



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ VE KÜLTÜREL VARLIKLARIN BELGELENDİRİLMESİ VE ÜÇ BOYUTLU MODELİNİN OLUŞTURULMASINDA YERSEL LAZER TARAYICILARIN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI VE KARACABEY TÜRBESİ (ANKARA) ÖRNEĞİ

Gökhan HEPYÖRÜK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2015
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Gökhan HEPYÖRÜK
17/09/2015

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARİHİ VE KÜLTÜREL VARLIKLARIN BELGELENDİRİLMESİ VE ÜÇ BOYUTLU MODELİNİN OLUŞTURULMASINDA YERSEL LAZER TARAYICILARIN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI VE KARACABEY TÜRBESİ (ANKARA) ÖRNEĞİ

GÖKHAN HEPYÖRÜK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ayhan GÖKTEPE

2015, 54 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Doç. Dr. Ayhan GÖKTEPE
Yrd. Doç. Dr. Serkan DOĞANALP

Üç boyutlu konum belirleme ve modelleme çalışmalarında kullanılmakta olan en son tekniklerden biride yersel lazer tarama yöntemidir. Bu yöntem tarihi eserlerin belgelenmesi, deformasyon ölçmeleri, madencilik, taşocağı ve kazı uygulamaları, endüstriyel uygulamalar, kültürel mirasın korunması ve arkeoloji, afet izleme, kıyı uygulamaları, mimari ve bina ölçme, ulaşım ve altyapı gibi birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır. Üç boyutlu konum bilgileri yersel lazer tarayıcı ile ölçülürken objelerin doku bilgileri de dijital fotoğraf makinesi ve kameralar ile kaydedilmektedir. Farklı istasyonlardan bindirmeli olarak yapılan taramalardan elde edilen nokta bulutları yazılımlar sayesinde otomatik olarak birleştirilmekte ve üç boyutlu modeller elde edilmektedir. Bu çalışmada Karacabey Türbesi Faro Focus^{3D} × 330 marka ve modelindeki lazer tarayıcı ile farklı istasyonlardan bindirmeli olarak taranmıştır. Bindirmeli taramalardan elde edilen ortak noktalar kullanılarak nokta bulutları Scene 5.3 yazılımında birleştirilmiştir. Tarayıcı dahilinde bulunan dijital fotoğraf makinesinden tarama sırasında çekilen fotoğraflar yardımıyla nokta bulutları renklendirilmiştir. Birleştirilen ve renklendirilen nokta bulutlarından Karacabey Türbesi'nin üç boyutlu modeli elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nokta bulutu, üç boyutlu, yersel lazer tarama.

ABSTRACT

MS THESİS

INVESTIGATION ON THE POTENTIAL USAGE OF TERRESTRIAL LASER SCANNERS IN THE 3D MODELIZATION AND THE DOCUMANTATION OF HISTORICAL AND CULTURAL ASSETS AND KARACABEY TOMB MODEL

GÖKHAN HEPYÖRÜK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY

Advisor: Doç.Dr. Ayhan GÖKTEPE

2015, 54 Page

Jury
Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Doç. Dr. Ayhan GÖKTEPE
Yrd. Doç. Dr. Serkan DOĞANALP

One of the latest techniques used in three-dimensional positioning and modeling is terrestrial laser scanning method. This method is used in many engineering applications such as documentation of historical monuments, deformation measurements, mining quarrying and excavation applications, industrial applications, cultural heritage conservation and archeology, disaster monitoring, coastal applications, architecture and building surveying, transportation and infrastructure. Three-dimensional position information measures with terrestrial laser scanners ,also object texture information are saved with the digital camera and camcorders. Point cloud which obtained from the overlap of the different stations scans are automatically combined through software, and three-dimensional models are obtained. In this study Karacabey Tomb is scanned with Faro Focus^{3D} × 330 brand and modeled as overlap of the different stations . Point clouds combined in Scene 5.3 by using common points which are obtained from overlap scanning .Point clouds are colored by the help of photos which are taken from located within the scanner of the digital camera during the scanning . A three-dimensional model of Karacabey Tomb is obtained from the combined and colored point cloud.

Keywords: Point cloud, three-dimensional, terrestrial laser scanning.

ÖNSÖZ

3B konum belirleme ve modelleme birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yersel lazer tarama yöntemi teknolojik açıdan 3B modellemede kullanılan en güncel tekniklerden birisidir. Modeli oluşturulacak alan ya da obje yersel lazer tarayıcı ile taranarak nokta bulutları elde edilmektedir. Nokta bulutları birleştirilerek ve renklendirilerek üç boyutlu modeller oluşturulmaktadır. Yersel lazer tarama yöntemi tarihi eserlerin belgelenmesi başta olmak üzere birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır.

Böyle güncel bir konuyu çalışmamı sağladığı ve yardımlarından dolayı Sayın Hocam Doç. Dr. Ayhan GÖKTEPE'ye çok teşekkür ederim. Ayrıca katkılarından dolayı Paksoy Teknik Hizmetler ve Ticaret Ltd. Şti.'den Erkan BAYGÜL ve Elnaz FARAHBAKHSH'a çok teşekkür ederim.

Gökhan HEPYÖRÜK
KONYA–2015

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ …….....İİİ

ÖZET …….....İV

ABSTRACT……V

ÖNSÖZ……...Vİ

İÇİNDEKİLER…….....Vİİ

KISALTMALAR DİZİNİ .....İX

1. GİRİŞ.....1

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....2

3. YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ……...9

3.1. Yersel Lazer Tarayıcıların Genel Özellikleri……10

3.2 Yersel Lazer Tarayıcıların Bileşenleri…….....12

3.3. Yersel Lazer Tarayıcıların Sınıflandırılması…….13

3.4. Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri…….…….....15

3.4.1. Bir lazer ışınının gidiş geliş zamanıyla işlem yapanlar (uçuş zamanlı)…….15

3.4.2. Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapanlar……..….....16

3.4.3 Triangulasyon metoduyla işlem yapanlar…….……16

3.4.3.1. Tek kamera çözümü…….....16

3.4.3.2. Çift kamera çözümü…….…….....17

4. MATERYAL VE YÖNTEM…….....18

5. YERSEL LAZER TARAMADA ÖLÇME PROSEDÜRLERİ……..19

5.1. Ölçme Planlaması……..19

5.2. Tarama……20

5.3.Çoklu Taramaların Birleştirilmesi ve Konumlandırma (Jeoreferanslandırma).....20

5.3.1. Doğrudan konumlandırma…….....21

5.3.2. Dolaylı konumlandırma……21

6. 3B NOKTA VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN YAZILIMLAR……22

6.1. Tarama Kontrolü İçin Yazılım……22

6.2. Nokta Bulutunun Düzenlenmesi İçin Yazılım……23

6.3. Basit Geometrik Şekilleri Nokta Bulutuna Sabitlemek İçin Yazılım…….....24

6.4. Karmaşık Yüzey Modellerinin Yaratılması İçin Yazılım……...25

6.5. Doku ve Görüntü Eklemek İçin Yazılım……25

6.6. Veri ve Proje Yönetimi İçin Yazılım…….....26

6.7. Yazılım Ürünleri…….....27

7. YERSEL LAZER TARAYICILARIN KULLANIM ALANLARI……28

7.1. Ulaşım ve Altyapı Uygulamaları……...28

7.2. Mimari ve Bina Ölçme Uygulamaları……28

7.3. Kıyı Uygulamaları……..29

7.4. Afet İzleme Uygulamaları…….....30

7.5. Kültürel Mirasın Korunması ve Arkeolojik Uygulamalar…….30

7.6. Endüstriyel Uygulamalar……...31

7.7. Madencilik, Taşocağı ve Kazı Uygulamaları…….32

7.8. Deformasyon Ölçmeleri Uygulamaları……..32

8. UYGULAMA……33

8.1. Yersel Lazer Tarayıcı ile Ölçmeler……..…….....33

8.1.1. Karacabey türbesi hakkında genel bilgi…….....33

8.1.2. Yersel lazer tarayıcı ile tarama istasyonlarından bindirmeli yapılan ölçümler…..34

8.2. Yersel Lazer Tarayıcı ile Yapılan Ölçmelerin Değerlendirilmesi..……38

9. ARAŞTIRMA SONUÇLARININ YORUMLANMASI…….....50

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER……..51

KAYNAKLAR……..52

ÖZGEÇMİŞ……54

KISALTMALAR DİZİNİ

3B:	3 Boyutlu
YTÜ:	Yıldız Teknik Üniversitesi
KOSGEB:	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve destekleme İdaresi Başkanlığı
CAD:	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CCD :	Charge Coupled Device (Çiftleşmiş Şarj Cihazı)
GPS:	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
TLS:	Terrestrial Laser Scanner (Yersel Lazer Tarayıcı)
İTÜ:	İstanbul Teknik Üniversitesi
TLSS:	Terrestrial Laser Scanning System (Yersel Lazer Tarama Sistemi)
NURBS:	Non-Uniform Rational Basis Spline (Düzgün Olmayan Rasyonel Temel Eğri Cetveli)
DXF:	Drawing Exchange Format (Çizim Değişim Formatı)
ASCII:	American Standard Code for Information Interchange (Bilgi Değişimi İçin Amerikan Standart Kodu)
VRML:	Virtual Reality Modeling Language (Sanal Gerçeklik Modelleme Dili)

1. GİRİŞ

Birçok alanda 3B modelleme uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yersel lazer tarama yöntemi 3B ölçme uygulamalarında sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Bu çalışmanın konusu tarihi öneme sahip bir eserin yersel lazer tarayıcı ile ölçülmesi, üç boyutlu modelinin oluşturulması ve belgelenmesidir.

Yersel lazer tarama modelleme çalışmalarında ölçülen obje nokta bulutu şeklinde görüntülenmektedir. Modelleme çalışmasında taranan objelerin tarayıcıdan olan mesafesi ve yansıma değerleri kayıt altına alınmaktadır. Koordinat değerleri tarayıcı alet merkezli olup 3B yerel bir koordinat sistemindedir. Yersel lazer tarayıcı bünyesinde bulunan sayısal kamera sayesinde nokta renklendirmesi yapılmaktadır. Yersel lazer tarayıcılar ulaşım ve altyapı, mimari ve bina ölçme, kıyı uygulamaları, afet izleme, kültürel mirasın korunması ve arkeoloji, endüstriyel uygulamalar, madencilik, taşocağı ve kazı uygulamaları, deformasyon ölçmeleri gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Tarihi ve kültürel eserlerin belgelenmesi konusunda birçok uygulamada yersel lazer tarama sisteminden yararlanılmaktadır. Lazer tarayıcıların çoğunda bütünleşik halde digital kamera bulunmaktadır. Nokta bulutlarının birleştirilmesinde, noktaların renklendirilmesinde, doku kaplanmasında tarayıcıya entegre dijital kameralardan yararlanılmaktadır.

Farklı istasyonlardan yapılan taramalardan elde edilen ve farklı yerel koordinat sistemlerinde olan nokta bulutlarının birleştirilmeleri yapılarak ortak bir koordinat sisteminde kayıt altına alınmaktadır. Nokta bulutu taramalarından birisinin koordinat sistemi referans alınmakta diğer istasyonlardan yapılan nokta taramaları bu koordinat sisteminde hesaplanmaktadır. Bindirmeli taramalardan elde edilen ortak noktalar kullanılarak 3B dönüşüm parametreleri hesaplanmaktadır.

Bu çalışmanın 2. bölümünde literatür özeti, 3. bölümünde yersel lazer tarama teknolojisi, 4. bölümünde kullanılan materyal ve yöntem, 5. bölümünde yersel lazer taramada ölçme prosedürleri, 6. bölümünde 3B nokta verilerinin değerlendirilmesi için yazılımlar 7. bölümünde yersel lazer tarayıcıların kullanım alanları 8. bölümünde uygulamada yersel lazer tarayıcı ile ölçmeler ve değerlendirmeler 9. bölümünde araştırma sonuçlarının yorumlanması 10. bölümünde sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yastıklı (2005)'de sayısal fotogrametri ve lazer tarayıcıların tarihi ve kültürel mirasın belgelenmesi ve üç boyutlu modellenmesindeki kullanımı incelenmiştir. Sayısal fotogrametri ve lazer tarayıcılar ile belgeleme ve üç boyutlu modelleme, yöntemlerinin temel prensipleri özetlenmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı tarafından sayısal fotogrametri ve yersel lazer tarayıcılar kullanılarak tamamlanan proje ve araştırma çalışmaları sunulmuştur. YTÜ Beşiktaş kampüsündeki tarihi çeşmelerden bir tanesi Mensi GS 100 lazer tarayıcı ile araştırma amaçlı taranmıştır. Tarama işlemi iki farklı istasyondan yapılmış daha sonra bu veriler küre şeklindeki kontrol noktaları kullanılarak birleştirilmiştir. Tarayıcı bünyesinde bulunan kamera ile alınan görüntüler yardımıyla 3B nokta kümesi program tarafından renklendirilmiştir. Tarama için bu tarihi çeşmenin seçilmesinin nedeni çeşme etrafındaki tuğlaların 5 cm genişliğinde aralarındaki boşluğun yaklaşık 1 cm olmasıdır. Yine araştırma amaçlı YTU Beşiktaş kampüsündeki Fen bilimleri Enstitüsü olarak kullanılan Çukursaray'ın ön cephesi Mensi GS 100 lazer tarayıcı ile taranmıştır. Tarama işlemi üç farklı istasyondan yapılmış farklı istasyonlardan üç boyutlu nokta kümesi küre şeklindeki kontrol noktaları ile birleştirilmiştir. Farklı istasyonlarda yapılan taramalar sonucunda birleştirilen nokta kümesindeki noktalar sınıflandırılarak farklı gri değerlerle sunulmuştur. Bununla birlikte kamera ile alınan fotoğraf yardımıyla nokta bulutu fotoğraftaki renk bilgileri yardımıyla renklendirilebilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir husus kamera ile fotoğraf alımı sırasındaki ışık koşulları, gölge vb. özelliklerin üç boyutlu nokta kümesinin renklendirilmesini doğrudan etkileyeceğidir.

Gümüş ve Erkaya (2007)'de lazer tarama teknolojisi, yersel tarama sistemlerinin tasarımı, nokta bulutları, kullanım alanları ile Yersel Lazer Tarayıcı Sistemleri ile yapılan bir uygulama örneğine yer verilmiştir. Yersel lazer tarama uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yıldız kampüsünde bulunan, KOSGEB Teknoloji Geliştirme Merkez Müdürlüğü tarafından şu an kullanılmakta olan, Yıldız sarayının bir parçası olan Güvercinlik olarak anılan tarihi bir binada gerçekleştirilmiştir. Uygulamada OPTECH Firmasının ürettiği ILRIS-3D markalı bir yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Bu lazer tarayıcı, saniyede 2000 nokta atımı, 1500 m ye kadar tarama menzili, 0.0015 derece açı hassasiyeti, bilgisayar ya da el bilgisayarı ile kolay kullanım, wireless (kablosuz) veya ethernet bağlantı ile cihaza bağlantı yapabilme, 100'm de 7 mm hassasiyet, 3600 x 3600 tarama alanı, 1. sınıf lazer kullanımı ile tamamen insan sağlığına zararsız olması, dahili 6.6 Mega Piksel Dijital Kamera desteği, hafif

kompakt dizayn ile tek kişilik kullanımı gibi teknik özelliklere sahiptir. Tarayıcının görüş alanı dikkate alınarak, KOSGEB Binasının giriş yönüne göre sağ ve sol cephelerinin taranmasına kararlaştırılmış ve tarayıcı kurulacak noktalar belirlenmiştir. Tarayıcının, taranacak bölgenin resmini çekme ve kullandığı yazılımdaki bazı özelliklerden dolayı hedef noktaları kullanılmayacaktır. Taranacak bu iki cephe taramaların birleştirilmesi, iki tarama alanını kapsayan, tarama bölgelerinde ortak bulunan belirgin noktalar yardımıyla gerçekleştirilecektir. Taramalar yapılmadan önce, tarama yazılımına tarama çözünürlükleri, tarama mesafesi değerleri girilmiştir. Yapılan işin hassasiyetine göre yazılıma girilen değerler değişmektedir. Taramalar yapıldıktan sonra, tarama sonucunda elde edilen nokta bulutları düzenli değildir. Bu nokta bulutlarının düzenli hale getirilmesi için, arka ve ön plandan gereksiz yere taranan nokta bulutlarının silinmesi, inceltme ve filtreleme işlemleri yapılmıştır. Bu işlemler, her bir tarama için yapıldığı gibi birleştirmeden sonra da yapılmalıdır. Bu işlemler POLWORKS yazılımında yapılmıştır. Farklı noktalardan taramalar yapıldıktan sonra, nokta bulutları PARSER programında PİF formatına dönüştürülerek POLYWORKS yazılımında açılmıştır. Taramalardan elde edilen nokta bulutları burada düzenli hale getirilmiş ve daha sonra farklı taramalardan elde nokta bulutları birleştirilerek bir bütün haline getirilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde KOSGEB binasının tarama sonucunda gerçek modeline yakın 3B nokta bulut kümesi elde edilmiştir. Bu oluşan bulut kümesinden Z-MAP yazılımıyla, binanın detay çizimleri yapılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada jeoreferanslama yapılmamış, taramadan elde edilen koordinatlar tarayıcının kendi koordinat sistemindedir.

Altuntaş ve Yıldız (2008)'de yersel lazer tarayıcıların ölçme prensipleri incelenmiş ve elde edilen nokta bulutlarının birleştirilmesinde kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

Gümüş (2008)'de yeni bir ölçme tekniği olan Yersel Lazer Tarama Teknolojisi ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu teknolojinin tarihsel gelişiminden, yersel lazer tarayıcılar ve bileşenlerinden, tarama ölçme prosedürlerinden, verilerin değerlendirilmesi ve 3B modelleme işlemlerinden, hata kaynakları ve kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Çeşitli uygulama örnekleri yapılarak, bu teknoloji tanınmaya çalışılmıştır. Farklı noktalardan yapılan taramaların birleştirilmesinde kullanılan iki yöntemin karşılaştırılması, taramalar sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile 3B Modeli oluşturulması ve model üzerinden yatay ve düşey yönde kesitler alınarak ölçülen uzunlukların, obje üzerinden kumpas ile ölçülen uzunluklarla karşılaştırılması seklinde çalışmalar yapılmıştır. Bu tezin genelinde, yersel lazer tarayıcılar üzerine yapılan araştırmalardan, yersel lazer tarama teknolojisinden, yersel lazer

taramada ölçme prosedürlerinden, 3 boyutlu verilerin değerlendirilmesi için kullanılan yazılımlardan, yersel lazer teknolojisinde hata kaynaklarından ve yersel lazer tarayıcıların kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Bu çalışmada yapılan uygulamalardan birincisi, YTÜ' deki KOSGEB binasının iki noktadan bindirmeli olarak 3 cephesinin taranması işlemi, ayrı olarak Optech ILRIS 3D ve Mensi GS 100 yersel lazer tarayıcıları ile yapılmıştır. Farklı noktalardan yapılan taramaların birleştirilmesinde kullanılan iki yöntemin karşılaştırılması yapılmış ve nokta bulutu üzerinden detay çizimi gerçekleştirilmiştir. İkinci çalışmada, yine YTÜ'de bulunan Pembe Köşkün 3 cephesinin, taramalar sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile 3B modeli oluşturulmuştur. Üçüncü çalışmada ise, basit geometrik şekillere sahip objeler taranarak, bu objelerin 3B modeli oluşturularak, model üzerinden yatay ve düşey yönde kesitler alınarak ölçülen uzunlukların, obje üzerinden kumpas ile ölçülen uzunluklarla karşılaştırılması yapılmıştır.

Aşkın (2009)'da yersel lazer tarayıcı ile elde edilmiş nokta bulutu kümelerinden gerçeğe yakın üç boyutlu model üretim teknikleri ve karşılaşılan problemler incelenmiş olup, modelleme aşamaları ve algoritmaları ortaya koyularak problemlere çözüm yöntemleri üretilmiştir. Başlangıç aşamasında üç boyutlu modellemede lazer tarama teknolojisinin yapısı ve bu teknoloji ile üretilen nokta bulutlarından üçgen ağların üretilmesi sürecinin modellemeye olan etkileri ele alınmıştır. İkinci aşamada dijital yüzey oluşturma kavramı, var olan algoritma yapıları ile genel olarak ele alınmıştır. Böylece lazer tarama teknolojisinden elde edilen nokta bulutlarıyla üretilmesi amaçlanan gerçeğe yakın 3B yüzeylerin işlenmesi sürecinde problemler araştırılarak çözüm yöntemleri, örnek olarak alınan nesne yapıları için geliştirilmiştir. Ayrıca üçgen ağların kalitesi kavramının modellemedeki etkileri üzerine odaklanılmıştır. Yersel lazer tarayıcılar ile elde edilen veriler ve bu verilerin işlenmesiyle oluşturulan modeller sayesinde mühendislik uygulamaları için gerekli her türlü veriye ulaşılabilmektedir. Bu veriler ile yapılan çalışmada bir nokta bulutu parçasından üç boyutlu yüzey oluşturulması sürecindeki hataların ortaya konulması ve çözüm yöntemlerinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca lazer tarayıcı ile elde edilmiş nesnelere ait nokta bulutlarının gerçek nesnenin yapısına uygun bir şekilde modellenmesi ve görselleştirilmesi talebini karşılayan 3B poligonal modele dönüşüm işleminin sorunlarını ve bu sorunlara alternatif çözüm önerileri irdelenmiştir. Böylece oluşturulan üç boyutlu yüzeylerden uygun model parçaları alınabilmektedir. Sonuçlar verilerin uygun programlarda (geomagic vs.) 3B modele çevirim aşamaları biçiminde örneklerle raporlanmıştır. Ayrıca bu tezde noktaların koordinat sistemine oturtulması (georeferencing) ve tüm modelleme işlemi süreçlerinde de

Geomagic programından yararlanılmıştır. Karşılaşılan yüzey modelleme sorunlarına aynı program yardımıyla çözüm önerileri geliştirilmiştir. Elde edilen yüzey modelleri uygun formatlarda kaydedilerek CAD ortamında kullanılır düzeye getirilmiştir. Sunulan çalışmada çeşitli ölçüm sistemlerinde taranmış farklı boyutlarda ve materyallere sahip yapılar seçilmiştir. Bu şekilde lazerin farklı geometrik özelliklere ve niteliklere sahip obje yapılarındaki modelleme yetisi, sorunları ve çözümleri irdelenmiştir. Çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi bünyesinde bulunan Pembe köşk binası, Fen Bilimleri Enstitüsü ve Kuşluk olarak bilinen Kosgeb binaları için gerçekleştirilmiştir.

Karabörk ve ark. (2009)'da çalışmanın amacı, jeodezik ve fotogrametrik tarayıcılar ile lazer nokta ölçme prensibi ile çalışan total station cihazlarının yer objelerinin 3B modellenmesinde uygulama duyarlıklarını araştırmaktır. Bu amaçla, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunda bir ölçü düzeneği ve test ağı oluşturulmuştur. Test ağı tam cepheden 3, 8 ve 17 metre mesafelerden hem lazer tarayıcı ile hem de lazer nokta ölçme teknolojisi ile çalışan Total Station ile taranmıştır. Test alanındaki noktaların koordinatları bu tarama sonuçlarından elde edilmiş ve jeodezik yöntemle ölçülen koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Bu noktaların birbiri ile olan uzaklıkları yine jeodezik yöntemle ile hesaplanan uzaklıkları ile karşılaştırılmıştır.

Aydar ve ark. (2011)'de taş parçalarının kırılma deneyi sonunda yüzeylerinde oluşan pürüzlülüğün ölçülmesi ve matematiksel olarak ifade edilmesi hedeflenmiştir. Kırılma deneyi sonunda oluşan yüzeyler incelendiğinde, en uygun ölçme ve modelleme yönteminin yersel lazer tarama olduğuna karar verilmiştir. Çalışmanın amacı, yüzeylerin kesme dayanımlarını etkileyen faktörlerin en önemlilerinden biri olan pürüzlülük derecelerini belirlemek için kullanılan pürüzlülük açılarının hızlı, doğru ve güvenilir olarak belirlenmesidir. Çalışmada Nextengine 3D Desktop yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Nextengine 3D Desktop tarayıcı, düşük bütçeli bir tarayıcı sistemi olup sağlamış olduğu ölçme doğruluğu ve hız bakımından etkili bir tarayıcı sistemdir. Bu çalışma 4 ana başlık altında tasarlanmıştır. Birinci bölüm, yersel lazer tarayıcıların çalışma prensipleri ve çalışmada kullanılan tarayıcı sistemin teknik özelliklerini kapsamaktadır. İkinci bölümde ölçme ve modelleme işlemleri ele alınmıştır. Üçüncü bölüm, üretilen 3 boyutlu model üzerinde yürütülen işlemler sonucu yüzey pürüzlülük açılarının hesaplanması için izlenilen yöntem ve sonuçları içermektedir. Son bölümde ise bu tip bir çalışmada elde edilen sonuçlar, karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri tartışılmaktadır.

Karşıdağ (2011)'de yersel lazer tarayıcı sistemlerinin genel özelliklerinden, yersel lazer tarayıcıların ölçme prensibi ve sınıflandırılmasından bahsedilmiştir. Yapılan uygulamada düzgün geometrik şekle sahip objeler farklı uzaklıklardan, farklı tarama yoğunluklarında taranmıştır. Elde edilen 3B nokta verilerinden faydalanılarak objelerin çizimi yapılmıştır. Bu çizimler sonucu elde edilen kenar uzunlukları, kumpasla yapılan ölçmelerle elde edilen kesin kenar uzunluklarıyla karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır.

Çömert ve ark. (2012)'de 3B yersel lazer tarama cihazı kullanılarak Eskişehir Seyitgazi ilçesinde bulunan eski askerlik şubesi olarak bilinen tarihi bir yapının 3B belgelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu belgeleme çalışması sonucu, elde edilen veriler bilgisayar ortamında işlenerek yapının 3B modeli, ortofoto görüntüleri, cephelerinin ve planının çizimleri üretilmiştir. Bu çalışmada amaç yersel lazer tarama yönteminin işlem adımlarının belirlenmesi ve kültürel mirasın belgelenmesinde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada; Seyitgazi ilçesinde bulunan eski askerlik şubesi lazer tarama cihazı kullanılarak dış cephe, iç duvar ve tavan taraması yapılmış, elde edilen veriler bilgisayar ortamında işlenerek yapının üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Bilgisayar ortamında tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verisi ve fotoğraflar kullanılarak bina cephelerinin ortofoto görüntüleri üretilmiştir. Ortofoto görüntüleri kullanılarak, binanın cephelerinin çizimi gerçekleştirilmiştir. 3B model üzerinde istenilen yükseklikten yatay alınan kesit kullanılarak yapının planı çizilmiştir. Askerlik şubesinin tarama işleminde Riegl marka LMS Z-390i model 3B lazer tarayıcı kullanılmıştır. Bu lazer tarayıcı lazer ışını gidiş geliş zamanı ilkesine göre çalışmaktadır. Normal ışık ve yansıtma şartları altında 50 metre mesafede 6 mm hassasiyete sahip ve 1.5 - 400 metre arasında ölçüm yapabilmektedir. Tarayıcıdan çıkan lazer ışını yakın kızılötesi ve 0.7 μm – 1.3 μm arasında değişen dalga boyuna sahiptir. Tarayıcı 80° düşey eksen ve 360° yatay eksen yönünde dönme kabiliyetine sahiptir. Cihazın açısal çözünürlüğü 0.001° değerine kadar artırılabilip, saniyede 8000 - 11000 arası nokta verisi elde edebilme kapasitesine sahiptir. Tarayıcı, objelere ait gerçek renk verisini elde etmek için kalibre edilmiş Nikon D200 kamera ile bütünleşik bir şekilde çalışmaktadır. Bu kamera 10.3 megapiksel DX formatlı CCD sensöre sahiptir. Nikon D200 kamera ile tarama işleminden sonra taranan alanın bindirmeli olarak fotoğrafları çekilir. Çekilen fotoğraflar nokta bulutunun renklendirilmesi için kullanılır. Riegl LMS Z-390i lazer tarayıcı Riscan Pro yazılımı tarafından kontrol edilmektedir. Bu yazılım tarayıcının ve kameranın kontrolü, verilerin toplanması, görselleştirilmesi, işlenmesi ve arşivlenmesi gibi birçok işlevi yerine getirmektedir. Bu çalışmada; askerlik şubesinin iç ve dış cephelerinin

taranması için toplam 17 ayrı istasyondan tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Binanın iç cephesini taramak için kullanılan istasyonlarda 16. ve 17. istasyonlarda 3 farklı pozisyonda tarama yapılmıştır. Cihaz ilk pozisyonda zemini, ikinci pozisyonda karşısındaki duvarı ve üçüncü pozisyonda da çatıyı görecek şekilde düşeyde döndürülerek tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Cihaz düşeyde döndürüldüğünde alet merkezli koordinat sistemi değişir. Bundan dolayı bir istasyonda farklı pozisyonda yapılan taramalarda yeni bir istasyon olmaktadır. Her bir istasyondan elde edilen nokta sayısı, tarama çözünürlüğü, cihaz ile taranacak yüzey arasındaki ortalama mesafe ve tarama süresi gösterilmiştir.

Gürcan (2012)'de yersel lazer tarama teknolojisinden, klasik ölçme yöntemlerinden, bu yöntemlerin karşılaştırılmasından bahsedilmiş ve uygulama ile desteklenmiştir. Çalışmayla yapılan uygulamada, yol güzergahı boyunca yolun sağ, orta, sol taraflarına sabit hedefler konularak Total station, GPS ve Yersel lazer tarama aletleriyle ölçümler yapılmıştır. Daha sonra ölçümler değerlendirilmiş ve Klasik Ölçme Yöntemleri ile Yersel Lazer Tarama metodu karşılaştırılarak, özellikle özel sektör gibi alanlarda pratik altlıklar elde etmede Yersel Lazer Tarama Yönteminin avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur.

Karşıdağ ve Alkan (2012)'de farklı geometrik şekillere sahip objeler, farklı uzaklıklardan, farklı tarama yoğunlukları ile taranmış ve elde edilen 3B nokta verilerinden faydalanılarak objelerin 3B modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerden ölçülen kenar uzunlukları, kumpasla yapılan ölçmelerden elde edilen ve kesin kenar olarak kabul edilen uzunluklarla karşılaştırılarak, tarama mesafesinin ve tarama yoğunluğunun fonksiyonu olarak karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, TLS kullanılarak farklı mesafelerden farklı tarama modlarında yapılan ölçmeler değerlendirilerek, doğruluk analizleri yapılmıştır. Bu amaçla dikdörtgen prizma (30cm x 30cm x 80cm), küp (40cm x 40cm x 40 cm), kesik koni (Ø20cm x Ø30cm x 60cm), dikdörtgen prizma (30cm x 40cm x 100cm), silindir (Ø15cm x 50cm) şeklinde paslanmaz çelik objeler kullanılmıştır. Objenin renginin taramaya olan etkisini belirlemek için objelerin bir kısmı metalik renkte, bir kısmı ise siyah renkte seçilmiştir. Ölçme çalışmaları, uygun ölçme koşulları nedeniyle İTÜ Hidrolik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada TLS ile elde edilen 3D nokta verilerinden çizimler yapılmıştır. Dikdörtgen prizma, kesik piramit ve küpün köşelerinde nokta verisinin objelerin yüzeylerine kıyasla daha az olduğu görülmüştür. Çizimlerde, köşelerde uygun nokta bulunamadığı durumlarda doğrultular çizilerek, iki doğrultunun kesişimi ile köşe noktaları oluşturulmuştur. Çizimlerden elde edilen uzunluklar, kumpasla yapılan ölçmelerle elde edilen

kesin uzunluklar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen uzunluk farklarının, 3 m mesafeden yapılan high mod taramada -4.5 mm ile 8.2 mm aralığında, 3 m mesafeden yapılan superhigh mod taramada -2.8 mm ile 9.2 mm aralığında, 10 m mesafeden yapılan high mod taramada -7.3 mm ile 17 mm aralığında, 10 m mesafeden yapılan superhigh mod taramada -1.8 mm ile 11.6 mm aralığında, 10 m mesafeden yapılan ultrahigh mod taramada -2.4 mm ile 5.8 mm aralığında olduğu görülmüştür. Farkların tarama yoğunluğu ile ters orantılı, tarama mesafesi ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Siyah dikdörtgen prizmanın kenar uzunluk karşılaştırmaları örnek olarak verilmiştir. Bu durumda, çalışmada kullanılan tarayıcının faz farkı metoduyla çalışan bir tarayıcı olduğu da düşünülürse, bu tip tarayıcıların objeye daha yakın mesafelerde daha iyi sonuç verdikleri söylenebilir.

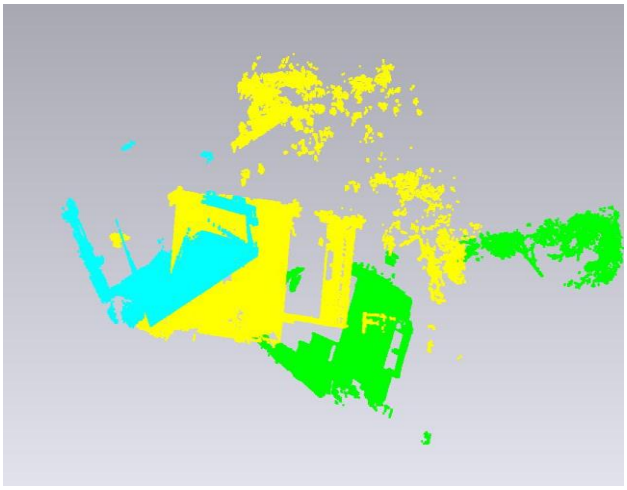
Palalı (2013)'de günümüzde hızla gelişen Yersel Lazer Tarayıcı'ların çalışma prensibi, bileşenleri, verileri birleştirme yöntemleri ve Topcon GLS-1000 Yersel Lazer Tarayıcı aleti tanıtılmıştır. Silindirik bir yapı olan Eğri Minare'nin 3B görüntüsü elde edilmiştir. Bu çalışmada, yersel lazer tarayıcıyla yapılan tarama ölçülerinin silindirik yapılarda nasıl bir sonuç verdiği araştırılmıştır. Silindirik yapı olarak Aksaray'daki Eğri Minare seçilmiştir. Eğri Minarenin beş ayrı noktadan tarama ölçüleri yapılmıştır. Ancak minare yüksek olduğundan dolayı, ayrıca yüksek binaların balkonlarından iki ayrı tarama daha yapılmıştır. Daha sonra bu tarama ölçüleri Scanmaster ve Polyworks yazılımları ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda objeye ait tüm nokta bulutları birleştirilmiştir. Nokta bulutlarının standart sapmaları 1 cm'nin altında hesaplanmıştır. Eğri Minarenin 3B görüntüsü elde edilmiştir. Yersel lazer tarayıcılarla silindirik yapıların 3B modellemesinin, uygun tarama noktalarının seçilmesi durumunda rahatlıkla yapılabileceği gözlenmiştir.

3. YERSEL LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ

Yersel lazer tarama yöntemi, objelerin doğrudan, hassas ve otomatik olarak 3B koordinatlarının elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir. Yersel lazer tarayıcı sistemleri çok kısa bir sürede fiziksel verilerin hassas ve yoğun bir şekilde ölçülmesine olanak tanımaktadır (Avdan ve ark., 2013).

Lazer tarayıcılar nesne yüzey verisini 3B koordinat olarak elde etmektedirler. Her saniyede binlerce nokta verisi elde edebilen otomatik ve sistematik bir işlem akışına sahiptirler. Tarayıcı ayrıca taranan nesne yüzeyinin yansıma değerlerini de 3B koordinatlara ek olarak sağlayabilmektedir. 3B tarayıcılar; yerinde durarak sabit konumda işlem yapan (üretim hatları gibi işlem yapan), bir tripod gibi bir düzenekle işlem yapanlar (close-range), topoğrafik uygulamalar için kullanılan uçağa monte (airborne) sistemler olarak sınıflandırılabilirler (Aşkın, 2009).

Üç boyutlu lazer tarayıcı objeyi bir lazer ışınıyla seçilebilir bir grid yoğunluğuna göre taramaktadır. Hedef noktasıyla eğik mesafeyle beraber yatay ve düşey açı da kaydedilmektedir. Çok kısa sürede binlerce 3B vektör yaratılmaktadır, taranan obje 3B koordinat uzayında büyük bir grid formunda gösterilmektedir. Bu yüzden 3B lazer tarayıcıya 1:1 sayısallaştırıcı da denmektedir. Tarama işlemi sonucu oluşan nokta bulutu bilgisayar ekranında eş zamanlı gösterilmektedir. Şekil 3.1'de de görüldüğü üzere kullanılan tarayıcı tipine bağlı olarak nokta mesafesine göre nokta bulutu renkli olabilir veya bir yoğunluk değeri (intensty) gösterebilir (Aşkın, 2009).



Şekil 3.1. Doğru renkli (true colour) nokta bulutları örneği (Aşkın, 2009)

Nokta bulutu tarama işlemi süresince istenen mesafe ve perspektifte döndürülebilmektedir; uygun olmayan noktalar elimine edilebilmektedir. Lazer tarama teknolojisi bir tersinir mühendislik uygulamasını olanaklı hale getirmektedir. Sonuç olarak; tarama işlemi sonunda işlenen veriler CAD ortamında sunulabilmektedir. Özellikle eski binaların restore edilmesinde yeni yöntem, diğer yöntemlerle de bütünleşme sağladığından hızla kabul görmüştür (Aşkın, 2009).

3.1. Yersel Lazer Tarayıcıların Genel Özellikleri

Yersel lazer tarama aletlerini karşılaştırırken, araştırmacıların doğruluğu ağır basan faktör olarak görmelerine rağmen, yapılacak işe göre proje sürecinde, doğruluk dışında tarayıcıları değerlendirme aşamasında başka karakteristik özellikler vardır. Bu özellikler, yapılacak işe ve istenen doğruluğa göre 3B Lazer tarama aletinin uygunluğunu da belirtir. Bu özellikler aşağıdaki gibi açıklanabilir (Gümüş, 2008).

Hız: Yüksek veri edinme yeteneğine sahip lazer tarayıcılarla, zamana bağlı olarak nokta taranabilmektedir. Saniyede 100 nokta düşük bir hız olarak görülür. Pek çok çalışmada, 1000 noktalık oran yeterli görülür. Yüksek nesne çözünürlüğü için ihtiyaç duyulan yüksek nokta yoğunlukları bazen vakit kaybettirici olabilir. Bu durum çalışma zamanını etkilediği için, saniyede on binlerce nokta elde etmek, bazen iyi bir gelişim olarak düşünülemez.

Çözünürlük ve Işın Boyutu: Nesne çözünürlüğü, kuramsal olarak açısal artımın bir fonksiyonudur ve lazer ışınının açısal çözünürlüğüne ve yansıyan ışının nesne üzerindeki alanına bağlıdır. Eğer yüksek çözünürlüğün gerekli olduğu durumlarda, lazer ışının iyi odaklanıp odaklanmadığı ve değişik uzunluklar için sağlanan otomatik odaklanma prosedürü, kontrol edilmelidir.

Değer Limitleri ve Karışan Radyasyon Etkisi: Tarayıcıların tanıtım kataloglarında verilen değerlerden her zaman şüphe duyulmalıdır. Olası değerler, materyalin yansıtıcılığına, atmosfere, güneşten gelen ya da yapay nesnelerden yayılan ek radyasyona ve nesnenin kendisi ile etrafındaki diğer sebeplere yüksek oranda bağlıdır.

Görüş Alanı: Rotasyon için motorlu eksenler olmadan sabitlenen tarayıcılar, kısıtlı bir görüş alanına sahiptir. Tipik olarak, yaklaşık 40° x 40° bir alanı tarayabilirler. MENSI SOISIC gibi tek eksenli tarayıcılar, yaklaşık 45° x 320°' lik alanı kapsar. İki eksenli aletler ise, yaklaşık 30° konik alan dışında her alanı kapsar. Geniş görüş alanlı tarayıcılar ile kapalı mekânlarda kişisel bir güç sarf etmeden büyük miktarlarda veri toplanır.

Kayıt Araçları: Farklı tarama istasyonlarından yapılan kısmi taramalar bütünleştirilip genel bir koordinat sistemine dönüştürülmelidir. Bunun için, tarama yazılımının rahatlıkla bulabileceği, nesne alanında özel hedeflerin olması gerekir. Bazı üretici firmalar, donanım ve yazılımlarına uygun olacak şekilde özel hedefler geliştirmişlerdir. Bu hedefler, aynı zamanda jeodezik ve fotogrametrik uygulamalar için kullanılabilir olmalıdır.

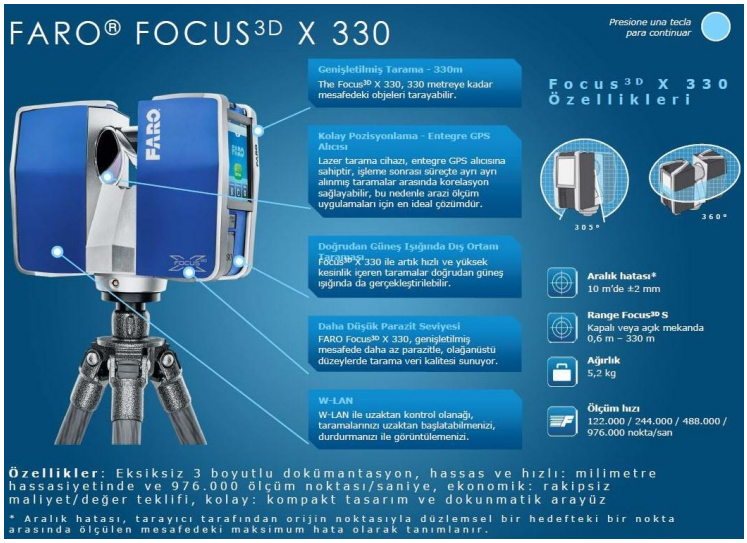
Görüntüleme Kameraları: Pek çok uygulama, nesnenin geometrik bilgilerine ek olarak nesnenin doku bilgisine ihtiyaç duyar. Eğer bu dokular 3B modele eklenmişse, gerçekçi bir görünüş elde edilebilir. Bazı tarayıcılar, dönüş sinyalinin yoğunluk değerlerini kaydederler. Genellikle doku haritalaması için, iyi bir doku bilgisi sağlamak yeterli değildir. Aynı şey, triangulasyon yöntemiyle çalışan tarayıcıların nokta edinimi için optimize edilmiş fakat görüntüleme için olmayan kameralarına da uygulanır. Bazı kullanıcılar, tarama aletinin içinde yüksek kaliteli görüntü sağlamak için yüksek kaliteli kameralar talep ederler. Bu aşamada, tarayıcının ve kameranın rölatif pozisyonu, tarama sonuçları ve görüntülere dayalı olarak ayarlanabilir.

Taşıma Kolaylığı: İdeal olarak tarama aleti küçük ve hafif olmalıdır. Pek çok orta ve uzun menzilli tarayıcılar hala göreceli olarak büyük ve ağırdır. Bu yüzden, örnek olarak, uçuşlarda kabin bagajı olarak taşınmaları mümkün değildir. Özellikle, çeşitli engebeli ve dağlık bölgelerde, ulaşımın zor olduğu yerlerde yapılan çalışmalarda, aletin ve diğer donanımlarının taşınması çok zor olmakta ve zaman kaybına sebep olmaktadır.

Güç Kaynağı: Akü, taşınabilir jeneratör, elektrik hattı, güç kaynağı olarak kullanılabilir. Aküyle çalışan tarayıcıların kullanımı, bir elektrik hattına ihtiyaç duyan diğerlerine göre daha uygundur. Taşınabilir jeneratörler, bu aşamada yardımcı olabilir fakat dahili yerlerde ya da mağaralarda çalışırken uzun elektrik kabloları taşımayı gerektirir. Aynı zamanda, jeneratör ve kablolar taşımada ek sorun çıkarabilir.

Tarama Yazılımı: Yazılım, tarama pencerelerinin ve çözünürlük değerlerinin basit bir arabirimi olmalıdır. Tarama ilerlemesini ve kalan tarama zamanını elde etmek için bir olasılık vardır. Daha karmaşık özelliklere (otomatik hedef sezilmesi gibi) de ihtiyaç duyulabilir. Eğer geniş nesneler kaydedildiyse, taramanın tamlığını kontrol etmek için gözlemin farklı noktalarından alınan nokta bulutlarının genel bir kaydının edinilmesi olasıdır.

Çizelge 3.1. Faro Focus^{3D} X 330 Yersel lazer tarayıcının genel özellikleri (url 1)



3.2. Yersel Lazer Tarayıcıların Bileşenleri

Bir yersel lazer tarayıcı sistemi (TLS) şu bileşenlerden oluşur :

- Tarama ünitesi (tarayıcı)
- Kontrol ünitesi
- Güç kaynağı
- Tripod ve Sehpa (Aşkın, 2009).



Şekil 3.2. Faro Focus^{3D} X 330 Yersel Lazer Tarama Sistemi (url 1)

Bir yersel lazer tarayıcı sistemi (TLSS)'nin öz bileşeni tarama ünitesidir ve direkt olarak taranan obje veya nesne yüzeyinden, 3B veri elde edilmesini sağlamaktadır. Bir lazer tarayıcının tarama ünitesi şu bileşenlerden oluşur:

i. Lazer telemetresi (Lazer uzaklık ölçer)
ii. Lazer ışın saptırma ünitesi (Optik mekanik tarayıcı) (Gürcan, 2012).

3.3. Yersel Lazer Tarayıcıların Sınıflandırılması

TLS'leri sınıflandırmak zordur. TLS'leri ölçme prensiplerine yada teknik özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Herşeyden önce tüm uygulamalar için kullanılacak evrensel bir TLS yoktur. Bazı tarayıcılar iç mekanda ve orta mesafe uzunluklarda (ölçme mesafesi 100 m'ye kadar) kullanılırlar. Bazı tarayıcılar ise dış mekan ve uzun mesafe (ölçme mesafesi 100 m'den fazla) ölçmeleri için uygundurlar. Hatta yakın mesafe (birkaç metre) ölçmeleri için yüksek hassasiyetli tarayıcılar vardır. Yapılacak uygulamaya göre, uygun lazer tarayıcı seçilmelidir (Karşıdağ, 2011).

Tarayıcıların teknik özelliklerine göre sınıflandırılmaları, sistemin performans ve olanaklarını görmek açısından daha faydalıdır. Bu da kullanıcıya amacına uygun tarayıcı seçimi yapabilme olanağı sağlar.

Bu teknik özelliklerin en önemlileri şunlardır:

- Tarama hızı, lazer ölçme sisteminin örnekleme oranı,

- Görüş alanı (Kamera görüntüsü, profil, görüntüleme),

- Mekansal çözünürlük (Örneğin, görüş alanında taranan nokta sayısı),

- Sistemin genel doğruluğu , mesafe ölçme sistemi ve ışın saptırma ünitesinin doğruluğu,

- Lazer tarayıcıya diğer cihazlarların monte edilme özelliği (GPS, kamera gibi) (Karşıdağ, 2011).

Şekil 3.3'de piyasada kullanılan bazı TLS'lerden örnekler verilmiştir (Karşıdağ, 2011).



Riegl LMS Z620



Leica HDS 3000



Faro LS 880



Z-F Imager 5006



Leica HDS 4500



Callidus CP 3200

Şekil 3.3. Yersel lazer tarayıcı çeşitleri (Karşıdağ, 2011)

Çeşitli marka yersel lazer tarayıcıların ölçme yöntemleri, maksimum uzunlukları, elde edilen doğrulukları Çizelge 3.2' de gösterilmiştir (Gümüş, 2008).

Çizelge 3.2. Yersel tarama aletlerinin uzunluk ve doğruluk değerleri (Gümüş, 2008)

ÖLÇME YÖNTEMİ	UZUNLUK (m)	DOĞRULUK (mm)	ÜRETİCİ FİRMA
Uçuş zamanlı	< 100	< 10	Callidus, Leica Mensi, Optech Riegl
	< 1000	< 20	Optech, Riegl
Faz karşılaştırma	< 100	< 10	IQsun, Leica VisImage, Zoller+Fröhlich
Triangulasyon	< 5	< 1	Mensi, Minolta

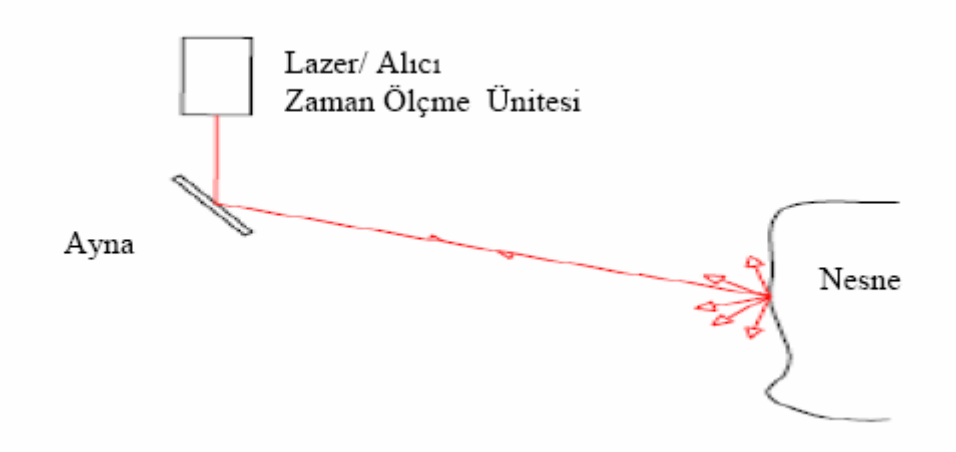
Çizelge 3.3. Faro Focus^{3D} X 330 Yersel lazer tarama aletinin uzunluk ve doğruluk değerleri

ÖLÇME YÖNTEMİ	UZUNLUK (m)	DOĞRULUK(mm)
Faz karşılaştırma	< 25	< 2

3.4. Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri

3.4.1. Bir lazer ışınının gidiş geliş zamanıyla işlem yapanlar (uçuş zamanlı)

Bir lazer ışını nesneye gönderilir. Gönderici ile yüzey arasındaki uzunluk, sinyal iletimi ile alımı arasındaki uçuş zamanıyla ölçülür. Bu prensip, total stationların çalışma prensibinden dolayı da iyi bilinir. Motor bir total station tarama aleti olarak çalışmaya programlanabilir. Ancak aletin kütlesi nedeniyle eksen etrafındaki artan rotasyon basamakları yeterince hızlı değildir. Bununla birlikte sinyal süreci çok vakit alır ve açısal değerler kodlanmış çemberlerden zahmetli bir şekilde okunmaktadır. Bundan dolayı ölçüm oranları çok düşük olmaktadır. Tarayıcılar, lazer ışının açısal sapması için küçük dönüş aletleri ve uzunluk hesaplaması için basit algoritmalar kullanırlar. Uzunluk ölçümlerinin tipik standart sapmaları, birkaç milimetre olmaktadır. 3B doğruluğu aynı zamanda, ışının açısal noktalama doğruluğundan etkilenir (Gümüş, 2008).



Şekil 3.4. Uçuş zamanı prensibi (Gümüş, 2008)

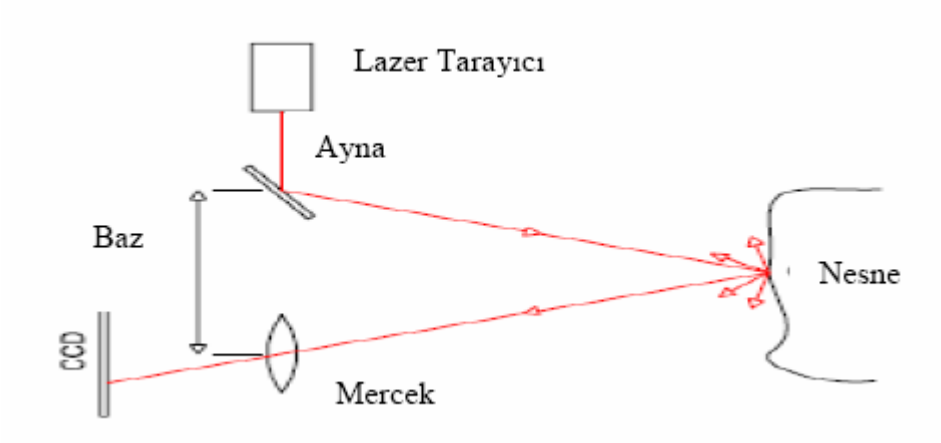
3.4.2. Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapanlar

Bu yöntem de yine total stationlar da bilindiği gibidir. Uzunluk, iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanır. Kullanıcıların bakış açısından bu yöntemin, uçuş zamanı yönteminden farkı yoktur. Daha karışık sinyal analizinden dolayı sonuçlar daha doğru olmaktadır. İyi tanımlanmış bir dönüş sinyaline ihtiyaç olduğu için faz karşılaştırma yöntemini kullanan tarayıcılar, kısa uzunluklarda daha etkilidir (Gümüş, 2008).

3.4.3. Triangulasyon metoduyla işlem yapanlar

3.4.3.1. Tek kamera çözümü

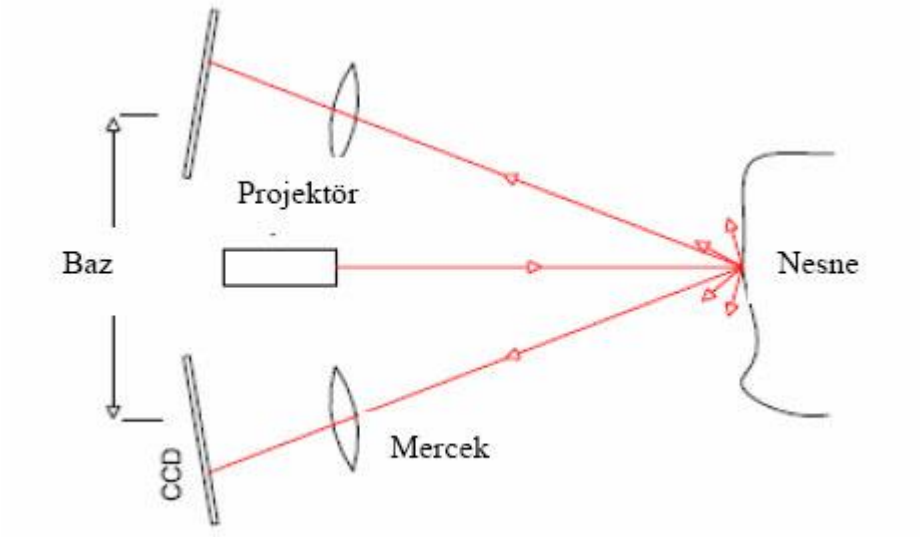
Bu tarayıcı, basit bir ışın yayma düzeneğinden oluşur. Tarayıcıdan nesneye, artan değişen açılarla ve lazer noktalarını sezen bir CCD kamerasıyla lazer ışınını gönderir. Yansıtıcı yüzey elementlerinin 3B konumları, sonuç üçgeninden elde edilir. Bu prensip, menzil bulucuların kullanıldığı araştırmada önceliklere sahiptir. Bu açıdan, tarayıcı ve nesne arasındaki uzunluğun doğruluğu, uzunluk alanıyla birlikte ifade edilir. Bu tarayıcılar, doğruluk isteyen daha hassas çalışmalarda kısa mesafeler ve küçük nesneler için önemli bir rol oynar (Gümüş, 2008).



Şekil 3.5. Triangulasyon prensibi: tek kamera çözümü (Gümüş, 2008)

3.4.3.2. Çift kamera çözümü

Triangulasyon prensibinin bir değişkeni, iki CCD kamerası kullanımıdır. İncelenecek nokta ya da bölge, hiçbir ölçme fonksiyonu olmayan ayrı bir ışık projektörü ile üretilir. Projeksiyon, hareket eden şerit bölümlerinin bir ışık çizgisinden oluşur. Geometrik çözüm, tek kamera prensibiyle aynıdır ve aynı doğrulukta sonuç verir. Bu tarayıcılar, yukarıda belirtilen tarama aletlerine bir alternatif olarak görülebilir (Gümüş, 2008).



Şekil 3.6. Triangulasyon prensibi: iki kamera çözümü (Gümüş, 2008)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Tezin çalışma konusu olarak tarihi bir eser olan Ankara ilindeki Karacabey Türbesi seçildi. Bu çalışmada Faro Focus^{3D} X 330 marka ve modelindeki yersel lazer tarayıcı kullanılarak tarama yapıldı. Tarama verileri SCENE 5.3 yazılımıyla, nokta bulutları düzenlenerek ve birleştirmeleri yapılarak Karacabey Türbesi'nin 3B görüntüsü elde edildi. Yöntem olarak yersel lazer tarama yöntemi kullanılmıştır.

5. YERSEL LAZER TARAMADA ÖLÇME PROSEDÜRLERİ

5.1. Ölçme Planlaması

Yersel lazer tarama işlemlerinde ölçüm tasarımı, hala açık bir sorudur ve bu zamana kadar hiçbir standart kural saptanmamıştır. Yine de herhangi bir ölçme sisteminde olduğu gibi bir ön planlama gerektiğinden gerekli bilgilerin türetilmesi gerekir (Gümüş, 2010). Yersel lazer tarama ölçüm tasarımı ana basamaklarıyla şöyledir:

1- Taranacak alanın önceden belirlenmesi: Geniş alanlar taranırken tarayıcı taranacak obje ya da alanı düşük çözünürlükte taramalıdır ki, bu da diğer tasarım işlemlerinde kullanılacak alanın haritasının çıkartılmasını mümkün kılar. Büyük ölçekli haritalar bu hususta kullanışlı olabilir.

2- Kullanılacak tarayıcıyı seçme: Birçok şirketin ürettiği, değişik fiyatlarda, farklı konum doğruluklarına ve tarama mesafelerine sahip çok çeşitli tarayıcılar mevcuttur. Önemli olan yapılacak uygulama için en uygun olanını seçmektir.

3- Tarama noktaları için en uygun yer: Gerekli çözünürlüğü ve doğruluğu sağlayacak şekilde seçilmelidir.

4- Hedef türlerinin seçimi ve hedeflerin yerlerinin önceden belirlenmesi: Farklı tarama merkezlerinden elde edilmiş nokta bulutlarının birleştirilmesi, jeoreferans konumları yapmak için uygun hedefler seçilmelidir.

5- Tarama sonucu elde edilen nokta bulutunun beklenen çözünürlük ve doğruluğunun tanımı: Bunlar taramanın ölçeğine veya nokta bulutundaki minimum nitelik boyutunun görülebilir olmasına bağlı olarak tanımlanabilirler. Daha küçük objeler daha iyi doğruluk ve çözünürlük gerektirirler.

6- Son olarak yukarıda bahsedilen basamakların her biri yapıldıktan sonra, taranacak alan ya da objenin bir kısmı taranarak, kabaca bir veri elde edilir. Bu tarama sürecinde geçen zaman dikkate alınarak toplanacak toplam veri için işin tamamında geçecek zaman tahmin edilebilir.

5.2. Tarama

Tarama işlemine başlamadan önce operatör belirlenmiş konumda aleti kurar ve tarama yazılımı içindeki gerekli düzenlemeleri; tarama çözünürlüğü, tarayıcının objeye olan mesafesi, doğruluk modu, tarama sayısı, ilk veya son atım ölçümleri vb. bilgileri girer (Gümüş, 2010).

5.3. Çoklu Taramaların Birleştirilmesi ve Konumlandırma (Jeoreferanslandırma)

Ölçülerin ülke jeodezik koordinat sisteminde ya da küresel bir koordinat sisteminde ifade edilmesi pek çok uygulama için önemli bir konudur. Özellikle geniş alanların ölçümünde jeodezik koordinatlar ek ölçü yapmaya gerek kalmadan tüm ölçülerin birleştirilmesini sağlar. Yani jeodezik koordinatlar hem lazer tarama ölçülerinin birleştirilmesini hem de bu ölçülerin diğer ölçülerle uyumunu sağlar. Jeodezik koordinatlar özellikle konuma dayalı bilgi sistemi uygulamaları için oldukça önemlidir. Çünkü ölçüler doğrudan mevcut bilgilerle bütünleştirilebilir (Yıldız ve Altuntaş, 2009).

Yerleştirme'ye iki amaç için ihtiyaç vardır:

1. Değişik gözlem noktalarından alınan nokta bulutlarının birleştirilmesi.

2. Nesneyi belirli bir koordinat sistemine oturtma (jeoreferanslandırma).

Yerleştirmeyi gerçekleştirmek için bağlantı ya da kontrol noktalarına gereksinim vardır. Bu noktalar özenle seçilmiş, objenin fark edilebilir bir noktası (örneğin; köşeleri) ya da özel hedefler (yüksek yansıtıcılı küreler ya da levhalar) olabilir. Küresel koordinatlandırma durumunda bu hedefler jeodezik ya da yersel fotogrametrik yöntemlerle ölçülmüş olmalıdır. Her iki amaç için de, nokta bulutu içerisinde alınacak yeterli sayıda belirli nokta (üç ya da dört) ile bağlantı yapmak yalnızca bağlama noktaları ile nokta bulutlarını birbirine bağlanmaktan daha iyi sonuç verir. Diğer taraftan, eğer yeteri kadar bindirme sağlanırsa, yüzeydeki birçok nokta çözüm için gerekli olan yeterli geometrik olanağı verir. Yüzey alanı geniş; objeler, iç ya da dış mekânlar için yapılan çok sayıda tekli taramaların bu yüzeylerde olumsuz hatalar oluşturabileceğine dikkat edilmelidir. Objeler, koşullar ve doğruluk talepleri durumdan duruma değişebilir, ideal bir yerleştirme yazılımı her ikisini de; özel hedeflerle

yerleştirme ya da bindirmeli nokta bulutları ile (ya da her ikisinin kombinasyonunu) yerleştirme olanağını sağlamalıdır. En küçük kareler yöntemi ile dengeleme her ikisinde de olmalıdır (Gümüş, 2010).

Taramalar sonucu elde edilen ve tarayıcının kendi koordinat sisteminde birleştirilen nokta bulutlarının belirli bir koordinat sistemine (ülke) oturtulmasıdır. Bu işlemin yapılabilmesi için tarama bölgesinde jeodezik bir ağ kurulması ve bu ağdan, taramada kullanılan hedeflerin ya da kontrol noktaların ülke koordinatlarının elde edilmesi gerekir. Bu hedefler yardımıyla taranmış alan ya da objenin koordinatları ülke koordinat sistemine dönüştürülür. Jeoreferanslandırma tarayıcı tasarımına bağlı olarak iki şekilde yapılabilir (Gümüş, 2010).

5.3.1. Doğrudan konumlandırma

Tarayıcı koordinatı bilinen bir nokta üzerine kurulur; noktanın konum bilgileri (x,y,z), alet yüksekliği gibi değerler tarayıcı yazılımına girilir. Bazı lazer tarama sistemleri GPS entegreli olarak çalışmakta ve lazer tarayıcının kurulu olduğu noktanın ulusal sistemdeki koordinatları elde edilebilmektedir (Örneğin; Riegl, Leica HDS 3000). Tarama işlemleri sonucu elde edilen nokta bulutlarının koordinatları hiçbir koordinat dönüşümü yapılmadan doğrudan elde edilmekte ve bu nokta bulutları birleştirilerek taranan obje ya da alanın gerçeğe yakın 3B tam sunumu elde edilmektedir (Gümüş, 2010).

5.3.2. Dolaylı konumlandırma

Her tarama bir sonraki tarama alanının bir kısmını kapsayacak şekilde yapılmalı, kesişen bölgelere, kullanılan tarayıcının özelliğine göre özel hedefler yerleştirilmelidir. Ayrıca tarama alanında kolayca fark edilebilen ve jeodezik anlamda koordinatı bilinen en az 3 tane kontrol noktasının daha olması gerekir. Bu kontrol noktaları ve hedefler yardımıyla farklı noktalardan yapılan taramalar sonucu elde edilen nokta bulutları birleştirilmektedir. Jeodezik koordinatı bilinen kontrol noktaları yardımıyla birleştirilmiş noktalar ülke koordinat sistemine dönüştürülmektedir. Kontrol noktaları bazı ağ noktalarıyla çakışabilirler veya onlardan farklı olabilirler (Gümüş, 2010).

6. 3B NOKTA VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN YAZILIMLAR

3B modelleme, tarama sonucu toplanan nokta bulutlarının değerlendirilmesi ve düzenli hale getirilmesi için yazılımlar geliştirilmiştir. Günümüzde, lazer tarayıcı üretici firma ve onlara bağlı kuruluşların geliştirdiği birçok yazılım vardır. Ayrıca piyasada yaygın olarak bulunan CAD ve 3B modelleme yazılım paketleri de bulunmaktadır. Fakat bu yazılımlar, tarama sonucu elde edilen çok miktarlardaki verinin işlenmesinde zorlanmaktadır. Tarayıcı firmalarının geliştirdiği yazılımlar ise performans, içerdikleri modül, işlem adımları ve kullanım kolaylığı açısından farklılıklar göstermektedir. Her yazılımın kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Kullanıcılar tarama sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve modellenmesi sırasında, farklı yazılımlar arasında geçiş yapmaktadır. Yersel lazer tarama teknolojisindeki tarama yazılımları, veri toplanmasından son ürüne kadar olan tüm işlem adımları göz önüne alınarak aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Gümüş, 2008).

- Tarama kontrolü için yazılım
- Nokta bulutunun düzenlenmesi için yazılım
- Basit geometrik şekilleri, nokta bulutuna sabitlemek için yazılım
- Karmaşık yüzey modellerinin yaratılması için yazılım
- Doku ve görüntü eklemek için yazılım
- Veri ve proje yönetimi için yazılım

6.1. Tarama Kontrolü İçin Yazılım

Motorize ekseni olmayan bir tarayıcıdaki tarama kontrolü, ön ayar çözünürlüğünde sabitlenmiş bir pencere kullanılarak sağlanmaktadır. Bu durumda tek kontrol elemanı, bir başlangıç düğmesi olabilir. Tarama yazılımının tek amacı ise, 3B koordinatlarının hesaplanması olacaktır. Motorize eksenli tarayıcıların için kontrolü ise, olası çözünürlük uzunluğunu seçmek ve bir ya da daha fazla tarama penceresini tespit etmek ile sağlanmaktadır. Tarama kontrolü ve tarama parametrelerinin belirlenmesi için olası gelişmeler içinde şunlar vardır:

- Tarama parametrelerinin farklı olasılıklarının seçimi
- Karmaşık, uzun ve eğimli nesneler için hareketli pencereler (borular)

- Hedef noktaları için tarama çözünürlüğünün otomatik ya da yarı otomatik ayarı
- Tarayıcıdan farklı uzaklıktaki nesne detaylarına ulaşmak için, tarama çözünürlüğünün otomatik ayarlaması.

Tarama işlemleri boyunca veya taramanın tamamlanması sırasında, elde edilen veri hakkında güvenilir bir bilgiye sahip olmak istenilir. Tarama işlemleri sonucu elde edilen nokta bulutlarının kayıt edilmesi, gerekli bilgilere ulaşılması ve taranan obje veya nesne yüzeylerini yüzey ağı şeklinde gösterecek pek çok yazılım modülü geliştirilmiştir (Gümüş, 2008).

6.2. Nokta Bulutunun Düzenlenmesi İçin Yazılım

Elde edilen nokta bulutunun nesne veya obje yüzeyini yansıtıp yansıtmadığının belirlenmesi, eksik tarama bölgelerinin tespiti ve detayları görmek için yazılımlar kullanılmaktadır. Yazılımlar ile istenilen her türlü yönde 3B görselleştirme (büyültme, küçültme, kaydırma ve döndürme gibi vb.) işlemleri yapılabilmektedir. Bu şekilde, nokta bulutlarına farklı noktalardan bakış sağlanmaktadır. Taramalar sonucu elde edilen nokta bulutları, nesne veya obje yüzeyini oluşturan gerekli ve gereksiz pek çok noktadan oluşmaktadır. Nesne yüzeyini temsil etmeyen olası nokta kayıtları için, pek çok sebep vardır:

- Arka plandaki nesnelerden yansımalar
- Tarayıcı ve nesne arasındaki boşlukta meydana gelen yansımalar (ağaçlar ve diğer nesneler, hareket eden insanlar ya da trafik, atmosfersel etkiler)
- Kenarlardaki lazer noktasının sadece kısmi yansıması
- Işının çoklu yansımaları
- Yüzey elementlerinin farklı yansıtmalarından kaynaklanan sistematik uzunluk hatalarının farklılıkları
- Hatalı noktalar (çok parlak nesnelerden kaynaklanır (ışıklar))

Bu yanlış noktaların kayda alınmadan belirlenmesi ve silinmesi gerekir. Çünkü kullanılan hiçbir otomatik yöntem tüm olasılıkları önceden göremediği için, bu işlemler interaktif olarak yapılmaktadır. Ön plandaki, arka plandaki ve çoklu yansımalardan elde edilen yanlış noktalar, menzil limitlerinin tanıtımıyla kolayca yok edilebilir. Fark edilmesi

daha zor olan ise, kenarlardaki yanlış noktalardır. Ayrıca, yüzey materyalinin yansıtabilirliğine bağlı menzil sapmaları yüzünden düzensiz noktalar elde edilmektedir.

Bu silme işlemlerine rağmen, hala mevcut nokta bulutu içerisinde, nesne yüzeyini yaratmayan gereksiz noktalar vardır. Eğer taranan obje karışık bir yapıya sahip değilse, geometrik basit şekillerden oluşuyor ve yüzeyi pürüzsüz ise, filtreleme veya nokta inceltme işlemleri yapılmaktadır. Filtreleme ve nokta inceltme işlerinde amaç, fazla veri boyutunu azaltmak ve daha az nokta ile yüzeyi temsil etmek için nokta sayısının azaltılmasıdır. Bu yukarıda belirtilen işlemler, farklı noktalardan yapılan taramaların birleştirilmesinden sonrada yapılmalıdır. Hala bütünleştirilmiş nokta bulutu içerisinde gereksiz olan noktalar olabilir. Bu gereksiz noktaların belirlenmesi ve silinmesi gerekir. Aynı şekilde filtreleme ve nokta inceltme işlemleri yapılmaktadır. Yazılımlar içerisinde geliştirilen modüller sayesinde bu belirtilen işlem adımları, kullanıcının isteğine bağlı olarak gerçekleştirilmekte ve düzenli nokta bulutları istenilen formatta kayıt edilmektedir (Gümüş, 2008).

6.3. Basit Geometrik Şekilleri Nokta Bulutuna Sabitlemek İçin Yazılım

Bu şekilde düzenlenen nokta bulutları, son bir dökümantasyon sonucu olarak yeterli değildir. Nokta bulutları, bir nesnenin geometrisinin arşivlenmesi yoluyla dikkate alınabilir. Eğer taranan obje basit geometrik bir şekle sahipse, yazılımlardan yararlanarak basit geometrik şekiller (silindir, koni, küre), obje bölümlerine ait olan nokta bulutlarına sabitlenebilir. Yani nokta bulutu üzerinden geometrik çizimler yapılabilir. Bu işlemler için mevcut CAD programlarının performansı, 3B tarama tekniklerinden doğan yeni ihtiyaçlara cevap vermek için devamlı geliştirilmekte ve yeni modüller eklenmektedir.

3B tarayıcıları için sağlanan yazılım çözümleri, performansa göre farklılık gösterebilir. Bu geometrik şekillerin, önceden bilinen bir kütüphanesi veya şablonu varsa, otomatik sabitleme metotları kullanılabilir. Eğer çizimi yapılacak nesne veya obje büyük ve karmaşık bir yapıda ise, yazılımla birlikte her şeklin ayrı ayrı bağlantısı sağlanır ve çizimi gerçekleştirilir. Kültürel miras belgelemesinde, nesnelerin sunumu için oluşturulan basit geometrik şekiller yeterli değildir (Gümüş, 2008).

6.4. Karmaşık Yüzey Modellerinin Yaratılması İçin Yazılım

Yüzey ağı oluşturma, düzensiz bir yüzeyin geometrik tanımına ulaşmak için standart bir yöntemdir. Yüzey ağı oluşturma işlemleri, daha çok topoğrafik uygulamalarda ve lazer tarama teknolojisindeki 3B modelleme çalışmalarında kullanılan alternatif bir yöntem haline gelmiştir. Bu yüzey ağı, üçgenlemelerle yazılım üzerinden yapılır. Yüzey ağı oluşturma işlemi, kullanıcı kontrollü gerekli bilgilerin girilmesiyle gerçekleşmektedir. Bu üçgenleme işlemleri otomatik olarak yazılım tarafından yapıldığında, objenin bazı bölümlerde üçgenler oluşmayabilir. Gereksiz üçgenlemeler veya boşluklar oluşabilir ya da oluşan üçgenlerde bazı hatalar olabilir. Bu üçgenlerin düzenli hale getirilmesi, boşlukların doldurulması, kullanıcı tarafından yazılım modüllerini kullanılarak yapılabilir. Yüzey ağı oluşturulmasında özellikle kenarlarda buna benzer hatalar oluşmaktadır. Yazılım, tarama çözünürlüğüne bağlı olarak, kenarları otomatik olarak belirleyebilmektedir. Kullanıcı, özellikle kenarlarda manüel olarak yazılıma müdahale edebilir ve hataları düzeltebilir.

Yüzey ağı oluşturmada üçgenler yerine eğrilerden (NURBS) yararlanılır. Bu, veri depolama alanını büyük ölçüde azaltır. Aynı zamanda, yüzeyin pürüzsüz olduğunun bilindiği durumlarda NURBS modellemesinin kullanılması, taramadan kaynaklanan gürültüleri ortadan kaldırır (Gümüş, 2008).

6.5. Doku ve Görüntü Eklemek İçin Yazılım

Yüzeylerin görselleştirilmesini mümkün kılan tek şey, dokudur. Nokta bulutundan elde edilen obje yüzeyine, doku giydirilerek gerçekçi bir görünüm sağlanmaktadır. Örneğin beyaz renkteki doku, nesne veya objeye mermersi bir görünüm verir. Aynı zamanda, materyallerin yansıtma varlıkları tanımlanmalıdır. Bu, daha pütürlü ve daha parlak yüzey görünümüne sebep olur. Daha karmaşık dokular ve daha karmaşık aydınlatma prosedürleri, tarama yazılımıyla elde edilebilir.

Görüntü bilgisi, tarama işlemiyle elde edilebilir. Uçuş zamanlı lazer tarayıcılarda, dönüş sinyalinin kuvvetinin özniteliği ile görüntü sağlanabilir. Bu değer normalleştirilirse, nesnenin gri tonlu görünümünün yaratılmasında kullanılabilir. Triangulasyon tarayıcılarının kameraları ile benzer bilgi sağlanır ve tüm görüş alanının görüntüsü kaydedilebilir. Pek çok durumda, bu basit araçlar belgeleme görevi için beklenen yüksek kaliteyi sağlayamaz.

Yüksek görünüm kalitesi için özellikle de renkli görüntüler için, görüntü bilgisini üretmek amacıyla farklı kameralar kullanılmaktadır. Görüntüler, nesneye göre tekrar tasarlanmalıdır. Özdeş noktalar kullanılarak nesne üzerine görüntü yerleştirme işlemi, fotogrametrik teknikler kullanılarak, daha çabuk ve aynı zamanda daha iyi bir geometrik kaliteyle gerçekleştirilebilir. Topoğrafik uygulamalarda bu işlem adımları, 3B nesneler için daha karmaşıktır. Hangi uygun görüntü bilgilerinin alınması gerektiğine karar vermek için, en küçük yüzey biriminin dahi görüntüsü gerekmektedir (Gümüş, 2008). Parlaklık, kontrast ve renk balansı göz önüne alınarak, radyometrik düzeltmelerin uygulanması oldukça zor olabilir. Çünkü görüntü alımı esnasında aydınlatma koşulları, nesnenin her yüzey elementinde aynı olmadığı için ön görülen koşullarla uyuşmayacaktır. Görüntü ekleme işi oldukça zahmetli bir iştir. Yazılımların çözemediği ve kullanıcıların çözüm bulunmasını bekledikleri bu konu ile ilgili, pek çok sorun vardır (Gümüş, 2008).

6.6. Veri ve Proje Yönetimi İçin Yazılım

Birçok işlem basamağı ve son bir 3B sunuma ulaşmak için elde edilen görüntüler ya da ulaşılan araştırma sonuçları gibi ek veriler, bu aşamada gerekli olabilir. Bu işlem basamakları boyunca mevcut veriler değişmiş, ayarlanmış ya da silinmiştir. Proje boyunca uygulanan tüm hareketler belgeleme yöntemiyle kayıt altına alınmalıdır. Bu süreçler ve işlem adımların yapıldığı her yerde, standart sapma vb. istatiksel değerler sağlanmalıdır. Orijinal nokta bulutu ve son model arasındaki farkları belirlemek için kullanılan yazılımlar, son bir kalite değerlendirmesi açısından önem taşımaktadır.

Her yazılımın farklı tarayıcılardan elde edilen nokta bulutu kümelerini açabilme kabiliyeti olmalıdır. Bu bağımsız yazılım ürünleri için açık bir koşuldur. Üretici firmaların geliştirdiği yazılımlar için de, aynı şeyler söz konusudur. Özellikle de farklı tarayıcılardan alınan veriler birleştirilmek istendiğinde taranan noktaların kartezyen koordinatları, bir veri ara birimi olarak yeterli değildir. Çünkü mesafe ve taranan noktanın yönü hakkında bilgi içermez. Daha ileri işlemler için, CAD ve 3B modelleme yazılımlarına sonuçların aktarılması gerektiğinden dolayı, yaygın olan pek çok sistem için aktarım araçlarının olması gereklidir. Yazılımlar arası veri alışverişlerinde, özellikle CAD modelleri için DXF, yüzey modelleme yazılımları için ASCII ve görselleştirme için VRML formatı kullanılmaktadır (Gümüş, 2008).

6.7. Yazılım Ürünleri

Yukarıda bahsedildiği gibi 3B tarama yazılımı, tam olarak farklı amaçlar için geliştirilen modüllerin bütünleşik çalışarak oluşturdukları modüller topluluğudur. Yazılımların bazıları, belirli bir tarayıcıya özgüdür. Bazıları genel olarak 3B verilerin değerlendirilmesi ve düzenlenmesi için, bazıları da 3B modelleme çalışmaları için üretilmiştir. Lazer Tarama Teknolojisinin gelişmesi ve modern ölçme teknikleri arasında yer almaya başlamasından itibaren, sırf 3B tarayıcıları için bazı bağımsız yazılım ürünleri geliştirilmiştir. Mevcut CAD ve 3B modelleme yazılımları, ürün aktarım performanslarını ve yüksek boyutlardaki nokta verileri ile çalışabilme özelliklerini geliştirdikleri takdirde, lazer tarama teknolojisinde kullanılabilir (Gümüş, 2008).

7. YERSEL LAZER TARAYICILARIN KULLANIM ALANLARI

7.1. Ulaşım ve Altyapı Uygulamaları

Ulaşım ve altyapı sektöründe yersel lazer tarayıcıların kullanılması ve ölçme verilerinin toplanması, sağlık, güvenlik ve zaman kısıtlamaları konuları ile ilgilidir. Ulaşım ağında yaygın olarak karşılaşılan sorunları çözmek için ihtiyaç duyulmaktadır. Yersel haritalama ve onun uygulamalarında, ilgili veriler direkt olarak toplanamamakta ve çalışmalar uzun zaman gerektirmektedir. Lazer tarama sistemleri demiryolu ve karayolu yapılarının nitelikli yönetiminde ve ölçme işlemlerinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Lazer tarama da kullanılan aletler, hava lazer ölçmeleri ile birleştirilerek taranacak bölgenin tüm detayları elde edilmektedir. Kullanılan özel yazılımlar, taramalar sonucu elde edilen çeşitli verilerin çeşitli şekilde gösterimi, görselleştirme, modelleme, nokta bulutu verisinden direkt ölçme işlemi ya da kesit çıkarılmasına izin verir (Gümüş, 2010).



Şekil 7.1. Ulaşım ve altyapı uygulama örnekleri (Gümüş, 2010).

7.2. Mimari ve Bina Ölçme Uygulamaları

Mimarlar tarafından, lazer taramalar sonucu elde edilen 3B veriler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yersel lazer tarayıcılar geniş görüş alanı, yüksek doğruluklu lazer verisi ile yüksek çözünürlüklü sayısal renkli fotoğrafların birleştirilmesi imkânının olması sayesinde mimari ve bina ölçme uygulamaları için ideal yöntemlerden biridir. Elde edilen veri, gerçeğe yakın, 3B bir veridir. Lazer verilerin nokta bulutlarından CAD ortamına transferi, sanal modeller, düzeltilmiş ortofotolar, yakın geçmişe göre, hızlı gelişme göstermektedir. Taramalar sonucu elde edilen gerçeğe yakın 3B veri ve geliştirilen yazılımların kullanıcılara sunduğu çeşitli çözümler, mimari uygulamalar için yeni verilerin üretilmesi imkanını sağlar. Devamlı gelişen yazılımlar, taranan obje veya alanın, yatay ve düşey kesit bilgileri, alan ve hacim hesapları, konum bilgileri (x,y,z) sorgulama vb. bilgiye ulaşmamıza imkan verir. Bu

bilgilerden yararlanılarak, mevcut durumun çıkartılması, projeye uygunluğunun kontrol edilmesi gibi pek çok olanak sağlar (Gümüş, 2010).



Şekil 7.2. Mimari ve bina ölçme uygulama örnekleri (Gümüş, 2010).

7.3. Kıyı Uygulamaları

Son birkaç yıldır kıyı bölgelerin izlenmesi, yeni bir ölçme teknolojisi olan, yersel lazer tarama teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır. Bu teknolojide kullanılan yersel lazer tarayıcılar, çeşitli özelliklere sahiptir. Doğruluk ve duyarlılığı tarayıcıdan tarayıcıya değişmektedir. Elde edilen tarama verilerin doğruluğu ve yapılan işler için, kullanılan tarayıcıların özellikleri önemlidir. Kıyı uygulamalarında özellikle, erozyon, sahil yüzeyi izlenmesi, sel tahminleri, detaylı sel bölgesi haritalama, geo-teknik çalışmalar, erişilemeyen bölgelerin ölçme işlemleri, yüksek riskli heyelan bölgelerinde sürekli şev izlenmesi, kıyı planlanması, 3B görselleştirme, kazı ve dolgu uygulamalarında hacim hesaplamaları gibi birçok alanda yersel lazer tarama teknolojisinden yararlanılmaktadır. Bu uygulamalarda, elde edilen verinin kontrolü, yerel ve ulusal koordinat sistemine göre olmaktadır. Ayrıca, bu teknolojiden elde edilen veriler, GPS ve diğer ölçme yöntemlerinden elde edilen veriler ile karşılaştırılarak, verilerin doğruluk ve duyarlılığı hakkında fikir edinmemizi de sağlamaktadır (Gümüş, 2010).



Şekil 7.3. Kıyı uygulama örnekleri (Gümüş, 2010).

7.4. Afet İzleme Uygulamaları

Lazer tarama sonucu elde edilen verilerin hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmesi, kullanılan tarayıcıların diğer ölçme aletlerine göre teknik açıdan üstün özelliklerinin olması, kullanılan yazılımlardan elde edilen veri çözümlerinin doğruluğu ve kullanabilirliği, bu teknolojinin jeolojik, coğrafi vb. özellikler açısından afet izleme uygulamalarında kullanabilirliğini göstermektedir. Tarama sonucu elde edilen verilerin yazılımlarla işlenmesi ve yapılan analizler neticesinde tehlike yaratabilecek doğal afet, çığ, toprak kayması, taş ocağı ve maden işletmelerinde karşılaşılacak problemler çözülebilmektedir. En önemli özelliği gerçeğe yakın boyutlu verinin, hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edilmesidir. Ayrıca olay anı ve sonrasındaki mevcut durumun değerlendirilmesi, karşılaştırılması, gereken en doğru bilgiye ulaşılması, lazer tarama teknolojisi ile kısa zamanda olabilmektedir. Dünyada lazer tarayıcı ile yapılmış pek çok örnek teşkil edecek uygulama vardır. Bunlardan bazıları aşağıda yer almaktadır:

- Nchanga Madeni, Zambia (Ekim 2000)
- Livox Taşocağı, UK (Kaya Düşme Analizi- Haziran 2001)
- Pen Yrorsedd Taşocağı, UK (Geoteknik Analiz – Ekim 2001)
-Dünya Kayak Şampiyonası(Çığ Tahmini ve Kar Yüksekliğinin İzlenmesi 2001)
-Blaencwm Toprak Kayması, UK(Toprak Hareketlerinin İzlenmesi-Şubat 2003)

Sürekli tehlike yaratan alan veya bölgelerin kontrolü ve güvenliği, otomatik olarak gözlem yapan yersel lazer tarayıcılar ile sağlanabilmektedir. Bu bölgelere, konumu bilinen yansıtıcı hedefler konularak, devamlı bu hedef noktaları tarayıcılar ile taranarak, bölgede herhangi bir deformasyonun olup olmadığı, geliştirilen yazılımlar ile belirlenebilmektedir (Gümüş, 2010).

7.5. Kültürel Mirasın Korunması ve Arkeolojik Uygulamalar

Lazer tarama, tarihi ve kültürel mirasın korunması, gerçeğe uygun yaşatılması, 3B modelleme çalışmalarında, dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Lazer tarama teknolojisinin kullanım amacı tarihi ve kültürel bilgilerin arşivlenmesi, 3B gösteriminin sağlanması, yıllara göre deformasyonlarının belirlenmesi, elde edilen verilerden yeni bilgilere ulaşılması, tahrip olan ya da yıkılan eserlerin aslına uygun olarak tekrar yapılmasıdır.

Özellikle, restorasyon ve röleve çalışmalarında en çok kullanılan modern ölçme aletleridir. Diğer klasik ölçme aletleri ile kıyaslandığında, gerek hızlı veri elde edilmesi, gerekse maliyet açısından büyük avantajları vardır. Dünyada yersel lazer tarama teknolojisi ile yapılan birçok çalışma vardır. Gelişen teknolojinin paralelinde geliştirilen tarayıcı ve yazılımlar bize başka çözüm yolları sunmaktadır. Elde edilen verilerden görselleştirme, yapıların sayısal ortamda bir arşivinin oluşturulması, binalar ve bina elemanlarının tarihi ve kültürel ilişkilerinin gösterimi, bilgilerin gelecek kuşaklara iletilmesi, bilgi sistemlerinin oluşturulması, röleve ve restorasyon çalışmalarına altlık hazırlanması, tahrip durumda olan binaların aslına uygun yapılması gibi çalışmalar, lazer tarayıcılarla yapılan uygulama alanları arasındadır (Gümüş, 2010).



Şekil 7.4. Kültürel mirasın korunması ve arkeolojik uygulama örnekleri (Gümüş, 2010).

7.6. Endüstriyel Uygulamalar

Lazer tarayıcılar, günümüzde endüstriyel uygulamalarda kullanılan en önemli ölçme aletleri arasında yerini almıştır. Diğer klasik ölçme ve fotogrametrik yöntemlerle kıyaslandığında, veri elde edilmesi ve değerlendirilmesinde hız ve maliyet açısından üstünlükleri vardır. Lazer taramalar sonucu elde edilen, taranan objeye ait gerçeğe yakın gösterimini sunan 3B nokta bulutlarından CAD yazılımlarında, 3B modeller elde edilmektedir. Bu modeller üzerinden istenen bilgilere anında ulaşılabilmekte, böylece üretim sırasında ortaya çıkacak hatalara müdahale edilerek hatalar yok edilebilmektedir. Geliştirilen yazılımlarla çeşitli analizler ve değerlendirmeler yapılabilmektedir. Gemi inşaatı, otomotiv sanayi, fabrikasyon üretim uygulamaları, giyim sektörü, proje kontrol ve üretimi vb. alanlarda lazer tarama teknolojisinden yararlanılmaktadır (Gümüş (2010).

7.7. Madencilik, Taşocağı ve Kazı Uygulamaları

Bu uygulama alanlarında lazer tarama teknolojisi, gerek zaman gerek maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Madencilikte, taşocağı veya hafriyat işlerinde çıkarılan malzemenin bir yerden başka bir yere taşınmasında hacim hesaplarının hızlı ve otomatik bir şekilde yapılması sırasında yersel lazer tarayıcılar kullanılmaktadır. Geleneksel ölçme yöntemleri zaman kaybına neden olmaktadır. Ayrıca mevcut durum koşullarında, her yüksekliğin değiştiği noktanın ölçülmesi, arazinin engebeli ve tehlikeli olması durumlarında her yere ulaşılamama durumu vardır. Bu durum ölçme işlerini zorlaştırdığı gibi, verilerin değerlendirme süresini ve işin bitim süresini uzatmaktadır. Fakat lazer tarama da tarayıcı sabit yere kurularak tarama sonucu elde edilen veriden, yazılımlar kullanılarak istenilen bilgiler hızlı bir şekilde elde edilmektedir. Ayrıca çalışma bölgesinin otomatik olarak izlenilmesi sağlanmaktadır. Özellikle madencilik uygulamalarında; ulaşılması güç olan yüksek duvar, tepe, yeraltı kazı bölgeleri gibi bölgelerin detaylı hacimsel hesaplamaları yapılabilir. Geoteknik ölçümler, patlama öncesi ve sonrası ölçümler, jeolojik ve yapısal özellikler için hızlı haritalama, maden cevheri derinlik geçiş ölçmeleri, kazı ölçmeleri, eğimlerin izlenmesi, deformasyon ölçmeleri, otomatik stok hacim ölçmeleri, yersel lazer tarayıcılardan elde edilen verilerin yazılımlarda değerlendirilmesi ile elde edilmektedir (Gümüş, 2010).

7.8. Deformasyon Ölçmeleri Uygulamaları

Büyük mühendislik yapılarının, özellikle büyük barajların deformasyonlarının belirlenmesi için, günümüzde yersel lazer tarama teknikleri de kullanılmaktadır. Büyük barajların statik davranışlarını gözlemek, her zaman büyük önem taşımıştır. Bu yapılar inşaa edildikleri alanlarda çeşitli etkiler yaratmaktadırlar. Bu yapıların deformasyonlarının izlenmesinde seçilen obje noktalarının sayısı klasik ölçme yöntemlerinde kısıtlı iken yersel lazer tarayıcılarının kullanımında böyle bir sorun kalmamaktadır. Kontrol noktalarının sayısı ise otomatik bir ölçüm sistemi uygulandığında daha az olmaktadır (Gümüş, 2010).

8. UYGULAMA

8.1. Yersel Lazer Tarayıcı ile Ölçmeler

8.1.1. Karacabey türbesi hakkında genel bilgi

Osmanlı Sultanı II. Murad'ın torunlarından olup, Osmanlıların Rumeli'ni fethinde büyük kahramanlıklar gösterdikten sonra, 22.10.1444 günü Varna Savaşında şehit düşen, ünlü komutan Osmanlı Beylerinden Karaca Bey'in türbesidir. Oğlu Ahmed Çelebi'de yanında bu türbede yatmaktadır (url 2).

Karacabey Camii'nin ön bahçesinde kuzeybatıda camiin hemen yanında bulunan sekizgen planlı çok asil görünüşlü türbe zarif bir kubbeyle örtülüdür. Bu kubbe H.1293 harbinde kurşunları sökülerek tahrip edilmiş ve düz bir çatı ile kaplanmış iken, Vakıflar Gn. Md.lüğü tarafından yeni bir kubbe yaptırılmıştır. Kapının üzerindeki H.848 (1444/1445) tarihli yazıtta Karacabey övülmektedir. Türbenin mimarı, camiinin de mimarı olan Ebubekir b. Ahmed'dir (url 2).



Şekil 8.1. Karacabey türbesinin (şubat 2004 durumu – kuzeydoğudan bakış) (url 2)



Şekil 8.2. Karacabey türbesinin (05.01.2007 durumu – güneybatıdan bakış) (url 2)

8.1.2. Yersel lazer tarayıcı ile tarama istasyonlarından bindirmeli yapılan ölçümler

Karacabey Türbesi Faro Focus^{3D} X 330 Yersel Lazer Tarayıcı ile 14 istasyondan bindirmeli olarak tarandı. Aynı zamanda 1 istasyondan da türbe içi taraması yapıldı.



Şekil 8.3. Tarama istasyonu 1



Şekil 8.4. Tarama istasyonu 2



Şekil 8.5. Tarama istasyonu 3



Şekil 8.6. Tarama istasyonu 4



Şekil 8.7. Tarama istasyonu 5



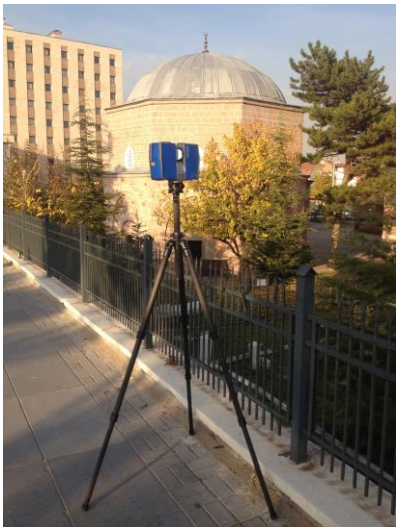
Şekil 8.8. Tarama istasyonu 6



Şekil 8.9. Tarama istasyonu 7



Şekil 8.10. Tarama istasyonu 8



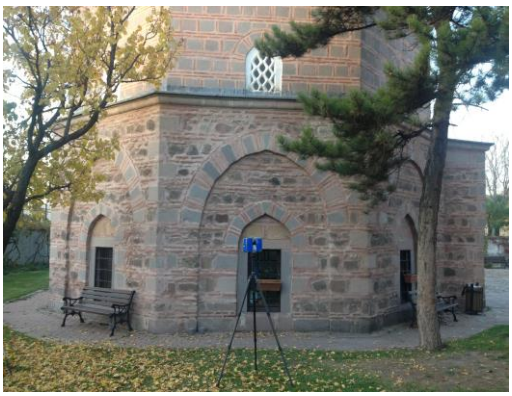
Şekil 8.11. Tarama istasyonu 9



Şekil 8.12. Tarama istasyonu 10



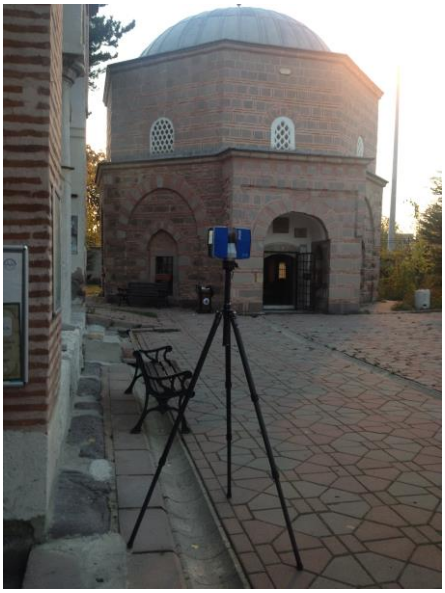
Şekil 8.13. Tarama istasyonu 11



Şekil 8.14. Tarama istasyonu 12



Şekil 8.15. Tarama istasyonu 13



Şekil 8.16. Tarama istasyonu 14



Şekil 8.17. Türbe içi görüntü (url 3)

Tarama çözünürlüğü 1/4, tarama kalitesi 4x, tarama mesafesi 20 m altında seçilmiştir. Tarama esnasında bazı istasyonlarda türbe etrafındaki ağaçların taramaya engel teşkil etmesinden dolayı türbenin ve kubbenin tamamen taranabilmesi amacıyla tarama istasyonlarında tarama mesafesi 2-30 m aralığında seçilmiştir. Tarama açısı yatayda 360° düşeyde 300° dir. Tarama süresi bütün istasyonlarda 11 dakika 15 saniyedir. Nokta taraması yanında tarayıcının fotoğraf çekme özelliğinden de yararlanılıp tarayıcı dahilinde bulunan çözünürlüğü 70 MP olan dijital fotoğraf makinesi ile nokta renklendirmesinde kullanılmak üzere renkli fotoğraflarda çekilmiştir.

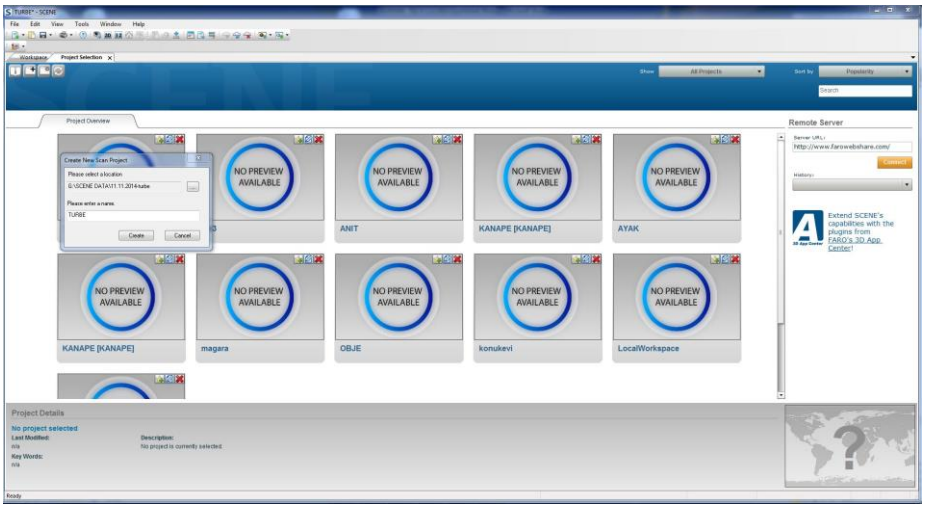
Çizelge 8.1. Tarama parametreleri

	Süre	Tarama Boyutu (Pn)	Çözünürlük (Mpns)	Nokta Mesafesi (mm/10m)	Kalite
1/1 (Maksimum) Tarama Çözünürlüğü	1 Saat 58 Dakika	40960*17067	699.1	1.534	4x
1/4 (Seçilen) Tarama Çözünürlüğü	11 Dakika 15 Saniye	10240*4267	43.7	6.136	4x
1/32 (Minimum) Tarama Çözünürlüğü	4 Dakika 12 Saniye	1280*534	0.7	49.087	1x

Çizelge 8.1'den anlaşılacağı gibi tarama çözünürlüğü arttıkça taranan noktalar arası mesafe azalmakta dolayısıyla tarama boyutu ve çözünürlük yani taranan nokta sayısı artmaktadır. Tarama süresi ise çözünürlükle doğru orantılı olarak artış göstermektedir.

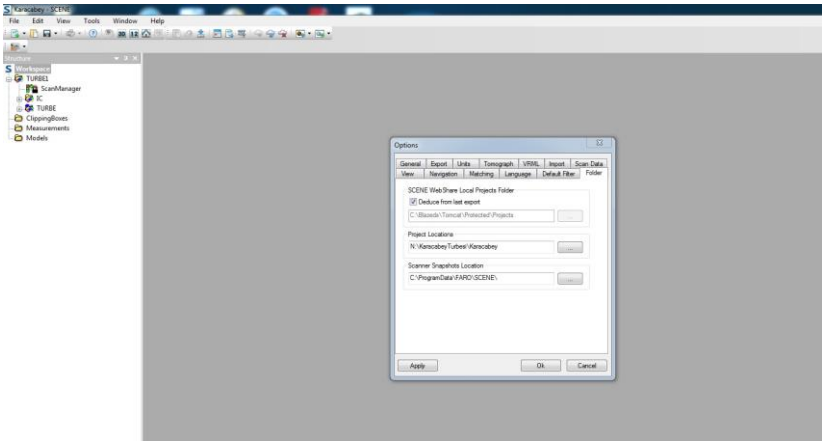
8.2. Yersel Lazer Tarayıcı ile Yapılan Ölçmelerin Değerlendirilmesi

Tarama verileri Scene 5.3 yazılımıyla, nokta bulutları düzenlenerek ve birleştirmeleri yapılarak Karacabey Türbesi'nin 3B görüntüsü elde edildi. Karacabey Türbesine ait yersel lazer tarama dataları 32 GB SD hafıza kartından alınıp bilgisayar ortamında oluşturulan bir klasöre aktarıldı. Daha sonra Scene 5.3 yazılımında bir klasör oluşturulup ham datalar bu klasör altına **"import"** edildi. Scene 5.3 yazılımı bilgisayarda çalıştırılıp sırayla **"crate a new project"**, **"please select a location"** komutları ile yeni bir proje ve konum seçilmesi istenip **"please enter name"** komutu ile proje adı girildi.



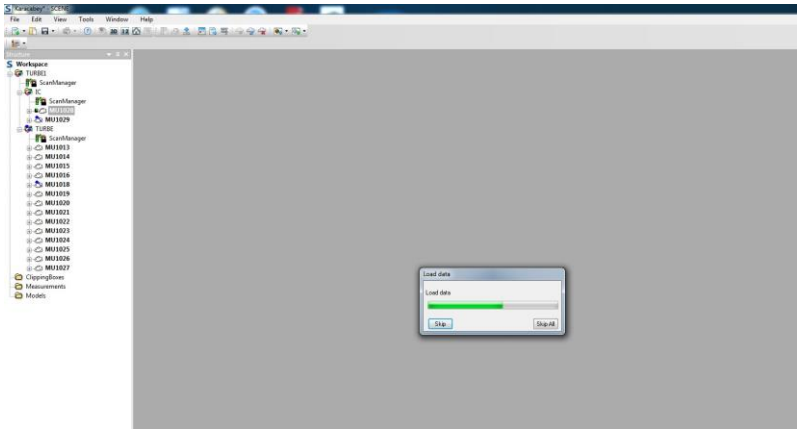
Şekil 8.18. Scene 5.3 yazılımına proje adı girilmesi

Sırasıyla **"tools", "options", "folder", "proje location",** komutları ile proje konumu bulunup ham datalar ekrana aktarıldı.



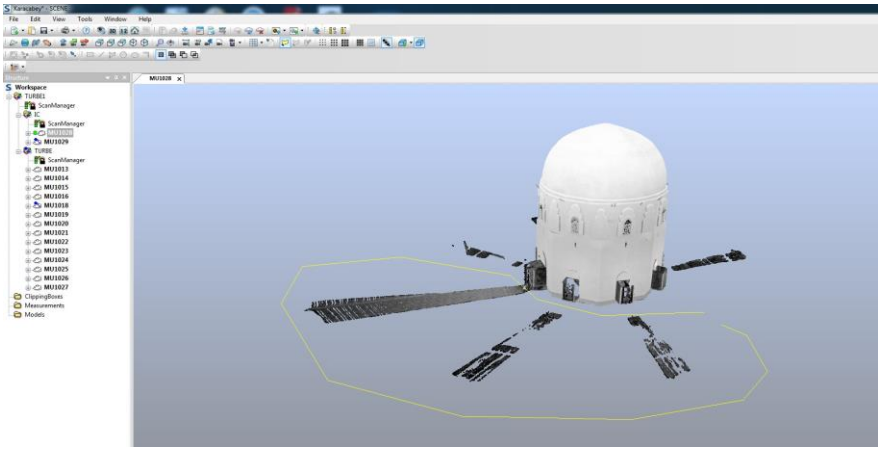
Şekil 8.19. Ham dataların ekrana aktarılması

Datalar seçilip **“loaded”** komutu ile yazılıma yüklenmiş oldu.

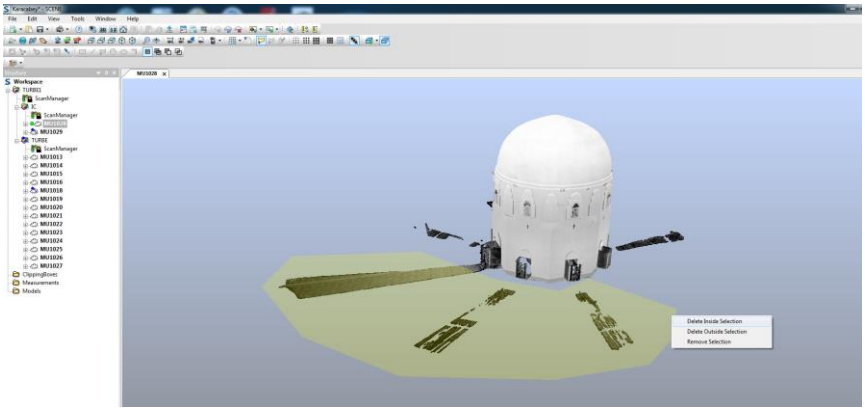


Şekil 8.20. Dataların seçilip yazılıma yüklenmesi

“**Polygon selector”** komutuyla gereksiz noktaların ve dataların silme işlemi her istasyon içi ayrı ayrı gerçekleştirildi.

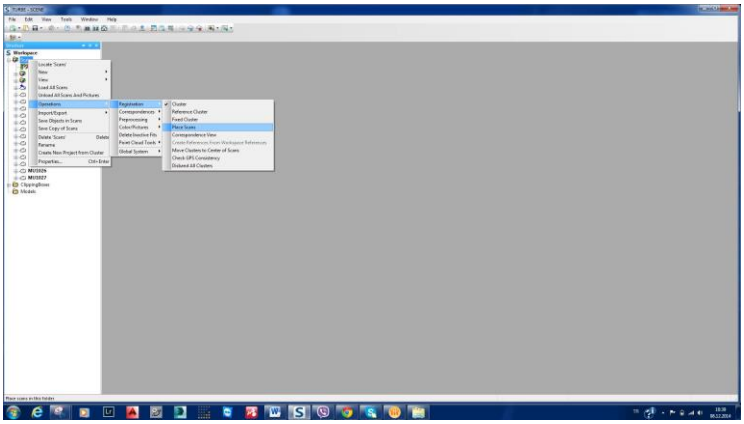


Şekil 8.21. Gereksiz noktaların silinmesi işlemi



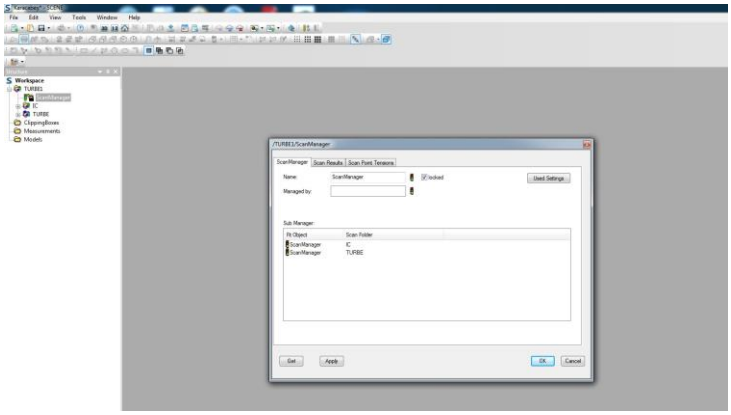
Şekil 8.22. Gereksiz noktaların silinmesi işlemi

Farklı istasyonlardan elde edilen nokta bulutlarını birleştirmek için **“scans”, “operations”, “registration”, “place scans”** komutları ile bindirmeli taramalardan elde edilen ortak noktalar kullanılarak proje ekranda otomatik olarak birleştirildi.

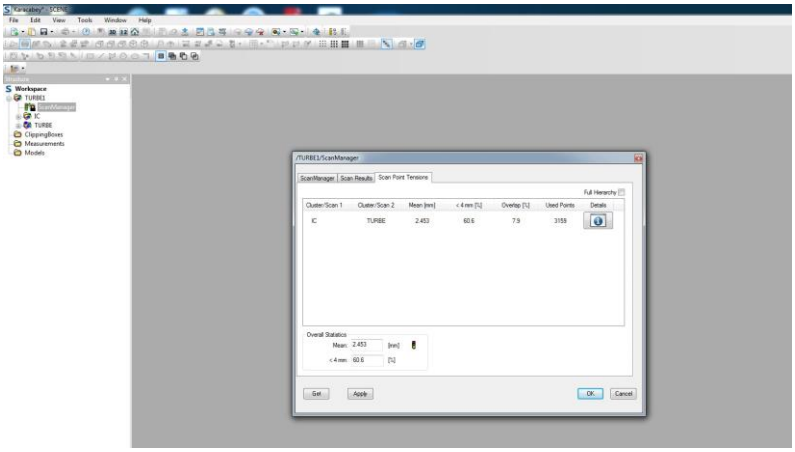


Şekil 8.23. Nokta bulutlarının birleştirilmesi

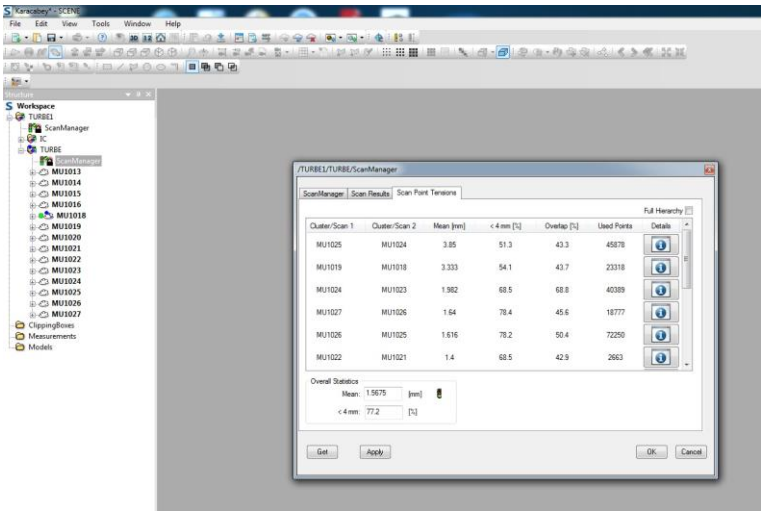
Nokta birleştirmesinin hata payı gösterildi.



Şekil 8.24. Nokta birleştirmesinin hata payı

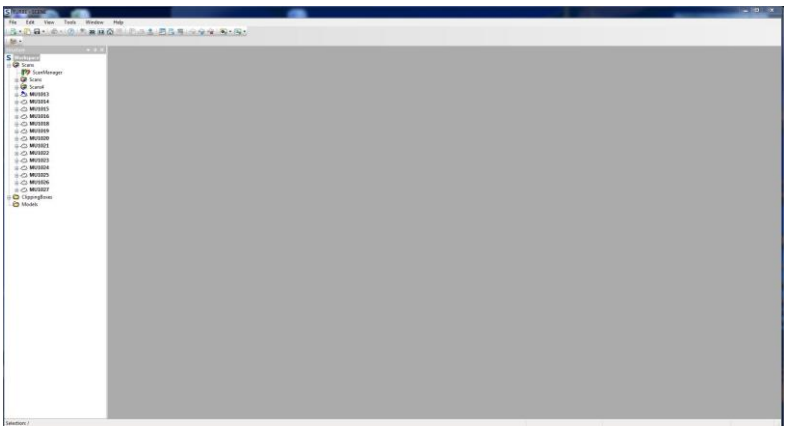


Şekil 8.25. Nokta birleştirmesinin hata payı

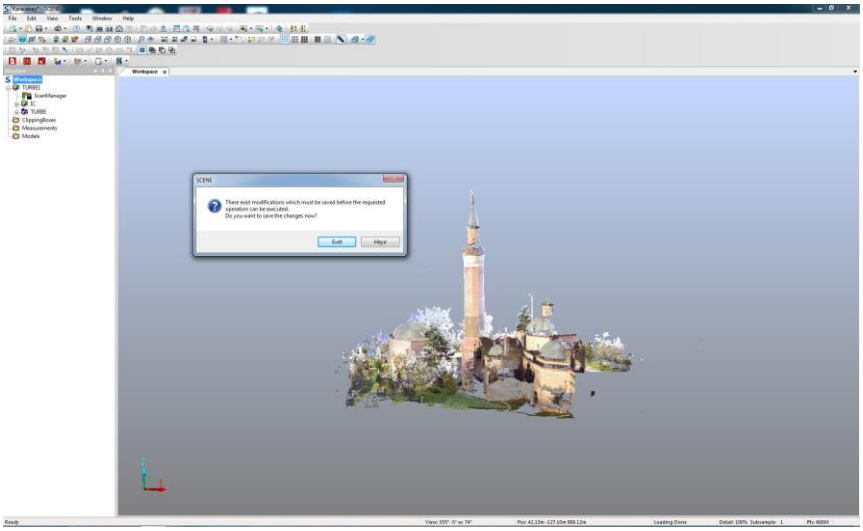


Şekil 8.26. Nokta birleştirmesinin hata payı

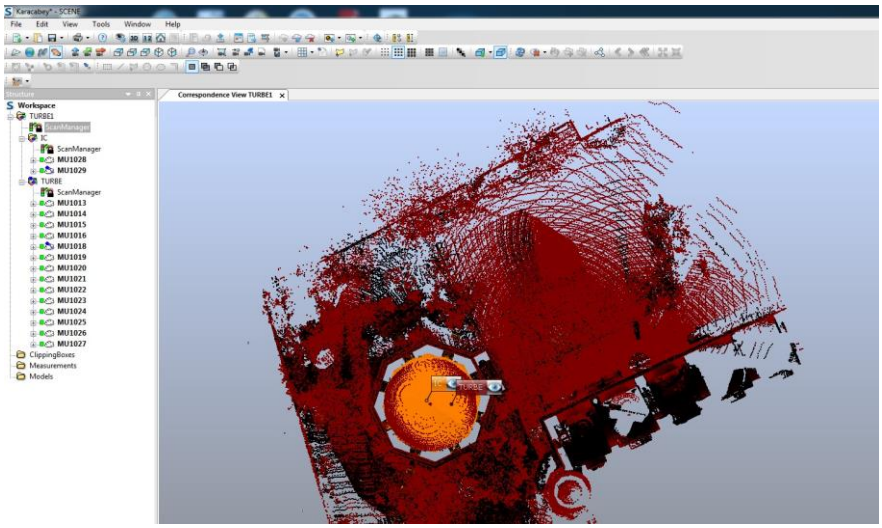
Projenin birleştirilmesinden sonra yazılımda görünen ışığın yeşil olması durumunda projedeki nokta birleştirmesi tamamen hatasız, sarı olması durumunda az hatalı, kırmızı olması durumunda ise nokta birleştirmesi hatalı anlamına gelmektedir.



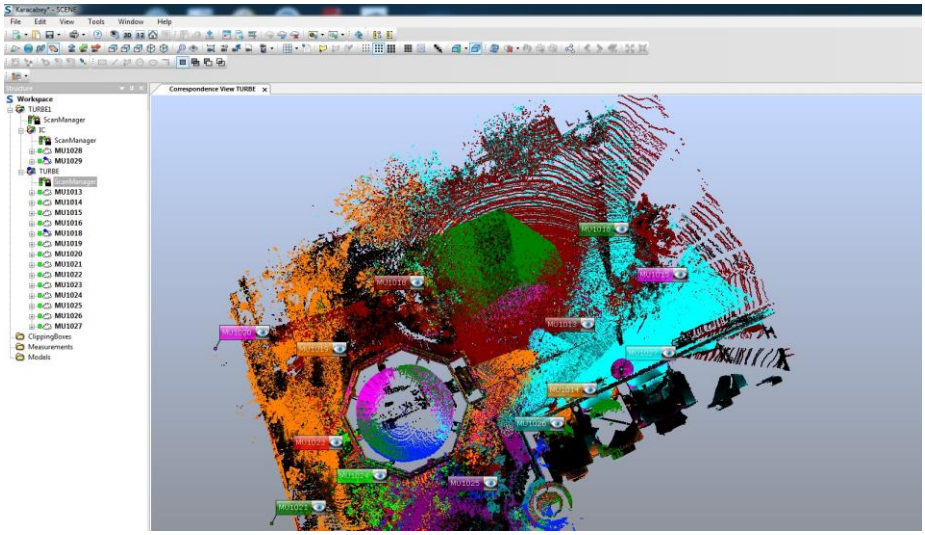
Şekil 8.27. Nokta birleştirmesi hata durumu



Şekil 8.28. Nokta birleştirmesi hata durumu

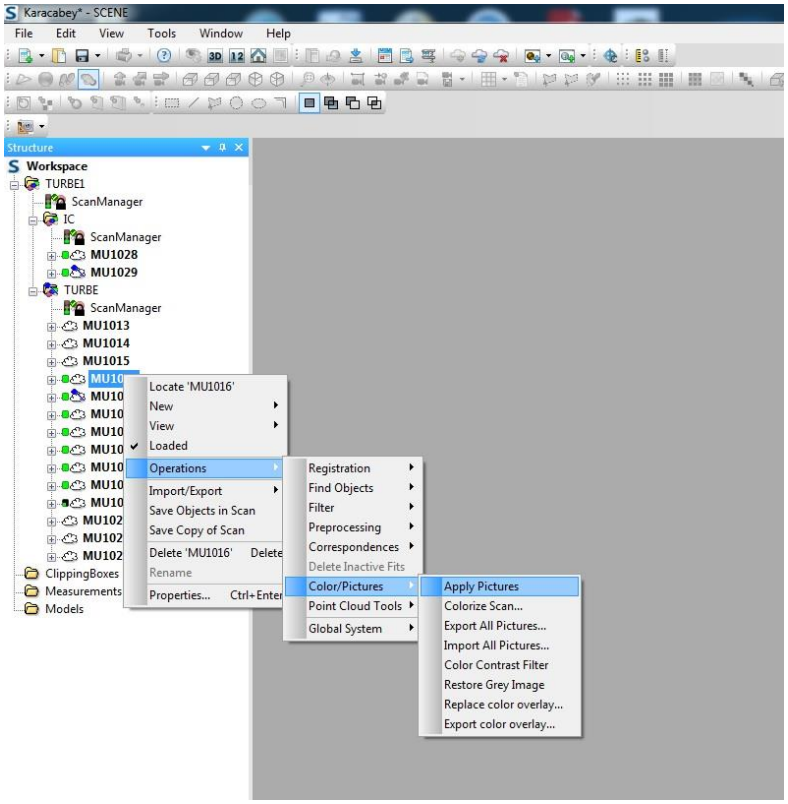


Şekil 8.29. Nokta bulutlarının renklendirilmesi



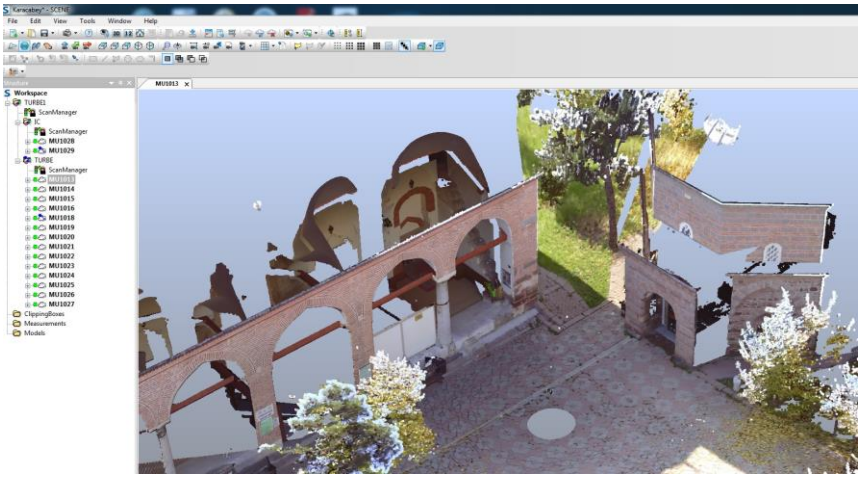
Şekil 8.30. Nokta bulutlarının renklendirilmesi

“Operations”, “color picture”, “apply picture”, komutları ile nokta bulutlarının renklendirilme işlemi yapıldı.

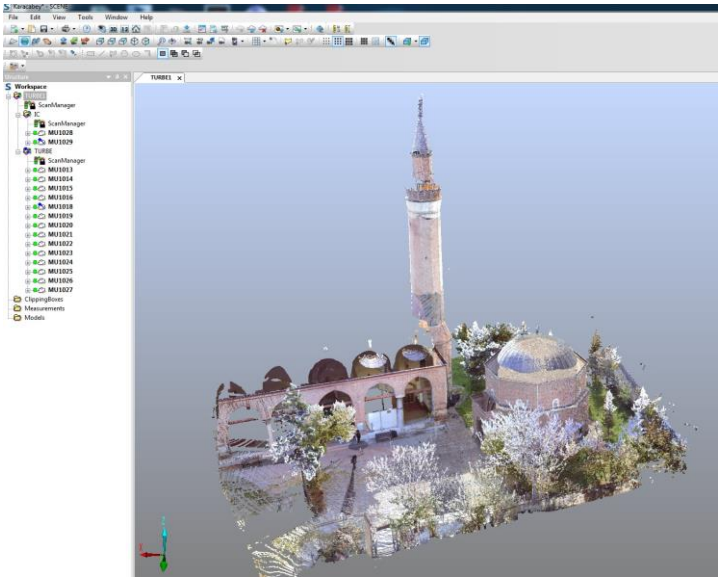


Şekil 8.31. Nokta bulutlarının renklendirilmesi

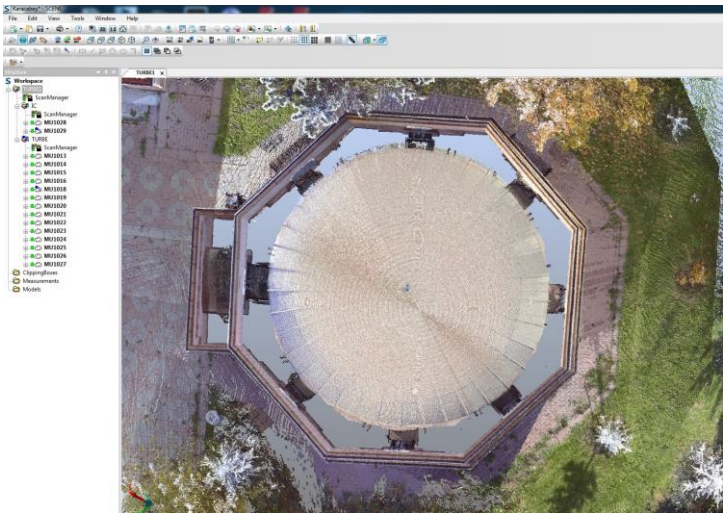
Model farklı cephelerden incelenerek projede hata olup olmadığına bakıldı.



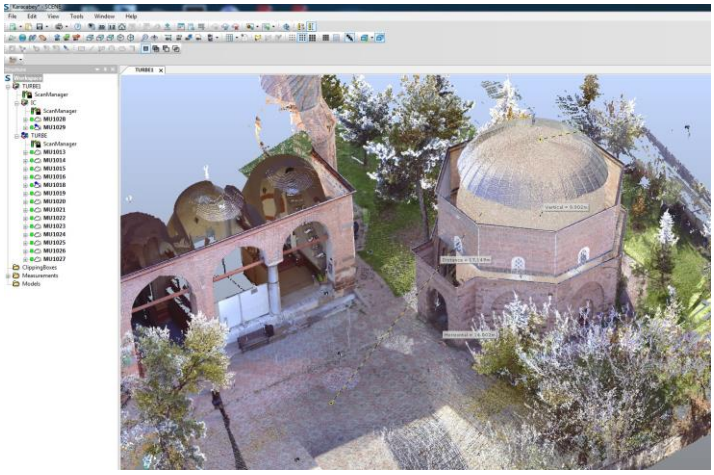
Şekil 8.32. Modelin incelenmesi



Şekil 8.33. Modelin incelenmesi

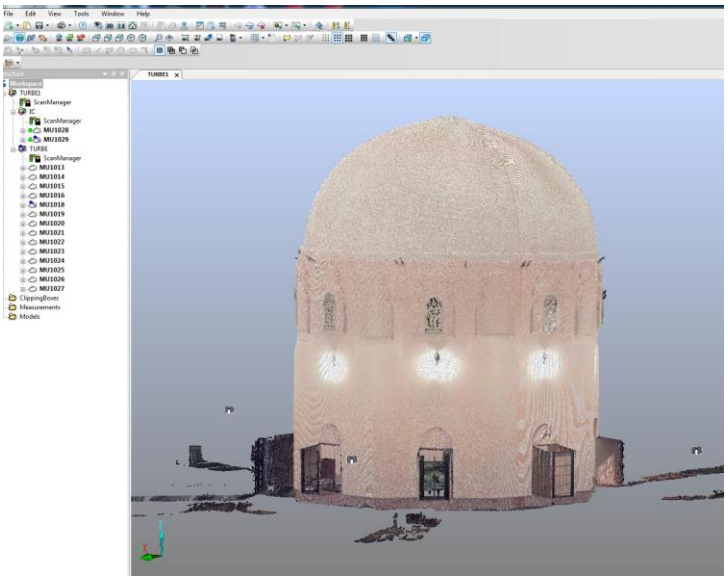


Şekil 8.34. Modelin incelenmesi



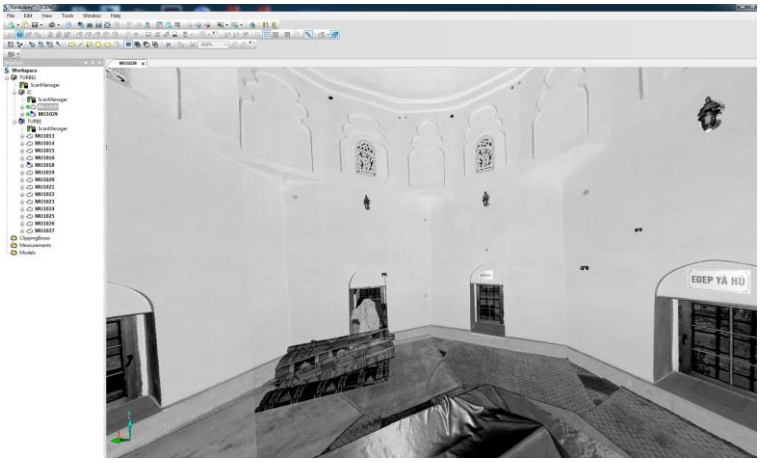
Şekil 8.35. Modelin incelenmesi

“File”, “scan project”, “create project point cloud” komutları ile bütün datalar tamamen birbirine kitlenerek bir bütün haline getirilip modelin nokta bulutu oluşturuldu ve 3B model elde edildi.

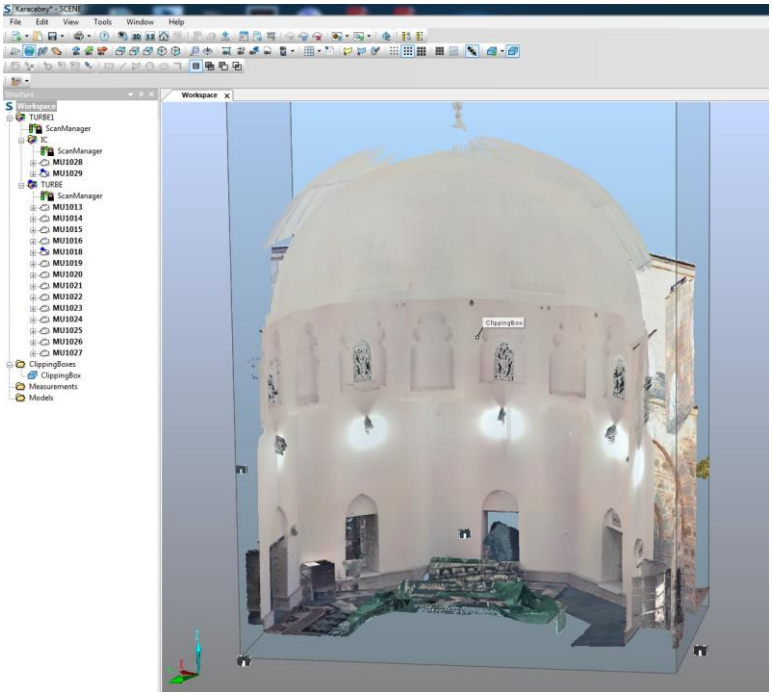


Şekil 8.36. Türbenin üç boyutlu modeli

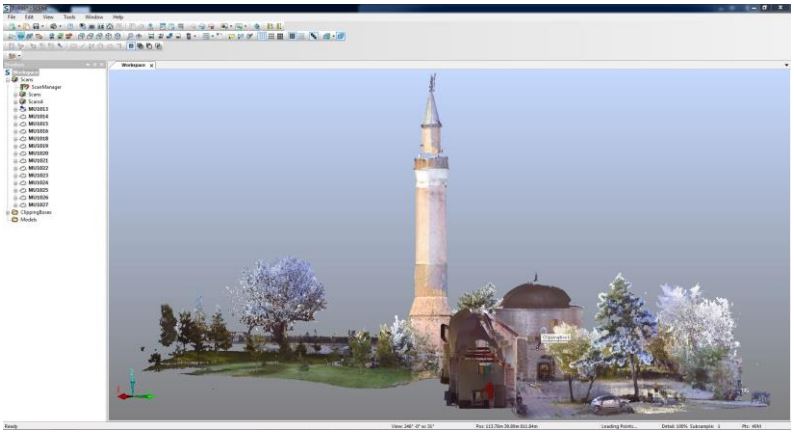
Karacabey Türbesine ait oluşturulan 3B nokta bulutu modeli üzerinden tarayıcı yazılımı sayesinde elde edilen ortofotolardan birebir ölçü alma, farklı cephelerden görüntü oluşturma, kesit görüntüleme, plan çizimi gibi işlemler yapılabilmektedir. İstenildiği durumlarda 3B modelin belli bir kısmı mesela herhangi bir cephe görüntüsü farklı dosya uzantılarında kullanıcılara sunulabilmektedir.



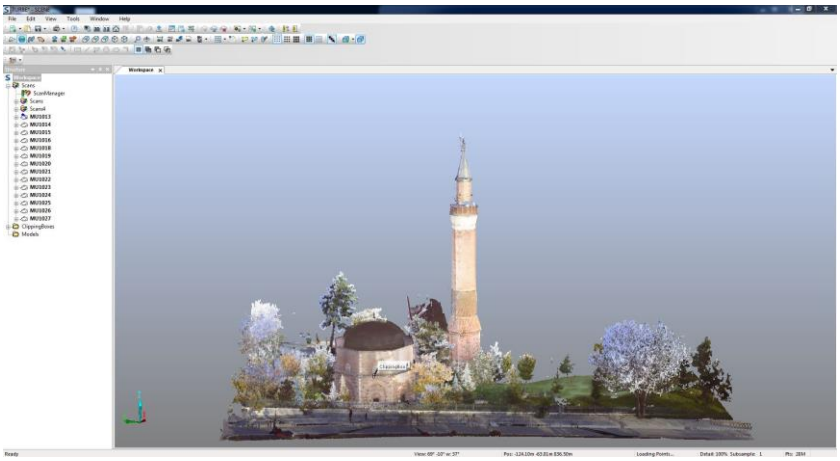
Şekil 8.37. Türbe içi nokta bulutu görüntüsü



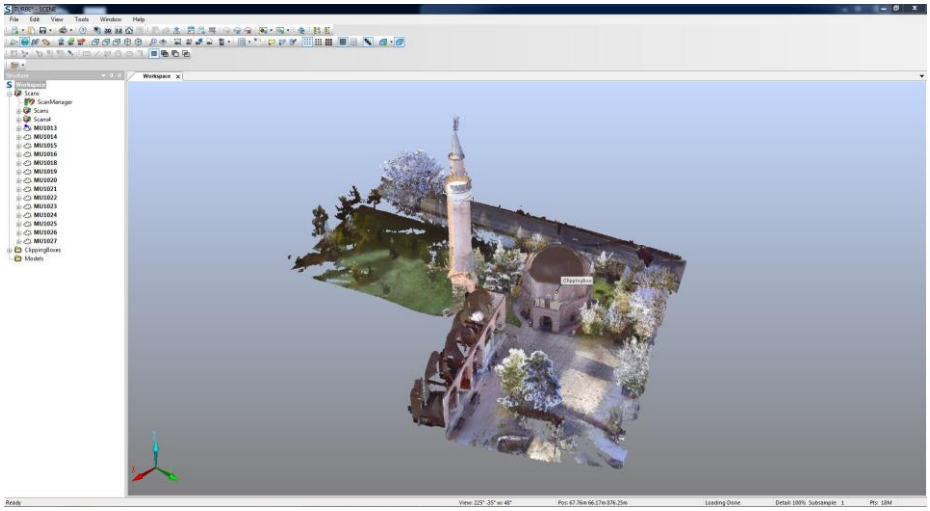
Şekil 8.38. Türbe içi nokta bulutu görüntüsü



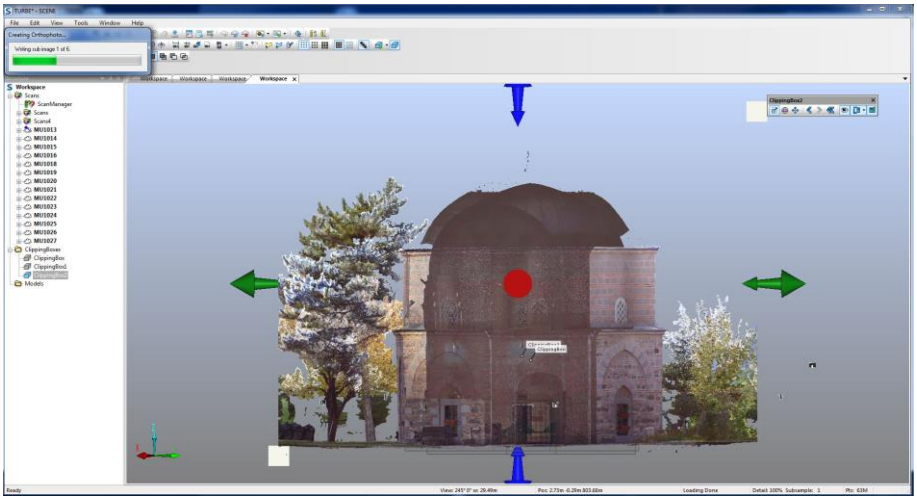
Şekil 8.39. Üç boyutlu nokta bulutu görüntüsü



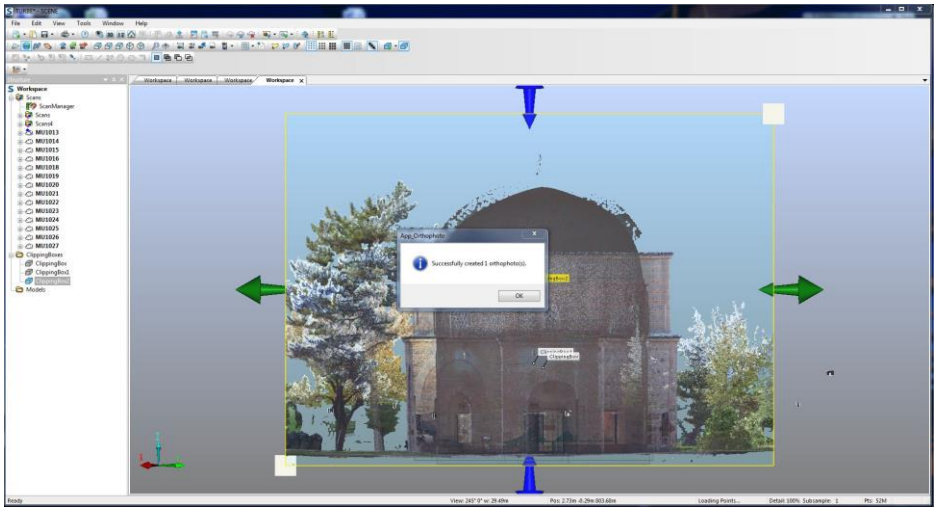
Şekil 8.40. Üç boyutlu nokta bulutu görüntüsü



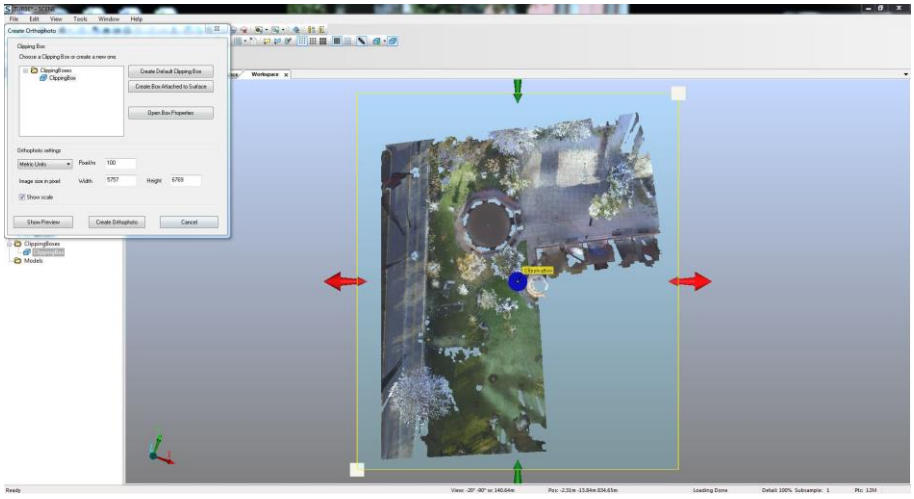
Şekil 8.41. Üç boyutlu nokta bulutu görüntüsü



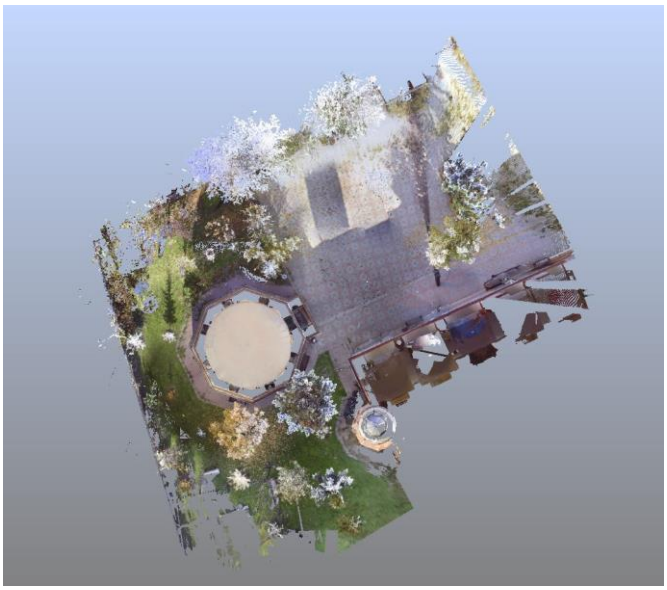
Şekil 8.42. Modelden kesit görüntüsü



Şekil 8.43. Ortofotodan kesit görüntüsü



Şekil 8.44. Ortofotodan plan görüntüsü



Şekil 8.45. Ortofotodan plan görüntüsü



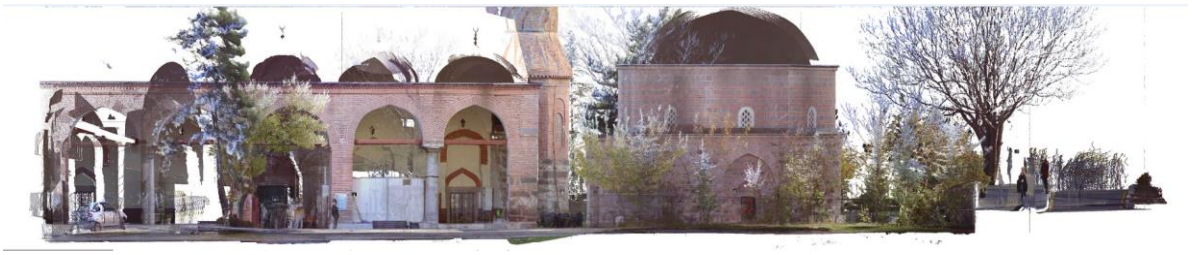
Şekil 8.46. Modelden görünüş



Şekil 8.47. Modelden görünüş



Şekil 8.48. Modelden kesit görüntüsü



Şekil 8.49. Türbenin genel görünüşü

9. ARAŞTIRMA SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Ölçme yöntemi faz karşılaştırmalı olup 25 m den az uzunluklarda elde edilen doğruluk 2 mm'den küçük olmaktadır. Tarama esnasında bazı istasyonlarda türbe etrafındaki ağaçların taramaya engel teşkil etmesinden dolayı türbenin ve kubbenin tamamen taranabilmesi amacıyla tarama istasyonlarında tarama mesafesi 2-30 m aralığında seçilmiştir. Tarama çözünürlüğü arttıkça taranan noktalar arası mesafe azalmakta dolayısıyla tarama boyutu ve çözünürlük yani taranan nokta sayısı artmaktadır. Tarama süresi ise çözünürlükle doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Gereksiz noktaların ve dataların silme işlemi her istasyon içi ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bindirmeli taramalardan elde edilen ortak noktalar kullanılarak proje ekranda otomatik olarak birleştirilmiştir. Proje nokta bulutlarının birleştirilmesinden sonra yazılımda hata durumunu gösteren ışık yeşil görünmektedir. Bu durum projedeki nokta birleştirmesinin tamamen hatasız olduğu anlamına gelmektedir. Model aynı zamanda farklı cephelerden incelenerek projede hata olup olmadığına bakılmıştır.

10. SONUÇ VEÖNERİLER

Yersel lazer tarama yöntemi tarihi ve kültürel mirasın belgelenmesi ve üç boyutlu modellenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Uygulamalara baktığımızda farklı istasyonlardan taramalar yapılmakta, nokta bulutları elde edilmekte, nokta bulutları birleştirilerek ve renklendirilerek tarihi ve kültürel eserlerin üç boyutlu modelleri elde edilmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda nokta bulutlarının birleştirilmesi için tarama sırasında küre şeklinde kontrol noktaları kullanılmıştır. Tarayıcı bünyesinde bulunan kameradan alınan görüntüler nokta bulutlarının renklendirilmesinde kullanılmaktadır. Taramada kullanılan tarayıcıların ve nokta bulutlarının birleştirilmesinde kullanılan yazılımların özellikleri taranacak objeye, tarama süresine, tarama boyutuna, tarama çözünürlüğüne, tarama menziline, tarama açısına, tarama kalitesine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada türbe içten ve dıştan taranarak tarama çözünürlüğü 1/4, tarama kalitesi 4x, tarama mesafesi 20 m altında seçilmiştir. Tarama esnasında bazı istasyonlarda türbe etrafındaki ağaçların taramaya engel teşkil etmesinden dolayı türbenin ve kubbenin tamamen taranabilmesi amacıyla tarama istasyonlarında tarama mesafesi 2-30 m aralığında seçilmiştir. Tarama açısı yatayda 360° düşeyde 300° dir. Tarama süresi bütün istasyonlarda 11 dakika 15 saniyedir. Nokta taraması yanında tarayıcının fotoğraf çekme özelliğinden de yararlanılıp tarayıcı dahilinde bulunan çözünürlüğü 70 MP olan dijital fotoğraf makinesi ile nokta renklendirmesinde kullanılmak üzere renkli fotoğraflarda çekilmiştir. Tarama sırasında kontrol noktası kullanılmamış nokta bulutlarının birleştirilmesinde farklı istasyonlardan bindirmeli olarak yapılan taramalardan elde edilen ortak noktalar kullanılmıştır. Tarama çözünürlüğü arttıkça taranan noktalar arası mesafe azalmakta dolayısıyla tarama boyutu ve çözünürlük yani taranan nokta sayısı artmaktadır. Tarama süresi ise çözünürlükle doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Tarama verileri Scene 5.3 yazılımında nokta bulutları düzenlenerek ve birleştirmeleri yapılarak Karacabey Türbesi'nin 3B görüntüsü elde edilmiştir. Aynı zamanda kullanılan yazılım sayesinde türbenin ortofoto, kesit ve plan görüntüleri de elde edilmiştir. Bu çalışmada jeoreferanslama yapılmamıştır. Taramadan elde edilen koordinatlar tarayıcının kendi koordinat sistemindedir. Yapılan çalışmada amaç yersel lazer tarama teknolojisinin tarihi ve kültürel varlıkların belgelendirilmesinde ve üç boyutlu modelinin oluşturulmasında kullanım olanaklarının araştırılmasıdır.

KAYNAKLAR

Altuntaş, C. ve Yıldız, F., 2008, Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi, *HKMO Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2008/1 Sayı 98.

Aşkın, F.H., 2009, Lazer tarama verileriyle 3B obje modellenmesinde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 6-9.

Avdan, U., Pekkan, E., Çömert, R., 2013, Mağara ölçümlerinde yersel lazer tarayıcıların kullanılması (Tozman mağarası örneği), *Harita teknolojileri elektronik dergisi*, 5(2),16-28.

Aydar, U., Avşar, Ö., Kaya, Ş., Bozkurtoğlu, E., Şeker, D.Z., 2011, Yüzeylerin pürüzlülük açılarının lazer tarayıcılar yardımıyla belirlenmesi, *13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,* Ankara,

Çömert, R., Avdan, U., Tün, M., Ersoy, M., 2012, Mimari belgelemede yersel lazer tarama yönteminin uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt:4 No:1 2012(1-8).

Gümüş, K. ve Erkaya, H., 2007, Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler, *11.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,* Ankara.

Gümüş, K., 2008, Yersel lazer tarayıcılar ve konum doğruluklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 9-15, 29-33.

Gümüş, M., 2010 Yersel lazer tarayıcıların deformasyon ölçmelerinde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 18-21, 23-29.

Gürcan, Y., 2012, Yersel lazer tarama yöntemi ve klasik ölçme yönteminin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi ,* İstanbul, 35.

Karabörk, H., Göktepe, A., Yılmaz, H.M., Mutluoğlu, Ö., Yıldız, F., Yakar, M., 2009, Tarihi ve kültürel varlıkların lazer tarama ve lazer nokta ölçme teknolojileri ile 3B modellenmesinde duyarlılık araştırması ve uygulama modelinin belirlenmesi, *12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,* Ankara.

Karşıdağ, G., 2011, Yersel lazer tarama ölçmelerinde doğruluk analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 9-10.

Karşıdağ, G., Alkan, R.M., 2012, Yersel lazer tarama ölçmelerinde doğruluk analizi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi,* Cilt:4 No:2 2012(1-10).

Palalı, M., 2013, Silindirik yapılarda yersel lazer tarayıcının kullanılması: Eğri minare örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Aksaray.

Yastıklı, N., 2005, Sayısal fotogrametri ve yersel lazer tarayıcılar ile belgeleme ve üç boyutlu modelleme, *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

Yıldız, F. ve Altuntaş, C., 2009, Yersel lazer tarayıcı nokta bulutlarının jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi, *Harita dergisi*, 142, 51-58.

URL 1 : http://www.3blazertarama.net/ [Ziyaret Tarihi: 24.11.2014].

URL 2 : http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?t=38428 [Ziyaret Tarihi: 17.11.2014].

URL 3 : http://www.mustafacambaz.com/details.php?image_id=17018 [Ziyaret Tarihi: 19.11.2014].

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gökhan HEPYÖRÜK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 28.12.1977
Telefon : 05363423921
Faks :
e-mail : hepyoruk@hacettepe.edu.tr

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Fatih Sultan Mehmet Lisesi Keçiören /ANKARA	1994
Üniversite	:	Karadeniz Teknik Üniversitesi / TRABZON	2003
Yüksek Lisans	:		
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1997-2000	ŞA-RA GROUP	Harita Teknikeri
2004-2005	Doruk Harita İnş.Tic.Ltd.Şti.	Harita Mühendisi
2005-2006	Ünal Yapı İnş.Tic.Ltd.Şti.	Ölçme Grup Şefi
2006-2007	Ankara Büyükşehir Bel. Belka A.Ş.	Etüd Proje Grup Şefi
2007-2008	Yazıcıoğlu İnş.Tic.San.A.Ş.	Ölçme Grup Şefi
2008-2010	Ahi Evran Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2010-……	Hacettepe Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Doğalgaz Hatları
Enerji Nakil Hatları-Şehir Şebekeleri
Yol Projeleri
Üstyapı- Altyapı Projeleri

YABANCI DİL İngilizce

ÖDÜLLER

2000-2001 K.T.Ü. Müh.Mim.Fak. Jeod.ve Fotog.Müh.Böl. Onur Belgesi
2002-2003 K.T.Ü. Müh.Mim.Fak. Jeod.ve Fotog.Müh.Böl. Onur Belgesi
2002-2003 K.T.Ü. Müh.Mim.Fak. Jeod.ve Fotog.Müh.Böl. Yüksek Onur Belgesi
23.06.2003 K.T.Ü.Müh.Mim.Fak. Jeod.ve Fotog.Müh. Bölüm Üçüncülüğü Ödülü