

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK MALİYETLİ LAZER TARAYICI SİSTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Onur AKYOL

Anabilim Dalı : Geomatik Mühendisliği

Programı : Geomatik Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK MALİYETLİ LAZER TARAYICI SİSTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur AKYOL

501081612

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zaide Duran (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sıtkı Külür (İTÜ)
Doç. Dr. Naci Yastıklı (YTÜ)

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Son yıllarda teknolojide meydana gelen önemli atılımlar ve üretim maliyetlerinin azalması ile kişisel bilgisayarlar masalarımızdan ceplerimize kadar her yerde hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bununla birlikte, geniş bantlı internet kullanımının da aynı oranda artış göstermesi, çevrimiçi iletişimi artırarak bilgisayar çağının başarısını körüklemiştir.

Bilişim teknolojilerindeki bu gelişmelerden Geomatik Mühendisleri de şüphesiz nasibini almıştır. Bilgisayar yazılımlarının, ölçme cihazlarının ve digital algılayıcıların gelişmesi mühendislerin ufkunu açmış, yeni yöntemlerin oluşturulmasına ve yeni sistemlerin tasarlanmasına olanak sağlamıştır.

Bu gelişmelerden etkilenen önemli çalışma alanlarından biri de 3 boyutlu modellemedir. Bundan birkaç yıl önce çok pahalı çözümler olan lazer tarayıcılar, geliştirilen yeni 3 boyutlu tarama yöntemleri ile neredeyse bir aile haline gelmiş; kullanım amacına ve bütçeye göre mühendislere seçenekler sunmaya başlamıştır.

Yüksek Lisans Tezi çalışması kapsamında Geomatik Mühendisliği'nin uygulama alanlarından biri olan 3B Modelleme alanında kullanılmak üzere, düşük maliyetli lazer tarama sistemi tasarlama ve bu tarayıcıdan çıkan çıktıları değerlendirme amaçlanmıştır.

Yoğun çalışma sürecinde yardım ve desteklerini sakınmayan sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Zaide DURAN ve Araş. Gör. Umut AYDAR'a, atelye çalışmalarında ve gerekli donanımların üretiminde yanımda olan mesai arkadaşım Emrah A. PEKDEMİR'e, endüstriyel ölçme cihazlarını kullanmama imkan sağlayan Aybay Otomotiv'e ve şirketin kıymetli çalışanı Erkan CİNGÖZ'e, 3B yazıcıyı sağlayan Can ALTINELLER'e, ayrıca çalışma sürecinin her aşamasında bana destek olan sevgili aileme tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Mayıs 2011

Onur Akyol

Geomatik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tersine Mühendislik.....	1
1.3 3B Modelleme Uygulamalarının Geomatik Mühendisliğindeki Yeri.....	3
2. ÜÇ BOYUTLU MODELLEME	5
2.1 Üç Boyutlu Modelleme Yöntemleri	5
2.1.1 Jeodezik ölçmeler.....	5
2.1.2 Yersel digital fotogrametri	6
2.1.3 Lazer tarama.....	6
2.2 Üç Boyutlu Modelleme Yöntemine Ait Uygulama Örnekleri	7
2.2.1 İzmir Atatürk mask projesi	7
2.2.2 Hawk-Eye uygulaması	12
3. TRIANGÜLASYON TEMELLİ LAZER TARAYICILAR	15
3.1 Lazer Tarayıcılar	15
3.1.1 Uçuş süresi temeline dayanan lazer tarayıcılar	15
3.1.2 Triangülasyon temelli lazer tarayıcılar	16
3.2 Triangülasyon Temelli Lazer Tarayıcıların Matematik Temelleri.....	19
4. UYGULAMA.....	23
4.1 Düşük Maliyetli Lazer Tarayıcı Sistemi Tasarımı	23
4.2 DAVID Laser Scanner Yazılımı İle Modelleme.....	23
4.2.1 Arka planın hazırlanması	23
4.2.2 Kamera	25
4.2.3 Lazer.....	26
4.2.4 Lazer hareket mekanizmasının hazırlanması	26
4.2.5 Kamera kalibrasyonu	28
4.2.6 Tarama	29
4.2.7 Taranan yüzeylerin birleştirilmesi	32
4.2.8 3B model verisinin oluşturulması	33
4.3 Yersel Digital Fotogrametri Yöntemi İle Modelleme	34
4.3.1 Resim çekme makinesinin kalibrasyonu	34
4.3.2 Resim çekimi.....	36
4.3.3 Fotogrametrik değerlendirme.....	37
4.4 Endüstriyel Ölçme Probu İle Modelleme	40

4.5 DAVID Laser Scanner İle Tarama Örnekleri.....	42
4.6 CNC Ortamında Katı Modellerin Elde Edilmesi.....	45
4.7 Doğruluk Analizi	47
4.8 Uygulamada Kullanılan Yazılımlar.....	50
4.8.1 DAVID Laser Scanner	50
4.8.2 Photomodeler	51
4.8.3 AutoCAD	51
4.8.4 Rapidform.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	55
EKLER.....	57

KISALTMALAR

3B	: Üç Boyutlu
CAD	: Computer Aided Design
CNC	: Computer Numerical Control
Ltd	: Limited
Şti	: Şirketi
PIC	: Peripheral Interface Controller
RÇM	: Resim Çekme Makinesi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Kalibrasyon Parametreleri.....	35
Çizelge 4.2 : Kenar Uzunluklarına Ait Ölçüler.	49
Çizelge 4.3 : Köşegen Uzunluklarına Ait Ölçüler.	49
Çizelge 4.4 : Kontrol Noktalarından Alınan Ölçüler.....	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tersine Mühendislik İşlem Adımları	3
Şekil 2.1 : Çeşitli Markalarda Lazer Tarama Cihazları.	6
Şekil 2.2 : Kil Modelin Hazırlanması	7
Şekil 2.3 : Epoksi Kalıptan Alınan Model.	8
Şekil 2.4 : Modelin 3B Tarama İçin Hazırlanması	8
Şekil 2.5 : Nokta Bulutu Verisi.....	9
Şekil 2.6 : STL Verisi	9
Şekil 2.7 : Ağ Yapısı.....	10
Şekil 2.8 : Yersel Lazer Tarama Verisi	10
Şekil 2.9 : 3B Konumlandırma	11
Şekil 2.10 : Doğal Kaya İlave Çalışması	11
Şekil 2.11 : Proje Sonucu	12
Şekil 2.12 : Saha Çevresinde Kameraların Konumu	13
Şekil 2.13 : Tenis Kortu Modeli	14
Şekil 3.1 : Uçuş Süresi Prensibi.....	15
Şekil 3.2 : Üçgenleme Prensibi.....	16
Şekil 3.3 : Triangülasyon Temelli Lazer Tarayıcı Yapısı.....	17
Şekil 3.4 : Arka Plan Şekli.....	17
Şekil 3.5 : Lazer Kalibrasyonu	18
Şekil 3.6 : Kamera, Lazer ve Arka Plan İlişkisi	19
Şekil 3.7 : Kameranın Optik Merkezi İle Arka Plan İlişkisi.....	20
Şekil 3.8 : Resim ve Cisim Koordinatları Arasındaki İlişki	21
Şekil 4.1 : DAVID Laser Scanner Kontrol Noktaları.....	23
Şekil 4.2 : DAVID Laser Scanner Arka Plan Düzlemi	24
Şekil 4.3 : Arka Plan Düzlemi Mentеше Bağlantısı	25
Şekil 4.4 : Logitech Webcam Pro 9000	25
Şekil 4.5 : Çizgi Lazer Modülü Örneği	26
Şekil 4.6 : Lazer Hareket Mekanizması.....	27
Şekil 4.7 : Hareket Mekanizmasında Kullanılan Elektronik Kartlar	27
Şekil 4.8 : Tasarlanan Lazer Tarama Sistemi	28
Şekil 4.9 : Kontrol Noktalarının Ölçülmesinde Eleme İşlemi	29
Şekil 4.10 : Kalibrasyonun Tamamlanması.....	29
Şekil 4.11 : Test Objesi.....	30
Şekil 4.12 : 3B Tarama Sırasında Test Objesi.....	30
Şekil 4.13 : Lazer Çizgisinin Konumlandırılması	31
Şekil 4.14 : 3B Tarama İşlemi	31
Şekil 4.15 : 3B Tarama İşleminde İlk Yüzeyin Tamamlanması.....	32
Şekil 4.16 : Taranan Yüzeylerin Birleştirilmesi	32
Şekil 4.17 : Komşu İki Yüzeyin Birleştirildikten Sonraki Görüntüsü.....	33
Şekil 4.18 : Test Objesinin 3B Modeli (a).....	33
Şekil 4.19 : Test Objesinin 3B Modeli (b).....	34
Şekil 4.20 : RÇM Kalibrasyonu İçin Kullanılan Kontrol Noktaları.....	35

Şekil 4.21 : RÇM Kalibrasyonu.....	36
Şekil 4.22 : Canon EOS 60D Digital Kamera	36
Şekil 4.23 : Canon EF-28mm f:2.8 Objektif.....	37
Şekil 4.24 : Bağlantı Noktalarının Ölçülmesi	37
Şekil 4.25 : Köşe Noktalarının Ölçülmesi	38
Şekil 4.26 : Çizgilerin Oluşturulması	38
Şekil 4.27 : Yüzeylerin Oluşturulması.....	39
Şekil 4.28 : Yersel Digital Fotogrametri Yöntemi ile Oluşturulan Model	39
Şekil 4.29 : Renishaw Cyclone Ölçme Probu.....	40
Şekil 4.30 : Test Objесinin Ölçme Probu İle Modellenmesi	41
Şekil 4.31 : Test Objесinin İşlenmemiş Verisi	41
Şekil 4.32 : Test Objесinin Yüzey Modeli.....	42
Şekil 4.33 : Yüzeylerin Birleştirilmesi	43
Şekil 4.34 : Aristoteles Büstünün Tamamlanmış Katı Modeli	43
Şekil 4.35 : Afrodіt Büstünün Doku Kaplanmış Katı Modeli	44
Şekil 4.36 : Afrodіt Modelinde Triangölasyonun Detayda Gösterimi.....	44
Şekil 4.37 : Asfalt Numunesine Ait Yüzey Modeli	45
Şekil 4.38 : PP3DP 3B Yazıcı	46
Şekil 4.39 : Afrodіt Modelinin Baskı İşlemi.....	46
Şekil 4.40 : 1/4 Ölçeğinde Afrodіt Modeli	47
Şekil 4.41 : Rapidform Yazılımında Model Üzerinde Kenarların Ölçülmesi	47
Şekil 4.42 : Rapidform Yazılımında Model Üzerinde Köşegenlerin Ölçülmesi	48
Şekil 4.43 : Photomodeler Yazılımında Modelin Ölçülmesi	48
Şekil A.1 : Aristoteles Büstünün Katı Modeli (a).....	59
Şekil A.2 : Aristoteles Büstünün Katı Modeli (b)	60
Şekil A.3 : Aristoteles Büstünün Katı Modeli (c).....	61
Şekil A.4 : Afrodіt Büstünün Katı Modeli (a)	62
Şekil A.5 : Afrodіt Büstünün Katı Modeli (b).....	63
Şekil A.6 : Afrodіt Büstünün Katı Modeli (c)	64
Şekil A.7 : Afrodіt Modelinin Üçgenlenmiş Yüzey Verisi	65
Şekil A.8 : Afrodіt Modelinin Üçgenlenmiş Detay Verisi	65
Şekil A.9 : Step Motor Kontrol Kartı Baskı Devresi.....	66
Şekil A.10 : Ana Kart Baskı Devresi	67
Şekil A.11 : Step Motor Kontrol Kartı Devre Şeması	68

DÜŞÜK MALİYETLİ LAZER TARAYICI SİSTEMİ TASARIMI

ÖZET

Son yıllarda teknolojiye meydana gelen gelişmeler ile bilgisayarlar günlük yaşantımızın önemli bir parçası olmuştur. 90'lı yıllardan sonra bilgisayarların kişisel kullanımda yaygınlaşması, pek çok yeniliği de kapı açmıştır. Kullanıcı arayüzleri bilgisayarı, yalnız bilgisayar mühendislerinin değil herkesin kullanabileceği araçlar haline getirmiştir. Bu durum yeni yazılımların geliştirilmesine imkan sağlamış, artan talep ise maliyetlerin düşmesine yol açmıştır. Bilgisayar işlemcilerinin güçlenmesi, 3B grafiklerin daha hızlı işlenmesini sağlamıştır. Bu sayede kullanıcılar 3B grafiklerle daha sık karşılaşmaya başlamış ve kendi 3B grafiklerini üretebilir hale gelmişlerdir.

Geomatik Mühendisliği'nin temel ödevi 3B konum verisi üretmektir. 3B modeller, 3B konum verisinin bir bütün halinde gösterimidir ve oldukça etkili bir gösterim aracıdır. 3B modeller yardımı ile tasarım, ölçme ya da belgeleme yapılabilir. Günümüzde 3B modeller mimarlık, arkeoloji, tıp, film yapımı gibi pek çok alanda etkin olarak kullanılmaktadır. 3B model üretmenin birçok yöntemi vardır. Jeodezik ölçmeler, lazer tarama yöntemleri ve fotogrametrik yöntemler bunların başlıcalarıdır.

Tezin uygulama çalışmasında 3B model verisi üretmek üzere triangülasyon temelli, düşük maliyetli bir lazer tarayıcı tasarlanmıştır. Özel olarak tasarlanan bir test objesi üzerinde tarayıcının ürettiği 3B veriler, jeodezik yöntem ve yersel fotogrametri yöntemi ile kıyaslanarak sistemin çalışması ve doğruluğu hakkında fikir sahibi olunmuştur. Ek olarak, sistemin model çıktılarına örnek olması için heykeller gibi bazı cisimler taranmış ve sonuç verileri gösterilmiştir.

LOW-COST LASER SCANNER SYSTEM DESIGN

SUMMARY

In recent years, developments in technology and the advancements in the computer area have become an important part of our daily lives. The increase in the popularity of personal computers after the 90's opened doors to various new innovations. User interfaces have turned computers into tools not for only computer scientists, but also for the ordinary people. This situation provides the means for the development of new software, and increases the demand, which eventually leads to lower production costs. Through the advancement of computer processors, processing of 3D graphics have become faster. Consequently, users started seeing 3D graphics more frequently, and have become able to produce their own 3D graphics.

The principal task of Geomatic Engineering is to produce 3D position data. 3D models are the representation of 3D position data as a whole, and are very effective tools for visualization. Designs, measurements, or documentations can be made with the help of 3D models. Today, 3D models are actively used in various fields such as architecture, archeology, medicine, film production, etc. There are various methods of producing a 3D model. Mainly geodetic surveying, laser scanning methods, and photogrammetric methods.

During the application of the thesis study, a low cost triangulation-based laser scanner has been designed to produce 3D model data. On a specially designed test object, accuracy and operation of the system is verified by comparing the data output of the laser scanner with the terrestrial photogrammetric method, and the geodetic method. In addition, to provide an example for the outcome model data of the system, some objects, such as sculptures, were scanned, and the resulting data were displayed.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle kişisel bilgisayarların grafik işlemcileri güçlenmiş, buna bağlı olarak 3B modellerin gerek bilimsel gerekse son kullanıcıya yönelik kullanımı yaygınlaşmıştır. Artan 3B model talebi ile beraber; nokta bazlı lazer tarayıcıların yüksek maliyetleri ve bu cihazlarla elde edilen verilerin işleme güçlüğü, düşük maliyetli alternatif 3B tarama yöntemlerinin geliştirilmesine yol açmıştır.

1.1 Tezin Amacı

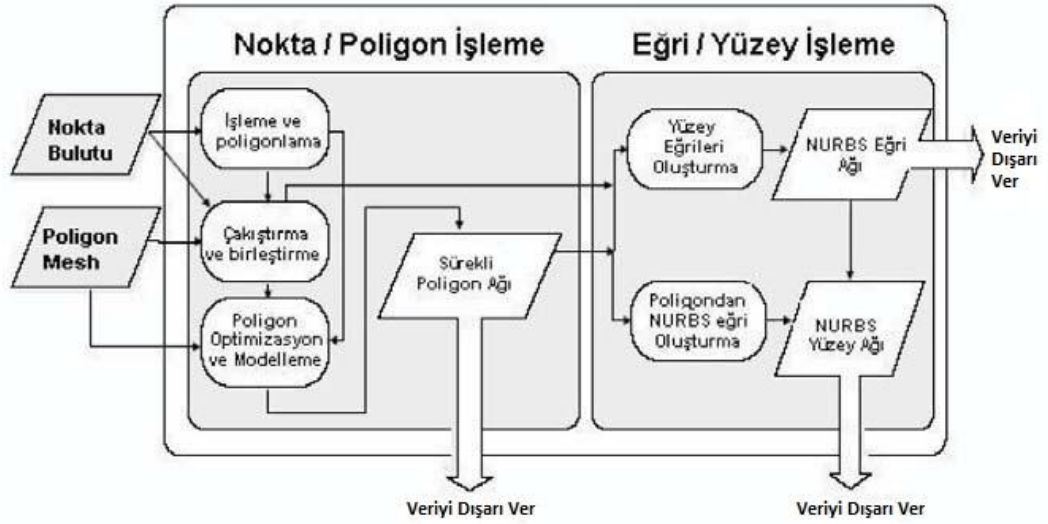
Bu çalışmada, üçgenleme yöntemine göre çalışan modüler bir tarayıcının tasarlanması ve elde edilen modellerin diğer tarama cihazları ile elde edilecek 3D modellerle karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için DAVID lazer tarayıcı yazılımı kullanılmıştır. DAVID lazer tarayıcı, Dr. Simon Winkelbach, Sven Molkenstruck ve Prof. F. M. Wahl tarafından üç boyutlu lazer tarama için geliştirilmiş ücretsiz bir yazılımdır. Bu sistemi oluşturmak için bir bilgisayar, video kamera, kontrol noktaları için arka plan ve çizgi lazer gereklidir [1]. Bir sonraki aşamada, tez çalışması kapsamında DAVID lazer tarayıcı yazılımı ile tasarlanan 3B tarama sisteminin çıktıları CNC ortamında gerçek katı modellere dönüştürülerek görselleştirimi sağlanmıştır. Buna ek olarak, bir test objesi hazırlanarak prezisyonlu ölçme probu, yersel digital fotogrametri yöntemi ile ve tez kapsamında tasarlanan düşük maliyetli lazer tarayıcı ile modellenerek, bu üç yöntemin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

1.2 Tersine Mühendislik

Tersine mühendislik bir objenin veya sistemin bileşenlerinin ve bu bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkilerinin keşfedilmesi; sistemin temsiline başka bir formda gerçekleştirilmesi işlemidir [2].

Tersine mühendislik; yazılım mühendisliği, eğlence, otomotiv, tüketici ürünleri, mikroçipler, kimyasallar, elektronik ve mekanik tasarım gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılır. Örneğin; yeni bir makine piyasaya sürüldüğünde, rakip üreticiler bir makine satın alabilir ve nasıl çalıştığını öğrenmek için sökebilir. Bir kimya şirketi, rakibinin üretim sürecinde tersine mühendislik kullanmak ondan bir patent kazanabilir. İnşaat mühendisliğinde, köprü ve bina tasarımları geçmişteki başarılı tasarımlardan yararlanılarak yapılır. Böylece, felaketle sonuçlanabilecek bir hata şansı en aza inmiş olur. Yazılım mühendisliğinde ise, iyi kaynak kodu genellikle diğer iyi kaynak kodunun bir türevidir [3]. Tersine mühendisliğe yaygın olarak aşağıdaki sebeplerden ötürü gereksinim duyulmaktadır:

- Üreticinin bir parçayı uzun zamandır üretmemesi ve tekrar üretmek istemesi,
- Orijinal dizaynın yetersiz dökümantasyona sahip olması,
- Bir ürünün orijinal üreticisinin artık bulunmaması fakat müşterilerin bu ürüne ihtiyacının olması,
- Ürünün orijinal dökümantasyonunun kaybolması veya hiç var olmamış olması,
- Ürünün bazı kötü özelliklerinin yeniden tasarlanmasına ihtiyaç duyulması,
- Ürünün uzun süreli kullanımına dayanarak ürüne ait iyi özelliklerin güçlendirilmesi,
- Rakip ürünün iyi ve kötü özelliklerinin analiz edilmesi,
- Ürünün performansını ve özelliklerini geliştirmede sonuca götürecek yeni yolların keşfedilmesi,
- Rakip ürünlerin anlasılması ve daha iyi ürünlerin geliştirilmesinde rekabete dayalı karşılaştırma yöntemlerinin elde edilmesi,
- Orijinal CAD modelinin değişikliklere ya da güncel üretim yöntemleri için yeterli olmaması,
- Orijinal üretici firmanın ek/yedek parçalar sağlamada yetersiz ya da isteksiz olması,
- Orijinal üretici firmanın parça sağlamada aşırı ücret talep etmesi,
- Modası geçmiş parçaların ya da eski üretim işlemlerinin bugünkü ve daha ucuz teknolojilerle güncellenmesi [4].



Şekil 1.1 : Tersine Mühendislik İşlem Adımları.

1.3 3B Modelleme Uygulamalarının Geomatik Mühendisliğindeki Yeri

Mekansal verinin toplanmasında ve kullanıcıya sunulmasındaki teknolojik ilerlemelerle birleşen bilgisayar teknolojisi Geomatik mühendisliğini yeni bir seviyeye getirmiştir. Bunun sonucu olarak hem kullanıcılar hem de mühendisler analog haritaların sınırlamalarından kurtularak “sayısal bir dünya” oluşturmaya yönelmeye başlamışlardır. Böylelikle haritalar hem daha etkileşilebilir hem de daha “görsel” olabilmektedir bu da kullanıcının “zihinsel haritayı” çok daha kolay oluşturmaya olanak sağlamaktadır. Bu eğilim zinciri üreticileri daha etkileşimli haritalar yapmaya itmektedir. Bunun sonucu olarak da oluşturulan haritada kullanıcının kendini daha iyi konumlamasına yardımcı olması için 3B modeller devreye girmektedir. 3B modeller içerisinde ise fotorealistik modeller kullanıcıya gerçeğe en yakın veriyi sunması açısından ön plana çıkmaktadırlar. Coğrafi bilgi sistemlerinde 3B modeller mimariden şehir bölge planlamaya, afet yönetim sistemlerinden askeri kullanıma kadar pek çok alanda kendisine kullanım alanı bulabilmektedir [5].

2. ÜÇ BOYUTLU MODELLEME

Üç boyutlu modelleme, bir objeye ait geometrik verilerin vektörel formatta bilgisayar ortamında ifade edilmesidir. Fiziksel yeryüzünün ya da her hangi bir objenin 3B olarak modellenmesi, söz konusu obje ya da objeler üzerinde bilgisayar ortamında yüksek doğruluklu değerlendirmeler yapılabilmesini sağlamaktadır [6].

Bilgisayar ve bilişim sistemlerinde son yıllarda meydana gelen gelişmelerle 3B modeller hayatın hemen her alanına girmiştir. Artan 3B model, modelleyici cihaz ya da yazılım talebi mühendisleri klasik yöntemlerden daha hızlı, kullanımı daha kolay ve son kullanıcıya yönelik yeni teknolojiler üretmeye zorlamaktadır. Hatta, karşısındaki ortamın ya da objenin 3B modelini eş zamanlı olarak bilgisayara aktaran ek donanımlar çoktan teknoloji marketlerindeki yerini almıştır.

2.1 Üç Boyutlu Modelleme Yöntemleri

Günümüzde, küçük ve orta ölçekte objeleri baz alan mühendislik faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılan 3B modelleme yöntemleri; jeodezik ölçmelerle modelleme, yersel digital fotogrametri ve lazer tarayıcı ailesi kullanılarak yapılan modellemelerdir. Bu yöntemlerin arasından lazer tarayıcılar, ürettikleri güvenilir veriler ve hızları ile öne geçerek 3B modelleme teknolojisinin odak noktası haline gelmiştir.

2.1.1 Jeodezik ölçmeler

Geomatik mühendislerinin konum bilgisi üretmesini sağlayan ekipmanların başında jeodezik ölçme aletleri gelmektedir. Teknolojideki gelişmelerle, elektronik uzaklık ölçerlerin hassasiyetleri ve kabiliyetleri önemli derecede artmıştır. Total Station adı verilen bu cihazlarla yüksek hassaslıkta 3B koordinat ölçmeleri yapmak mümkündür. Ancak detay noktalarının teker teker ölçülmesi, ölçme süresi problemini beraberinde getirmiştir. Endüstriyel ölçmeler, röleve çalışmaları ve 3B modelleme gibi çalışma alanlarında kullanılmak üzere, hassasiyetten ödün vermeden ölçme süresini kısaltan ve verilerin işleme sürecini kolaylaştıran bir takım ölçme ekipmanları geliştirilmiştir.

Koordinat ölçme sistemleri, ölçme kolları ve Laser Tracker gibi cihazlar ile 3B koordinat ölçmeleri kısa sürede ve yüksek doğrulukta yapılabilmektedir. Nokta bulutu üretebilen bu cihazlarla yüzey modellemesi yapmak mümkündür. Ancak binalar, taşıtlar ya da yeryüzünde bir bölge gibi büyük boyutta objeler söz konusu olduğunda lazer tarayıcılar gerek ürettiği veri hacmi, gerekse uygulama alanındaki esneklik ile öne çıkmaktadır.

2.1.2 Yersel digital fotogrametri

Fotogrametri, resim çekme makinesinin konumuna göre yersel ve hava fotogrametrisi olarak sınıflandırılır. Yersel fotogrametride resim çekim istasyonları yer yüzeyinde bulunmaktadır. Özellikle yakın resim çalışmalarında kullanılır. Stereo çiftler halinde çekilen bağımsız resimlerin değerlendirilmesi ile cisimlerin veya yapıların 2 ya da 3 boyutlu koordinatlarını elde etme işlemidir. Yersel fotogrametri diğer yöntemlere göre daha hızlı ve ekonomik değerlendirme olanağı sağlar [7].

2.1.3 Lazer tarama

Lazer teknolojisi alanındaki araştırmalar, 1960 yılından bu yana 40 yılı geçkin bir tarihe sahiptir. Yersel lazer tarama teknolojisinin bir ölçüm aracı olarak gerçekten bir araştırma alanı haline gelmesi sadece, bu son 10 yılda olmuştur [8]. Sistem içerisinde tüm nokta kümelerindeki noktalar 3B koordinatlara sahiptir. Obje yüzeyi birkaç dakikada içerisinde milyonlarca 3B koordinat ile tanımlanabilmektedir.



Şekil 2.1 : Çeşitli Markalarda Lazer Tarama Cihazları.

Lazer tarayıcı çalıştırıldığında ölçülen noktalar dahili bir koordinat sisteminde tanımlanır. Bu koordinat sistemi bir kutupsal koordinat sistemidir [9]. Lazer tarayıcılar kendi içinde birçok sınıfa ayrılmıştır. Lazer tarayıcıların sınıflarına ilişkin detaylı bilgi bir sonraki bölümde verilecektir.

2.2 Üç Boyutlu Modelleme Yöntemine Ait Uygulama Örnekleri

Mühendislik uygulamalarında 3B modeller yıldan yıla daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde 3B modeller, görselleştirme ve tasarım alanlarında kullanıldığı kadar çeşitli çalışmalarda uygulama verisi olarak da kullanılır hale gelmiştir. Bu durum, mevcut 3B tarama teknolojisinin güvenilirliğinin somut bir göstergesidir. Bu bölümde biri ülkemizde yapılmış, diğeri ise uluslararası platformda kullanılan iki çalışma örnek gösterilecektir. Her iki çalışma da üretilen 3B model verileri temel kaynak olarak kullanılmıştır.

2.2.1 İzmir Atatürk mask projesi

Yükleniciliğini Defne Mühendislik Ltd. Şti.'nin yaptığı projenin amacı Türkiye Cumhuriyeti'nin kurucusu Ulu Önder M. Kemal Atatürk'ün bir heykeltraşın elinden çıkan heykelinin İzmir'in Buca ilçesinde büyük ebatlı yapımını sağlamaktır.

Projenin başlangıcında 40 m yüksekliğindeki Atatürk Maskı için 20 TL'nin üzerinde bulunan Atatürk portresi konsept olarak belirlenmiştir. Daha sonra heykeltraş Harun Atalayman tarafından kil model yapılmıştır. Kil modelin sanatçı tarafından tamamlanması ile modelin epoksi kalıptan kopyası üretilmiş ve bu kopya 3B tarama için hazırlanmıştır.



Şekil 2.2 : Kil Modelin Hazırlanması.



Şekil 2.3 : Epoksi Kalıptan Alınan Model.

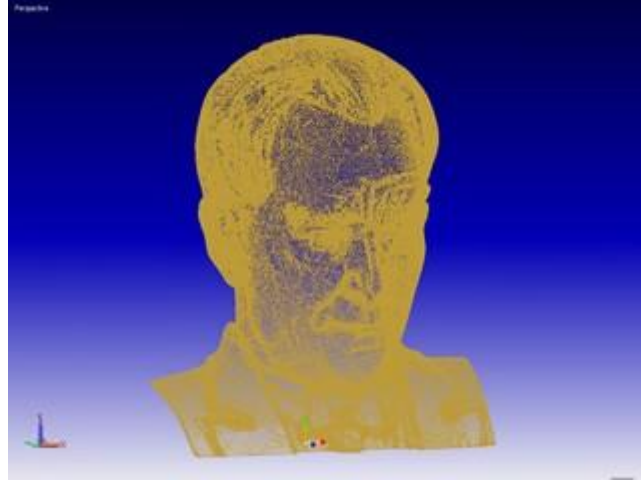


Şekil 2.4 : Modelin 3B Tarama İçin Hazırlanması.

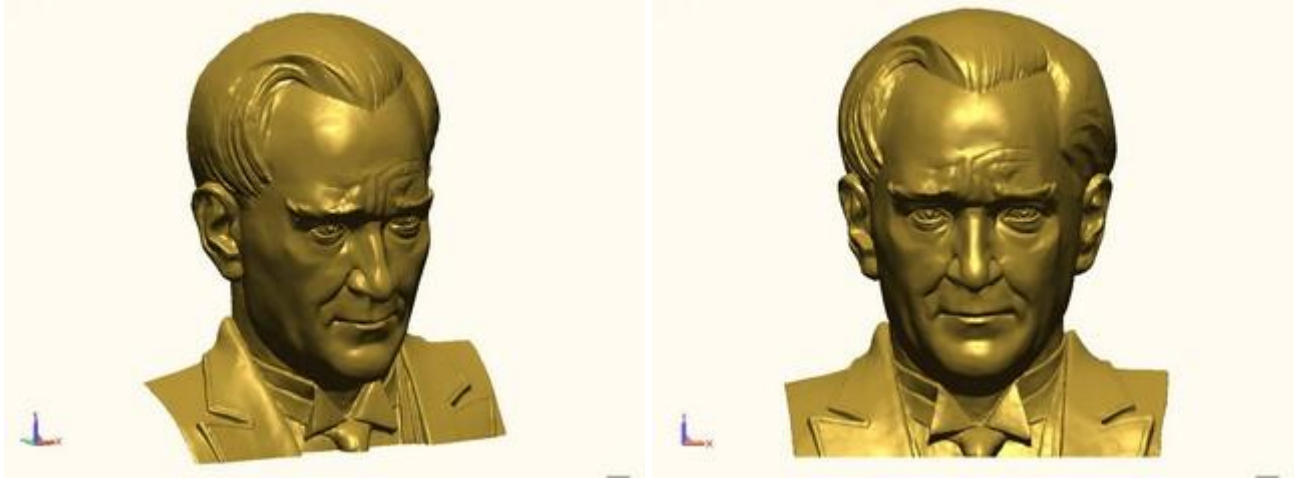
Çalışma planı dört aşamada planlanmıştır.

- Bir metre büyüklüğünde hazırlanan modelin formunun bilgisayar ortamına aktarılması,
- Bilgisayar modelinin üzerinde hem formu yakalamak hemde yapısal analizler için gerekli olan verileri sağlamak için verilerin oluşturulması,
- Yapının yerleştirileceği araziye ait önceden oluşturulan sayısal yükseklik modelinden yararlanılarak Atatürk modelinin konumunun belirlenmesi ve yerleşim planının oluşturulması,
- Tepedeki konumlamaya bağlı olarak doğal kaya ile heykelin etrafının doldurulması için doğal kaya formlarının da bilgisayar ortamına aktararak gerekli düzenlemelerin yapılması,

İlk aşamada, modelden alınan örnek numune fikstürleme ve Breuckmann Opto-TOP HE sisteminin yardımı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. 3B tarama için hazırlanmış olan model, 1 metrelik boyutu ile uygun kamera ve görüş alanı seçilerek, hazırlanan modelin bütün geometrik detayları alabilecek ancak elde üretimin verdiği küçük hataları eleyebilecek şekilde 3B modelleme yapılmıştır. Bu modelleme sonucunda nokta bulutu verisi .STL formatında hazırlanmıştır. Bu veriler; ölçeklendirme, form oluşturma, oluşan formlardan yapısal elemanların belirlenmesi gibi diğer aşamalara esas teşkil edecektir.

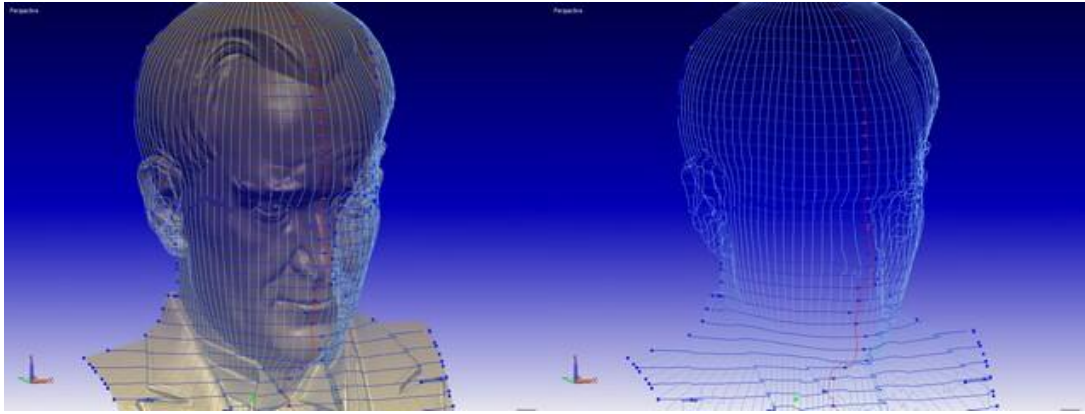


Şekil 2.5 : Nokta Bulutu Verisi.



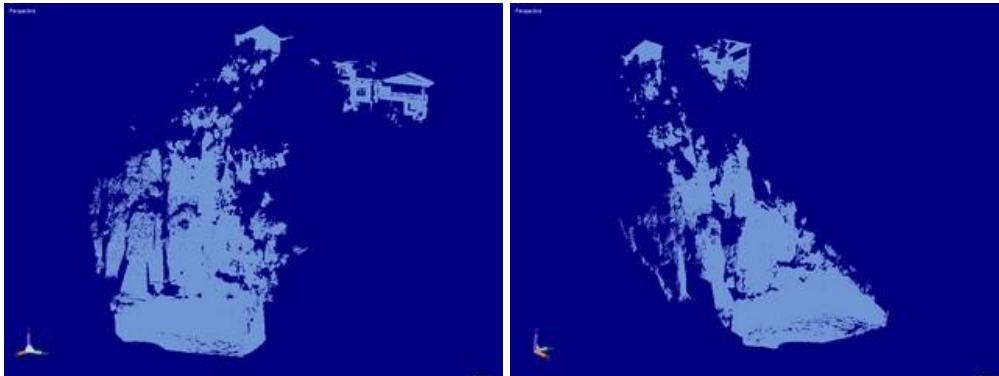
Şekil 2.6 : STL Verisi.

Çalışmanın ikinci aşamasında, optik tarama sonucunda elde edilen ölçümler, 4m ve 40m'lik modeller için büyütülmüştür. CAD datası üzerinde radyal ve polar eksenlerde kesitler çıkarılmıştır. Bu kesitler ve birleşim yerleri ağ yapısı oluşturarak yapılacak olan heykel için hem form tanımlamada hem de içerisinde kullanılacak olan karkas yapının ana hatlarının tasarımında kullanılacaktır. Bu kesitlerin teknik resimleri ve gerekli bütün ölçüleri hazırlanarak yapılacak olan heykeller için referans dataları olarak çıkarılmıştır. Sadece mask boyunun 40 metre olacak şekilde planlandığı yapı esas boyutlarında üretime başlandığında kabul edilen tasarımdan uzaklaşmamak ve üretilen Atatürk'e benzemesi için 1 metre aralıklar ile kesit profilleri çıkarılmıştır. Bu kesitler master olarak alınmış ve ana yapıda kullanılan profiller bu mastarlara göre üretilmiştir.

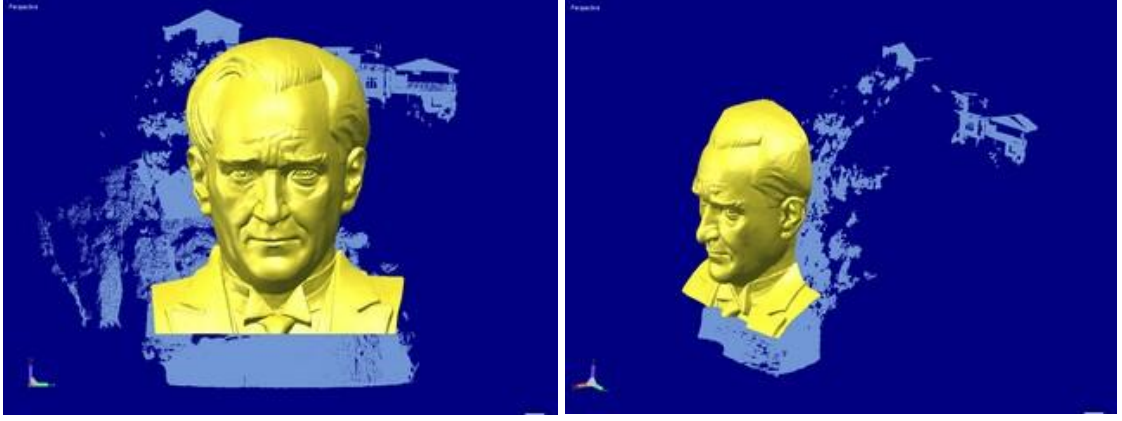


Şekil 2.7 : Ağ Yapısı.

Üçüncü aşamada, model oluşturulma esnasında heykelin yerleştirileceği yer ile ilgili ölçmeler yapılmıştır. Bu ölçmeler heykelin kaidesinden tepe noktasına kadar olan yamacın lazer tarayıcı ile alınan verilerini içermektedir. Kaidenin oturacağı zeminden ve tepe noktaları arasındaki bu veriler çamur modeleden elde edilen veriler ile birleştirilerek kaide zeminindeki en uygun yer tespit edilmiştir.



Şekil 2.8 : Yersel Lazer Tarama Verisi.



Şekil 2.9 : 3B Konumlandırma.

Son aşamada, heykellin arkasındaki tepe ile olan uzaklığının hem statik açıdan hem de görsel açıdan tamamlanması için bulunduğu ortam ile bütünleştirilmiştir. Bunun için doğal kaya boşluklarının doldurulması için heykeltraş bir çalışma daha yaparak var olan modelin üzerine doğal kaya ilave edilmiştir. Bu yeni model de taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu ön çalışma sayesinde, doğal kayaların mekanda görünümü, ne kadarının kullanılabileceği ve arazi ile yapıyı ilişkilendirmek için nerelere inşaat yapılması gerektiği ön görülmeye çalışılmıştır [12].



Şekil 2.10 : Doğal Kaya İlave Çalışması.

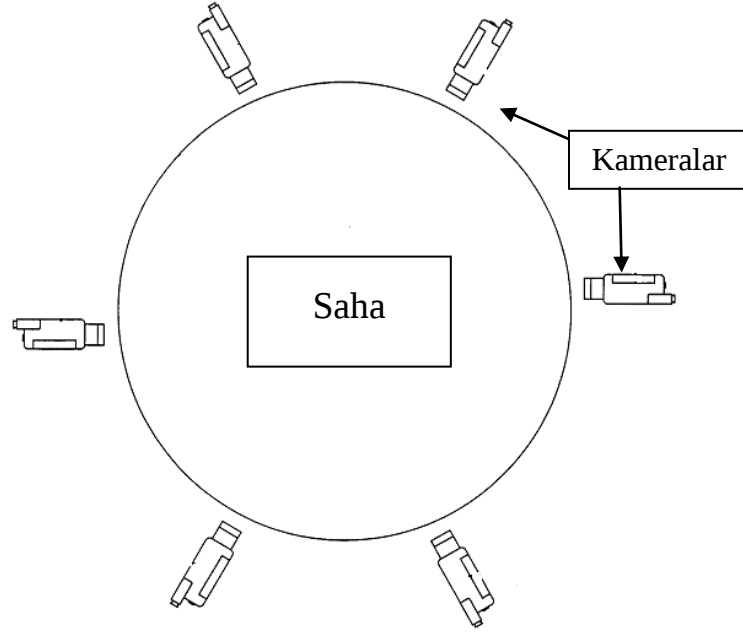


Şekil 2.11 : Proje Sonucu.

Sonuç olarak, ülkemizde yapılan bu çalışmada farklı lazer tarama sistemleri bir arada kullanılmış ve elde edilen 3B model verileri baz alınarak gerekli yapım işlemleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Lazer tarama teknolojisindeki gelişmelerin gerek doğruluk bakımından gerekse geniş kullanım alanları bulması açısından mühendisler için büyük kolaylık sağladığı görülmüştür. İzmir Atatürk Mask Projesi sadece ülkemizde değil uluslararası literatürde de örnek teşkil eden bir çalışmadır.

2.2.2 Hawk-Eye uygulaması

Spor müsabakalarında hakem hataları ve alınan yanlış kararlar sıkça yaşanan olaylardır. Bu hatalar çoğu zaman oyunun sonucunu etkileyebilmektedir. Hawk-Eye uygulamasında belirli açılarla yerleştirilmiş kameralar ile topun konumunun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bunu gerçek zamanlı olarak başarmak için görüntülerin yüksek tanımlı olması ve verimli algoritmaların kullanılması gerekmektedir. Hawk-Eye teknolojisi bugün kriket, tenis ve bilardo sporlarında kullanılmaktadır.



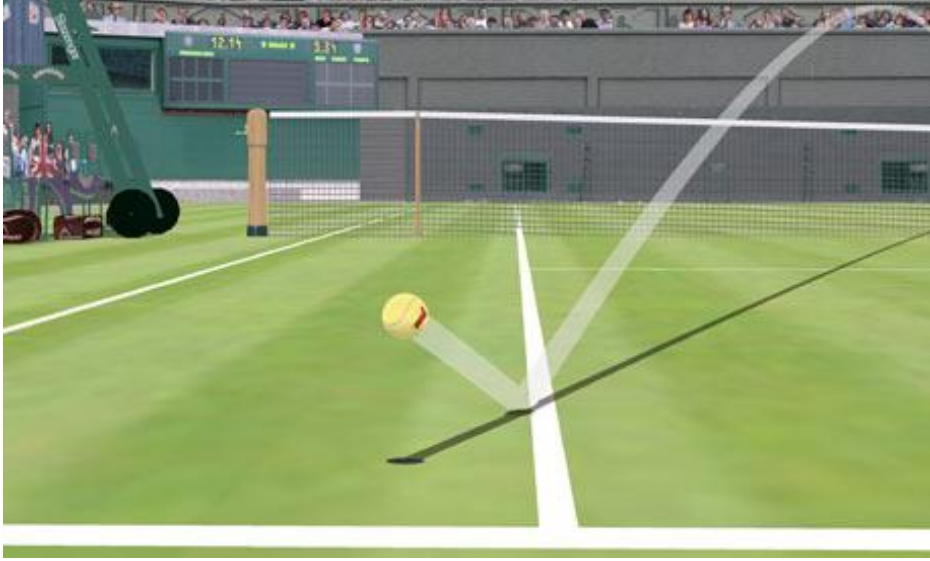
Şekil 2.12 : Saha Çevresinde Kameraların Konumu.

Şekil 2.12'de görüldüğü üzere 6 kamera saha çevresinde kendi aralarında kabaca 60° açı ile konumlandırılmıştır. Daha yüksek doğruluk elde etmek için kameraların görüntüsü daha dar bir çerçeve ile sınırlanmıştır. Ancak oyun alanının tümünün sadece bu 6 adet kamera ile kaplı olması gerektiği unutulmamalıdır.

Görüntü işleme 3 adımda yapılmaktadır;

- Her resimde topu temsil eden piksellerin belirlenmesi,
- Görüntü setlerine anlık olarak geometrik algoritmaların uygulanması,
- Topun 3B konumunun belirlenmesi.

Topun görüntüsüne karşılık gelen piksellerin belirlenmesi için bir algoritma kullanılmaktadır. Topun büyüklüğü ve şekli algoritmanın girdisi olarak kullanılırken renk değeri oyun boyunca değişebildiğinden kullanılamamaktadır. Topun ölçüsünün bilinmesi diğer yuvarlak cisimlerle karışmasını engeller. Benzer şekilde, topun gölgesi de şekil ve büyüklük açısından topu andıran bir görüntü verir ve böylece topun karşılık geldiği pikselleri belirlemede kullanılabilir. Bu aşamadan sonra topun 2B koordinatları her resimde ölçülebilir. Farklı kameralardan ölçülen topa ait 2B koordinatlardan (x, y) topun 3B koordinatları (x, y, z) üretilmektedir [16].



Şekil 2.13 : Tenis Kortu Modeli.

Bu çalışmada üretilen 3B modeller, farklı kameralardan alınan eş zamanlı görüntülerin bir bilgisayar sistemi yardımı ile işlenerek topun koordinatlarının otomatik olarak ölçülmesine dayanmaktadır. 1999 yılında İngiltere'de tasarlanan sistem zaman içinde geliştirilmiş ve güvenilirliğini kanıtlayarak ilk kez 2007 Wimbledon Tenis Şampiyonası'nda resmi olarak kullanılmıştır. Halen, kullanıldığı spor müsabakalarında resmi hakem kararlarının verilmesi ve itirazların değerlendirilmesinde belge olarak kullanılmaktadır.

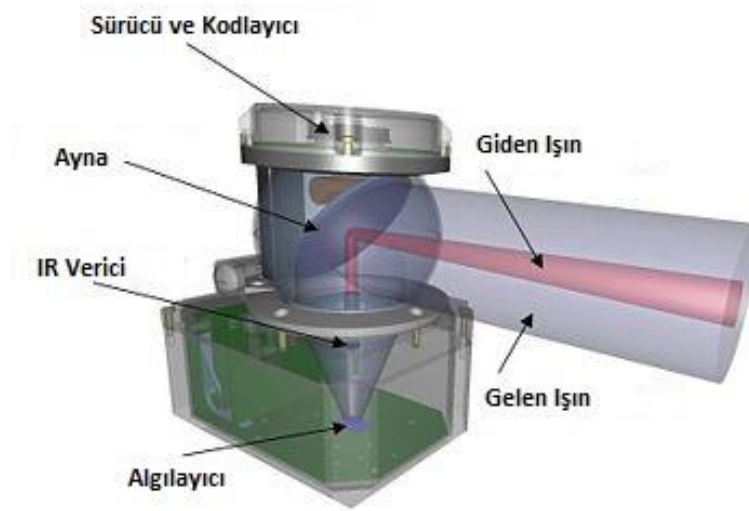
3. TRIANGÜLASYON TEMELLİ LAZER TARAYICILAR

3.1 Lazer Tarayıcılar

Lazer tarayıcılar, taranacak nesnenin yüzey verisini 3 boyutlu koordinat olarak elde etmektedir. Tarama işlemi otomatik ve sistematik olarak yapılmakta ve saniyede binlerce noktanın x,y,z koordinatlarına ulaşılmaktadır. Yersel lazer taramalarından elde edilen yüksek yoğunluklu noktalar kümesi, tarama süresince genellikle nokta bulutu olarak toplanır. Toplanan bu nokta bulutu, taramayla eş zamanlı olarak, tarama programında görülebilmektedir [8].

3.1.1 Uçuş süresi temeline dayanan lazer tarayıcılar

Bir lazer ışını nesneye gönderilir. Gönderici ile yüzey arasındaki uzunluk, sinyal iletimi ile alımı arasındaki uçuş zamanıyla ölçülür. 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 [10].

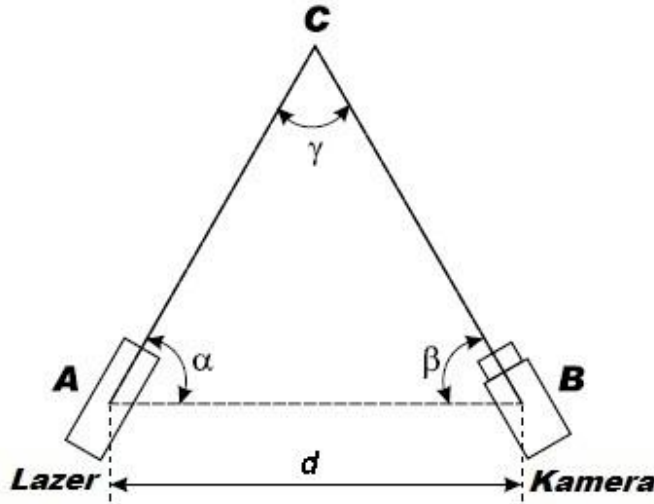


Şekil 3.1 : Uçuş Süresi Prensibi [10].

Yakın resim fotogrametrisi ve yeni bir teknoloji olan yersel lazer tarama tekniğinin birlikte kullanılması 3B model oluşturmada, obje sınıflandırmada ve sanal gerçeklik uygulamalarında yeni fırsatlar ortaya çıkarmıştır. Lazer tarama teknolojisi ve yakın resim fotogrametrisi, birbirini tamamlayan yöntemler olarak görülebilir. Örneğin; yersel lazer tarayıcılarla bir objenin 3B bilgileri çok yüksek çözünürlükte ve hızlı bir şekilde elde edilebilir. Aynı bilgiler yakın resim fotogrametrisi kullanılarak da elde edilebilir ancak, yakın resim fotogrametrisinde aynı bilgilerin elde edilmesi bir operatörün çok yoğun çalışmasını gerektirir [11].

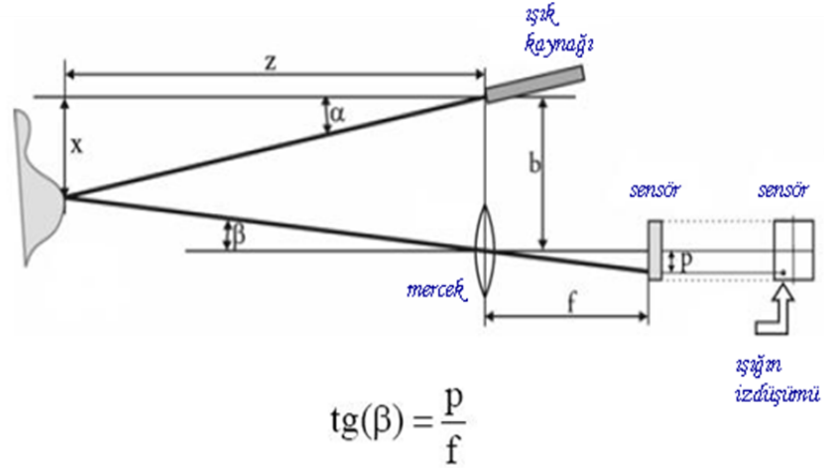
3.1.2 Triangülasyon temelli lazer tarayıcılar

Triangülasyon temelli lazer tarama teknikleri yirmi yıldan uzun süredir kullanılan bir yöntemdir. Triangülasyon temelli lazer tarayıcılar, bilgisayar grafikleri, robotik, endüstriyel tasarım, tıbbi tanı, arkeoloji, multimedya ve web tasarımı, hızlı prototipleme ve bilgisayar destekli kalite kontrolü gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Pek çok ticari lazer tarama sistemi bir kamera ve lazer çizgisi kullanır. Yüzeylerin tanımlanması, lazer ışını ve kameraya geri yansıyan ışının kesişimi ile yapılmaktadır [13].



Şekil 3.2 : Üçgenleme Prensibi.

Ayrıntılı bir şekilde ifade edecek olursak, lazer ve kamera arasındaki mesafe (d) ve üçgenin iki açısı (α) ve (β) bilinir ise (c) noktasının koordinatının hesaplanması mümkün olur. (γ) açısının büyüklüğü ise derinlikteki çözünürlüğe etki eder. (γ) büyür ise derinlik çözünürlüğü artar, küçülür ise azalır [15].



Şekil 3.3 : Triangülasyon Temelli Lazer Tarayıcı Yapısı.

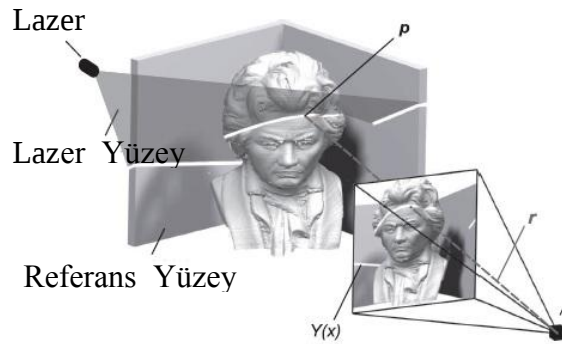
Nesneleri döndüremek ya da ötelemek için yüksek hassasiyetli motorlar kullanılabilir ancak bazı el tipi tarama cihazları pahalı hareket sistemlerini ortadan kaldırırken tarama işlemini daha esnek hale getirebilmektedir. [13].

Pek çok durumda, basit bir arka plan lazer kalibrasyonu için kullanılabilir. Arka plan geometrisinin bilindiği varsayımı ile, bir noktada kesişen arka plan ve kamera projeksiyon ışınlarının nokta koordinatları belirlenebilir. 3B kesişim noktaları lineer olarak bağımsızdır ve lazer çizgisinin her derece için konumunu barındırır. Arka plan şekilleri ise açıları kesin olarak bilinen, birarada duran iki levha ya da bir odanın duvarları gibi kullanımı kolay düzlemler olabilir [13].



Şekil 3.4 : Arka Plan Şekli.

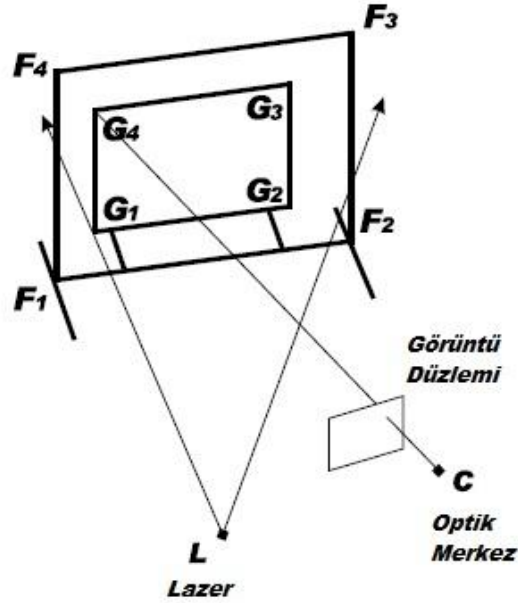
Bu düzenek içerisinde yerleştirilen obje üzerine düşürülen çizgisel bir lazer ışını aynı anda hem obje yüzeyi ile hem de iç geometrisi bilinen referans yüzeyi ile kesişmektedir. Böylece referans yüzeyi üzerine düşen lazer ışını gözlenerek lazer ışının kalibre etmek ve lazer ışınlarının oluşturduğu yüzeyin denklemini hesaplamak mümkündür. Bu işlem öncesinde kullanılacak olan kameranın kalibrasyonunun yapılması gereklidir. Bunun için Tsai tarafından önerilen kamera kalibrasyonu yöntemi kullanılmaktadır. Hassas 3D nokta koordinatlarının hesaplanabilmesi için lazer ışının resim koordinatlarının mümkün olduğunca hassas bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple referans yüzeyin lazer ışını olmaksızın bir görüntüsü alınır ve I_R olarak adlandırılırsa ve ikinci olarak lazer ışını olduğu halde görüntü alınarak I olarak adlandırılırsa iki görüntü farkından ($I_d = I - I_R$) lazer ışınının resim koordinatlarını hesaplamak mümkün olur. Yatay olarak gönderildiği kabul edilen bir lazer ışınının her bir piksel üzerindeki görüntüsü, bir kolondaki en parlak piksellerin ortalaması olarak elde edilir. Elde edilen koordinatlardan obje üzerine düşen lazer ışınının denklemi $Y(x)$ elde edilebilir. Işın denkleminin elde edilmesinden sonraki adım, lazer kaynağı ve referans yüzey arasında oluşan lazer yüzeyin denkleminin hesaplanması işlemidir. Rastgele seçilen ve doğrusal olmayan olan 3 nokta $Y(x_1)$, $Y(x_2)$, $Y(x_3)$ yardımı ile lazer yüzeyin denklemini (E_{Lazer}) hesaplamak mümkündür.



Şekil 3.5 : Lazer Kalibrasyonu.

Lazer yüzey denkleminin (E_{Lazer}) hesaplanmasından sonra, bir noktanın 3B koordinatı, o noktaya ait olan ve kamera sensörü üzerine izdüşen ışın ile yüzey denkleminin kesişiminin hesaplanması ile elde edilir. $P = r \cap E_{Lazer}$ [15].

3.2 Triangölasyon Temelli Lazer Tarayıcıların Matematik Temelleri



Şekil 3.6 : Kamera, Lazer ve Arka Plan İlişkisi.

Triangölasyon temelli lazer tarayıcılar temel anlamda arka plandaki kontrol noktalarının koordinatlarını referans alarak arka planın önüne konan cismin obje koordinatlarını hesaplamayı amaçlar. Bunun için aşağıdaki bağıntılardan yararlanılır.

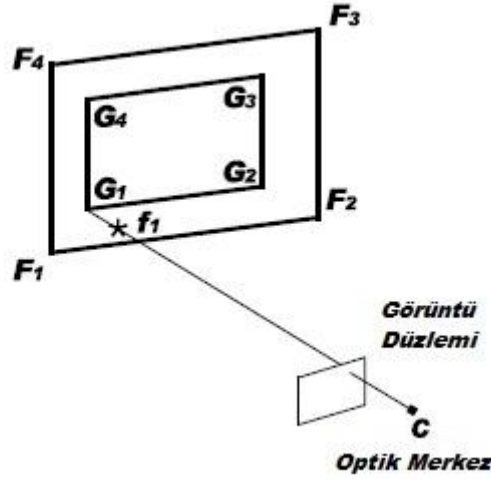
$$X_f = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_4x + a_5y + 1} \quad (3.1)$$

$$Y_f = \frac{a_6x + a_7y + a_8}{a_4x + a_5y + 1} \quad (3.2)$$

(X_f, Y_f) önde bulunan kontrol noktalarının, (x, y) kontrol noktalarının resim düzlemindeki koordinatlarıdır. a_1 - a_8 transformasyon parametreleridir. Benzer şekilde arkada bulunan kontrol noktaları için aşağıdaki bağıntı oluşturulabilir.

$$X_b = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{b_4x + b_5y + 1} \quad (3.3)$$

$$Y_b = \frac{b_6x + b_7y + b_8}{b_4x + b_5y + 1} \quad (3.4)$$



Şekil 3.7 : Kameranın Optik Merkezi İle Arka Plan İlişkisi.

G_1 ve F_1 noktalarının koordinatlarını (X_1, Y_1, Z_1) ve (X'_1, Y'_1, Z'_1) olarak ele alırsak, kameranın optik merkezi C , G_1 ve F_1 noktalarından geçen doğruyu şu şekilde ifade edebiliriz.

$$X = X_1 + (X'_1 - X_1)t \quad (3.5)$$

$$Y = Y_1 + (Y'_1 - Y_1)t \quad (3.6)$$

$$Z = Z_1 + (Z'_1 - Z_1)t \quad (3.7)$$

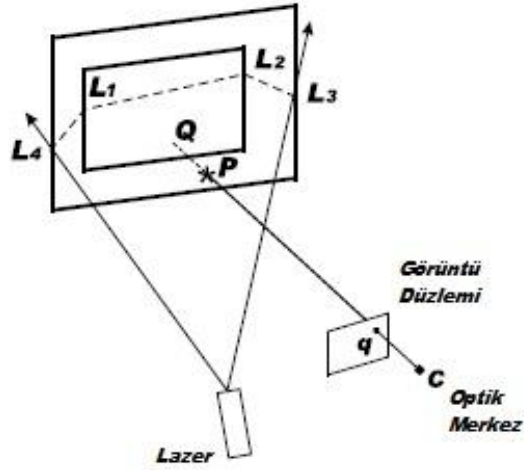
Optik merkezin koordinatlarını (X_c, Y_c, Z_c) olarak yazdığımızda nokta ile optik merkez arasındaki mesafe karesel uzaklık formülünden hesaplanabilir.

$$d^2 = [X_1 + (X'_1 - X_1)t - X_c]^2 + [Y_1 + (Y'_1 - Y_1)t - Y_c]^2 + [Z_1 + (Z'_1 - Z_1)t - Z_c]^2 \quad (3.8)$$

d^2 'yi minimize eden t değeri, d^2 'nin t 'ye göre türevi alınarak bulunabilir.

$$t_1 = \frac{-(X_1 - X_c)(X'_1 - X_1) - (Y_1 - Y_c)(Y'_1 - Y_1) - (Z_1 - Z_c)(Z'_1 - Z_1)}{(X'_1 - X_1)^2 + (Y'_1 - Y_1)^2 + (Z'_1 - Z_1)^2} \quad (3.9)$$

Benzer şekilde G_2, G_3 , ve G_4 noktalarını da resimlere bağlayan ışınlar ele alınarak her doğrultu (X_c, Y_c, Z_c) 'ye en yakın noktası hesaplanabilir. Diğer noktanın resim koordinatlarının hesaplanması için (3.8)'deki formülde t_2, t_3 ve t_4 değerleri kullanılmalıdır.



Şekil 3.8 : Resim ve Cisim Koordinatları Arasındaki İlişki.

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi bir P cisim noktasının arka plan üzerindeki izdüşümü Q ve resim koordinat sistemindeki değeri q ise, Q noktasının koordinatları (3.1), (3.2),(3.3) ve (3.4) bağıntıları kullanılarak hesaplanabilir.

Lazer çizgisinin denkleminde, lazer çizgisi ile arka planın kesişimi ile oluşan doğrunun koordinatlarından hesaplanabilir. Optik merkezin ve Q noktasının koordinatlarının bilinmesi durumunda lazer çizgisi ile C ve Q'dan geçen doğrunun kesişme noktası bize P cisim noktasının koordinatını verir [14].

4. UYGULAMA

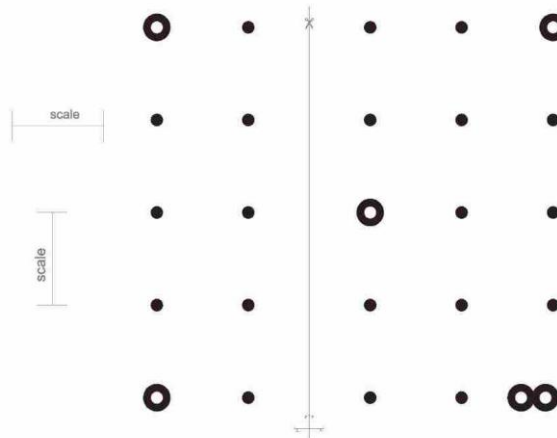
4.1 Düşük Maliyetli Lazer Tarayıcı Sistemi Tasarımı

Tezin uygulama aşamasında, düşük maliyetli bir lazer tarayıcı sistemi tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek üzere, "Herkes için Lazer Tarayıcı" [1] sloganı ile yola çıkmış, son yılların yaygın olarak kullanılan yazılımlarından DAVID Laser Scanner seçilmiştir. Uygulama kapsamında tasarlanan lazer tarama sistemi ve bir test objesi ile çeşitli tip ve dokularda örnek objeler taranarak 3B modellemeleri yapılmıştır. Bu sayede uygulamada kullanılan yöntemlerin kıyaslanması sağlanmıştır.

4.2 DAVID Laser Scanner Yazılımı İle Modelleme

4.2.1 Arka planın hazırlanması

Triangölasyon temelli lazer tarayıcı sistemleri, kalibrasyon ve tarama işlemlerini, üzerinde kontrol noktalarının bulunduğu bir arka plandan yararlanarak yapmaktadır. Bu sayede yazılım, kamera kalibrasyon parametrelerini ve lazer çizgisinin konumunu hesaplayabilmektedir.



Şekil 4.1 : DAVID Laser Scanner Kontrol Noktaları.

Şekil 4.1'de DAVID Laser Scanner yazılımına ait kontrol noktaları görülmektedir. Yazılım tarafından kullanıcıya sağlanan bu dosyanın baskısı yapılarak arka plan düzlemi üzerine yerleştirilmelidir. Taranacak objenin boyutuna göre; A1, A2, A4 gibi kağıt formatlarında önceden baskıya hazırlanmış dosyalar yazılım dosyası içinde bulunmaktadır. Bununla beraber, en/boy oranını korumak şartıyla standart dışı boyutlarda da baskı yapılabilir. Bunun için ölçeklendirme çizgilerinin çıktıdaki uzunlukları ölçülerek yazılıma tanımlanmalıdır. Böylece, standart dışı bir arka plan kullanıldığında da kalibrasyon işlemi doğru yapılmış olur.



Şekil 4.2 : DAVID Laser Scanner Arka Plan Düzlemi.

Uygulama çalışmasında kullanılan arka plan 2 adet 42 cm x 60 cm ölçülerinde, 5 mm kalınlığında pleksiglas malzemenin birbirine menteşelenmesi ile üretilmiştir. Düzlemler arasında; düzlemlerin birbirlerine göre konumunun ayarlanabilmesi, bu sayede 90° açının her defada korunması amacı ile menteşe bağlantısı kullanılmıştır. Düzlem üzerine sabitlenen kontrol noktalarının baskısında ise yüksek kaliteli fotoğraf kağıdı tercih edilmiş, zaman içinde meydana gelen deformasyonlardan dolayı kontrol noktalarının konumlarının değişmemesi için kağıt, düzleme her bir kontrol noktasının altından çift tarafı yapışkanlı bant ile sabitlenmiştir.



Şekil 4.3 : Arka Plan Düzlemi Menteşe Bağlantısı.

4.2.2 Kamera

DAVID Laser Scanner yazılımı görüntü algılayıcı olarak video kamera kullanmaktadır. Tasarlanan sistemde Logitech Webcam Pro 9000 yüksek tanımlı video kamera kullanılmıştır. Kamera özellikleri;

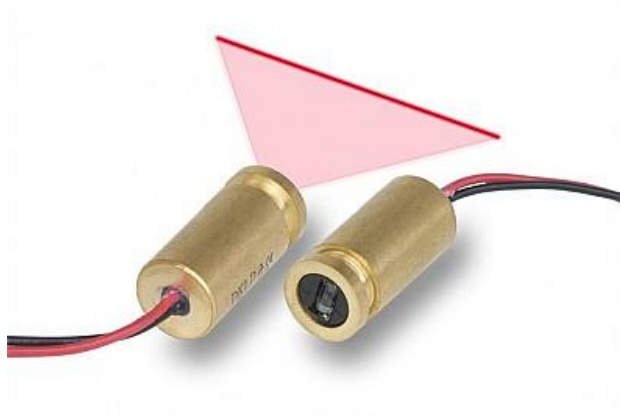
- Çözünürlük : 1600x1200 (2 megapiksel)
- Objektif : Carl Zeiss Tessar f:2.0 - 3.7
- Video Yakalama Hızı : En yüksek çözünürlükte 5 kare/sn



Şekil 4.4 : Logitech Webcam Pro 9000

4.2.3 Lazer

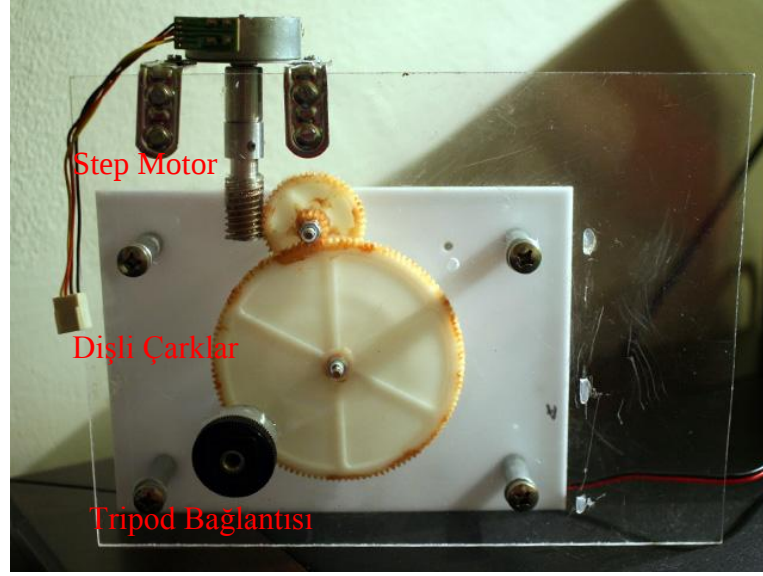
DAVID Lazer Scanner yazılımı tarama işlemini bir çizgi lazer kullanarak yapmaktadır. Lazer ışığının rengi yazılıma tanımlandıktan sonra tarama yapılabilir. Tasarlanan sistemde 650 nm dalga boyuna sahip kırmızı lazer çizgisi kullanılmıştır. Gereken keskinliği sağlamak için odak ayarı bulunan bir lazer modülü tercih edilmiştir.



Şekil 4.5 : Çizgi Lazer Modülü Örneği.

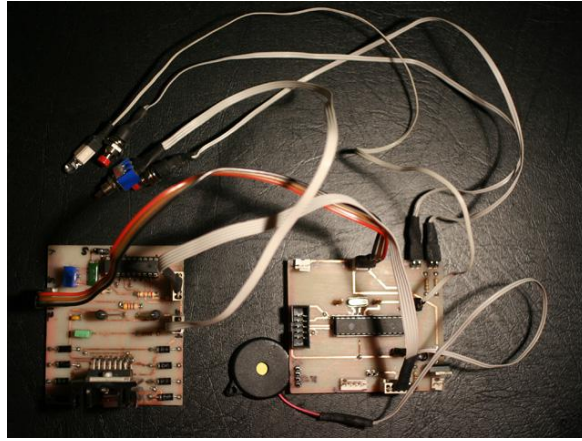
4.2.4 Lazer hareket mekanizmasının hazırlanması

Çalışmanın bu aşamasında, tarama işlemini otomatize etmek amaçlı bir hareket mekanizmasının tasarlanması hedeflenmiştir. Bu mekanizma sayesinde lazer üreteci sabit bir eksen etrafında farklı hız seçenekleri ile hareket ettirmek mümkün olmuştur. Sistemin mekanik tasarımı dişli çarkların bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Dişli oranları yoldan olabildiğince kayıp sağlayacak şekilde seçilmiş, böylece lazer üretecinin kendi eksen etrafındaki dönüş hızının yeterince düşük olması sağlanmıştır. Hareketin kesintisiz ve sabit hızlı olması için bir elektrik motorundan yardım alınmıştır. Mekanik sistemin çalışması, motorda başlayan hareketin dişliler yardımıyla bir mile aktarılması ile sağlanmaktadır. Sistem çalışırken oluşan titreşimlerin emilmesi için dişli çarklar arasına yüksek yoğunluklu gres yağı uygulanmıştır.



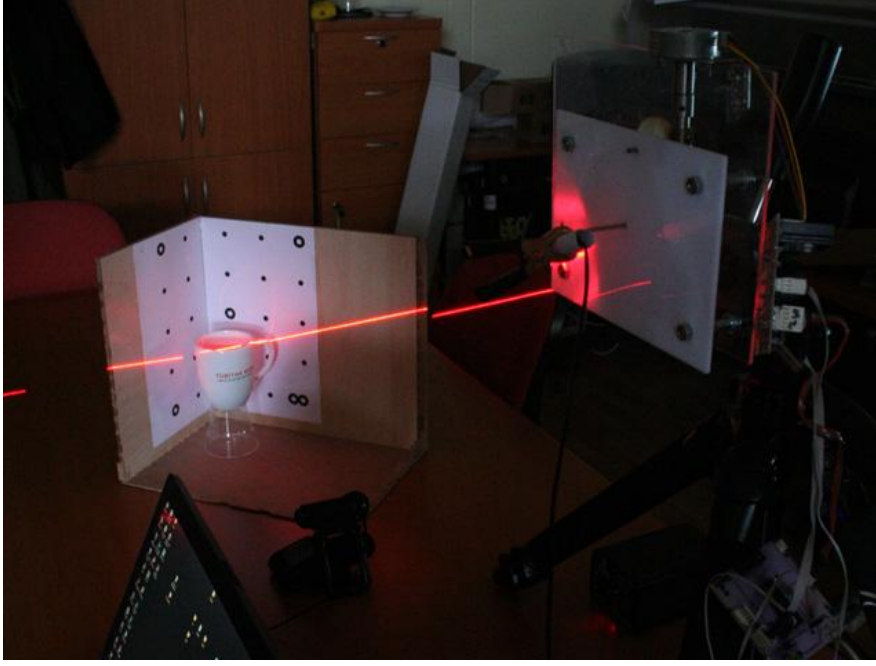
Şekil 4.6 : Lazer Hareket Mekanizması.

Hareket mekanizmasını kontrol etmek üzere bir de elektronik sistem geliştirilmiştir. Mekanik isteminde kullanılan motorun kontrolü PIC mikro denetleyici ile sağlanmaktadır. Bu sayede, motorun dönüş yönü ve hızı önceden programlanarak sistemin otomatik hale gelmesine imkan sağlanmıştır. PIC mikro denetleyicinin kullandığı yazılıma ait kaynak kodları Ek A.2'de verilmiştir.



Şekil 4.7 : Hareket Mekanizmasında Kullanılan Elektronik Kartlar.

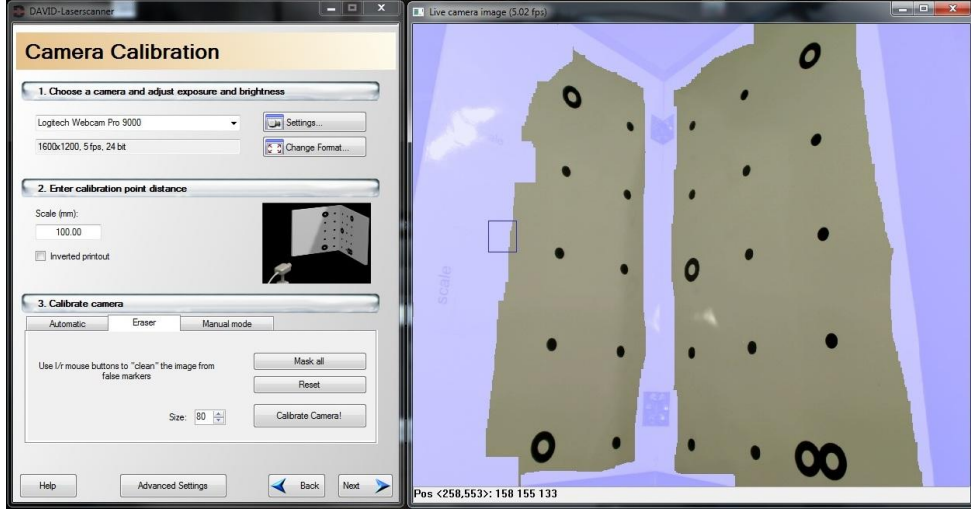
PIC mikro denetleyici gerek görüldüğünde programlanarak, taramanın başlangıç ve bitiş konumları ve tarama hızı gibi parametreler sisteme tanımlanabilmektedir. Böylece kullanıcı, sisteme temas etmeden birkaç tuş yardımı ile lazer çizgisini kontrol edebilmektedir. Aynı açıda ve hızda ilerleyen lazer çizgisi, tarama işleminde ölçülen noktaların konum doğruluğunu artırmış ve nokta bulutu verisinde nokta yoğunluğunun homojenliğini sağlamıştır.



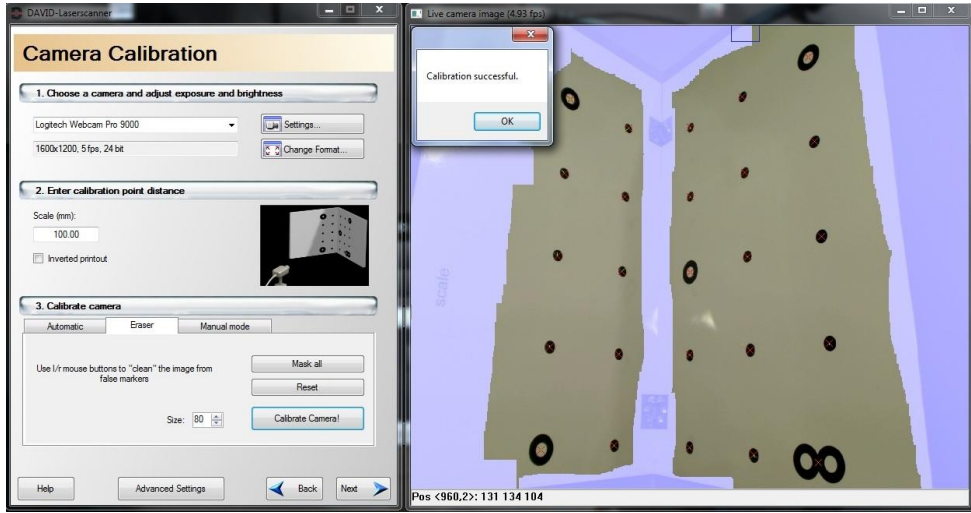
Şekil 4.8 : Tasarlanan Lazer Tarama Sistemi.

4.2.5 Kamera kalibrasyonu

Tarama işleminden önce sistemin kalibre edilmesi gerekmektedir. Bunun için arka plan düzlemi kendi içinde 90° açı ile konumlandırılmalı, daha sonra kamera ve lazer hareketini sağlayan mekanizma tarama boyunca konumları değişmeyecek şekilde sabitlenmelidir. Yazılımın kamera kalibrasyonu bölümünden taramanın yapılacağı çözünürlük, kare/saniye hızı ve ölçek faktörü belirlendikten sonra kontrol noktalarının koordinatları ölçülmelidir. Kontrol noktaları koordinatlarının ölçülmesi yazılıma otomatik yaptırılacak ise silgi aracı kullanılarak arka plan görüntüsündeki istenmeyen bölgeler elenmelidir. Kontrol noktalarının ölçülmesi manuel olarak da yapılabilir. Uygulama aşamasında yapılan çalışmalarda kalibrasyon işlemi yazılıma otomatik olarak yaptırılmıştır.



Şekil 4.9 : Kontrol Noktalarının Ölçülmesinde Eleme İşlemi.



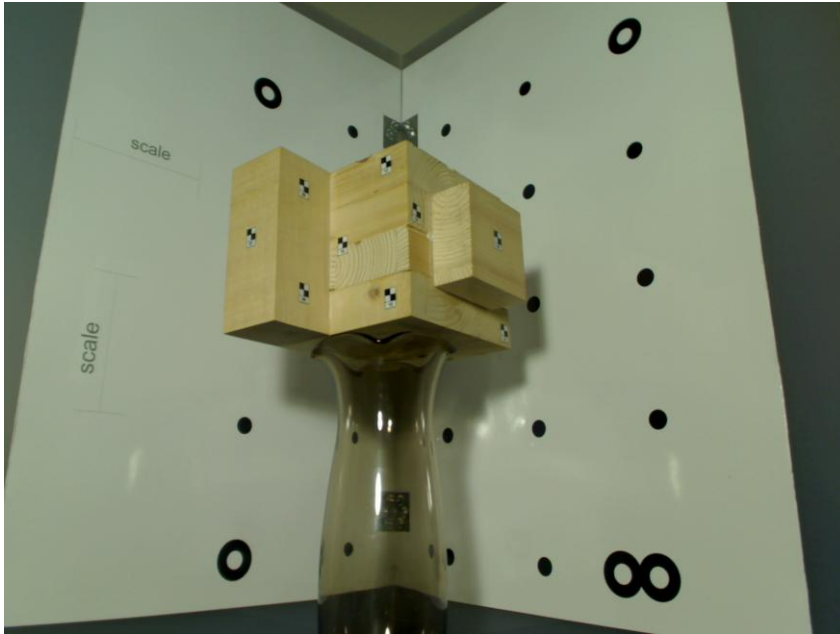
Şekil 4.10 : Kalibrasyonun Tamamlanması.

4.2.6 Tarama

Kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra sistem, tarama işlemini yapabilir hale gelmiştir. Çalışmanın bu aşamasında bir test objesi tasarlanmıştır. Test objesi üretilirken sade, ancak 3B bir objede ortalama olarak bulunması beklenen koordinat farklarına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Ahşap malzemeden üretilen test objesinin üzerine kontrol noktaları homojen dağılıma sahip olacak şekilde yerleştirilmiştir.. Tasarlanan tarama sisteminin, test objesi üzerindeki kontrol noktalarına ihtiyacı yoktur. Ancak bu noktalar, elde edilen 3B model verisi üzerinden doğruluk analizinde kullanılacak ölçülerin alınmasını kolaylaştıracak ve bir sonraki aşamada uygulanacak olan yersel digital fotogrametri yönteminde bağlama noktaları olarak kullanılacaktır.



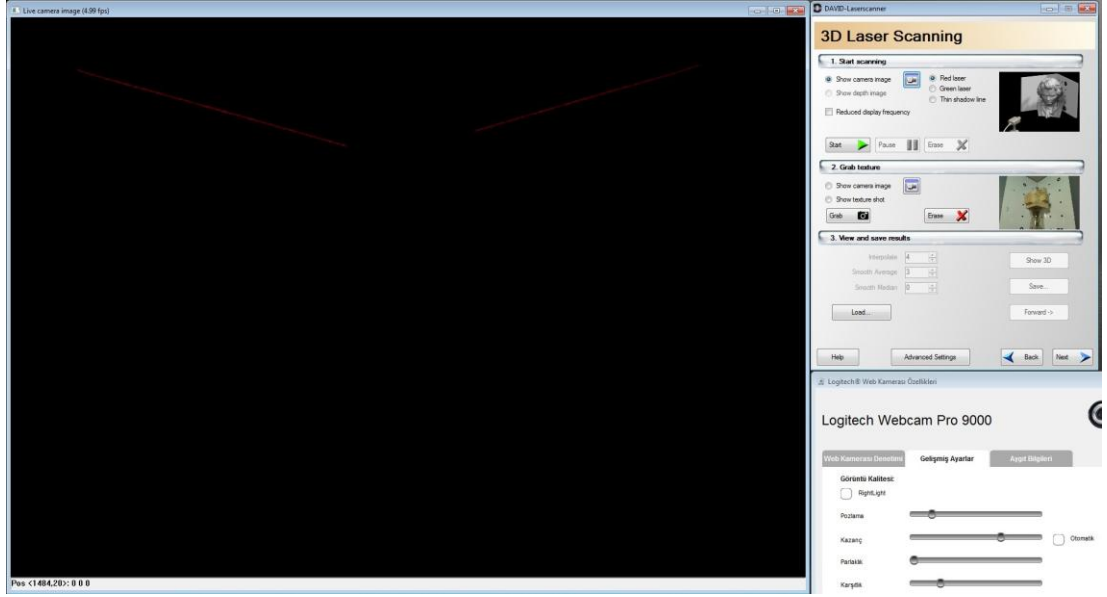
Şekil 4.11 : Test Objesi.



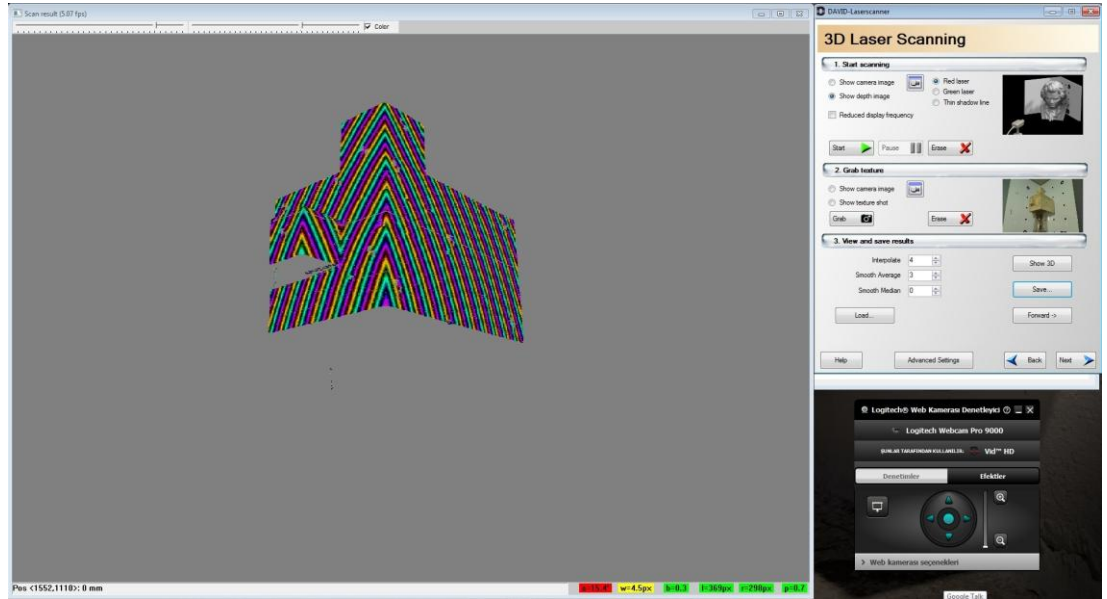
Şekil 4.12 : 3B Tarama Sırasında Test Objesi.

Test objesinin taranması sırasında arka plan düzleminin merkezinde konumlandırılmasına dikkat edilmiştir. Şekil 4.12'de cam vazodan yardım alınarak

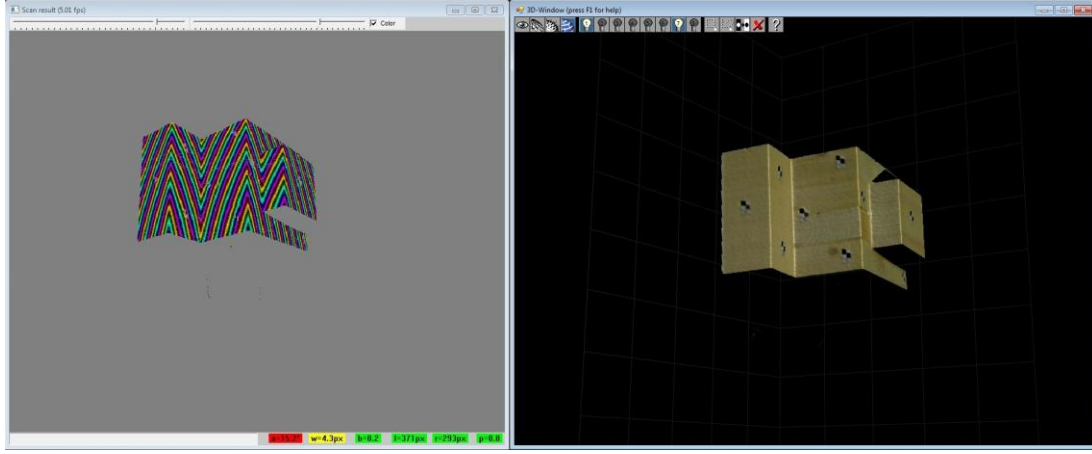
arka plan düzleminin ortasında tutulması sağlanmıştır. Şekil 4.13'de lazer tarama sisteminin kamerasından alınan bir görüntü örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.13 : Lazer Çizgisinin Konumlandırılması.



Şekil 4.14 : 3B Tarama İşlemi.

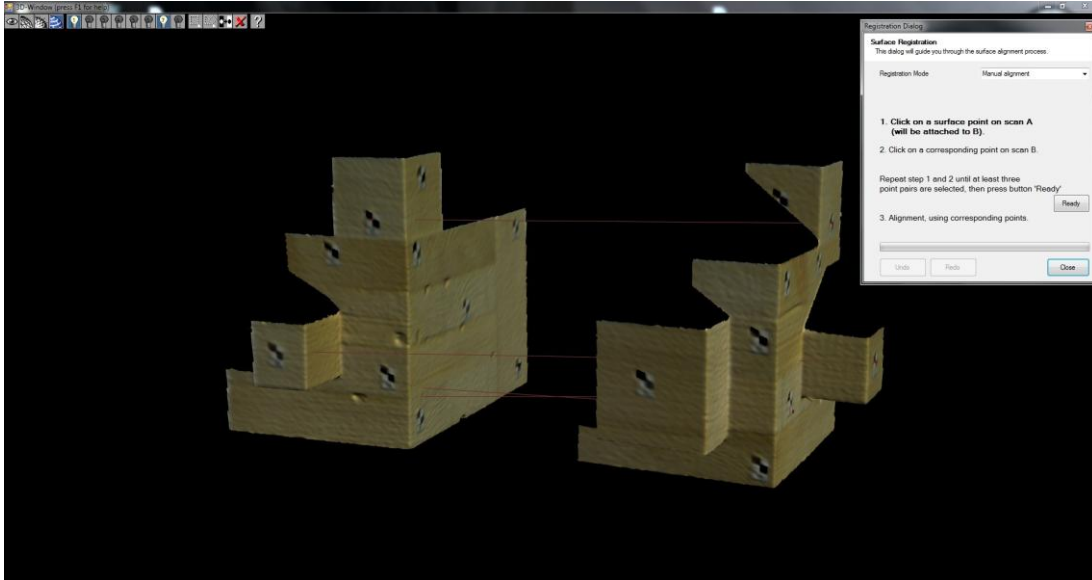


Şekil 4.15 : 3B Tarama İşleminde İlk Yüzeyin Tamamlanması.

Tarama işlemi test objesinin diğer yüzeyleri için tekrarlanmış ve bu yüzeyler birleştirilerek test objesinin 3B modeli oluşturulmuştur.

4.2.7 Taranan yüzeylerin birleştirilmesi

Yüzeyler birleştirilirken geometriden ya da dokudan yararlanılabilmektedir. Ancak test objesinin taranması hassas bir çalışma olduğundan komşu yüzeye ait modellerin birleştirilme işlemi obje yüzeyindeki bağlama noktalarından yararlanılarak manuel yapılmıştır.



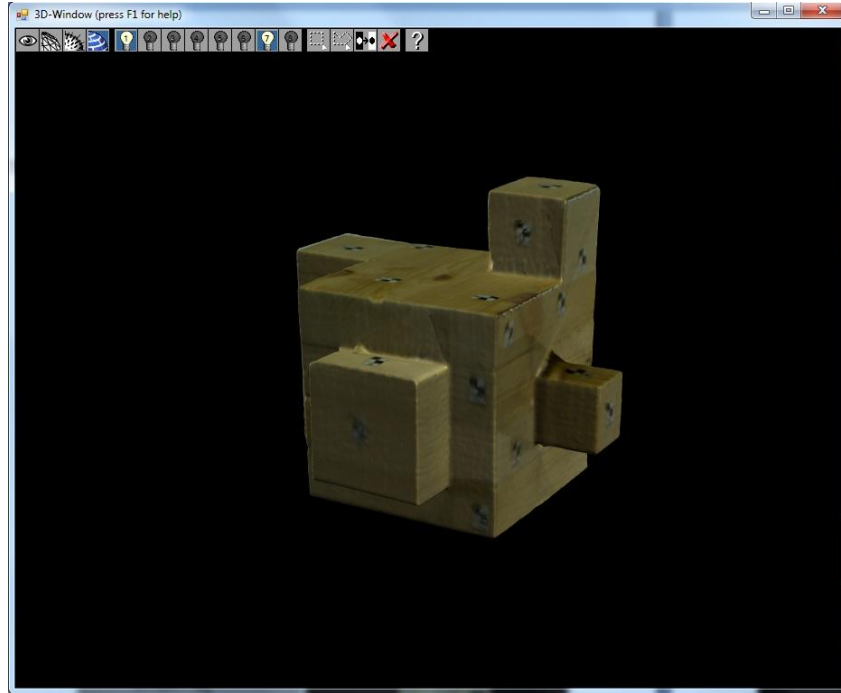
Şekil 4.16 : Taranan Yüzeylerin Birleştirilmesi.



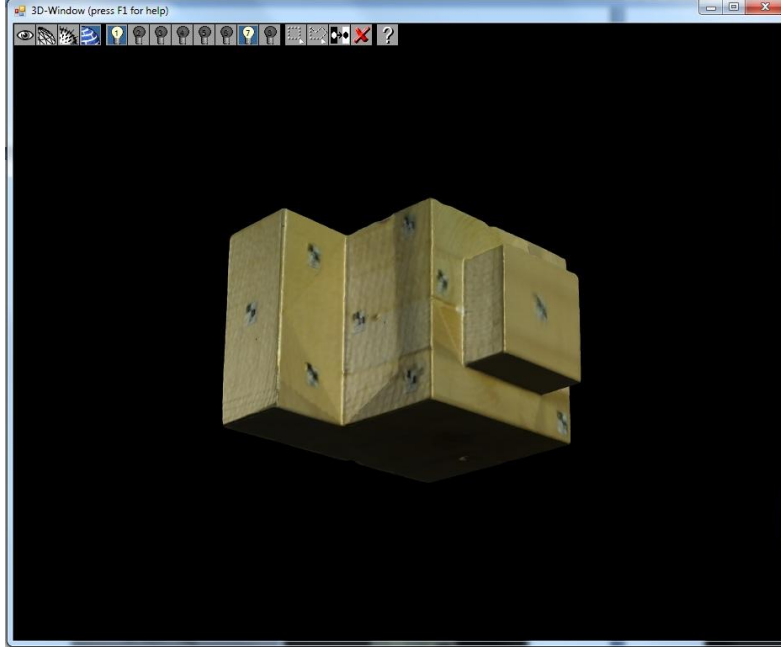
Şekil 4.17 : Komşu İki Yüzeyin Birleştirildikten Sonraki Görüntüsü.

4.2.8 3B model verisinin oluşturulması

Tüm yüzeylerin birleştirilmesi ile objeye ait 3B model tamamlanmıştır. Model oluşturulurken çözünürlük ve ölçek faktörünü ayarlamak mümkündür. Test objesinin detay kaybına uğramaması için yüksek çözünürlük, ölçeğinin değişmemesi için ölçek faktörü 1:1 seçilmiştir.



Şekil 4.18 : Test Objesinin 3B Modeli (a).



Şekil 4.19 : Test Objesinin 3B Modeli (b).

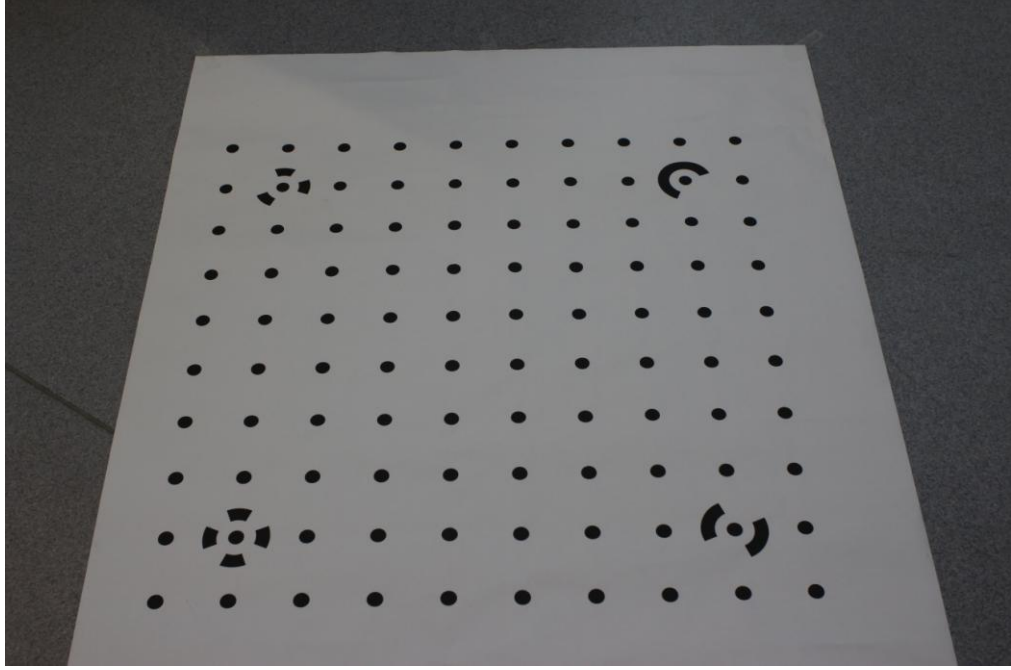
3B model verisi en yaygın 3B model verisi formatlarından olan .STL ve .OBJ formatlarında ayrı ayrı kaydedilmiştir.

4.3 Yersel Digital Fotogrametri Yöntemi İle Modelleme

Test objesinin lazer tarayıcı ile modellenmesinden sonraki aşama, aynı objeye ait farklı 3B modelleme yöntemlerini kullanarak modelleme yapmak ve bu modelleri karşılaştırmaktır.. Bu aşamada, 3B modellemede uzun yıllardır kullanılan ve güvenilir bir yöntem olan yersel digital fotogrametri yöntemi ile test objesinin 3B modeli oluşturulacaktır.

4.3.1 Resim çekme makinesinin kalibrasyonu

Resim çekme makinesi, Photomodeler yazılımı kullanılarak kalibre edilmiştir. Test alanı olarak yazılıma ait kodlanmış kontrol noktalarını içeren baskı kullanılmıştır.

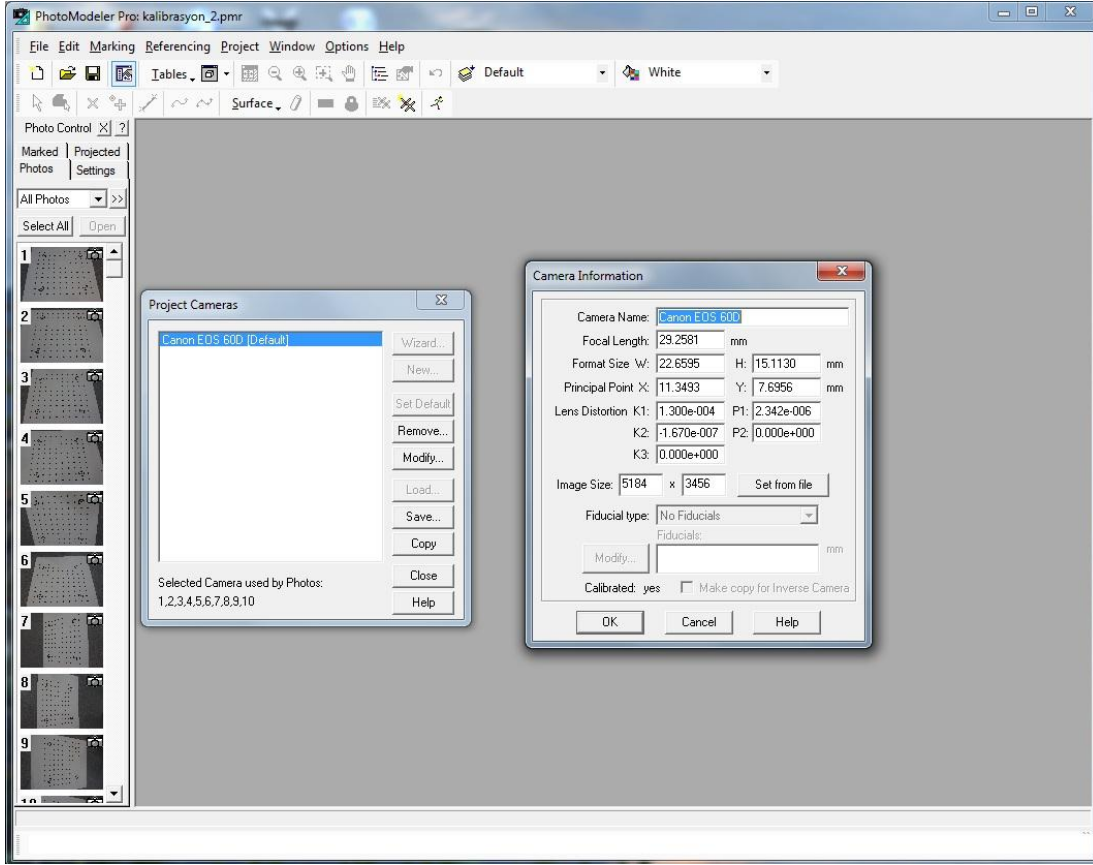


Şekil 4.20 : RÇM Kalibrasyonu İçin Kullanılan Kontrol Noktaları.

Kalibrasyon sonucunda resim çekme makinesine ait kalibrasyon değerleri Çizelge 4.1'deki gibidir.

Çizelge 4.1 : Kalibrasyon Parametreleri.

İç Yöneltilme Bilinmeyenleri	Distorsiyon Parametreleri
$C = 29.2581 \text{ mm}$	$K_1 = 1.300\text{e-}004$
$X_0 = 0.0196 \text{ mm}$	$K_2 = -1.670\text{e-}007$
$Y_0 = 0,1391 \text{ mm}$	$P_1 = 2.342\text{e-}006$
	$P_2 = 0$



Şekil 4.21 : RÇM Kalibrasyonu.

4.3.2 Resim çekimi

Çalışmada Canon EOS 60D digital SLR kamera ile birlikte Canon EF-28mm f:2.8 geniş açılı sabit odak uzaklığı olan objektif kullanılmıştır.



Şekil 4.22 : Canon EOS 60D Digital Kamera.



Şekil 4.23 : Canon EF-28mm f:2.8 Objektif.

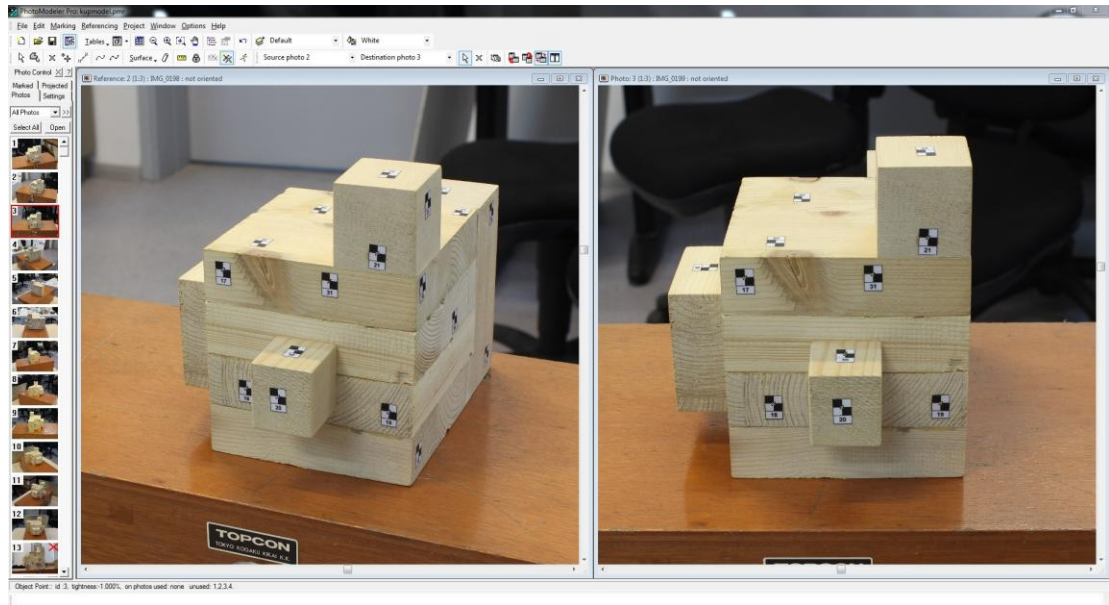
Kamera özellikleri;

- Çözünürlük : 5184 x 3456 (18 megapiksel)
- Sensör Boyutları : 22.3 mm x 14.9 mm (1,6x odak çarpanı)
- Sensör Tipi : CMOS [17]

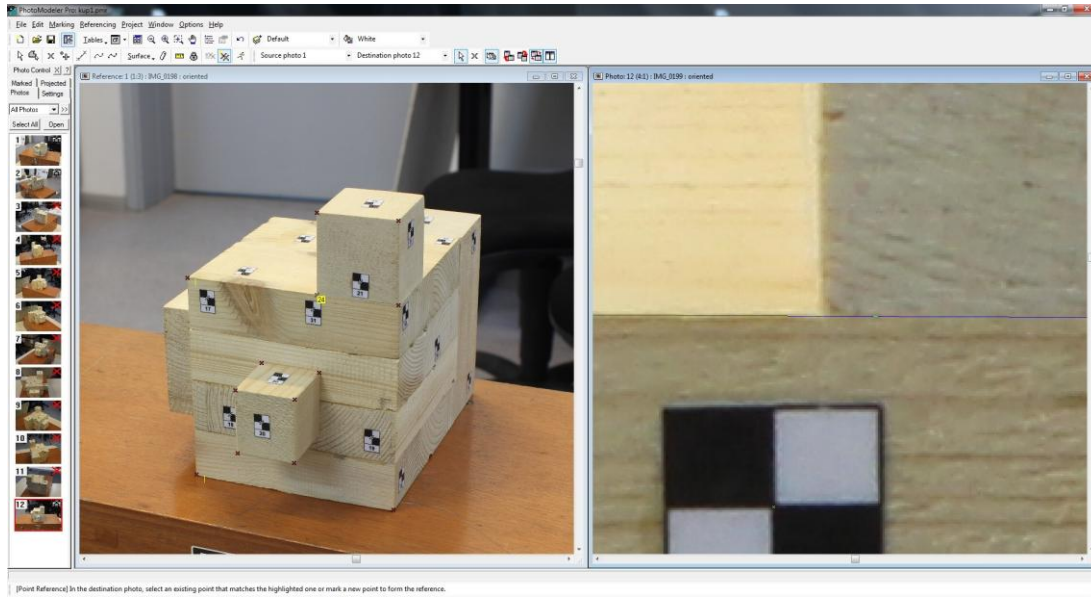
Test objesinin resimleri yaklaşık olarak 1 metre mesafeden bindirmeli olarak çekilmiştir.

4.3.3 Fotogrametrik değerlendirme

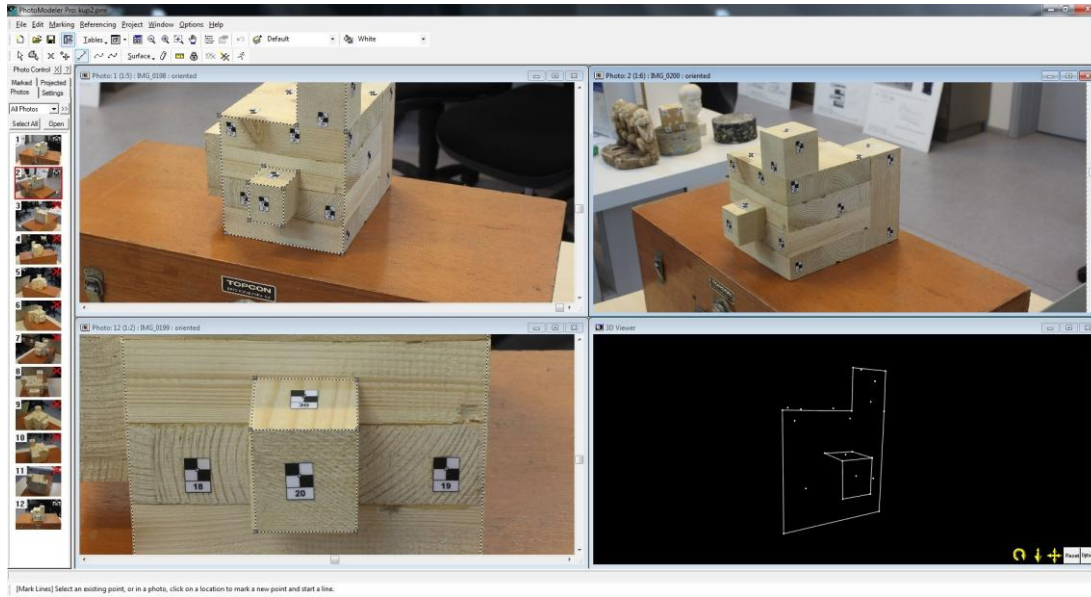
Fotogrametrik değerlendirme de kalibrasyon işlemi gibi Photomodeler yazılımında yapılmıştır. Çekilen resimler proje dosyasına yüklenmiş ve gereksiz resimler elenmiştir. Projede kullanılan resimler üzerinde bağlama noktaları ve köşe noktaları manuel olarak ölçülmüş ve ölçülen detaylar yüzey olarak tanımlanmıştır.



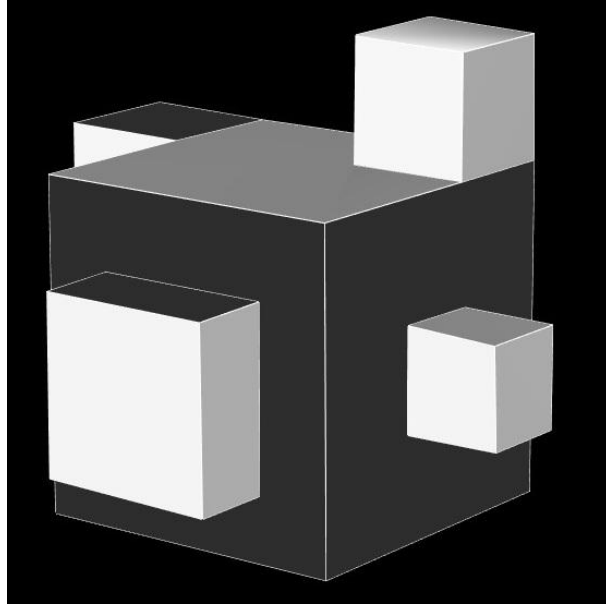
Şekil 4.24 : Bağlantı Noktalarının Ölçülmesi.



Şekil 4.25 : Köşe Noktalarının Ölçülmesi

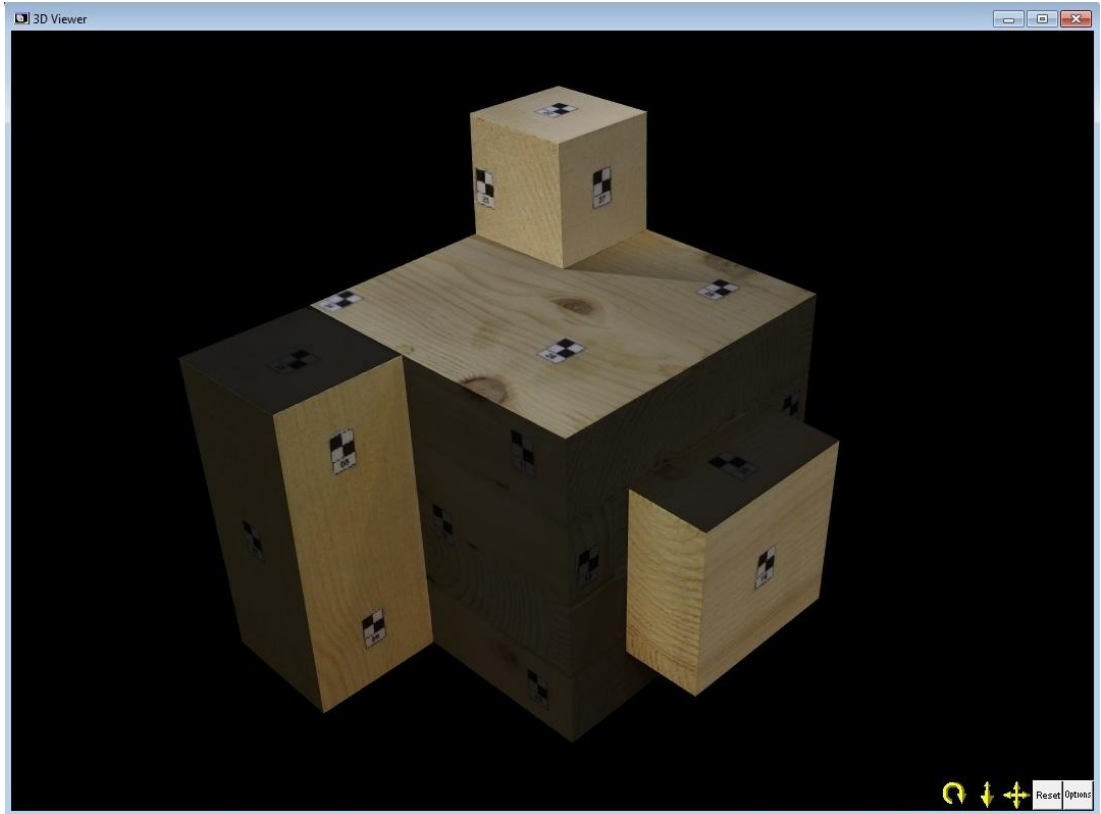


Şekil 4.26 : Çizgilerin Oluşturulması.



Şekil 4.27 : Yüzeylerin Oluşturulması.

Oluşturulan yüzeyler objeye ait fotoğraflar ile kaplanarak sanal gerçeklik modelinin oluşturulması tamamlanmıştır.



Şekil 4.28 : Yersel Digital Fotogrametri Yöntemi ile Oluşturulan Model.

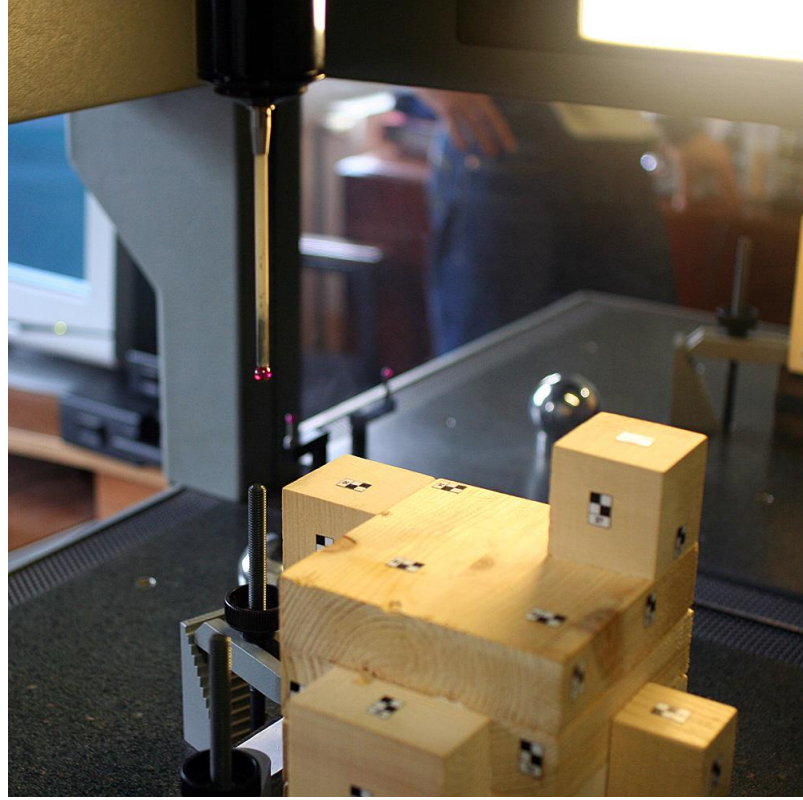
Bu aşamadan sonra model verisini içeren dosya .DXF formatında kaydedilmiştir. CAD yazılımları arasında standart olan bu format modelin herhangi bir CAD yazılımında açılıp, değerlendirilmesini sağlamaktadır.

4.4 Endüstriyel Ölçme Probu İle Modelleme

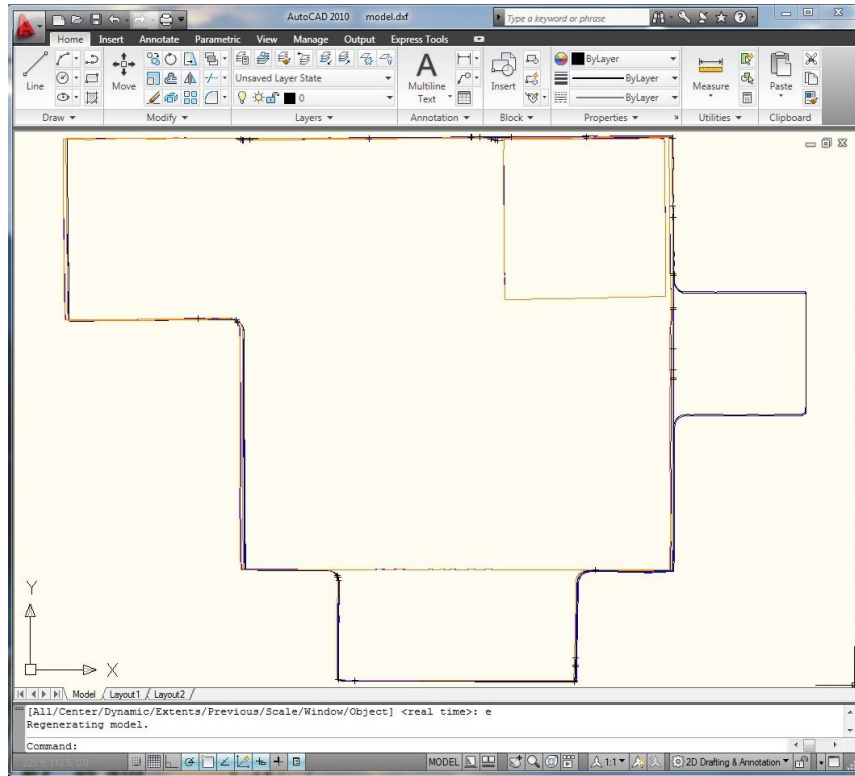
Endüstriyel ölçme cihazları çok hassas ölçmeler yapabilen cihazlardır. Hassasiyetleri milimetrenin yüzdeliği mertebesinde. Maliyetleri yüksektir. Endüstriyel ürünlerin tasarımında ve kalite kontrol gibi yüksek hassasiyet gerektiren çalışmalarda kullanılırlar. Çalışmanın bu aşamasında test objesi, Cyclone 3D Scanner dokunmalı prob ile modellenecek ve bu ölçmenin verileri şimdiye kadar uygulanan yöntemler arasında referans olarak kabul edilecektir. Ölçmelere ilişkin elde edilen değerler Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.



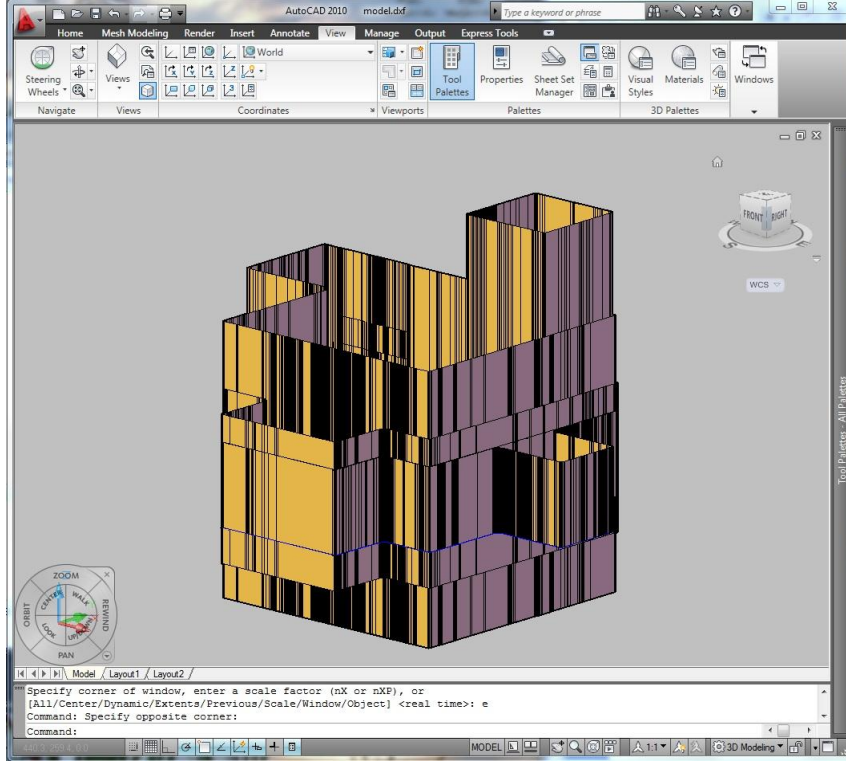
Şekil 4.29 : Renishaw Cyclone Ölçme Probu.



Şekil 4.30 : Test Objesinin Ölçme Probu İle Modellenmesi.



Şekil 4.31 : Test Objesinin İşlenmemiş Verisi.

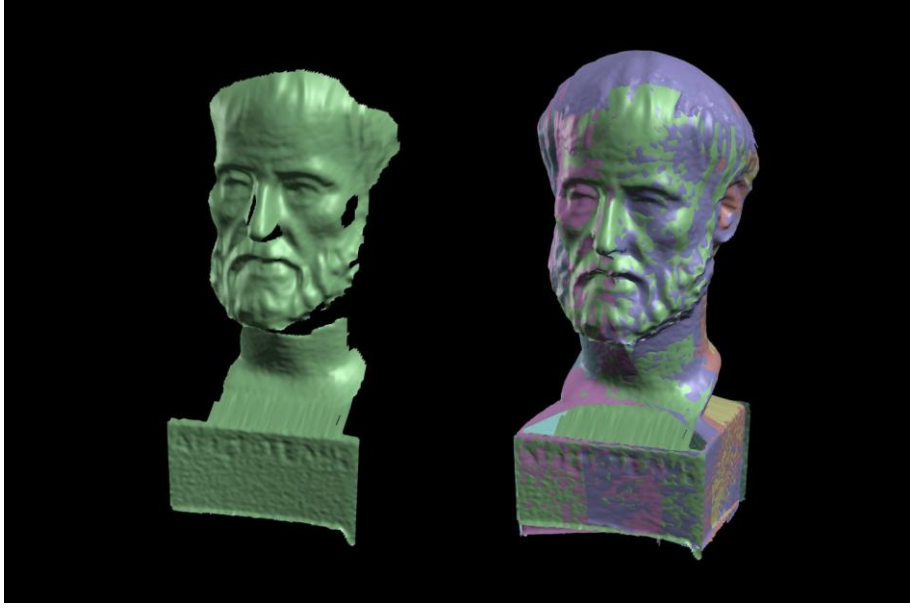


Şekil 4.32 : Test Objesinin Yüzey Modeli.

4.5 DAVID Laser Scanner İle Tarama Örnekleri

Uygulama çalışması kapsamında tasarlanan lazer tarayıcı ile çeşitli geometri ve malzemeye sahip cisimler taranmıştır. Bu sayede sistemin kullanımı denenerek, karşılaşılan sorunlar belirlenmiş ve bu sorunlara çözüm getirilmeye çalışılmıştır.

İlk obje mermer tozunun sıkıştırılması ile üretilen Aristoteles büstü taklididir. Model 9 cepheden taranarak yüzeyler bir araya getirilmiştir. Birleştirme işlemi heykelin geometrisinden yararlanılarak yazılıma otomatik olarak yaptırılmıştır.

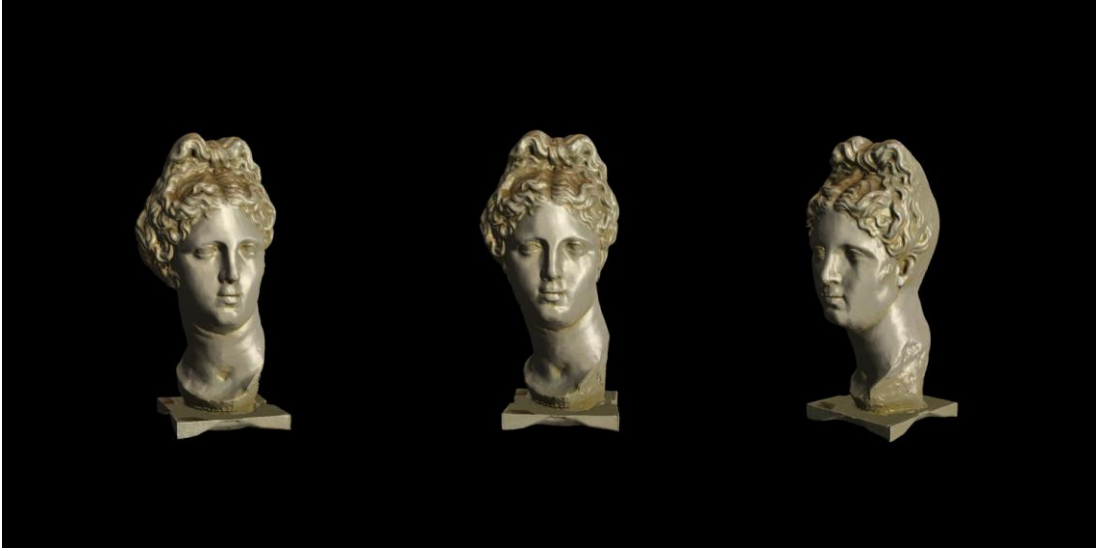


Şekil 4.33 : Yüzeylerin Birleştirilmesi.

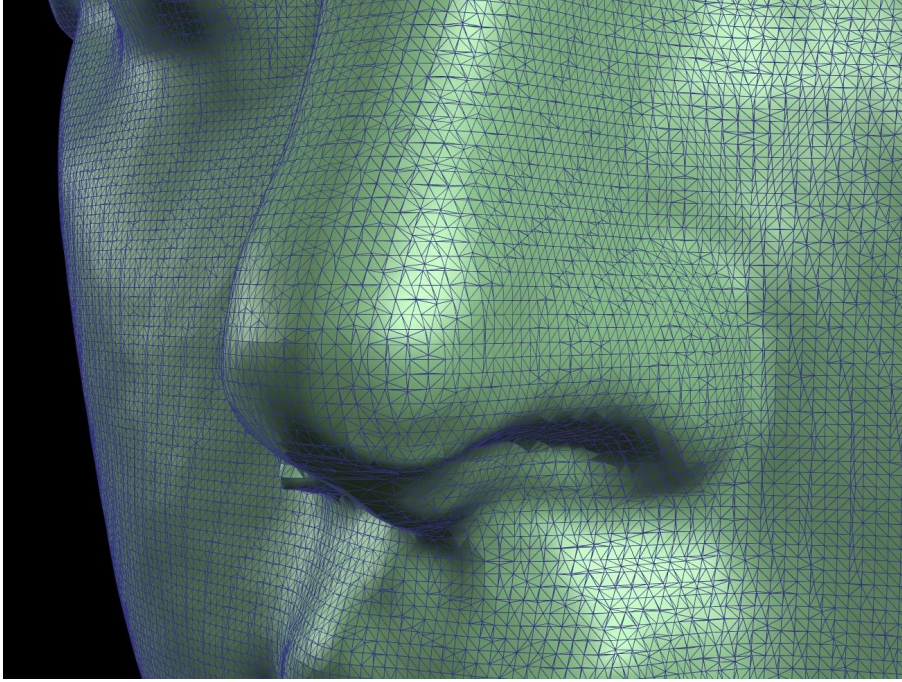


Şekil 4.34 : Aristoteles Büstünün Tamamlanmış Katı Modeli.

İkinci tarama örneğinde alçıdan yapılmış ve boya ile gölgelendirme uygulanmış bir taklit heykel kullanılmıştır. Heykelin gölgelendirilmiş olması sebebi ile bu kez heykelle ait resimlerle doku kaplaması yapmak mümkün olmuştur. Model 10 cepheden ayrı ayrı taranan yüzeylerin bir araya getirilmesi ile oluşmuştur.



Şekil 4.35 : Afrodit Büstünün Doku Kaplanmış Katı Modeli.



Şekil 4.36 : Afrodit Modelinde Triangülasyonun Detayda Gösterimi.

Üçüncü tarama örneğinde bir asfalt numunesi kullanılmıştır. Bu numuneler asfaltın sürtünme katsayısının hesaplanması için kullanılmaktadır. Konu aldığımız numunenin yansıtma değeri düşük olduğundan kameranın farklı ışık ayarları kullanılarak tüm detayların görünmesi sağlanmıştır. Model; sağdan ve soldan iki cephenin taranması ile oluşturulmuş, böylece modelde çakıl taşları arasında boşluk kalması önlenmiştir. Afrodit örneğinde olduğu gibi bu örnekte de cismin dokusu cismin kendi fotoğraflarından oluşturulmuştur.

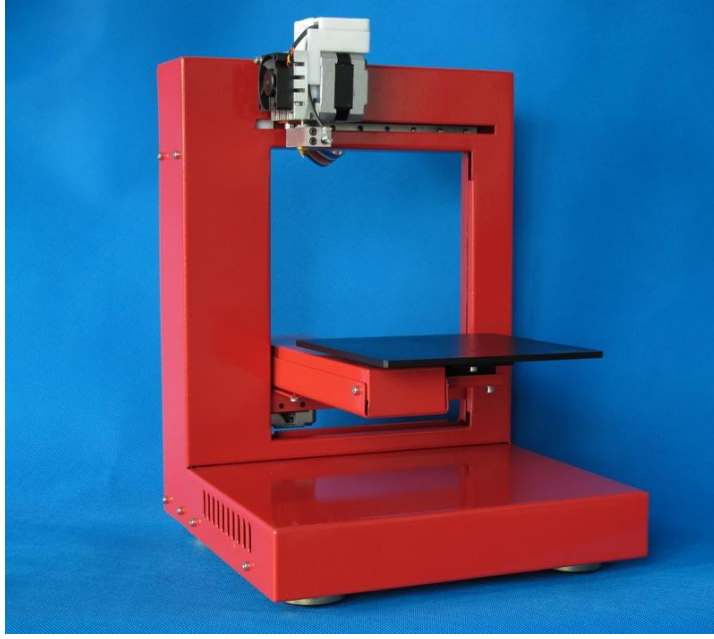


Şekil 4.37 : Asfalt Numunesine Ait Yüzey Modeli.

4.6 CNC Ortamında Katı Modellerin Elde Edilmesi

Son yıllarda, CAD yazılımlarının ürün tasarımlarında yaygın olarak kullanılması ile sadece bilgisayar ekranında izlenebilen 3B modelleri, işlenebilir malzemeden ya da tasarımın gerçek malzemesinden üretebilen cihazlar geliştirilmiştir. Bugün geniş bir aile olan CNC cihazları, katı model üretimini çalışılan malzemeden bütün bir bloku keserek ya da işlenebilir bir malzemeyi katmanlar halinde dökerek, digital formattaki bir dosyayı gerçek bir cisme dönüştürebilmektedir.

Uygulamanın bu aşamasında 3B taraması yapılan ikinci örneğin katı modeli PP3DP 3B yazıcıda basılmıştır. Cihazın işletme boyutlarının sınırlı olması sebebi ile modelin ölçeği 1/4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.38 : PP3DP 3B Yazıcı.



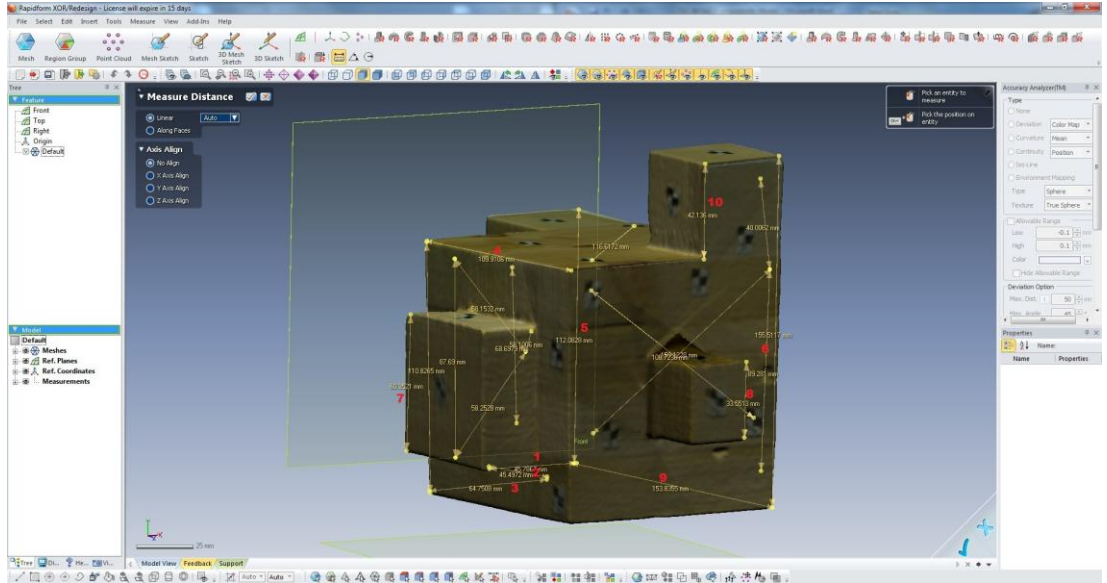
Şekil 4.39 : Afrodit Modelinin Baskı İşlemi.



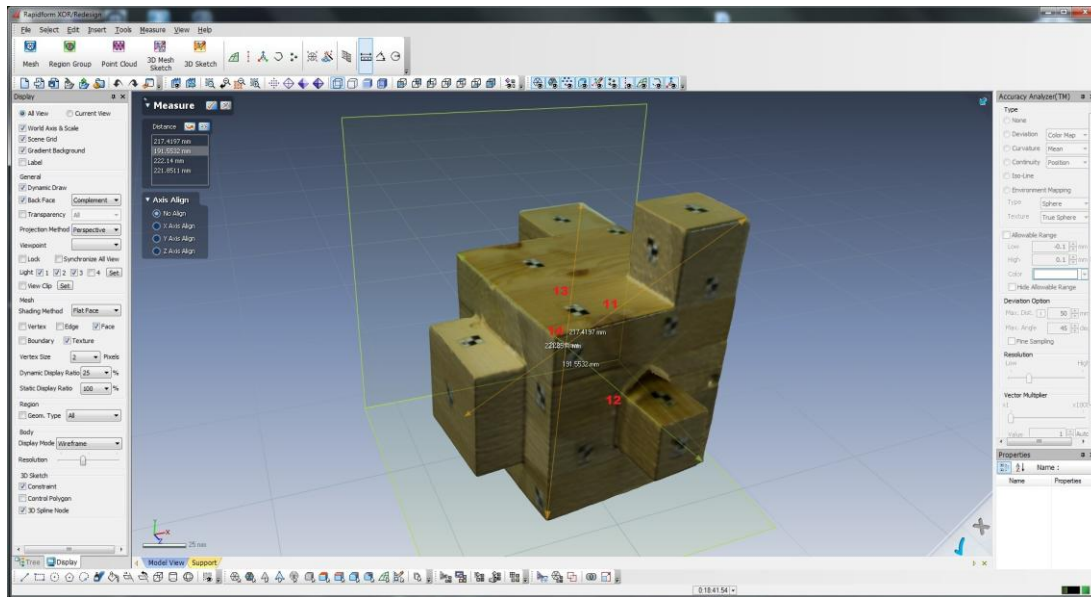
Şekil 4.40 : 1/4 Ölçeğinde Afrodite Modeli.

4.7 Doğruluk Analizi

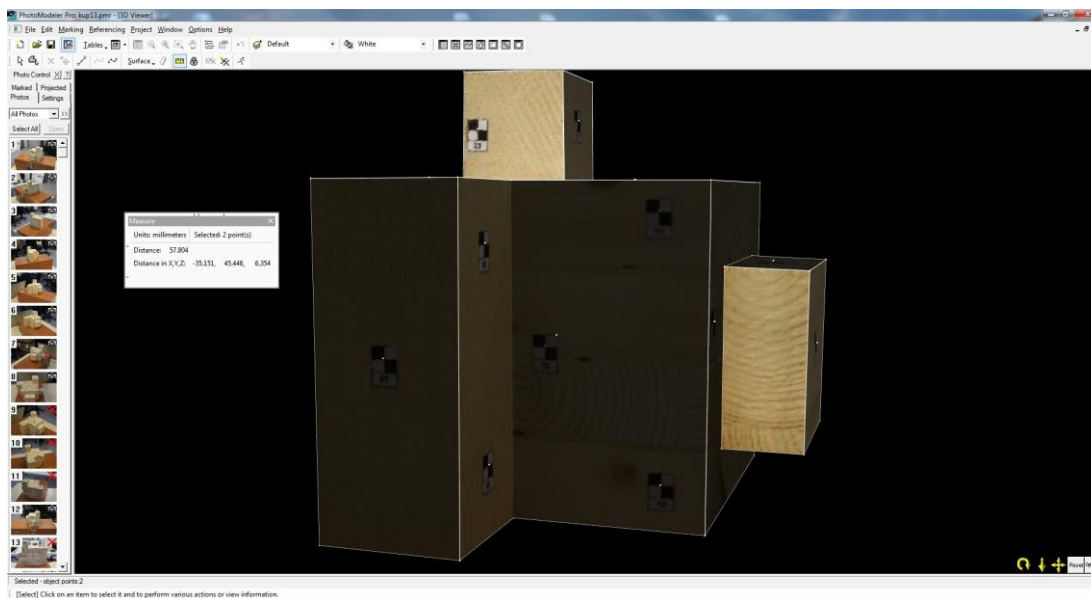
Uygulama çalışmasında kullanılan üç yöntemle elde edilen modeller üzerinden alınan ölçüler kıyaslanarak Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'te sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 4.41 : Rapidform Yazılımında Model Üzerinde Kenarların Ölçülmesi.



Şekil 4.42 : Rapidform Yazılımında Model Üzerinde Köşegenlerin Ölçülmesi.



Şekil 4.43 : Photomodeler Yazılımında Modelin Ölçülmesi.

Çizelge 4.2 : Kenar Uzunluklarına Ait Ölçüler.

Kenar No	Ölçme Probu (mm)	Yersel Fotogrametri (mm)	Lazer Tarayıcı (mm)	$ v_1 $ (mm)	$ v_2 $ (mm)
1	46.496	46.742	45.787	0.246	0.709
2	44.927	45.300	45.497	0.373	0.570
3	64.224	64.792	64.751	0.568	0.527
4	110.195	109.657	109.911	0.538	0.284
5	111.617	111.813	112.083	0.196	0.466
6	155.947	156.010	155.512	0.063	0.435
7	61.233	60.581	60.352	0.652	0.881
8	33.600	34.017	33.551	0.417	0.049
9	153.004	153.112	153.836	0.108	0.832
10	42.455	42.683	42.136	0.228	0.319

Çizelge 4.3 : Köşegen Uzunluklarına Ait Ölçüler.

Kenar No	Ölçme Probu (mm)	Yersel Fotogrametri (mm)	Lazer Tarayıcı (mm)	$ v_1 $ (mm)	$ v_2 $ (mm)
11	222.687	222.814	222.140	0,127	0,547
12	192.112	192.357	191.553	0,545	0,559
13	218.398	218.635	217.420	0,237	0,978
14	221.707	221.956	221.851	0,249	0,144

Çizelge 4.4 : Kontrol Noktalarından Alınan Ölçüler.

Nokta No	Yersel Fotogrametri(mm)	Lazer Tarayıcı(mm)	$ v_3 $ (mm)
10-11	57.804	58.153	0.349
11-12	87.559	87.690	0.131
10-12	58.150	58.252	0.102
8-9	69.223	68.698	0.525
7-10	57.271	58.101	0.830
1-2	40.051	40.006	0.045
2-3	89.976	89.281	0.695
2-6	160.055	159.123	0.932
24-28	117.083	116.617	0.466
17-19	108.970	108.724	0.246

Çizelge 4.2 ve 4.3'te ölçme probuna ait ölçüler referans alındığında; $|v_1|$ yersel fotogrametrinin ölçme probuna göre, $|v_2|$ ise lazer tarayıcının ölçme probuna göre hatasını göstermektedir. Buna göre, ölçmelerdeki ortalama hatalar; $t_1 = 0.325$ mm, $t_2 = 0,521$ mm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Çizelge 4.4'te test objesi üzerinde bulunan kontrol noktaları arasındaki uzaklıklar yersel fotogrametri ve lazer tarayıcı verilerinde ölçülerek bu iki yöntemin de kendi içinde kıyaslaması gösterilmiştir. Buna göre lazer tarayıcının yersel fotogrametriye göre hatası $|v_3| = 0,432$ mm olarak hesaplanmıştır.

4.8 Uygulamada Kullanılan Yazılımlar

4.8.1 DAVID Laser Scanner

DAVID lazer tarayıcı, Dr. Simon Winkelbach, Sven Molkenstruck and Prof. F. M. Wahl tarafından üç boyutlu lazer tarama için geliştirilmiş ücretsiz bir yazılımdır. Ücretli sürümü de bulunmaktadır. Ücretli sürümünde kullanıcılar ürettikleri

modelleri yüksek çözünürlükte kaydedebilmektedir. Temel işlev olarak iki sürüm arasında fark bulunmamaktadır. Yazılımın tanıtımında lazerin elle hareket ettirildiği görülmektedir ancak bu yalnızca başlangıç aşamasında kullanıcıların başvurması gereken bir yöntemdir. İlerleyen zamanda kullanıcılar kendi lazer hareket sistemlerini ihtiyaçlarına göre tasarlamaktadırlar. Yazılımın aynı zamanda bir forumu mevcuttur böylece dünyanın farklı yerlerindeki kullanıcılar forum aracılığı ile iletişim kurabilmekte ve karşılaştıkları problemleri ya da fikirlerini diğer insanlarla paylaşabilmektedirler. Stanart ayarlarında yazılım sınırlı gibi görünse de ileri uygulamalar için önü açık bir sistemdir. Kullanıcılar isterlerse ileri ayarlar menüsünü kullanarak yeni tarama teknikleri geliştirebilir, varsa kendi donanımlarını sisteme entegre edebilirler.

4.8.2 Photomodeler

Photomodeler, fotoğraf tabanlı 3B modelleme yapmaya imkan sağlayan, mühendislik, mimarlık, film, adli tıp gibi pek çok alanda hızlı ve doğru ölçmeler yapılmasını sağlayan bir fotogrametri yazılımıdır. 3B model oluşturma'nın uygun maliyetli ve güvenilir ve etkin yollarından biridir [18]. Photomodeler ve Photomodeler Scanner olmak üzere 2 sürümü vardır. Photomodeler sürümünde kullanıcılar temel fotogrametrik değerlendirmeleri yapabilmekte iken Photomodeler Scanner sürümünde sanal gerçeklik modellerinin üretilmesi ve karmaşık yüzeylerin modellenmesinde yeni imkanlar sunmaktadır. 1990 yılında EOS Systems şirketi tarafından ilk sürümü piyasaya sürülen yazılım halen geliştirilmeye devam edilen ve uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılan yazılımlardan biridir.

4.8.3 AutoCAD

AutoCAD, Autodesk firması tarafından üretilip geliştirilen, tasarım ve çizimlerin bilgisayar ortamında yapılmasını sağlayan ve halen 80 ülkede 17 dilde versiyonları bulunan ve bir CAD paketidir. AutoCAD in DWG uzantılı çizim formatı Dünya Endüstriyel çizim standardı olarak kabul edilmekte ve dünyada 1.200.000'den fazla kayıtlı kullanıcı tarafından 2.000.000.000'in üzerinde .DWG dosyası üretildiği tahmin edilmektedir. Genel amaçlı bir tasarım ve çizim programı olan AutoCAD'i kullanmak için her hangi bir programlama dilini bilmek ya da başka bir programı kullanmış olmak gerekli değildir. Gelişmiş etkileşimli grafik kullanıcı ekranı sayesinde tüm komutlara menülerden veya sembol simgelerden kolayca erişmek ve

Çizim, düzenleme gibi komutlarını kullanmak olasıdır. 1982 yılında ilk kez piyasaya sürülen yazılım halen geliştirilmektedir [19].

4.8.4 Rapidform

RapidForm, 3B tarama verisi işleme ve tersine mühendislik için yaygın olarak kullanılan yazılımlardan biridir. 9 modülü bulunmaktadır. Bu modüller Scan, Polygon, Color, Curve, Surface, Feature, Inspection, Exchange ve 3D Imaging modülleridir [20]. Bu modülleri kullanarak kullanıcıları herhangi bir cismin 3B modelini ister çektikleri fotoğraflardan ya da isterlerse tarama verisi yardımı ile renkli olarak üretebilmektedirler.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada oluşturulan lazer tarama sistemi düşük maliyetli bir sistemdir. Farklı 3B modelleme yöntemleri ile yapılan karşılaştırma çalışmasında oldukça etkili sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Tarama hassasiyeti ve modelin çözünürlüğü kullanılan kameranın çözünürlüğü ile doğru orantılıdır. Uygulama çalışmasında taranan örnek modeller incelendiğinde tarama hassasiyetinin 0.1 - 0.2 mm, üretilen konum verisinin doğruluğunun ise 0.521 mm olduğu görülmektedir. Böyle bir sistemin 3B taramalarda kullanılması için dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. İstenilen doğruluğun elde edilmesinde en büyük etken triangülasyonun olabildiğince iyi; yani kamera, lazer ve cismin eşkenar üçgene olabildiğince yakın bir geometride konumlandırılmasıdır. Ayrıca, lazer üretici olabildiğinde ince ve keskin bir çizgi oluşturmalı, üzerinde odak ayarı bulunan lazer modülleri tercih edilmelidir. Diğer yandan, ışıklandırma ve kameranın ışık ayarları taramanın sonucunu belirleyen parametrelerdendir. Sistemin çalışması için loş ya da karanlık bir ortam seçilmelidir. Bu sayede lazer çizgisinin görüntüsü siyah zemin üzerine düşecek ve keskin bir şekilde görüntülenebilecektir. Ancak bu ortamda fotoğraf çekimi mümkün olmadığından modellerin fotoğraflarla kaplanması olanaksız hale gelecektir. Bunun için sisteme ek olarak bir de bölgesel aydınlatma düzeneği eklenmiştir. Bu sayede, hem tarama hem de doku kaplama işlemleri aynı adımda yapılabilir hale gelmiştir. Bazı durumlarda cisim kaynaklı etkenler taramayı güçleştirebilmektedir. Cismin malzemesinin lazer ışığını kırması, yansıtması ya da dağıtması sistemin çalışmasını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Örneğin; bazı mermer çeşitleri lazer ışığını dağıtarak lazer ışığının cisim üzerindeki keskinliğini düşürebilmekte, bu durum detay kaybına yol açmaktadır. Parlak yüzeyler lazer ışığını doğrudan yansıtacağından o bölgeye ait veri alınamayacağı gibi ışığın yansması cisim üzerine geldiğinde hatalı taramalara yol açmaktadır. Bu tip yüzeyler taranmadan önce mutlaka kaplanmalıdır. Çok koyu ya da çok açık renkli cisimlerin taranması söz konusu olduğunda konu edilen problemler yine karşımıza çıkacaktır. Bu problemlerin çözümü için lazer ışığının şiddeti ayarlanabilir olması, yansıma ve dağılmayı kontrol altında tutacaktır.

3B tarama işlemlerinin her adımı bilgisayarlar aracılığı ile yapılmaktadır. 3B model verilerinin işlenmesi, bilgisayar işlemci ve hafızalarını zorlayan türden bir çalışmadır. Bu yüzden bu tip çalışmalarda kullanılacak bilgisayarların güncel teknoloji ile donatılması çalışmanın sağlıklı ve rahat yapılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca tarama ve veri işleme aynı bilgisayarda yapıldığından verilerin aralıklarla yedeklenmesi, zamansal ve maddi kayıpların önüne geçilmesini sağlayacaktır.

Mesleki yaşamda benzer bir sistemin kullanımı söz konusu olduğunda, çalışmanın en verimli düzeyde olması gerekmektedir. Bunun operatör kullanacağı tüm yazılım ve donanımlara hakim olmalı, mutlaka bir çalışma planı yapılmalı, tarama işlemleri için ise obje bazında bir tarama planı yapılmalıdır. Karmaşık geometriye sahip objelerin 3B taranması söz konusu olduğunda gözden kaçmış bir bölge tüm çalışmanın tekrarlanması anlamına gelebilir. 3B tarama işlemine başlamadan önce çizilecek bir kroki bu tür hataların önüne çoğu zaman geçebilmektedir.

Günümüzde 3B model verileri tek bir mesleki alanda değil birçok daldan mühendisler, mimarlar, tıp doktorları ve tasarımcılar gibi geniş bir kitle tarafından etkin olarak kullanılmaktadır. 3B model verisinin işlenmesi ve kullanımı dallar arasında farklılık gösterebilmektedir. Geomatik Mühendisliği'ndeki yaklaşımın her zaman gerçeğe en yakın konum verisini üretme prensibine dayalı olduğu unutulmamalı, diğer meslek grupları ile yapılan ortak çalışmalarda karşı tarafın ihtiyaçları ve beklentileri taraflar arasında anlaşmazlığa yol açmaması için çok iyi anlaşılmalıdır.

Tez çalışmasının sonucunda, triangülasyon temelli lazer tarayıcıların tarama hassasiyetinin ve doğruluğunun 3B modelleme, belgeleme, görselleştirme gibi uygulamalar için yeterli seviyede olduğu, yersel digital fotogrametri yönteminin en az jeodezik yöntemler kadar güvenilir veriler ürettiği görülmüştür. Uygulama çalışması sırasında yukarıda bahsi geçen problemlerin hemen hepsi yaşanmış, çözümleri ise sorunun kaynağının belirlenerek çözüme yönelik yöntem geliştirme ile çözülmüştür. Yani, donanıma eklenen ayar seçeneklerinin kaynağı uygulamada yaşanan sorunlara dayanmaktadır. Ancak önceden önüne geçilemeyecek hataların insan kaynaklı hatalar olduğu unutulmamalıdır. Bir plan dahilinde aşamalar oluşturularak, tarama işlemleri bu plana göre yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] <<http://www.david-laserscanner.com/>>, alındığı tarih 10.02.2011.
- [2] **Chikofsky, E. J., Cross, J. H., II** 1990: Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy.
- [3] <<http://www.npd-solutions.com/reoverview.html>>, alındığı tarih 01.04.2011.
- [4] **Bozkurt, E. S.**, Tersine Mühendislik Süreci ve Uygulamaları Mühendis ve Makina Dergisi Sayı: 597 Ekim 2009.
- [5] **Arslan A. E., Seker D. Z., Ergun F.**, 2009: 3D Building Models and an Example for Use of Photorealistic Models in Geomatics. FIG Working Week 2009, Eilat, Israel.
- [6] **Doğru A.Ö., Şeker D.Z., Toprak H.**, Coğrafi Bilgi Sistemlerinde 3B Kent Modelleme Olanaklarının İrdelenmesi, 11/2009, s. CD, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, İzmir, 02.11.2009 - 06.11.2009.
- [7] **Akyol O.**, Tarihi Eserlerin Yersel Digital Fotogrametrik Yöntemle Belgelenmesi, B.S., İTÜ, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 2008.
- [8] **Gümüş K., Erkaya H.**, Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler, TMMOB HKMO 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 02.04.2007 - 06.04.2007.
- [9] **Karabörk H., ve Diğer**, 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, 11.05.2009 - 15.05.2009.
- [10] **Gümüş K.**, Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Geomatik Programı, 2008.
- [11] **Altuntaş C., Yıldız F.**, Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi 2008/1 Sayı: 98

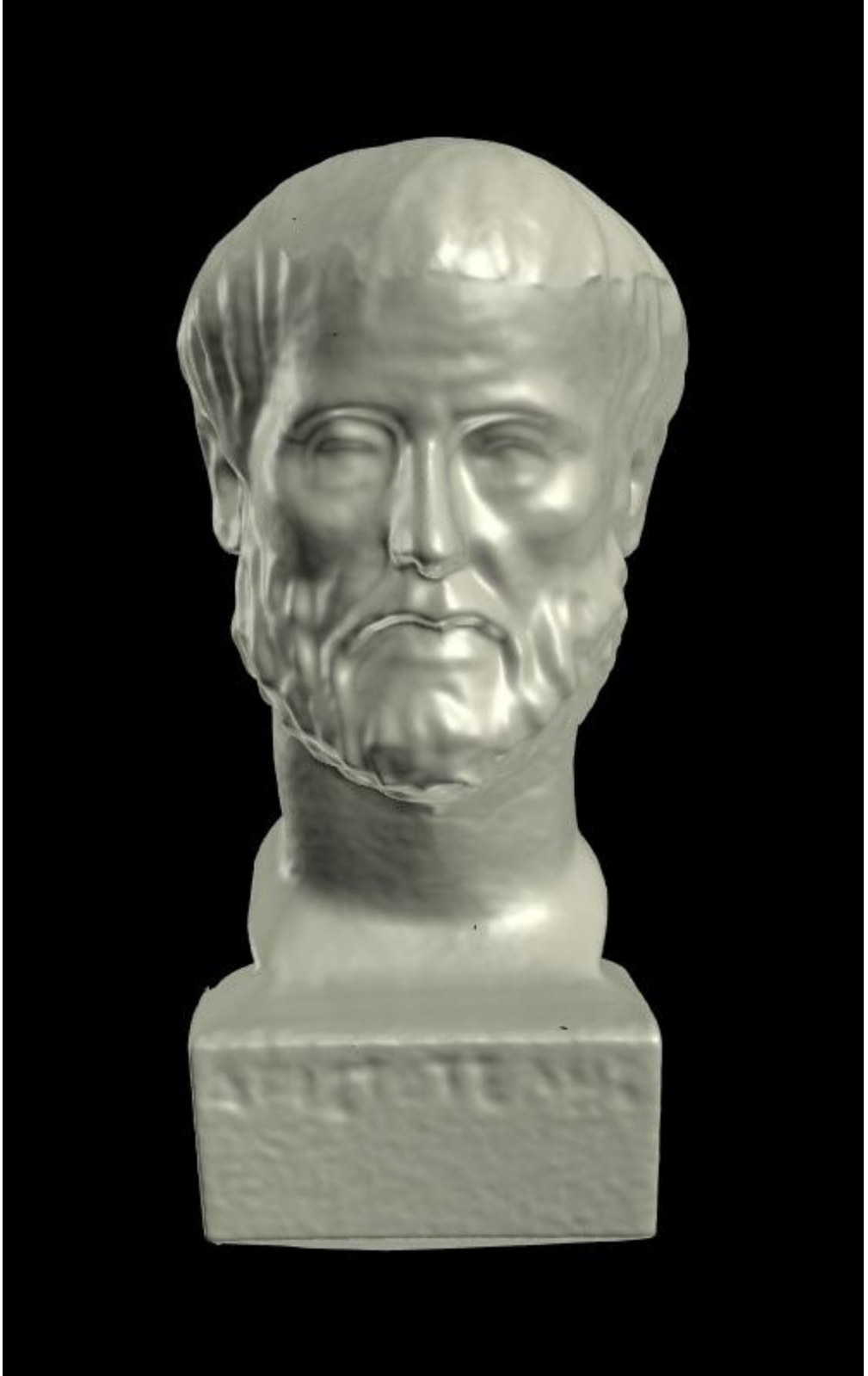
- [12] <<http://www.defnemuihendislik.com/tr/hakkimizda/teknik-yazi-ve-makaleler/22-izmir-ataturk-mask-projesi.html>>, alındığı tarih 10.04.2011.
- [13] **Winkelbach, S., Molkenstruck, S., Wahl, F. M.**, 2006: Low-Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach. DAGM 2006. LNCS 4174. Springer Berlin Heidelberg: 718-728.
- [14] **Zagorchev L., Goshtasby A.A.**, 2006: A Paint-Brush Laser Range Scanner, Computer Science and Engineering Department, Wright State University, Dayton, OH.
- [15] **Akyol O., Duran Z., Aydar U.**, 2011: Düşük Maliyetli Optik Tarayıcı Sistem Tasarım Örneği, TUFUAB 2011, Antalya, 23.02.2011-26.02.2011.
- [16] **Gangal S., Raje S.**, The Hawkeye Technology, Computer Science and Engineering (CSE) Department, Indian Institute of Technology, Bombay.
- [17] <http://www.dpreview.com/products/canon/slrs/canon_eos60d/>, alındığı tarih 20.04.2011.
- [18] <<http://www.photomodeler.com/>>, alındığı tarih 22.04.2011.
- [19] <<http://www.maxi3d.net/autocad/autocad-nedir.html/>>, alındığı tarih 22.04.2011.
- [20] <<http://www.defnemuihendislik.com/en/about-us/technical-articles/8-geriye-donuk-tersine-muhendislik-ve-rapidform.html>>, alındığı tarih 22.04.2011.

EKLER

EK A.1 : Şekiller

EK A.2 : Lazer Hareket Mekanizmasına Ait Kaynak Kodları

EK A.1



Şekil A.1 : Aristoteles Büstünün Katı Modeli (a).



Şekil A.2 : Aristoteles Büstünün Katı Modeli (b).



Şekil A.3 : Aristoteles Büstünün Katı Modeli (c).



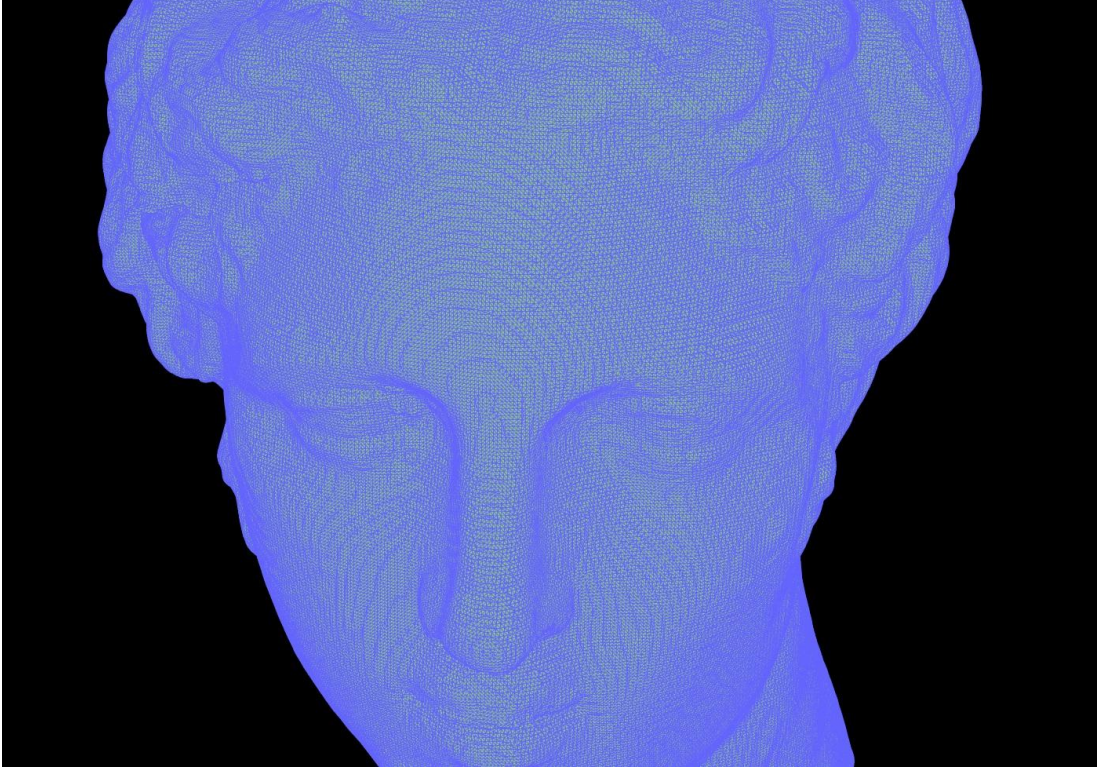
Şekil A.4 : Afrodit Büstünün Katı Modeli (a).



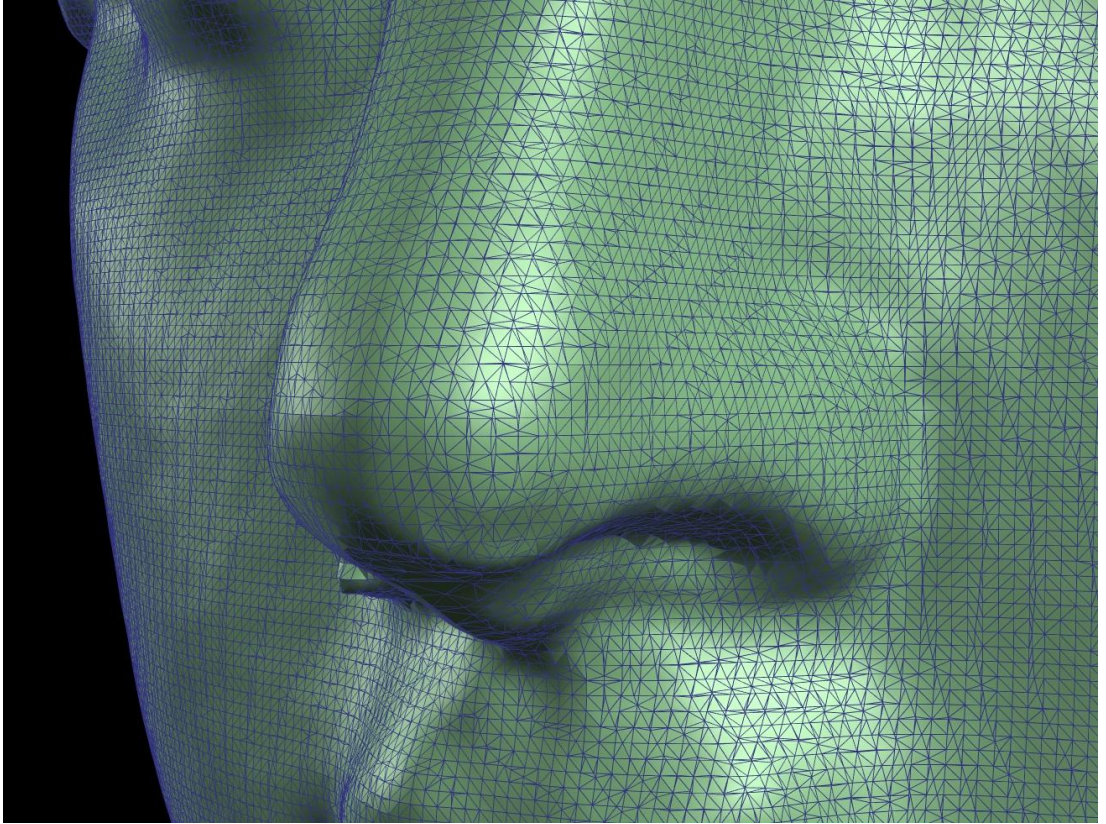
Şekil A.5 : Afrodit Büstünün Katı Modeli (b).



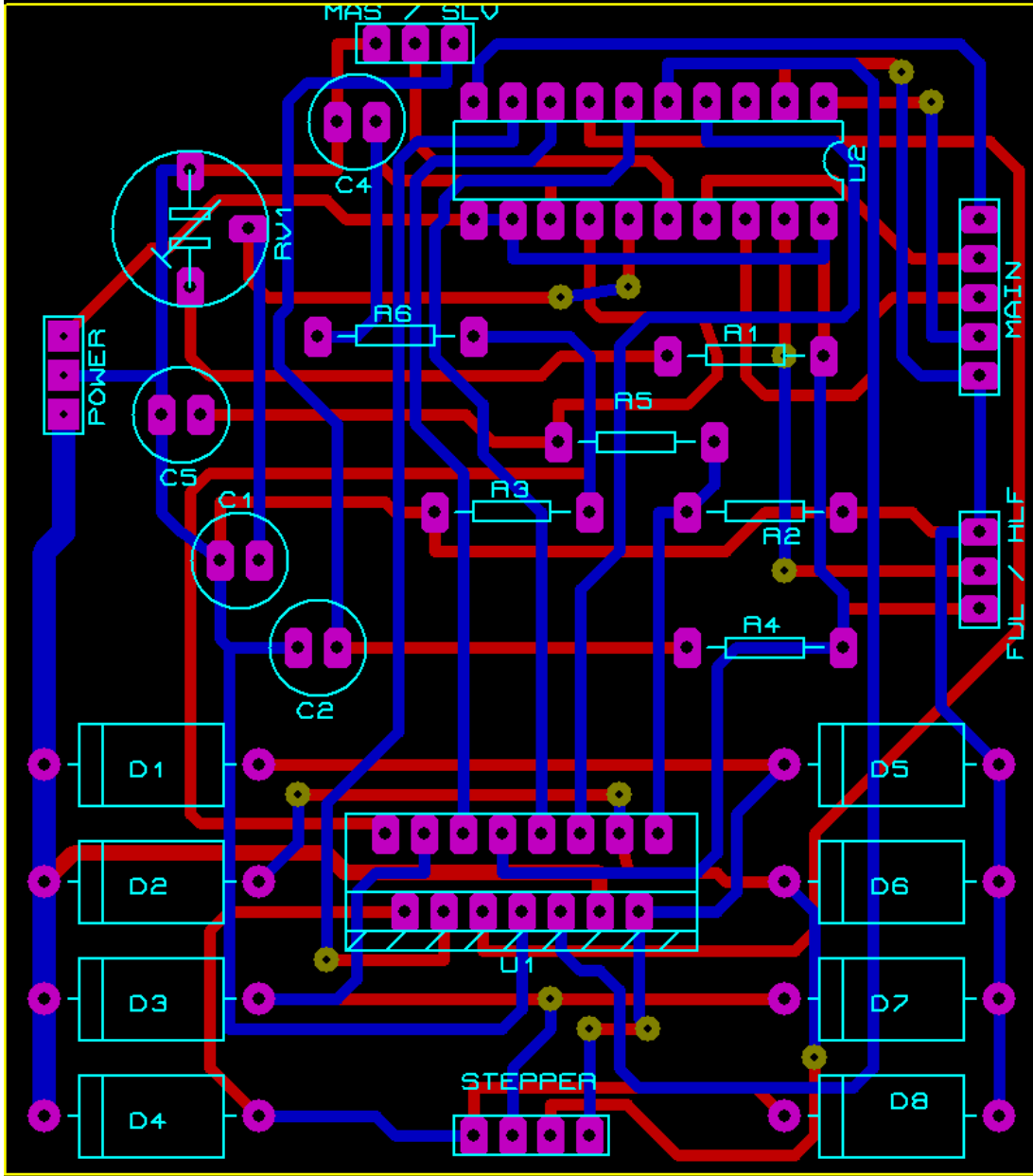
Şekil A.6 : Afrodite Büstünün Katı Modeli (c).



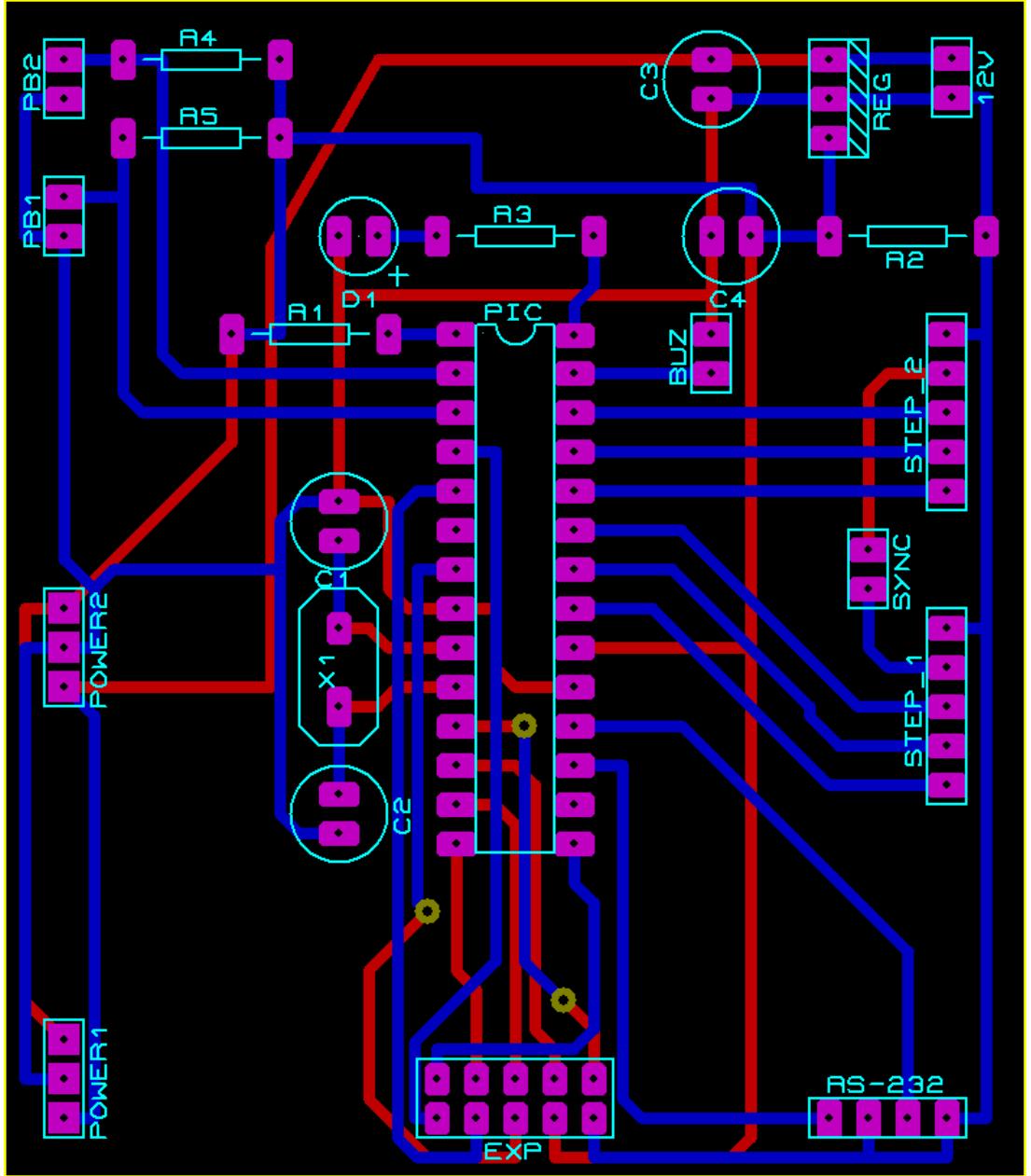
Şekil A.7 : Afrodit Modelinin Üçgenlenmiş Yüzey Verisi (a).



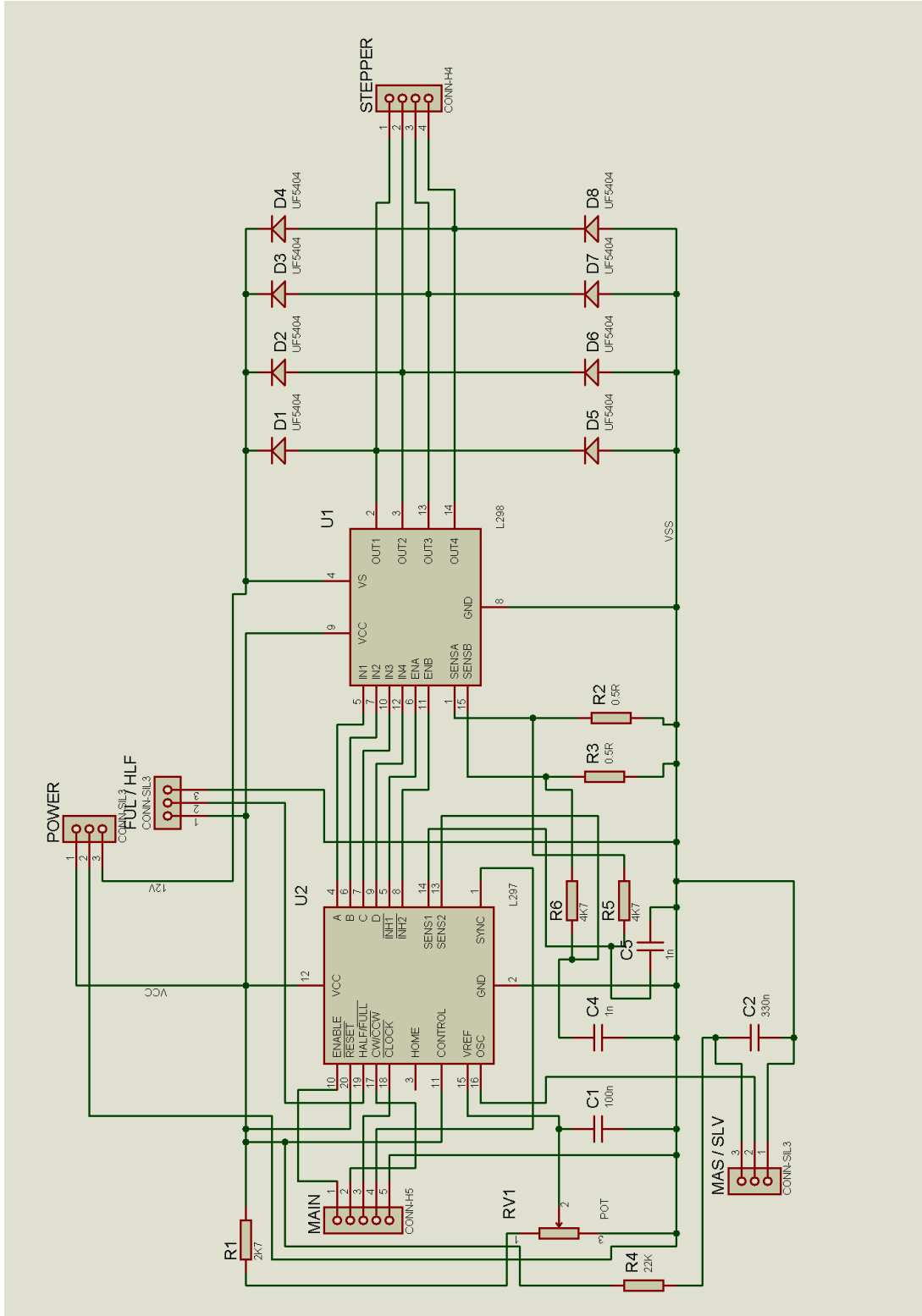
Şekil A.8 : Afrodit Modelinin Üçgenlenmiş Detay Verisi.



Şekil A.9 : Step Motor Kontrol Kartı Baskı Devresi.



Şekil A.10 : Ana Kart Baskı Devresi.



Şekil A.11 : Step Motor Kontrol Kartı Devre Şeması.

EK A.2

```
#include <pic.h>
#include <delay.h>

__CONFIG(0x3F72);

#define Stepper_1_Enable RB0
#define Stepper_1_CCW RB1
#define Stepper_1_Clock RB2

#define Stepper_2_Enable RB3
#define Stepper_2_CCW RB4
#define Stepper_2_Clock RB5

#define Button_1 RA0
#define Button_2 RA1

#define BUZ RB6 // Ses
#define LED RB7 // LED

#define on 1
#define off 0

void setup(void);
void tone(unsigned int note, unsigned int dura);
void interrupt stepper(void);

void main()
{
    int t;

    setup();

    for(t=0;t<3;++t)
    {
        LED ^= on;
        tone(1,60);
        tone(2,40);
        tone(3,20);
    }

    while(1)
    {

        if(!Button_1)
        {
            tone(1,100);
            Stepper_2_Enable ^= on;
```

```

}

if(!Button_2)
{
tone(3,33);
Stepper_2_CCW ^= on;
}
}
}

void setup(void) // PIC ayarlari
{
ADCON1 = 0x07;
ADCON0 = 0x00;
CCP1CON = 0x00;
INTCON = 0x00;
CMCON = 0x07;

TRISA = 0x03;
PORTA = 0x00;
TRISB = 0x00;
PORTB = 0x00;
TRISC = 0x01;
PORTC = 0x00;

T0CS = 0; // İç saati seç
T0SE = 0; // Kaynak kenari -> low / high
PSA = 0; // TMR0'i seç
PS0 = 1; // Prescaler -> 1:256
PS1 = 1;
PS2 = 1;

TMR0 = 0x00; // 0x9E -> (4/20) x (255-158) x 256 = 5ms (200Hz)
T0IE = 1; // TMR0 kesmesini aç
T0IF = 0; // Tasma bayragini temizle

ei(); // Global kesmeleri aç
}

void tone(unsigned int note, unsigned int dura) // Ses fonksiyonu
{
int j;

for(j = 0; j < dura; ++j)
{
BUZ = BUZ ^ on;
DelayMs(note);
}
}

```

```

void interrupt stepper(void) // Stepper motor darbe kaynagi
{
//volatile unsigned int counter;

/*if(counter == 5)
{*/
Stepper_1_Clock ^= on;
Stepper_2_Clock ^= on;
/*counter = 0;
}*/

T0IF = 0; // Tasma bayragini temizle
T0IE = 1; // TMR0 kesmesini aç
TMR0=0x00;
//counter++;
}

*/

#ifndef __DELAY_C
#define __DELAY_C

#include <pic.h>
#include <always.h>

unsigned char delayus_variable;

#include<delay.h>

void DelayBigUs(unsigned int cnt)
{
unsigned chari;

i = (unsigned char)(cnt>>8);
while(i>=1)
{
i--;
DelayUs(253);
CLRWDI();
}
DelayUs((unsigned char)(cnt & 0xFF));
}

void DelayMs(unsigned char cnt)
{
unsigned chari;
do {
i = 4;
do {

```

```

DelayUs(250);
CLRWDTC();
} while(--i);
} while(--cnt);
}

//this copy is for the interrupt function
void DelayMs_interrupt(unsigned char cnt)
{
    unsigned char i;
    do {
        i = 4;
        do {
            DelayUs(250);
        } while(--i);
    } while(--cnt);
}

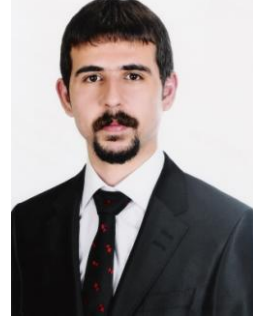
void DelayBigMs(unsigned int cnt)
{
    unsigned char i;
    do {
        i = 4;
        do {
            DelayUs(250);
            CLRWDTC();
        } while(--i);
    } while(--cnt);
}

void DelayS(unsigned char cnt)
{
    unsigned char i;
    do {
        i = 4;
        do {
            DelayMs(250);
            CLRWDTC();
        } while(--i);
    } while(--cnt);
}

#endif

```

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Onur AKYOL

Doğum Yeri ve Tarihi: Bolu, 25.10.1984

Adres: TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü P.K.21 41470
Gebze/Kocaeli

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi