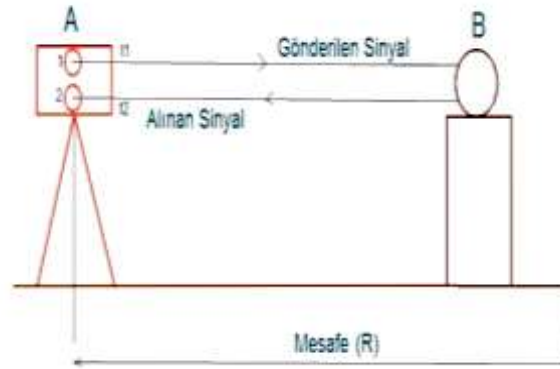
Yapılan uygulamada kullanılan Faro Focus^{3D} X 330 yersel lazer tarama aleti faz karşılaştırma metodu ile çalışan tarayıcılar grubundadır. Bu yöntemde iletilen lazer ışını dalgalar halinde uyumlu bir şekilde yayılır. Taranan nokta ile tarayıcı arasındaki mesafe iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanmaktadır. Tarama neticesinde elde edilen sinyallerin analizi ile doğru sonuçlar hedeflenmektedir. Bu yöntemde dönüş sinyalinin iyi bir şekilde tanımlanmış olması beklenmektedir. Bu yüzden faz kıyaslama metodunu kullanan tarayıcılar uzun mesafelerde kısa mesafelere oranla daha etkilidir (Boehler and Marbs 2002).



Şekil 2.10 Faz karşılaştırma yöntemi

2.2.3 Lazer Işını Geliş-Gidiş Zamanı İle Çalışan Tarayıcılar

Bu yöntem yersel ölçme yöntemlerinden olan Total Station ölçme prensibi mantığıyla çalışmaktadır. Şekil 2.11 de belirtildiği gibi lazer tarama cihazından istenilen nesneye ışın gönderilir ve dönen ışının aleti içerisinde bulunan foto diyot la toplanması amaçlanır. Foto diyot, gönderilen ışını topladığı anda aletin içinde bulunan çok hassas saat mekanizması durur ve gidiş-dönüş arası geçen zaman farkı(Δt) bulunur. Aradaki mesafe bulunan zaman farklarının ışık hızı (c) ile çarpımının ikiye bölünmesi ile bulunur (İçel vd. 2015).



1: SİNYAL GÖNDEREN CİHAZ	$\Delta t = t_2 - t_1$
2: SİNYAL ALAN CİHAZ	$\Delta R = (c \cdot \Delta t) / 2$
A: LAZER ALETİ	$c = \text{Işık Hızı}$
B: NESNE	
t1: SİNYAL GÖNDERİM ANI	
t2: SİNYAL ALIM ANI	

Şekil 2.11 Lazer ışını geliş-gidiş zamanı ile çalışan lazer tarayıcılar

Yukarıdaki yöntemler irdelendiğinde yakın mesafe ölçümleri ve küçük objelerin taranması söz konusu olduğunda üçgenleme yöntemi, tarihi binaların rölöve, restorasyon işlemlerinde, arkeolojik çalışma alanlarında ve büyük alanlarda yapılan çalışmalarda faz karşılaştırma yöntemi ile lazer ışınının geliş-gidiş zamanı ile çalışan tarayıcılar tercih edilmelidir (Yastıklı 2007).

2.3 VERİ YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

YLT tekniğinde bir objeye gönderilen ve objeden dönüp toplanan lazer ışınlarından oluşan, çalışma yapılan alanın büyüklüğü, tarama adetine göre sayısında değişiklik görülen verilerin oluşturduğu bütüne nokta bulutu adı verilir. Oluşan her noktanın tarayıcı alet merkezli lokal koordinat (x, y, z) oluşur (Gümüş ve Erkaya 2007).

Nokta bulutu içerisinde metrik, tematik bilgiler içerir. Metrik bilgiler, taraması yapılan objelerin geometrisi hakkında bilgi verir. Tematik bilgiler ise RGB (KIRMIZI, YEŞİL, MAVİ) ve yoğunluk değerlerini, obje yüzeyinin niteliklerini ve taramada bulunan her noktanın mesafe verilerini ve bu verilerin güvenilirliği hakkında bilgiler içerir (Gümüş ve Erkaya 2007).



Şekil 2.12 Yapılan bir çalışmada oluşan nokta bulutu (URL-6)

2.4 NOKTA BULUTU BİRLEŞTİRİLMESİ

Yersel lazer tarama yöntemi ile 3B sonuç ürünler elde etmek için belirlenen yapının, alanın veya objenin bütün olarak görülebilmesi için birden fazla görüş açısından tarama işleminin gerçekleştirilmesi gerekir. Taramalar sonucu elde edilen nokta bulutu verileri tarayıcı alet merkezli lokal koordinatlardır.

Yapılan farklı taramalar sonucunda elde edilen nokta bulutlarının içerdiği lokal koordinatlar, belirlenmiş olan bir referans sisteminde birleştirilmelidir. Referans sistemi seçimi herhangi bir koordinat sistemi veya taramalardan herhangi birisi seçilerek yapılır. Birleştirme işleminin yapılma amacı 3B modelin oluşturulmak istenmesidir (Altuntaş ve Yıldız 2008).

Lazer tarama sonunda elde edilen nokta bulutları 3B nokta koordinatlarından oluşur. Bu sebeple birleştirme işleminin yapılabilmesi için çeşitli parametrelerinde hesaplanması gerekir. Bu parametreler ölçek faktörüne göre rigid veya rigid olmayan dönüşümler şeklinde 2'ye ayrılır. Rigid dönüşüm, 3 öteleme 3 dönme parametrelerinden oluşur. Rigid olmayan dönüşüm ek olarak ölçek parametresini de içerir (Altuntaş 2017).

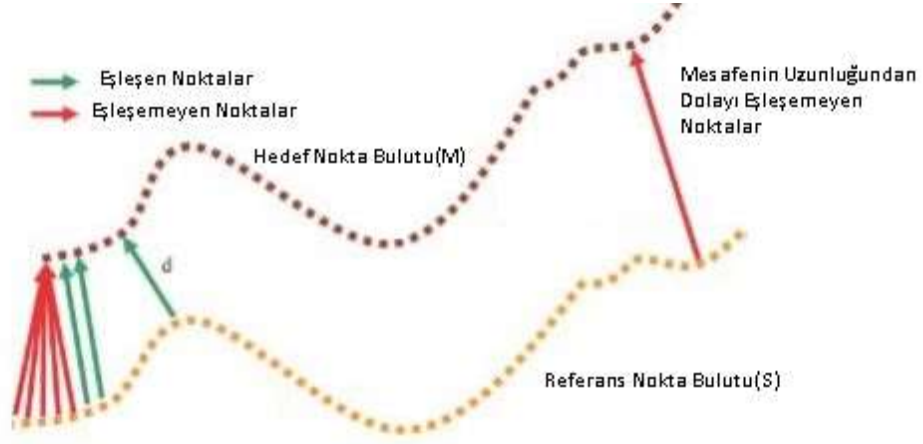
Nokta bulutlarının birleştirilmesi işlemleri 4 ana başlık altında yapılır.

2.4.1 İteratif En Yakın Nokta Yöntemi

İteratif en yakın nokta yöntemi, kullanılan en yaygın ve kolay yöntemdir. Bu yöntemde birleştirilecek iki nokta bulutundan birisi referans olarak diğeri ise onun bir alt kümesi olarak alınır ve referans olarak seçilen nokta bulutunun her noktası için diğeri nokta bulutunda en yakın nokta aranır ve eşleştirme işlemi yapılır. Eşleştirilen noktalar Öklid mesafesi en kısa olan noktalardır. Bu işlem Öklid mesafesi minimum oluncaya kadar tekrarlı yani iteratif bir şekilde sürdürülür (Altuntaş ve Yıldız 2008).

Eşlenik noktalar arası fark istenilen minimum değere ulaştığında yada iterasyon sayısı belirlenen maksimum değere ulaşınca kadar iterasyon işlemine devam edilir. Bu işlemlerin istenilen düzeyde sonuçlar vermesi yaklaşık olarak 15-20 arası iterasyonda mümkündür. Nokta yoğunluğunun az olmasından ötürü eşleşen noktalar arası mesafenin artması sağlıklı

sonuçlar alınmasını engeller (İçel vd. 2015). Şekil 2.13 te eşleşen ve eşleşmeyen noktalar görülmektedir.



Şekil 2.13 İterasyon yöntemi ile eşleşen nokta tespiti (Altuntaş 2014)

2.4.2 En Küçük Karelerle 3B Yüzey İşleme Yöntemi

Bu yöntem, bindirmeli yüzeylerin en küçük kareler yöntemi ile eşlenmesine dayanır. Eşlenmiş yüzeylerin arasındaki 7 dönüşüm parametresi ($\lambda, \omega, \phi, \kappa, x_0, y_0, z_0$) 3B benzerlik dönüşümü ile hesaplanır. Bindirmeli yüzeyler arası mesafe minimum olmalıdır. Yani 3B referans penceresini bir ya da daha fazla 3B araştırma penceresi ile yüzeylerin arasındaki Öklid mesafelerinin kareleri toplamı minimum olmalıdır.

Aynı nesnenin, yüzeyinin farklı iki nokta bulutundaki karşılıklı elemanları $f(x,y,z)$ referans penceresi, $g(x,y,z)$ araştırma penceresi olmak üzere seçersek oluşacak problem; referans penceresi elemanlarına en iyi uyan araştırma penceresi elemanlarının konum, dönüklük ve şeklinin aranarak bulunması şeklinde tanımlanır. Buna rastgele bir hata değeri olan $e(x,y,z)$ eklenirse ortaya aşağıdaki bağıntı çıkar (Akca and Gruen 2005).

$$f(x,y,z) + e(x,y,z) = g(x,y,z) \quad (2.1)$$

Yukarıda belirtilen 3B benzerlik dönüşümüne bakılacak olursa:

$$f(x,y,z) + e(x,y,z) = g(x,y,z) \quad (2.2)$$

Yukarıda belirtilen 3B benzerlik dönüşümüne bakılacak olursa:

$$[X \ Y \ Z]^T = mR_{\omega,\phi,\kappa}[x \ y \ z]^T + [t_x \ t_y \ t_z]^T \quad (2.3)$$

$[X \ Y \ Z]^T$: 2.sistem koordinatları

$R_{\omega,\phi,\kappa}$: ortogonal dönüşüm matrisi elemanları

$[t_x \ t_y \ t_z]^T$: öteleme vektörü

$[x \ y \ z]^T$: 1.Sistem koordinatları

m: ölçek katsayısıdır (Akca and Gruen 2005).

Bu yöntem noktadan yüzeye seçilen mesafelerin minimum olacak şekilde uygulandığında, noktadan noktaya seçilip yapılan birleştirmeye göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir (Altuntaş 2017).

2.4.3 Bağımsız Model Yöntemi

Bu yöntemde öncelikle yapılan taramaların hepsinde YKN (Yer Kontrol Noktası) bulunmalıdır. YKN farklı zaman dilimlerinde yapılan çalışmaları ilişkilendirilmesinde, doğruluğun artırılmasında ve çeşitli ölçülerin (fotogrametrik ve topografik) bu ölçülerle birleştirilmesinde yarar sağlar. Ayrıca YKN dönüşüm hatalarını da azaltır. Yani YKN bu yöntem için çok ama çok önemlidir.

Lazer taramanın en büyük avantajı maliyetin düşük ve ölçü süresinin yani tarama süresinin düşük olmasıdır. Bütün modellerin YKN ye dayalı olarak koordinatlandırılması belirtilen avantajları olumsuz yönde etkileyeceğinden nokta bulutlarının referans koordinat sisteminde birleştirilmesi için bağımsız model yöntemi geliştirilmiştir.

Bağımsız model yöntemi farklı noktalardan alınan 3B modellerin dengeleme işlemi yapılmış halidir. Bağlama noktaları önceki yöntemlerdeki gibi dönüklük ve ötelemeleri hesaplarken, YKN modellerimizin verilen referans sistemine oturtulmasını sağlar. Yöntemde ilk önce bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri lazer taramanın örtü alanında seçilen en az 3 adet bağlama noktası ile hesaplanır. Bağlama noktası olarak önceden tesis edilen işaretler veya belirgin nesnenin doğal özellikleri kullanılır. Bu işlemlerden sonra en küçük kareler yöntemi ile 3B modellerin bağımsız model dengelemesi yapılır. Bu işlemin amacı her nokta kümesinin

dönüşüm parametrelerini hesaplamaktır. Bu parametrelerle her modelin referans koordinat sistemindeki koordinatlarını hesaplayabiliriz.

Bağımsız model yöntemi farklı şekillerde uygulanabilir.

- ✓ Bir modeldeki YKN sayısı yöneltme için yeterli veya daha fazla sayıda ise yöneltme işlemine bu noktadan başlanır.
- ✓ YKN yeterli sayıda fakat nokta bulutu tek başına dönüştürülemiyor ve tüm bloğun dönüşümü yapılamıyorsa; diğer nokta bulutları ile en fazla nokta içeren nokta bulutu referans seçilir ve diğer nokta bulutları bu sisteme dönüştürülür. Bu dönüşüm sonunda elde edilen blokta yeterli sayıda YKN bulunduğu zaman sonraki birleştirme işlemleri bağımsız model yöntemine göre devam ettirilir.
- ✓ Nokta bulutları içinde YKN bulunmuyorsa; referans olarak bir nokta bulutu seçilir. Daha sonra her nokta bulutu kendisinden bir önceki nokta bulutunun koordinat sistemine dönüştürülerek tüm taramalar ortak bir koordinat sistemine dönüştürülür. Bu dönüşüm sonucunda dönüklük parametreleri yeterli sayıdaki tekrar (iterasyon) ile hesaplanır ve tek bir blok alanı oluşturulur. Fakat yöneltme işlemi yapılan her nokta bulutu bir sonraki nokta bulutunun referansı olarak alınacağı için hata oranı birikir ve tüm bloğa yayılır. Bunu en aza indirmek için blok geometrisinin yani YKN nin blok içindeki dağılımının çok iyi olması gerekmektedir (Altuntaş ve Yıldız 2008).

2.4.4 Doğrudan Jeodezik Koordinatlı Ölçme Yöntemi

Diğer yöntemlerin çeşitli sebeplerle uygulanamadığı durumlarda kullanılmak üzere geliştirilen yöntemdir.

Bu olumsuz durumlar;

- YKN tesisinin mümkün olmadığı ya da çok zor olduğu durumlar
- YKN tesisinin geniş alanlarda maliyeti fazlasıyla arttırması olarak görülebilir.

Maden işletme sahaları, tünel-yol projeleri gibi geniş alanda gerçekleşen projelerde, önceki kısımlarda bahsedilen ve referans olarak alınan nokta bulutunun koordinat sisteminde birleştirme yapılması halinde yapılan birleştirme işleminde çok fazla sistematik hata oluşacaktır. Bu sıkıntı nokta bulutundan elde edilen 3B nokta koordinatları jeodezik

koordinatlara YKN ile dönüştürülebilir. Fakat bu işlem alan genişliğinden dolayı çok fazla sayıda YKN gerektirir (Altuntaş ve Yıldız 2008).

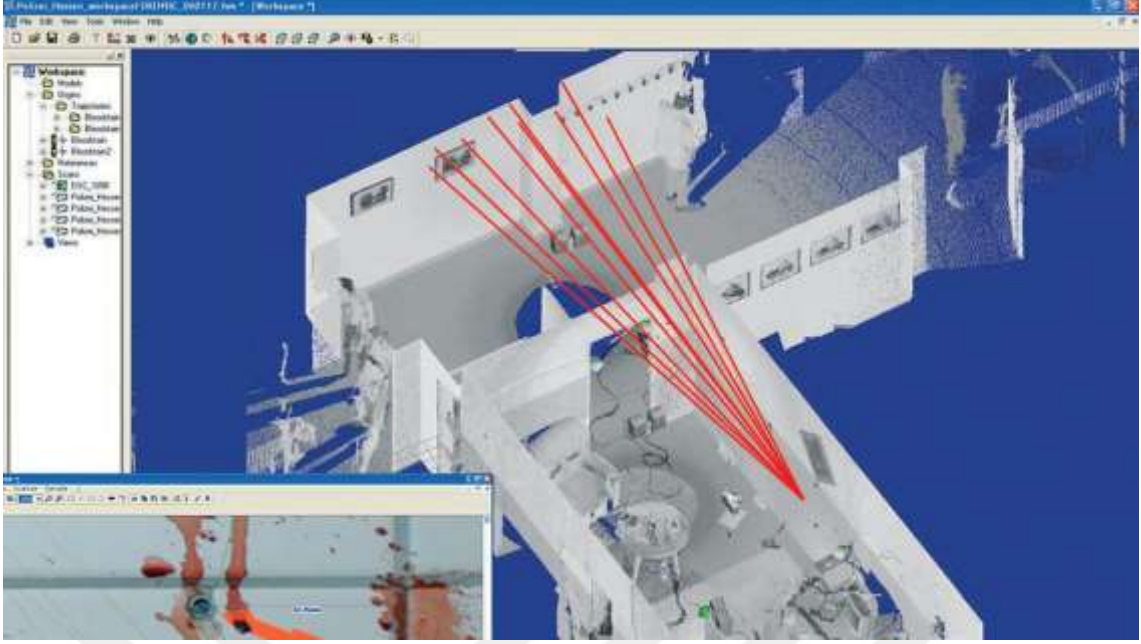
Her lazer taramanın jeodezik koordinatlara dönüştürmek için, 3B benzerlik dönüşümündeki dönüklük matrisleri ve öteleme vektörlerinin hesaplanması gerekir. Bu parametrelerin hesaplanabilmesi için tarama içindeki en az 3 noktanın jeodezik koordinatlarının bilinmesi ve dönüşüm doğruluğunun artırılması için 3 ten fazla ortak noktanın olması gerekir. Bahsi geçen nokta sayıları alanla doğru orantılı bir şekilde artış gösterir ve bu artış sonunda kullanılan YKN sayısında da artış görülür. Bu durum YLT tekniğinin avantajlarına ters bir durumdur ve tüm bu olayların sonunda oluşan yöntem Doğrudan Jeodezik Koordinatlı Ölçme yöntemidir (Altuntaş ve Yıldız 2008).

2.5. YERSEL LAZER TARAMA UYGULAMA ALAN ÖRNEKLERİ

Yersel lazer tarama yöntemi 3D modellemenin ihtiyaç duyulduğu adli tıp, endüstri, ormancılık, doğal afetlerin izlenmesi, mimari çalışmalar, arkeolojik çalışmalar, CBS uygulamaları, kriminoloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

2.5.1 Adli Tıp

Herhangi bir suç işlendiğinde olay yerindeki kanıtların kaybolmaması ve olay yerinin yapısının bozulmaması fazlasıyla önemlidir. Bu işlemlerin acil ve hızlı bir şekilde yapılması gerekir. Bu nedenlerden dolayı adli tıp uzmanları YLT teknolojisi ile görüş açısı, mermi yolu, sıçrayan kan analizi gibi verilerin elde edilmesi için renkli görüntülerle elde edilen nokta bulutları üzerinden bu işlemleri gerçekleştirebilirler (URL-7).



Şekil 2.14 Adli tıp uygulama örneği (URL-7)

2.5.2 Endüstri

YLT ile endüstri alanındaki çeşitli büyüklükteki parçaların 3B taraması gerçekleştirilebilir. Tarama sonucu oluşan nokta bulutu ile endüstriyel uygulamalarda fazlasıyla ihtiyaç duyulan, çalışılan objelerin CAD ve yüzey modelleri oluşturulur. Oluşan bu modeller kullanılarak objelerin ilk örnekleri veya herhangi bir sebeple hasar meydana gelmesi sonucu kopyası kısa zamanda ve verimli bir şekilde elde edilebilir (Bayram vd. 2009).



Şekil 2.15 Otomotiv sanayinden bir uygulama ve elde edilen nokta bulutu verisi (Bayram vd. 2009)

Spor müsabakalarındaki seyirci ile müsabaka alanı arasını engelleyici unsurların girmemesi, spor komplekslerinin büyük açıklıklı yapılar olmasını gerektirir. Bunun sonucunda uzay kafes sistelerinin kullanımı yaygınlaşmıştır ve yapı endüstrisi gelişmektedir. Anlatılan uzay kafes

sistemlerinin İTÜ Ayazağa merkez spor salonu örneğindeki gibi YTL verileri kullanılıp 3B modellenmesi yapılabilmektedir (Gül vd. 2014).

2.5.3 Orman Uygulamaları

Yapılan örnek çalışmada tek ağaç özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın yapılacağı alandan elde edilen veriler, İngiltere’de bulunan ve farklı özelliklerdeki Kayın meşçeresi, Korsika çamı meşçeresi ve Douglas göknarı meşçeresine ait nokta bulutu verileridir (Özdemir 2013).

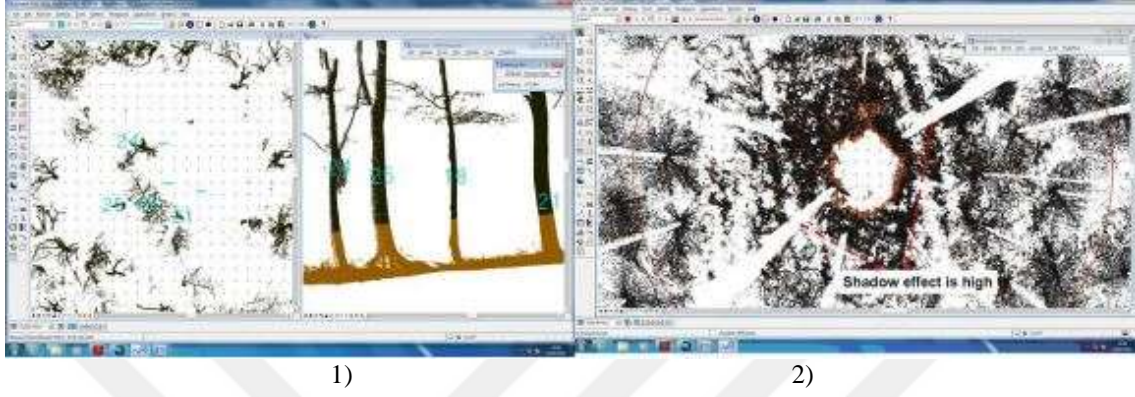


Şekil 2.16 Taraması yapılan meşçere örnekleri (Özdemir 2013).

Yapılan bu çalışmada ağaç tepelerinin tabaka durumları belirlenmek istenmiştir. Bu işlem için de ağaç boyut çeşitliliğinden yararlanılmaktadır. Bu amaçla genellikle tercih edilen yöntem olan, ağaç tepesinin boyutları ile yüksek korelasyon gösteren, göğüs çapı ya da göğüs yüzeyinin çeşitliliği, gerçek tabakalanma durumunu temsil etmeyebilmektedir (Özdemir 2013).

Bu sebepten ötürü tepe boyutlarının ve ağaç boylarının doğrudan ölçülerek meşçerenin dikey çeşitliliğinin belirlenmesinin daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bundan ötürü yapılan çalışmayı daha güvenilir bir hale getirmek için nesne geometrisinin 3B olarak hızlı ve güvenilir bir şekilde oluşturulmasını sağlayan yöntem olan YLT tekniği kullanılmıştır. Fakat çalışmada ki en büyük sıkıntı ağaç gövdelerinin birbirini örtmesi sonucu oluşan gölge

etkisidir. Oluşan bu sıkıntının çözülmesi için birkaç noktadan gözlem yapılması önerilmektedir. Gözlemler sonucu oluşan nokta bulutu verileri kullanılan küreler yardımıyla birleştirilerek x, y koordinat z yükseklik değerlerine sahip tek bir nokta bulutu vektör verisi elde edilmiştir (Özdemir 2013).



Şekil 2.17 1) Göğüs hizası çaplarının ölçüldüğü kısımların ortaya çıkması 2) Gövdelerin birbirini örtmesi sonucu oluşan gövde etkisi

Yapılan çalışma sonucunda oluşan veriler kullanılarak 127 ağaçta (Korsika çamı + kayın) göğüs çapı ve 45 ağaçta (Korsika çamı) ağaç boyu, tepe çapı ve tepe boyu belirlenmiştir (Özdemir 2013).

Bu değerler yersel ölçümler ile YLT verilerinin kıyaslanması sonucu istenilen değerlerdir.

2.5.4 Mimari Çalışmalar

Yapılmış olan bu çalışma Eskişehir-Seyitgazi Sincan Cezaevi çalışmasının YLT verileri kullanılarak restorasyon işlemlerini anlatmaktadır.

Mimari yapıların korunma sürecinde sırasıyla; rölöve, restitüsyon, restorasyon işlemleri gerekmektedir.

Rölöve, korunmak istenilen yapının o günün şartları altındaki tüm ekleme ve tahribatıyla birlikte ölçümler sonucu belgeleme işlemidir.

Restitüsyon, pek çok sebeple kısmen yıkılmış, yok olmuş veya zarara uğramış yapıların varsa orijinal ilk hallerindeki durumlarının; arşivlerden, yapının içerdiği izlerden, yapıya ait varsa

Çizim, fotoğraf gibi belgeler yardımıyla kesit, plan, görünüş ve aksonometrik çizimlerle anlatılması işlemidir.

Mimari yapıların korunma sürecindeki son aşama olan restorasyon ise, önceki yapılan rölöve ve restitüsyon çalışmaları sonucunda yapının orijinal ilk haline uygun şekilde mümkün olduğu kadar az müdahale edilerek onarılma işlemidir.

Yapılan çalışmada öncelikle YLT tekniği ile öncelik olarak ölçümleme ve belgeleme işlemi yapılmıştır. Yapılan bu işlemler sonucu çalışılan yapının Riegl marka LMS Z-390i YLT aleti ile 3 farklı şekilde tarama yapılmış ve RiScan Pro yazılımı yardımıyla şekil 2.18 deki 3B nokta bulutu verisi oluşturulmuştur (şenkal vd. 2013).



şekil 2.18 Genel alan taraması (şenkal vd. 2013)

Oluşan nokta bulutu verileri ve yapının fotoğrafları ile altlık olarak kullanılacak dönüklük, eğiklik ve yükseklik farkları sonucu ortaya çıkmış hataların ortadan kalktığı şekil 2.19'daki orto-foto görüntüler üretilmiştir (şenkal vd. 2013).



şekil 2.19 çalışma alanının ortofoto görüntüsü

Oluşturulan ortofoto görüntüleri Point Cloud programı ile AutoCAD ortamına aktarılmış ve belirlenen alanın 2B çizimleri yapılmıştır.

Sonrasındaki işlemde belirlenen alanın metre, lazer metre, şakül, ip, hortum gibi pratik elle yapılan ölçümler yapılmıştır. Bu aletler ile üçgenleme, bağlama, dik koordinat ve kutupsal koordinat gibi yöntemler yardımıyla rölöve ve plan kesit ölçümleri yapılabilmektedir.

Sonuç veriler kıyaslandığında YLT yönteminin en büyük avantajlarından olan zamandan çok büyük tasarruf sağladığı ve çok daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Tek sıkıntının ise yapının iç kısımlarındaki taramalar sonucunda veri elde edilememesidir. Bu sıkıntı ise yapılan elle ölçümler ile giderilmiştir (Şenkal vd. 2013).

Ayrıca kültürel mirasın korunması ve belgelenmesine yönelik yapılan başka bir çalışmada AKSARAY 'da belirlenen tarihi bir evin 3B modellemesi yapılmıştır (Korumaz 2016).

2.5.5 Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları

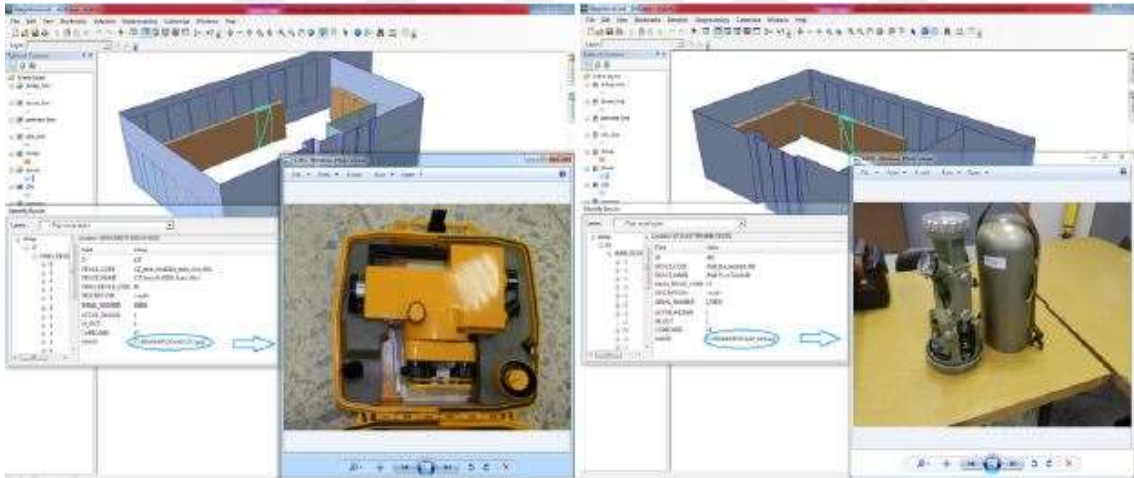
CBS, günümüzde insanlığa çok farklı alanlarda hizmet eden bilgi teknolojisi içinde konuma bağlı şekilde grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlemlerinin gerçekleştirildiği, temel altlığının çeşitli ölçeklerdeki haritaların olduğu bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu 2010).

CBS, tanımda bahsedilen grafik ve grafik olmayan verilerin toplanıp, kullanılması sonucu oluşur. CAD verileri kullanılıp veya sayısallaştırma teknikleri ile sayısallaştırılarak oluşturulan verilere grafik veri denir. Fakat grafik veriler harita üzerinde yol, arazi sınırları vb. CAD verilerinden oluştuğundan ötürü nesnelere hakkında çizgisel gösterim dışında ayrıntılı bilgiye sahip değildir. Bu eksiklik ise nesne özelliklerinin açıklandığı grafik olmayan veriler ile giderilmiş ve CBS oluşmuştur (Özdoğan ve Gümüşay 2011).

Örneğin su baskın analizleri, gürültü-hava kirliliği veya yeraltının modellenmesi gibi 3B verilere ihtiyaç duyulduğu zamanlarda oluşturulan 2B verilerin yetersiz kaldığı ve 3B veri gereksiniminin olduğu durumlar olabilir.

3B verinin elde edilmesinde 4 farklı yaklaşım söz konusudur. İlk yaklaşım 2B elde edilmiş verilere ek lazer tarama, GPS, yersel ölçme teknikleri ile elde edilmiş yükseklik değerinin birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu yaklaşım YLT avantajlarından olan hız ve yüksek doğruluk açısından önemli bir yöntemdir. Dezavantajı ise bina vb. yapılarının çatı modellemesinde sıkıntılarının olmasıdır. İkinci yaklaşım da ise bahsi geçen sıkıntılar 2B verilerin hava fotoğraflarından elde edilip yükseklik bilgisinin YLT veya yersel ölçme yöntemleri ile birleştirilmesidir. Üçüncü yaklaşımda ise öncesinde çeşitli yöntemlerle tanımlanmış 3B yapıların YLT sonuç ürünü olan nokta bulutu ile eşleştirilmesidir. Son yaklaşım ise farklı 3B veri toplama yöntemlerinin entegrasyonu ile gerçekleşir (Yılmaz vd. 2015).

Ayrıca YLT verileri ile oluşturulan İTÜ Geomatik Mühendisliği alet laboratuvarı 3b modellenmiştir. Laboratuvarda bulunan donanımların seri numaraları, dolaplara ait bilgiler, Şekiller gibi sözel veriler ile bilgi sistemi oluşturulmuş ve istenilen bilgilere hızlı bir şekilde ulaşılması ve istenildiğinde bilgilerin güncellenmesi amacıyla çalışma yapılmıştır. Sorgulama örnekleri şekil 2.20 de gösterilmiştir (Akay vd. 2012).



Şekil 2.20 Sorgulama örnekleri

2.5.6 Doğal Afetler

YLT verileri kullanılarak yapılan çalışmada ülkemizde çok sık görülen doğal afet türü olan heyelanın izlenme çalışmaları da yapılabilmektedir. Konya- Taşkent ilçesinde yapılan çalışmalarda GNSS ölçümleri ile YLT ölçümlerinin heyelanın yönü, hareket eden kütle hacmi, heyelan karakteri kıyaslanmıştır ve YLT tekniği, GNSS ölçümleri kadar hassasiyet

içeren sonuçlar vermiştir ve bu işlemin çok kısa bir zamanda yapılmasına olanak sağlamıştır (Zeybek 2013).



Şekil 2.21 Heyelan sebebiyle Taşkent-Balcılar yolunun bozulan kısmı (sol) ve İksa duvarındaki Deformasyon (sağ) (Zeybek 2013)

2.6 BOZULMALAR

Yersel lazer taramadaki hata kaynaklarının sınıflandırılması, çok sayıda faktörün olmasından ötürü farklılık gösteren bir işlemdir. Bu alanda Staiger (2005) ve Reshetyuk (2006) çalışmalarında çevresel, metotsal, aletsel ve objesel olmak üzere 4 sınıfta incelemiştir. Ayrıca Lichti ve Gordon (2004) çalışmalarında hataları, dahili ve harici olmak üzere 2 sınıfta incelemiştir. Bir diğer sınıflandırma tarama esnasında fark edilen hatalardan çıkış alınarak yapılmış uzunluk hataları ve açısal hatalardır. YLT tekniğinde görülen bu hataların farklılıklarının sebepleri arasında lazer tarayıcı aletlerin tasarım ve tekniklerindeki farklılıklar veya farklı yöntemlerle çalışma prensiplerine sahip olmalarıdır (Gümüş vd. 2009). Belirtilen hatalar sonucunda elde edilen veriler gürültülü veriler olur. Fakat bu hatalar teknoloji ile paralel yöntemin gelişmesi ile birlikte giderek azalmaktadır.

2.6.1 Aletsel Hatalar

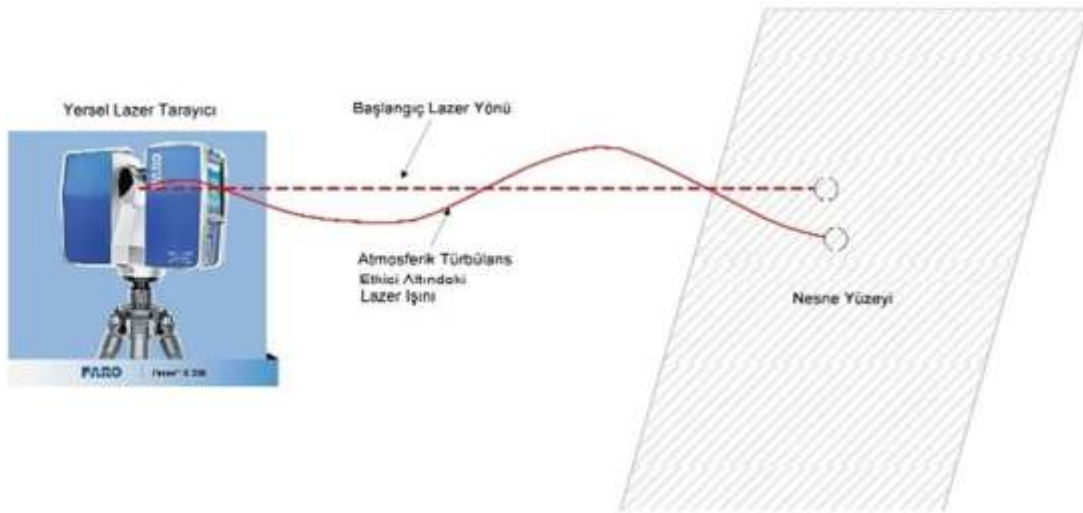
Aletsel hataların bir kısmı kullanıcı veya mühendislik çalışmaları ile giderilememektedir. Giderilemeyen bu bozulmalar lazer telemetresi ve ışın saptırma ünitesinin fiziksel yapısından kaynaklanır. Aletsel hataların bir kısmı ise tasarımın geliştirilmesi ve kalibrasyonların yapılmasıyla giderilebilir veya azaltılabilir. Bu tür hatalara eksen kayıklığı örnek gösterilebilir (Gümüş vd. 2009).

2.6.2 Çevresel Hatalar

Lazer tarayıcıyı etkileyen çevresel etkiler ise ortamın sıcaklığı, basıncı, bağıl nemi, aydınlatması ve ortamdaki titreşimlerdir. Bu etkiler daha çok ışın gezinmesi ve ışın parlaması olarak bilinen hatalara sebep olur.

2.6.2.1 Işın Gezinmesi

Işın gezinmesi; şekil 2.22 de görüldüğü gibi başlangıç yayılma yönüne göre, ışın yönünün değişmesidir. Bu bozulmada lazer ışını, lazer spot çapı sabit kalarak izlemesi gereken yoldan sapar.



Şekil 2.22 Lazer ışınının gezinmesi (Özberber vd. 2015)

2.6.2.2 Işın Parlaması

Yersel lazer tarayıcı aletleri belli sıcaklık değerleri aralığında ölçme imkanı sağlarlar. Çoğu lazer tarayıcı aleti 0 C° altında çalışmaz. Çalışmada kullanılan Faro Focus3D X 330 aletinin teknik özelliklerinde bu değerler 5 C°- 40 C° aralığındadır. Işın parlaması hatasının en önemli faktörü sıcaklıktır. Bu bozulmada lazer spotu daha ufak spotlara bölünerek dağılma ve kırılma oluşumuna neden olur. Sıcaklığın çok yüksek olduğu havalarda tarayıcının sıcaklığının artmaması için tarayıcıyı gölgelemek önemlidir (Gümüş vd. 2009).

2.6.2.3 Olumsuz Hava Koşulları

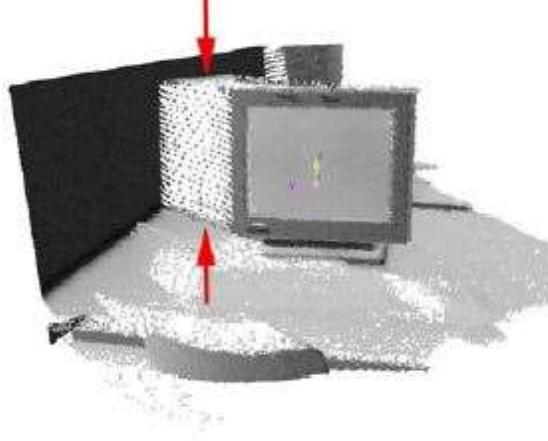
Olumsuz hava koşulları, yersel lazer taramada elde edilen verilerde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Kötü hava koşulları olarak bahsedilen durumlar yağmur, sis, pus gibi durumlardır. Sisli, puslu, tozlu, buharlı veya yağmurlu havalarda havanın içindeki partiküller veya yağmur damlalarının etkisiyle ayrılma pikselleri ve yanlış dönüşler oluşur. Ayrılma pikselleri, objeye çarpıp dönen lazer ışınının alıcı tarafından zayıf algılanmasına sebep olan etkindir. Yanlış dönüşler ise, vericiden çıkan lazer ışınlarının bir kısmının istenilen objeye çarpması bir kısmının ise havanın içinde bahsedilen partiküller veya yağmur damlalarına çarpması sonucu oluşan durumdur. Kötü hava koşulları YLT taramalarından elde edilen verilerin olumsuz yönde etkilenmesini sağlar (Gümüş vd. 2009).

2.6.3 Nesnel Hatalar

Nesnelerden kaynaklanan hatalar lazer ışınının olağan dışı yansımaları ve o şekilde kaydedilmesi sonucu oluşur. Nesneden kaynaklı hatalar; kapama sınırları (Boundaries of occlusions), yüzey yansımaları (Surface reflectance), çok yollu yansıma (Multi path reflection) olmak üzere 3 grupta incelenir.

2.6.3.1 Kapama Sınırları (BOUNDARIES OF OCCLUSIONS)

Kapatma sınırı, lazer ışınlarının doğrultusunda karşısına çıkan 2 obje arasında kalan kısma verilen isimdir. Lazer ışınının yapısı incelendiğinde çıkan sonuçların sanılanın aksine ışının nokta şeklinde değil elips (footprint) şeklinde olduğunu göstermektedir. Lazer ışınının bu yapısı kapatma sınırına çarptığında ışının 2'ye bölünmesine neden olur. Bunun sonucunda oluşan veriler uyuşumsuz veriler olduğu için gürültülüdür. Bu gürültüler taranacak objenin oluşturulacak olan geometrisinin sınırlarını olumsuz etkiler. Bu hatayı elimine etmek için kapama sınırları içindeki noktaların kaldırılması ve sınırın karşısından taramanın tekrarlanması gerekir (Tomurcuk 2010).

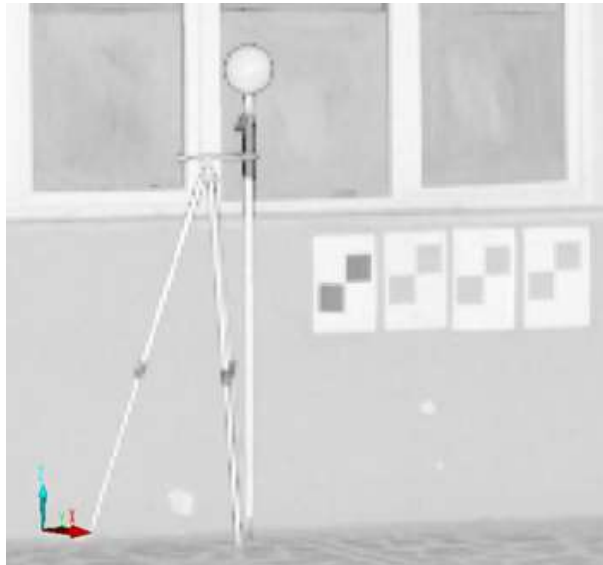


Şekil 2.23 Kapama sınırı hatası nedeni ile oluşan gürültülü veri örneği (Sotoodeh 2006)

2.6.3.2 Yüzey Yansımaları (Surface Reflectance)

Yapılan bazı ölçümlerin gürültü içermesinin sebebi yüzeyden yansıyan ışınların gereğinden yüksek veya düşük yansımalar içermesidir. Genellikle siyah nesnelere oluşan yutulmalar ve pürüzsüz yüzeylerdeki tam yansımaya bu tip bozulmalara örnektir.

Şekil 2.24 te farklı baskılara ve kağıt türlerine ait çalışma gri skala ile renklendirilmiş şiddet görüntüsüne bakıldığında hepsinin farklı şekilde yansımaya değerlerine sahip olduğu gözükmemektedir.



Şekil 2.24 Bülent Ecevit Üniversitesi hedef analizi çalışması (İçel vd. 2015)

Yüzey yansımaları için yapılan başka bir çalışmada test alanı olarak çevresel faktörlerden etkilenmemek için kapalı bir alanda beyaz, kırmızı, mavi, yeşil yüzeylerin her birinde taramalar gerçekleştirilmiş ve sonuç bulguların hassasiyet cinsinden değerleri çizelge 2.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Objeye yüzey renkleri ve tarama hassasiyetleri

Objeye Yüzey Rengi	Tarama Hassasiyeti (mm)
Beyaz	5.7
Kırmızı	11.8
Mavi	8.3
Yeşil	12.2

Bu çalışma sonucu en iyi sonucu veren yüzeyin beyaz renkli yüzey olduğu görülmüştür (Yaman vd. 2017).

2.6.4 Seçilen Yöntemden Kaynaklanan Hatalar

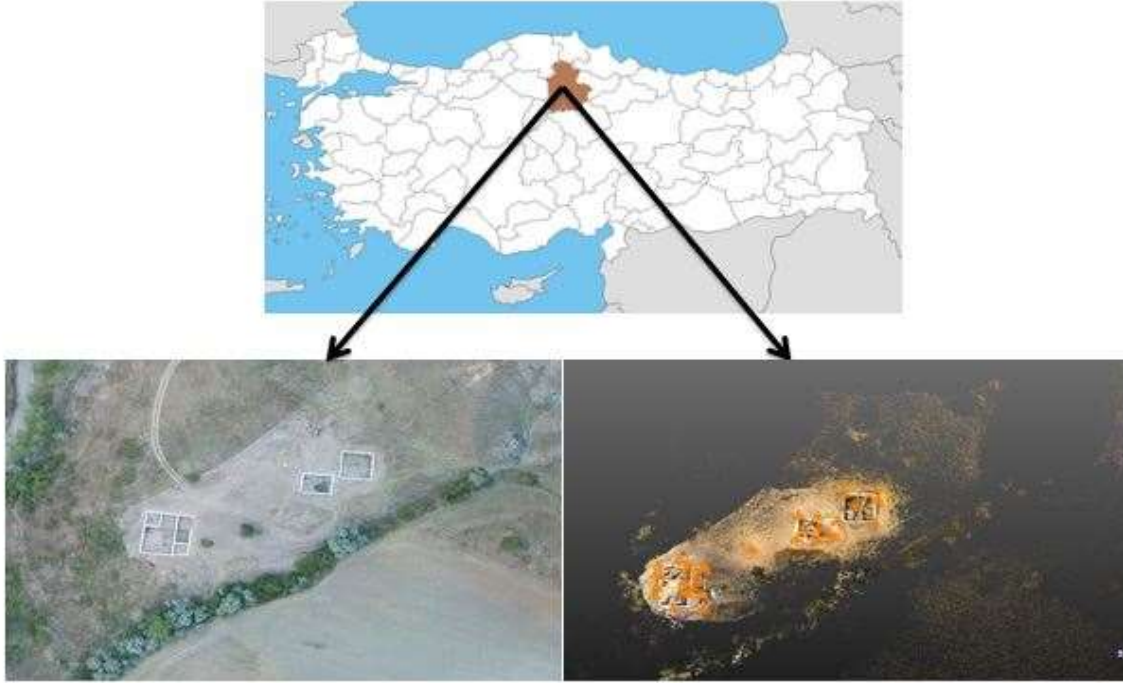
YLT tekniğinde karşılaşılan bu tip hatalar tarayıcı ile taranan obje arası mesafesine uygun yöntemlerin seçilemediği zamanlarda meydana gelen hatalardır. Bölüm 2.2'de hangi mesafelerde hangi tür yöntemlerin seçilmesi gerektiği ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Çalışma yapılan mesafeye göre uygun yöntemin seçilmesi elde edilecek veri kalitesini arttıracaktır.

Kullanılan yöntemden kaynaklanan hatalar başlıca; yanlış parametrelerin seçilmesi, hedeflerin aynı doğrultu ve yönde seçilmesi ve uygun dönüşüm yönteminin seçilmemesiyle meydana gelen hatalardır (Özberber vd. 2015).

BÖLÜM 3

ÇALIŞMA ALANI VE MATERYALLER

Çalışma yapılan alan 34 derece 4 dakika 28 saniye Doğu boylamı, 39 derece 54 dakika 20 saniye Kuzey enleminde bulunan , yüzölçümü 12.820 km² , deniz seviyesinden yüksekliği 801 metre ve 2017 sonu TÜİK verilerine göre 528.422 nüfusa sahip olan Çorum ilidir (URL-8). Çorum ili Türkiye'nin Karadeniz Bölgesinin Orta Karadeniz Bölümünde yer almaktadır. Samsun, Kastamonu, Samsun, Amasya, Kırıkkale, Yozgat, Çankırı illerine komşudur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Çalışmanın Yapıldığı Çorum İli

Çorum İli, Bayat ilçesi, Derekutuğun Köyü'nün doğusunda yer alan Mazıönü Mevkii'nin güney batıya bakan yamaçlarında, 2007 yılında eski maden işletme alanları izlerine rastlanılması üzerine, 2009 yılından itibaren Çorum Müze Müdürlüğü başkanlığında ve Alman Madencilik Müzesi uzmanlarından Prof. Dr. Ünsal YALÇIN'ın bilimsel sorumluluğunda kazılara başlanmıştır. Halen devam etmekte olan kazılara Almanya, Fransa,

İtalya, Rusya ve ülkemizin çeşitli üniversitelerinden çok sayıda uzman ve öğrenci katılmaktadır.

Madencilik tarihi ve Eski Anadolu Madenciliği hakkında önemli sonuçlarının elde edildiği Derekutuğun-Mazıönü Mevkii kazılarının yanında, Mazıönü Mevkii'nin güneydoğusunda yer alan ve Erikli Mevkii olarak adlandırılan alanda madenden çıkarılan cevherin ilk işlem ya da önışlem gördüğü işliklerin bulunabileceği düşüncesiyle, 2015 yılında kazılara başlanmıştır. Yüzeyde bulunan çok sayıda çanak çömlek parçası ve tarla sahiplerinin alandan toplayıp, öbekler haline getirdikleri taş yığınları arasında bulunan çok sayıda madenci taşları, Derekutuğun Tarihöncesi maden galerilerinin yakınındaki yerleşimin ve madenci aktivitelerinin izleri gibidir. Söz konusu alanda 2015 yılında başlayan ve 2016 yılında devam ettirilen kazılarda Roma, Hellenistik Dönem, Orta-Geç Demir Çağı, Orta Tunç ve Erken Tunç Çağı'na ait seramik parçalarına ve bazı küçük buluntulara rastlanılmıştır. Erikli Mevkii'nin kuzeydoğu-güneybatı yönünde oldukça eğimli olması ve erozyon faaliyetlerinin yoğun olarak yaşanması nedeniyle, kazılarda üst seviyelerde oldukça karışık malzeme ile karşılaşmıştır. Erikli I-III açmalarında gerçekleştirilen kazılarda söz konusu durum açıkça görülebilmektedir (Yalçın vd. 2017).



Şekil 3.2 Erikli I açması kazıları

Erikli Mevkii'nin ortalarına yakın bir konumda bulunan Erikli I açmasında yapılan kazılarda (Şekil 3.2) en üstten başlayarak Roma, Hellenistik Dönem ve Orta-Geç Demir çağlarına ait

iskân izleriyle karşılaşmıştır. Söz konusu alanda özellikle Geç Demir Çağı'na ait yapıların duvarlarının iyi korunduğu ve bazı duvarların 1-1,5 m. yüksekliğe sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, sözü edilen duvarların eğim yönünde ve erozyonun etkisiyle yer yer deforme oldukları tespit edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Erozyon etkisi ile deforme olan kısımlar

Çalışmaların devam ettiği alanda Geç Demir Çağı'na ait birbiri ile bağlantılı kompleks büyük yapıların bulunduğu görülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Tespit edilen yapı örnekleri

2016 yılında çalışılan bir diğer alan Erikli III Mevkii'dir. Bu alanda yapılan çalışmalarda üst yapı katlarında, Roma Dönemi'ne ait büyük mekânları bulunan yapılarla karşılaşılmıştır. Erikli Mevkii'nin topografik açıdan güney sınırına yakın olan bu alanda Roma dönemi kalıntılarının altında, çöplük, fırın ve işlik alanları tespit edilmiştir. Çöplük alanlarından ve işlik yerlerinden elde edilen çok sayıda maden cürufu, üfleçler ve pota parçaları bu alanın madenci aktivitelerinin gerçekleştirildiği bir yer olarak kullanıldığına işaret etmektedir (Yalçın vd. 2017).

2009 yılında başlayan kazılarda elde edilen sonuçlar, kısa sürede değerlendirilmiş ve bu sonuçları içeren çok sayıda makale ile birlikte, 2009-2011 yılı sonuçlarını içeren bir kitap 2016 yılında yayınlanmıştır. Çorum Müzesi Müdürü Dr. Önder İpek ve diğer çalışanları ile birlikte Prof. Dr. Ünsal Yalçın ve ekibi tarafından özverili bir şekilde sürdürülen Derekutuğun-Maziönü Mevkii Tarihöncesi Bakır İşletmeleri ve Erikli Mevkii kazıları Anadolu arkeolojisine ve madencilik tarihine önemli katkılar yapmaya devam etmektedir.

Yapılan çalışmada çizelge 3.1 'de özellikleri görülen Faro Focus^{3D} X 330 yersel lazer tarayıcı ve çizelge 3.2 de özellikleri görülen Satlab SL 6000 GNSS ve Phantom 3 Advanced İHA aletleri ile arazi ölçüm işleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca araziden elde edilen verilerin ofis ortamında işlenmesi için Trimble Real Works 9.1 yazılımı ve çalışılan sahadan alınan görüntülerin eşleştirilip orto-görüntülerin oluşturulması için Agisoft 1.3 yazılımı kullanılmıştır.

KULLANILAN DONANIM



Şekil 3.5 Kullanılan Yersel Lazer Tarama Cihazı

Çizelge 3.1 Faro Focus^{3d} x 330 teknik özellikler

Mesafe Focus^{3D} X 330	0.6 – 330m
Ölçüm hızı	Saniyede 976,000 noktaya kadar
Mesafe hatası	± 1.5mm
Dalga Boyu	1550nm
Çözünürlük	Renkli 70 megapiksele kadar
Lazer sınıfı	Lazer Sınıfı 1
Ağırlık	5,2kg
Multi-Sensör	GPS, Pusula, Yükseklik Sensörü, Çift Eksenli Kompansatör
Görünüş Alanı (Dikey/Yatay)	300°/360°
Ortam Sıcaklığı	5C°- 40C°
Boyut	240 x 200 x 100mm
Tarayıcı Kontrolü	Dokunmatik ekran görüntüsü ve W-LAN aracılığı ile



Şekil 3.6 SATLAB SL 6000 GNSS aleti (URL-9)

Çizelge 3.2 SATLAB SL 600 GNSS teknik özellikleri (URL-9)

Sinyal İzleme	<ul style="list-style-type: none">- 220 Kanal- GPS : L1 C/A, L2E, L2C- GLONASS : L1 C/A, L1 P, L2 C/A, L2 P- BEIDOU : B1, B2- GALILEO : L1 BOC, E5B- QZSS : L1 C/A, L1 SAIF, L2C- SBAS : L1 C/A, (WAAS-EGNOS-MSAS-GAGAN)
Hassasiyet	<ul style="list-style-type: none">- RTK : Yatay 8 mm + 1 ppm, Düşey 15 mm + 1 ppm- PP : Yatay 2.5 mm + 1 ppm, Düşey 5 mm + 1 ppm- RTK Init Süresi: < 10 sn- Güven Düzeyi : %99.9
Veri Yönetimi	<ul style="list-style-type: none">- 10 Hz Güncelleme Hızı (50 Hz'e kadar arttırılabilir)- sCMRx, CMR, CMR+, RTCM SC104 2.x, 3.x Format Desteği- VRS, FKP, MAC, intRTK Desteği- NMEA Veri Çıkışı- 1 GB Dahili Hafıza- microSD Kart ile limitsiz genişletilebilir hafıza- Doğrudan RINEX Statik Veri Kaydı
Güç	<ul style="list-style-type: none">- DC 6-28 V Giriş-10.000 m Ah Hot-Swap Li-Ion Batarya-Çift Batarya Yuvası-Batarya Süreleri<ul style="list-style-type: none">- 24 Saat Statik Ölçü- 18 Saat RTK Gezicisi (UHF veya GPRS)- 15 Saat RTK Sabiti
Giriş / Çıkış Arayüzü	<ul style="list-style-type: none">- 2 x RS232 Seri Port- 2 x DC Güç Girişi- 1 x USB- 1 x Bluetooth- 1 x microSD Kart Yuvası- 1 x SIM Kart Yuvası- 1 x Hoparlör- 3 Tuşlu Kontrol Paneli- 3 LED'li Gösterge Paneli
Çevresel Özellikler	<ul style="list-style-type: none">- IP67 Standartlarında Çevresel Koruma- 2 metre Derinliğe Kadar Su Geçirmez Yapı- 3 metreden Düşmeye ve Ani Şoklara Dirençli Gövde- Çalışma Sıcaklığı : - 45 °C ile 65 °C- Depolama Sıcaklığı : - 55 °C ile 85 °C
Fiziksel Özellikler	<ul style="list-style-type: none">- XENYOY 5220U Özel Alaşım Gövde- Boyut : 182 mm x 92 mm- Ağırlık : 1.2 kg
Haberleşme	<ul style="list-style-type: none">Dahili 3.5G UMTS/HSDPA/HSPA+ GSM/GPRS Modem-Dahili Dijital UHF Modem Seçenekleri<ul style="list-style-type: none">▪ ADLF1 : 2 Watt (SATLAB Protokolü)▪ XDL : 2 Watt (Trimtalk/Satel Protokolü)



Şekil 3.7 Phantom 3 Advanced İHA (URL-10)

Uçuş Süresi	: 25 Dk
Kullanım Mesafesi	: 3 Km
Kamera	: Hd 1080p 12 Megapiksel
Video Kayıt	: 30 Fps
İçerdiği Sistemler	: Otomatik Kalkış, Otomatik Eve Geri Dön, Failsafe Özellikleri



BÖLÜM 4

METODOLOJİ

Çalışmada yapılan işlem adımları çizelge 4.1 de gösterildiği gibidir. Yapılan her işlem aşağıdaki kısımda tek tek ayrıntıları ile açıklanmıştır.

Çizelge 4.1 Çalışmanın iş akış diyagramı



Yer kontrol noktalarına bağlı nokta bulutlarının birleştirilmesi taranan cisim üzerinde işaretlenen kontrol noktaları ile yapılmaktadır. Kontrol noktalarını işaretlemek için düzlem (kağıt vb. üzerine basılı) yada küre şeklinde hedef işaretleri kullanılır. Kontrol noktalarının her nokta bulutundaki lokal koordinatları etkileşimli olarak okunabilir. Ancak böyle bir durumda nokta sıklığından dolayı kontrol noktası işaretinin tam merkez koordinatı okunamaz. Bunun için kontrol noktasının koordinatı görüntü işleme tekniği ile elde edilmelidir. Dolayısıyla bu şekilde elde edilecek koordinat herhangi bir tarama noktasına karşılık gelmeyebilir. Taramalardan birisi referans olarak seçilmesi durumunda ardışık taramalar ortak örtü alanında tesis edilen en az üç adet kontrol noktası ile referans koordinat sistemine dönüştürülür. Diğer yandan bu kontrol noktalarından bazıları jeodezik koordinat sisteminde koordinatlandırılırsa bağımsız model dengelenmesi ile hem nokta bulutları birleştirilir hem de jeodezik koordinat sistemine dönüşüm yapılmış olur. Herhangi bir işaret tesis etmeden ölçme alanındaki belirgin detaylar da kontrol noktası olarak kullanılabilir. Ancak bu durumda her nokta bulutunda aynı noktanın tanımlanması zor olmakta dolayısıyla doğruluk azalmaktadır.

Tanımlı ve ardışık tarama verilerinde en az üç adet hedef objenin (küre veya basılı) bulunması gerekmektedir.

Çizelge 4.2 Küre ve kağıt hedeflerin avantaj ve dezavantajları

	Küre	Kağıt Hedef
Avantaj	Montaj işlemlerinde daha iyi doğruluklar Küresel şekil, her yönden en iyi tespit edilebilirliği sağlar Uzun vadeli obje	Üretmek kolay Yerleştirimi daha kolay
Dezavantaj	Yerleştirimi daha zor	Sınırlı görüş alanı Kağıt veya benzerlerinden olduğundan uzun vadeli değil

Küre eşleştirilmesinde önemli noktalar sırasıyla;

Küreler taramada tamamen görülebilir olmalıdır. Başka nesnelere tarafından kısmen kaplanmadıklarından emin olunmalıdır.

Küre eşleştirme ayarlarında doğru yarıçapı, taramada kullanılan kürelerin yarıçapına göre ayarlanmalıdır.

Seçilen tarama çözünürlüğüne bağlı olarak, küre referanslarının otomatik olarak algılanması tarayıcıya belirli bir mesafenin ötesinde güvenilmezdir. Örneğin, Faro X330 için 1 / 4'lük bir çözünürlükle tararken, tarayıcıya olan mesafe 18m'den büyük olmamalıdır. Küre, taramada en az 10-15 piksel olmalıdır (URL-11).

BÖLÜM 5

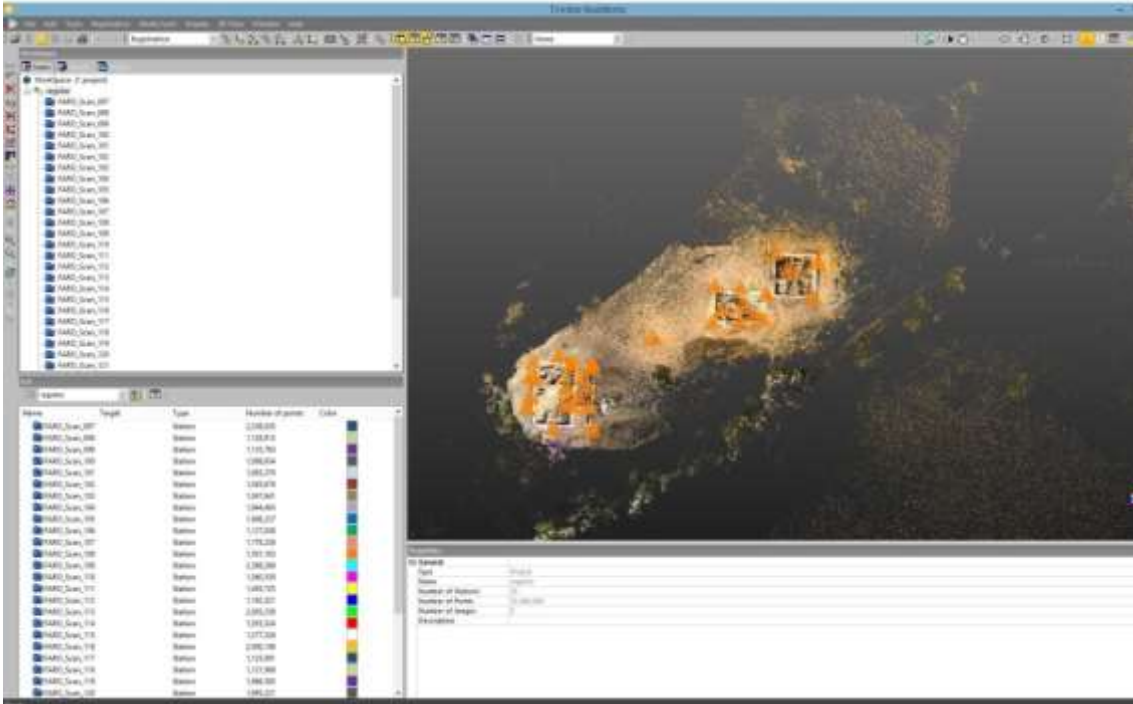
UYGULAMA

5.1 PLANLAMA VE İSTİKŞAF (ÖLÇÜMLERİN PLANLANMASI)

Bu aşamada arazide yapılmış olan ölçümlerden maksimum verimin elde edilmesi ve arkeolojik çalışmaların zarar görmemesi için arazi koşullarının irdelenmesi ve ölçüm yapılacak istasyonların yerlerinin belirlenmesi işlemleri gerçekleştirildi.

5.2 ARAZİ ÖLÇÜMLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

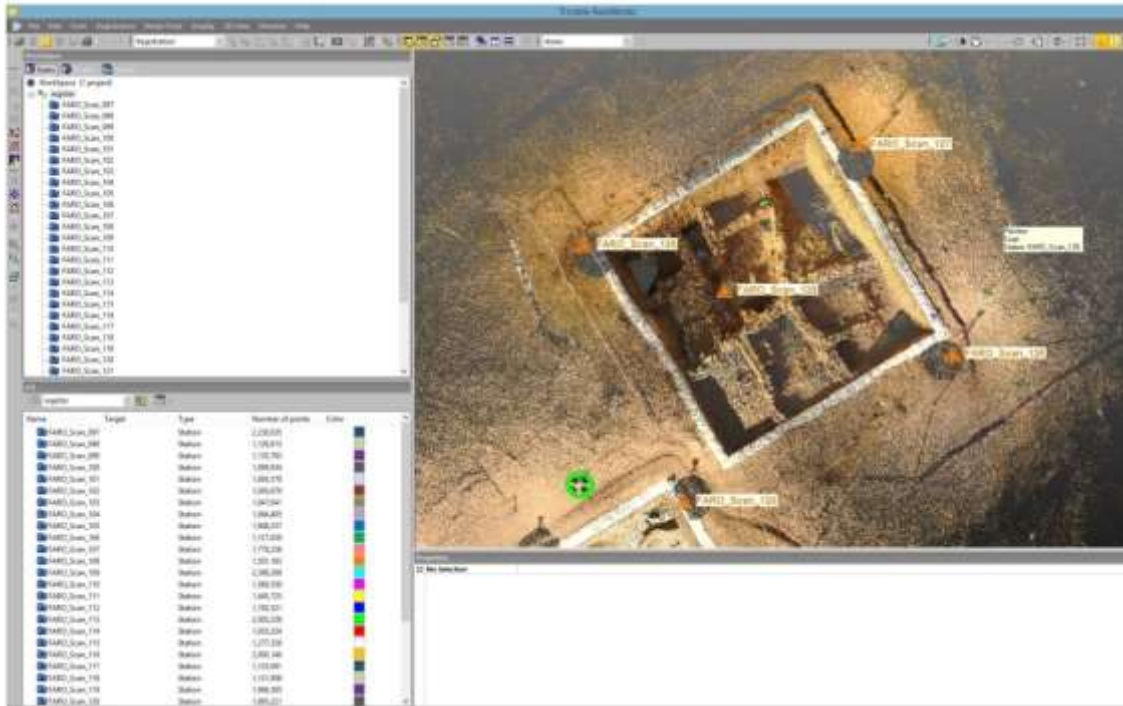
Çalışma sahasında istikşaf sonucu 33 adet istasyondan gerçekleştirilen yersel lazer tarama, GNSS ölçümleri ve İHA ile sahanın hava fotoğraflarının alınması gerçekleştirildi.



Şekil 5.1 Çalışma yapılan alanın YLT sonucu oluşan nokta bulutu verisi

5.3 VERİ HAZIRLAMA

Yersel tarama ölçümleri sonucu elde edilen 3B nokta bulutu verilerindeki batık noktalar ve yüksekteki noktaların temizlenmesi işlemi yapıldı. Bu işlem için mutlak bir yükseklik sınırı yani çalışma alanı alt-üst kot değerleri belirlendi. Bu değerler dışında kalan gereksiz noktaların ve shape içine alınan alan dışında kalan noktaların veri boyutunu azaltmak ve veri işleme kısmında daha rahat çalışabilmek için eliminasyonu yapıldı. Ayrıca arkeolojik çalışmalarda nokta yoğunluğu seyreltmesinin negatif sonuç doğurması nedeni ile çalışılan alanda belirlenen bir kısım tez çalışmasında kullanılmıştır.



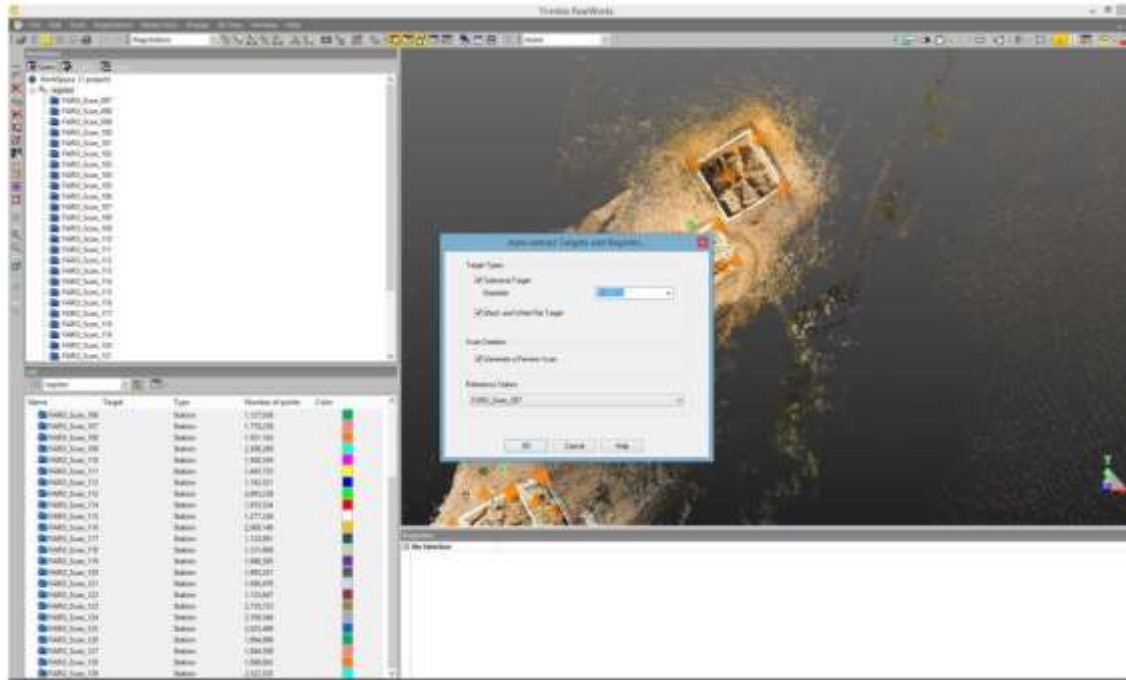
Şekil 5.2 Belirlenen tez çalışma alanı

İHA ile alınan görüntülerin kullanılan yazılım ile birleştirilip orto-foto haline getirilme işlemi yapıldı.

5.4 VERİ İŞLEME

5.4.1 Hedefli Birleştirme (Küre)

Çalışmada yersel lazer tarama ile elde edilen 33 istasyondaki verilerin ilk tarama referans seçilerek Trimble Realworks 9.1 yazılımı ile tarama esnasında yerleştirilen küreler yardımıyla tek bir nokta bulutu haline getirilmesinin sağlandığı hedefli birleştirme işlemi gerçekleştirildi. Yapılan bu işlemde hedef olarak kullanılan küreler farklı boyutlarda olabilen, değişken yapıdadırlar. İlgili yazılımda kullanılan küre yarıçap uzunluğu seçimi doğru seçilmelidir. Bu çalışmada bu değer 0.145 metredir.

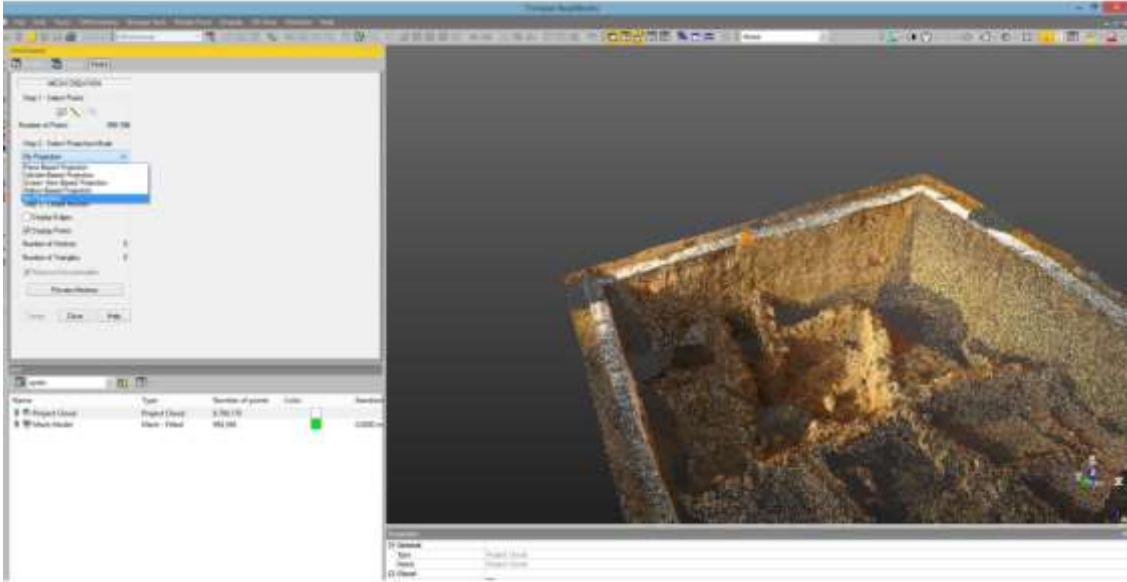


Şekil 5.5 Hedefli birleştirme için seçilen küre boyutları

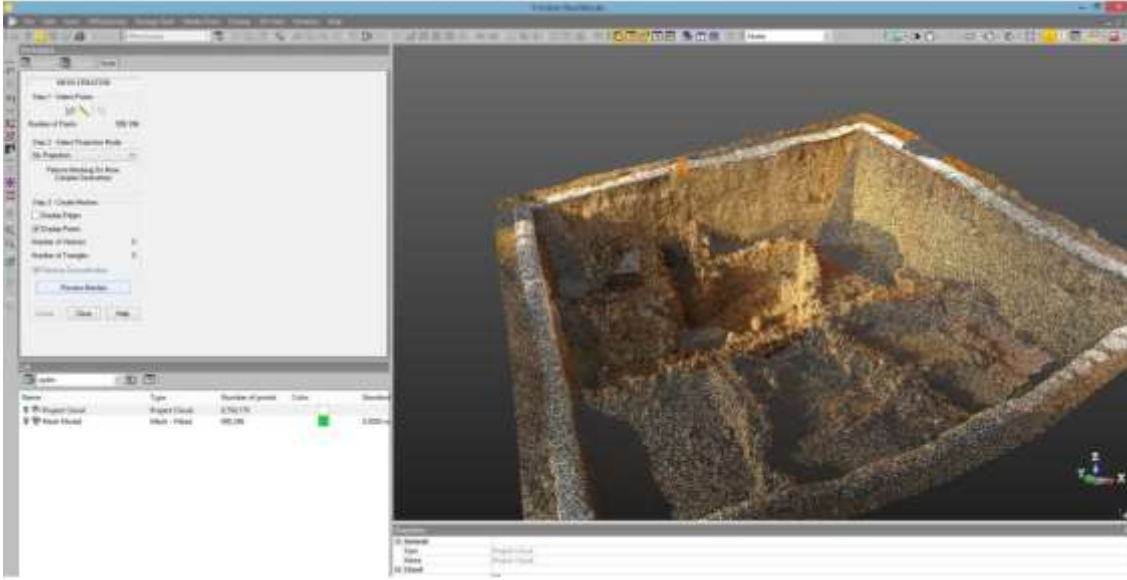
Sonrasında hedefli birleştirme işleminin analizi, birleştirme işleminin istenilen sonuçlarda yapılıp yapılmadığına karar verebilmek için yapılmıştır. Burada match yani eşleşen veya unmatched yani eşleşmeyen kürelerin analizi yapılmıştır.

5.4.3 Mesh

Elde edilen nokta bulutuna Trimble Realworks 9.1 programı kullanılarak çeşitli parametrelerin seçilmesi ile yüzey giydirilmesi işlemidir. Bu işlem için öncelikle Select Projection Mode kısmından 'No Projection' seçilmiştir.



Şekil 5.8 Projeksiyon model seçimi

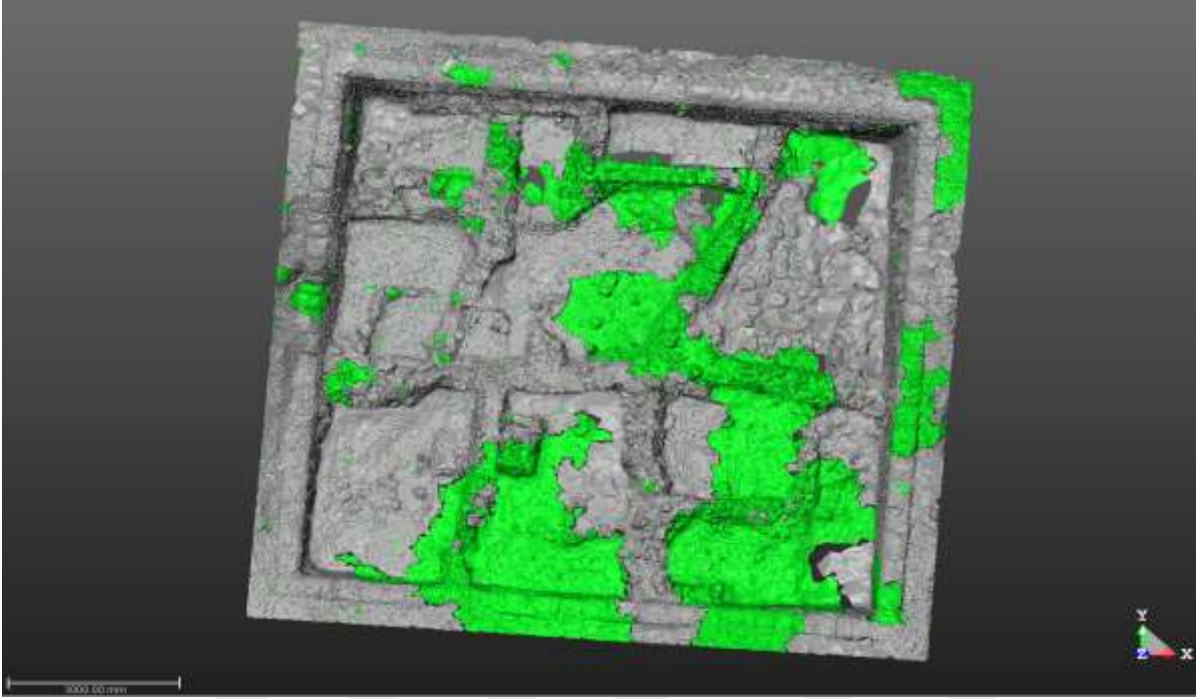


Şekil 5.9 Projeksiyon model seçimi

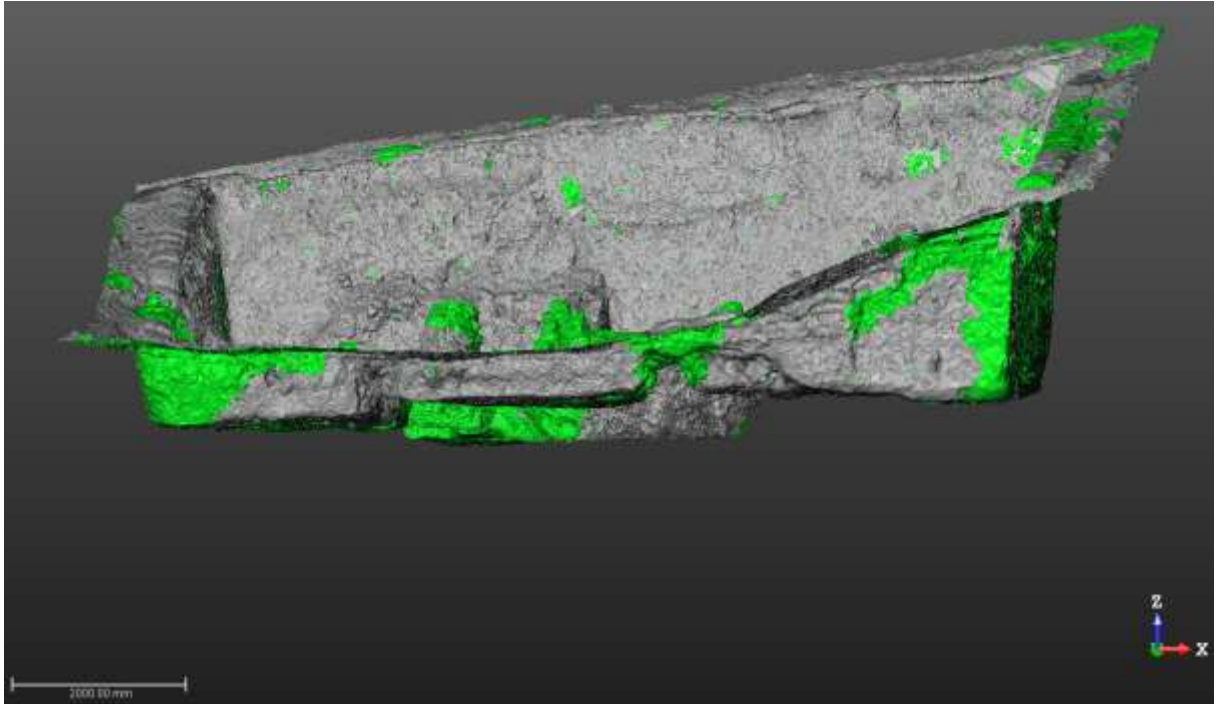
Sonrasında giydirilen yüzeyler oluşturulmuştur.

5.5 GIYDİRİLMİŞ 3B MODEL OLUŞUMU

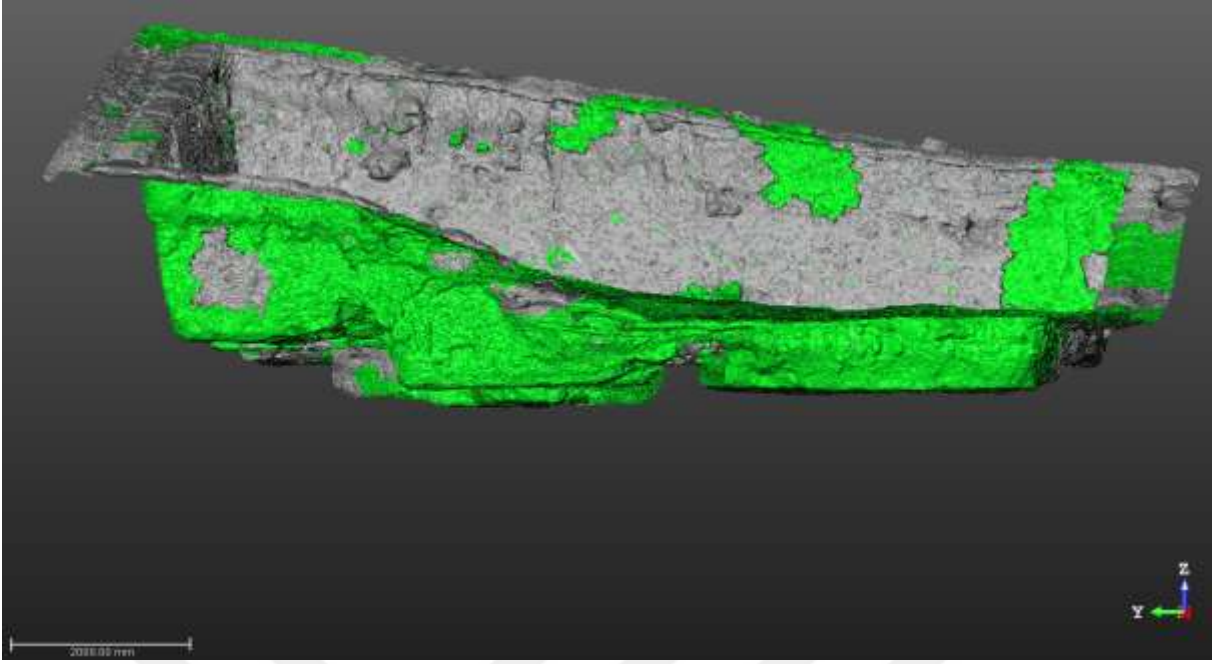
Yapılan mesh aşamasının ardından çalışılan alanın giydirilmiş 3B modeli oluşturulmuştur.



Şekil 5.10 Giydirilmiş 3B model şekli



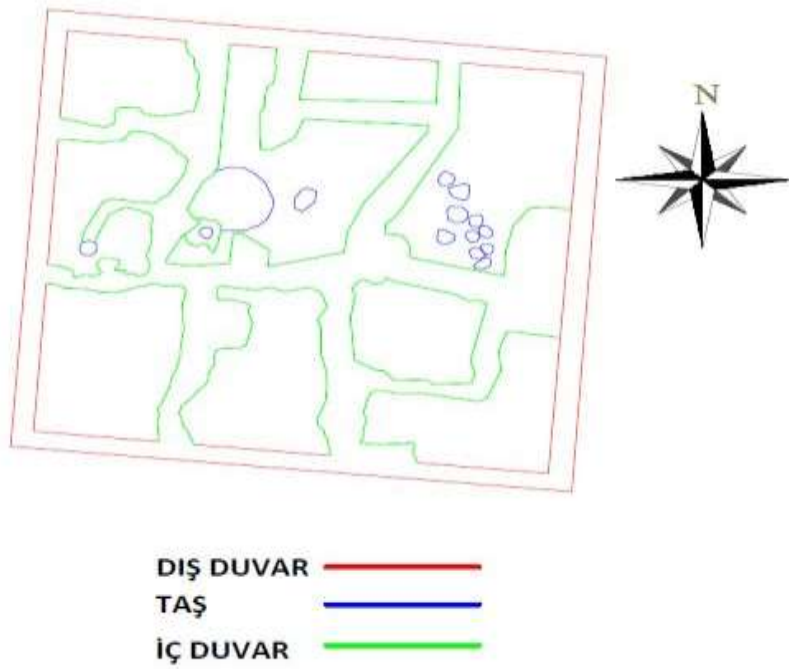
Şekil 5.11 Giydirilmiş 3B model şekli



Şekil 5.12 Giydirilmiş 3B model şekli

5.6 VEKTÖR HARİTA

Yapılan çalışmalar sonucunda arkeolojik kazı alanında çalışılan bölgenin detaylarını içerisinde barındıran vektör haritası oluşturulmuştur.



Şekil 5.13 Vektör harita

BÖLÜM 6

GENEL SONUÇ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Tüm bu işlemler yapılırken elbette birçok sorunla karşılaşıldı. Karşılaşılan sorunlardan bahsedecek olursak;

-Ulaşım: Arkeolojik bölgelerde çalışılacak alana ulaşmanın zorluğu.

-GNSS Ölçümleri: Çalışılan alanda telefon ağının olmaması sebebi ile CORS-TR ağının çekmemesi ve bunun sonucunda en yakın çekim alanına baz kurup RTK yönteminin kullanılması.

-İHA Ölçümleri: İHA ile görüntü almak için kullanılan aracın sahadaki rüzgar etkisinden dolayı riskli uçuşlar yapması.

-YLT Ölçümleri: Arkeolojik yapının çok küçük hatlara sahip olması ve hiçbir detayın kaçırılmak istenmemesi sebebiyle istasyon sayısındaki artış sonucunda zaman kaybı ve elde edilen verilerin yoğunluğu ve taş dokularının toprakla harmanlanması her ne kadar temizlenmiş olsa da toprak dokusu sebebiyle lazer ışınlarının toprağın dokusunu istenilen şekilde geçemediği ve entegre fotoğraf çekiminde oluşan görüntülerin sarı ve tonları renkleri barındırması.

Arkeolojik çalışmalar yüksek doğruluklu detay ve görüntü isteği doğurduğu için yapılacak çalışmalarda gün ışığı, ufuk çizgisi gibi modların yapılacak işe göre seçilmesi son derece önemlidir. Özellikle yazın oluşan gölgeler büyük sıkıntı oluşturur. Kullanılan YLT aletinde yapılan çalışmalarda ortalama ışık modunun en iyi sonuçları verdiği gözlenmiştir.

Ayrıca vektör harita çizimlerinin hassas yapılabilmesi için tarama verilerinin çok yüksek kalitede olması,çizimi yapılan alandaki nokta bulutunun dağınık ve eksik olmaması, parlama yapan kısımların tespitinin iyi yapılması, taramaların bindirme sıklığının fazla olması ve çalışma yapılan alandaki detayların birebir benzerinin belirlenmesi ve kaybolmaması için nokta bulutu yeniden örnekleme aralığının iyi bir şekilde belirlenmesi önemli hususlardır.

Geomatik Mühendisi YLT tekniğinde olabildiğince az istasyondan ölçüm yapıp istenilen alanın tamamını tarama konusunda iyi olmalıdır. Bunun sebebi YLT tekniğinde elde edilen nokta bulutu verilerinin istasyon sayısı ile doğru orantılı olarak artmasıdır. Veri boyutunun artması sonucunda istenilen işlemler istenilen doğrulukta yapılamamaktadır.

Çok sayıda kültürel eseri bünyesinde bulunduran ülkemizde arkeolojik çalışmaların korunup belgelenmesi için hızlı davranılmak zorundadır. Çeşitli sebeplerle bu yapılar zarar görmekte ve görmeye de devam etmektedir. Bu şartlar altında belirtilen işlemleri, bünyesinde barındırdığı pek çok avantajından dolayı YLT tekniği ile yapılabilmek mümkündür.



KAYNAKLAR

- Çömert R, Avdan U, Tün M ve Ersoy M** (2012) Mimari Belgelemede Yersel Lazer Tarama Yönteminin Uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(1): 1-18.
- Köktürk E** (2004) Haritacılığın 5000 Yıllık Yürüyüşü, *Hkm Jeodezi-Jeoinformasyon, Arazi Yönetimi Dergisi*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Yayın Organı. ISSN: 1300-3534, Sayı: 2004/90-91, s. 55-64.
- Şahin M** (2016) İznik Gölü Bazilika Kazıları. *TINA Denizcilik-Arkeoloji Dergisi*, 6: 64.
- Demir N** (2005) Yersel Lazer Tarama ve Fotogrametrinin Birlikte Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 103 s.
- Sefercik U G, Glennie C, Singhanian A ve Hauser D** (2016) Hava Kaynaklı Lazer Taramanın Topografik Tasvir Potansiyeli: Houston Örneği. 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, Adana, 139-145.
- Ekercin S ve Üstün B** (2004) Uzaktan Algılamada Yeni Bir Teknoloji: LİDAR. *HKM Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 91, 34-38.
- Gümüş K, Erkaya H** (2007) Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Altuntaş C ve Yıldız F** (2008) Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi. *Jeodezi-Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 1(98): 20-27.
- İçel A, Görken M ve Çetin M** (2015) Yersel Lazer Tarama Teknolojisi İle Detay Alım Başarımının İncelenmesi. *Lisans Bitirme Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 57 s.
- Boehler W and Marbs A** (2002) 3D Scanning Instruments. *In Proceedings of International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording – Complementing or Replacing Photogrammetry*. Corfu, Greece, September, 1 – 2, 9-13.
- Yastıklı N** (2007) Documentation of Cultural Heritage Using Digital Photogrammetry and Laser Scanning. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4): 423-427.
- Altuntaş C** (2017) Yersel Lazer Tarayıcı Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi ve Jeodezik Koordinat Sistemine Dönüştürülmesi. *Literatür Araştırması*, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 16(1): 12-43.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Altuntas C, Yildiz F and Baygul E** (2014) Documentation of historical structures in the courtyard of Mevlana Museum by terrestrial LIDAR and Photogrammetry. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 14(2): 249-258.
- Akca D and Gruen A** (2005) Fast Correspondence Search for 3D Surface Matching, *ISPRS WG III/3. III/4. V/3 Workshop "Laser scanning 2005"*. Enschede, The Netherlands, September 12-14, 186-191.
- Bayramı B, Poyraz F, Hastaoğlu Ö K, Acar U ve Çetin D** (2009) Optik Lazer Tarayıcılarla Hasarlı Otomobil Örneğinde Objelerin Modellenmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1): 49-58.
- Gül B, Uzunboz G, Duran Z, Kaya Ş, Çelik M F ve Aydar U** (2014) Çatı Kafes Sistemlerinin Lazer Tarayıcı Yardımı İle Modellenmesi. 5. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, İstanbul.
- Özdemir İ** (2013) Yersel Lazer Tarama ile Tek Ağaç Özelliklerinin Belirlenmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi / SDU Faculty of Forestry Journal*, 14: 40-47.
- Şenkal E, Çömert R ve Tuncer S** (2013) Yersel Lazer Tarama Tekniği İle Üretilen Verilerin Restorasyon Çalışmalarında Kullanımı (Eskişehir, Seyitgazi Sincan Cezaevi Örneği). *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB)*, KTÜ, Trabzon.
- Korumaz M** (2016) Kültürel Mirasın 3D Belgelenmesinde Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı: Aksaray'da Bir Sivil Mimarlık Örneği. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 15(2): 138-156.
- Yomraloğlu T** (2010) Coğrafi Bilgi Teknolojileri. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 48-51.
- Özdoğan Ş ve Gümüşay Ü** (2011) Davutpaşa Kampüsü Tarihi Eserlerinin Üç Boyutlu Modellenmesi ve CBS Ortamında Sorgulama. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Yılmaz M, Demir H ve Dağlı A** (2015) Yersel Lazer Tarama Teknolojisi İle 3 Boyutlu Rölöve Çizimi; Kozlu PTT Tarihi Binası. *Lisans Bitirme Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 45 s.
- Akay S.S, Uzun G, Duran Z, Avşar E.Ö ve Aydar U** (2012) Lazer Tarama Yöntemi İle Elde Edilen Üç Boyutlu İç Mekân Modellerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Kullanım Olanakları. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, Zonguldak, 16-19.
- Zeybek M** (2013) Heyelanların İzlenmesinde GNSS ve Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin Birlikte Kullanılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, *Yüksek Lisans Bitirme Tezi*, Konya, 137 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Gümüş K, Erkaya H ve Tunahöglü T (2009) Yersel Lazer Tarama Verilerinde Çevresel ve Objesel Nedenlerden Kaynaklanan Hatalar. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

Özberber İ, Borinli S ve Şahin K (2015) Yersel Lazer Tarama Verilerinin Cloud Compare Yazılımı İle İncelenmesi. *Lisans Bitirme Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 59 s.

Tomurcuk İ F (2010) Poul Bourke Üçgenleme Yöntemi İle Yersel Lazer Tarayıcı Verilerinde Gürültü Eliminasyonuna Yönelik Algoritma Geliştirme, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı. *Yüksek Lisans Bitirme Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 90 s.

Sotoodeh S (2006) Outlier Detection in Laser Scanner Point Clouds. *Commission V IAPRS, WG V/3 Dresden*, 36(5): 297-302.

Yaman A, Yılmaz H M ve Yıldırım M A (2017) Obje Yüzey Renklerinin Yersel Lazer Tarayıcılarına Etkisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5: 61.

Yalçın Ü, Yalçın G, Ekmen H ve İpek Ö (2017) Derekutuğun Eski Maden İşletmeleri ve Madenci Yerleşmesi 2016 Çalışmaları. *39. Kazı Sonuçları Toplantısı*, Bursa, 3: 573.

URL-1<<http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,104412/turkiye-genelinde-yillara-gore-tasinmaz-kultur-varlikla-.html>>, Ziyaret Tarihi: 15.12.2017

URL-2<<http://bilgideposu.blogcu.com/arkeoloji-nedir-tanimi-amaci-faydasi-arkeoloji-nin-tarihcesi/6144979>>, Ziyaret Tarihi: 17.12.2017

URL-3<<http://arkeofili.com/iznik-golundeki-bazilikada-daha-eski-mezar-odalari-bulundu/>>, Ziyaret Tarihi: 20.01.2018

URL-4<<http://arkeofili.com/guatemala-ormaninin-altinda-maya-megalopolisi-ortaya-cikti/>>, Ziyaret Tarihi: 25.03.2018

URL-5<<http://arkeofili.com/misirda-nerede-yse-hic-bozulmamis-17-mumya-bulundu/>>, Ziyaret Tarihi: 26.03.2018

URL-6<<http://www.3blazertarama.net/>>, Ziyaret Tarihi: 10.12.2017

URL-7<<http://www.faro.com/tr-tr/farodan-3d-olcum-ve-goruntuleme-cozumleri/farodan-her-endustri-kolu-icin-bir-cozum/>>, Ziyaret Tarihi: 11.12.2017

URL-8<<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>>, Ziyaret Tarihi: 03.03.2018

URL-9<<http://satlab.com.tr/tr/urunler/gnss-alicisi/sl600.aspx>>, Ziyaret Tarihi: 03.03.2018

URL-10<<https://www.dji.com/phantom-3-adv>>, Ziyaret Tarihi: 03.03.2018

URL-11< https://knowledge.faro.com/Software/FARO_SCENE/SCENE/Target_Alignment_Guidelines_for_Laser_Scanners>, Ziyaret Tarihi: 14.04.2018



ÖZGEÇMİŞ

Aydın İÇEL, 1993 yılında SELÇUK' ta doğdu. İlk ve ortaöğretimi Aydın ilinde tamamladı. 2011-2015 yılları arasında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimini tamamladı.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: : Girne Mahallesi Anadolu Bulvarı Ceylankent Sitesi A Blok Kat 9 Daire 26
Efeler/AYDIN

Tel : 05543731335

E-posta : aydinicel@gmail.com