

168397

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

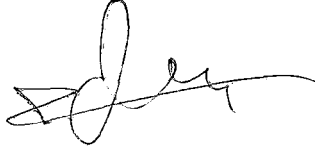
**YERSEL LASER TARAMA
ve
FOTOGRAMETRİNİN BİRLİKTE KULLANILMASI**

Jeo.ve Fotog. Müh. Nusret DEMİR

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programında Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

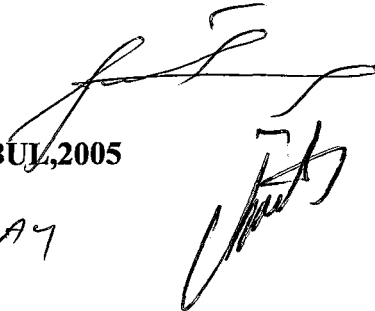
Tez Danışmanı: Prof.Dr.Zübeyde ALKIŞ

Prof. Dr. Zübeyde ALKIŞ 

Prof. Dr. Gönül TOZ

İSTANBUL, 2005

Doç. Dr. Mehmet GEMİCİ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ	x
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. NESNE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ.....	5
2.1 Nesne Üzerinde Ölçümlere Dyanan Sstemler	5
2.2 Ölçüm Kullanmayan Sistemler	6
2.3 Fotogrametri	6
2.4 Fotogrametride Stratejiler:	8
2.4.1 Tek resim değerlendirme:	8
2.4.2 İç ve Dış Yöneltilme Elemanlarının Bilinmesi Durumu:	8
2.4.3 Kamera parametrelerinin Bilinmemesi Durumu:	9
2.4.4 Çift Resim Değerlendirmesi(Stereodeğerlendirme):.....	10
3. YERSEL LASER TARAYICILAR:.....	11
3.1 Çalışma İlkesi.....	13
3.1.1 Laser ışınının gidiş geliş zamanıyla işlem yapan tarayıcılar:.....	13
3.1.2 Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapanlar:	13
3.1.3 Triangulasyon Tarayıcıları:	13
3.1.3.1 Tek Kamera Çözümü:	13
3.1.3.2 İki Kameralı Sistem:	14
3.2 Tarayıcıların Genel Özellikleri:	14
3.2.1 Genel:	14
3.2.2 Hız:	14
3.2.3 Çözünürlük ve Işın Boyutu:	14
3.2.4 Alım Uzaklığı Sınırlamaları ve Radyasyon Etkisi:	14
3.2.5 Görüş Alanı:	15
3.2.6 Kayıt Araçları:.....	15
3.2.7 Kameralar:	15
3.2.8 Taşıma Kolaylığı:	15
3.2.9 Tarayıcılar Arasında Temel Yapısal Farklılıklar:	16
3.3 Tarayıcı Bileşenleri:	16
3.4 Çeşitli Sistemler:	17

4.	3B TARAYICI YAZILIMLARI:.....	19
4.1	Tarayıcı Kontrol Yazılımı:.....	20
4.1.1	Tarama Penceresi ve Tarama Çözünürlüğü	20
4.1.2	Tarama Yaparken Görselleştirme ve Kayıt işlemi:.....	20
4.2	Nokta Kümesi İşleme Yazılımı:.....	20
4.2.1	Görselleştirme:	20
4.2.2	Nokta Kümelerinden Veri Ayıklama	21
4.2.3	Veri Filtreleme ve Nokta Azaltma:	22
4.2.4	Bütünleştirme(Nokta Kaydı):.....	22
4.2.5	Bütünleştirilmiş Nokta Kümelerinden Veri Temizleme:	23
4.2.6	Bütünleştirme İşleminden Sonra Nokta İnceltme:	23
4.2.7	Nokta Kümelerinden Basit Çizimler Oluşturma:	23
4.3	Basit Geometrik Şekillere Dönüştürme Yazılımı:	24
4.4	Karmaşık Yüzey Modelleri Oluşturmak İçin Yazılım:.....	25
4.4.1	Yüzey Ağı Oluşturma:	25
4.4.2	Nokta İnceltme:	25
4.4.3	Uygulama ve Performans:.....	26
4.4.4	Kenarlar:.....	27
4.4.5	Düzenleme:	27
4.4.6	Performans:	27
4.5	NURBS Modelleme	27
4.6	Doku ve Görüntü Eklenmesi(Texture mapping):.....	27
4.6.1	Doku Eklenmesi:	27
4.6.2	Tarama Verisinden Görüntü Bilgisinin Eklenmesi:	28
4.6.3	Bağımsız Kameralardan Görüntü Bilgisinin Eklenmesi:	28
4.6.4	Görüntü İzdüşürme Yöntemi ve Mozaikleme:.....	28
4.7	Veri ve Proje Yönetimi Yazılımı:	28
4.7.1	Veri Kalitesinin Geliştirilmesi:	29
4.7.2	Verinin Kaydedilmesi:	30
4.7.3	Oluşan Dosya Biçimi	30
4.7.4	Veri İzleme ve Kalite Kontrol:.....	30
4.7.5	Veri Aktarma ve Dışarı Veri Sağlama :	30
4.8	Çeşitli Yazılım Ürünleri:.....	31
5.	TARAMA İŞLEMİ	33
5.1	Veri Kaydı ve Bütünleştirmeye Uygulama Örneği:.....	35
6.	LASER İLE MODELLEME:.....	40
6.1	Laser Verilerinden İki Boyutlu Çizimler Elde Etme:	43
6.1.1	Cloudworks ile İki Boyutlu Çizim Gerçekleştirme:.....	43
6.1.2	Cyclone Yazılımıyla İki Boyutlu Çizimlerin Gerçekleştirilmesi:.....	46
7.	LASER TARAMA TEKNOLOJİSİ VE FOTOGRAMETRİNİN BERABER KULLANILMASINA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR:	49
7.1	Yoğunluk Verisi İçeren Seçilen Laser Noktaları Yardımıyla Görüntülerin Işın Desteleri Yöntemine Göre Dengelenmesi.....	49
7.1.1	Fotogrametride Işın Desteleri Yöntemiyle Dengeleme.....	49
7.1.2	Işın Desteleri Yöntemiyle Görüntülerin Dengelenmesinde Laser noktalarının Kontrol Noktaları Olarak Kullanılması.....	55

7.2	Laser Verileri ile Oluşturulan Modellerde Meydana Gelen Boşlukların Fotogrametrik Veriyle Doldurulması.....	73
7.2.1	Samarrina Kilisesi Doğu Cephesi Üzerinde Uygulama.....	73
7.3	Samarrina Kilisesi Çan Kulesinin Laser Verileri ile Modellenmesinde Fotogrametri ve CAD Ortamından Yararlanılması.....	77
8.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	86
KAYNAKLAR		88
EKLER.....		91
ÖZGEÇMİŞ		92



SİMGE LİSTESİ

Ω	Fotoğrafın x eksenine göre dönüklük açısı
Φ	Fotoğrafın y eksenine göre dönüklük açısı
K	Fotoğrafın z eksenine göre dönüklük açısı
f	Odak uzaklığı
a	Dönüşüm katsayısı
ζ	Görüntü ve nesne arasındaki ilişki katsayısı
η	Görüntü ve nesne arasındaki ilişki katsayısı
R	Dönüşüm matrisi



KISALTMA LİSTESİ

LIDAR	Light Detection And Ranging
CAD	Computer Aided Design
3B	3 Boyutlu
NURBS	Nonuniform Rational B-Splines
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
DXF	Data eXchange Format
VRML	Virtual Reality Modeling Language



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Modelleme teknikleri(Guarnieri, 2004).....	6
Şekil 2.2. Tek resim değerlendirmesi (Guarnieri, 2004).....	8
Şekil 2.3. Orjinal fotoğraf ve yöneltilmiş ortofoto (Guarnieri, 2004).....	9
Şekil 4.1. Yoğunluk verisi içeren laser noktaları	21
Şekil 4.2. Modelleme yazılımında nokta azaltma işlemi ve pürüzsüzlük derecesi ayarı.....	22
Şekil 4.3. Veri kaydı ve bütünleştirmeye tabi tutulmamış iki ayrı laser nokta kümesi	23
Şekil 4.4. Kayıt Edilmiş ve Bütünleştirilmiş Laser Noktaları.....	23
Şekil 4.5. Microstation Cloudworks modülünde çizim oluşturma.....	24
Şekil 4.6. Microstation Cloudworks yazılımında basit geometrik şekillere dönüştürme	25
Şekil 4.7. Yüzey Ağı Oluşturulmuş Laser Nokta Verisi.....	25
Şekil 4.8. Modelde Yumuşatma.....	26
Şekil 5.1. Tarama işleminde koordinat sistemi (Bornaz,2002).....	33
Şekil 5.2. Kameradan elde edilmiş yansıma yoğunluğu verisi içeren laser nokta kümesi	34
Şekil 5.3.Cyclone yazılımı genel kullanım penceresi	36
Şekil 5.4. Veri kaydı ve bütünleştirme işlemi.....	37
Şekil 5.5. Kaydedilmiş ve bütünleştirilmiş laser nokta kümesi	38
Şekil 5.6. Tarama işlemlerinin sınıflandırılması.....	38
Şekil 5.7. İç tarama verilerinin bütünleştirilmesi.....	39
Şekil 6.1. ASCII Biçiminde laser nokta verisinin Geomagic yazılımında açılması.	40
Şekil 6.2. Samarrina Kilisesi Doğu Cephesi laser nokta kümesi.	41
Şekil 6.3. Gürültülü model	42
Şekil 6.5. Cloudworks Modülünün çalıştırılması.....	44
Şekil 6.6. Cloudworks Menüsü	44
Şekil 6.6. Cloudworks Modülü Menüsü	45
Şekil 6.7.Cloudwork ile laser verilerinden oluşturulan çizim.....	46
Şekil 6.8.Noktaların seçilip doğru haline getirilmesi.....	47
Şekil 6.9.Noktaların seçilip yay haline getirilmesi	47
Şekil 6.10.Cyclone yazılımı ile elde edilen çizim.....	48
Şekil 7.1.Işın desteleri yöntemi (Guarnieri, 2004).....	49
Şekil 7.2.Kolinearite koşulu (Altan)	51
Şekil 7.3.Işın destelerinin optimal gösterimi (Altan).....	52
Şekil 7.4. Uygulamanın yapıldığı bina girişi	56
Şekil 7.7. Sol yönden taranmış laser nokta kümesi ve işaretlenen kontrol noktaları.....	60
Şekil 7.7. Sağ yönden taranmış laser nokta kümesi ve işaretlenen kontrol noktaları	61
Şekil 7.8. Sağ ve Sol Laser Nokta Kümelerinin Kayıt ve Bütünleştirme İşlemi	61
Şekil 7.9. Kayıt işlemi ekranı.....	62
Şekil 7.10. Kayıt ve bütünleştirme işleminden sonra laser nokta kümesi.....	62
Şekil 7.12. Görüntülerin yazılımda açılması.....	63
Şekil 7.13.BASTA Yazılımında kamera parametreleri ekranı	64
Şekil 7.14.Kontrol noktalarının yazılıma dahil edilmesi	64
Şekil 7.15.Görüntü duyarlılıkları ekranı	65
Şekil 7.16.BASTA Yazılımında kullanılan görüntüler.....	66
Şekil 7.17.Kontrol noktalarının işaretlenmesi.....	67
Şekil 7.18.Bağlama noktalarının işaretlenmesi.....	67
Şekil 7.19. Modellemede boşluk doldurma çeşitleri.....	73
Şekil 7.20 Photomodeller Yazılımıyla elde edilen model (Katopodi,2005)	74
Şekil 7.21. Boşluk olan kısımların fotogrametrik veriyle kapatılmalarının gösterimi.....	75
Şekil 7.22.İki Modelin üstüste çakıştırılmasıyla meydana gelen Bboşlukların giderilmesi.	76

Şekil 7.23.Fotogrametriyle elde edilen modelin .dxf dosya biçiminde CAD yazılımında açılması.....	77
Şekil 7.24. Modelin nokta olarak aktarımı.....	77
Şekil 7.25.dxf dosya Biçimindeki modelin dışarıya nokta verisi olarak aktarımı.	78
Şekil 7.26.Cyclone Yazılımında laser noktalarının ve modelden sağlanan noktaların kayıt işlemine aktarılması.....	78
Şekil 7.27.Verii kaydı ve bütünleştirme işlemi.....	79
Şekil 7.28. Modelleme yazılımında açılan koordinat sistemi dönüştürülmüş nokta kümesi.	79
Şekil 7.29. Modelleme yazılımında oluşturulan ilk model.	80
Şekil 7.30. Gürültü giderme işlemi yapıldıktan sonra.	80
Şekil 7.31. Modelin yukardan görünümü.....	81
Şekil 7.32.Çatı kısmının silinmesi.	81
Şekil 7.33.Yüzeydeki oluşan diğer boşluklar.....	82
Şekil 7.34. Fotogrametrik yöntemle elde edilen model.	82
Şekil 7.35. Cyclone yazılımında oluşturulan yarım silindir.....	83
Şekil 7.36.CAD yazılımında tüm boşluklar için silindir nesnesinin kopyalanması.....	84
Şekil 7.37.Silindirlerin oluşturulan modele eklenmesi	84
Şekil 7.38.Laser ve fotogrametrik modelin birlikte kullanımıyla boşlukları doldurulmuş model	85



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1.Çeşitli Laser Tarayıcı Sistemleri.....	17
Çizelge 4.1.Çeşitli yazılım ürünleri	31
Çizelge 7.1Total stationla elde edilen koordinatlar	57
Çizelge 7.2. Yaklaşık görüntü koordinatları ve dönüklük açıları değerleri	65
Çizelge 7.4. Aynı noktaların ışın desteleri ve laserden elde edilmesiyle çıkan sonuçların karşılaştırılması	68
Çizelge 7.5 Bağlama noktalarının koordinatlarının ortalama hatası.....	72



ÖNSÖZ

Bu çalışmada oldukça yeni bir teknoloji olan Laser Tarama Teknolojisi incelenmiş olup fotogrametri ile birlikte kullanımı ile ilgili sonuçlar içermektedir.

Bunlardan ilki fotogrametride laser tarama teknolojisinin kullanımına ilişkin olarak amatör kameradan elde edilen görüntülerin, yoğunluk verisi içeren laser nokta kümelerinden seçilmiş noktalar ile dengelenmesi ışın desteleri yöntemine göre gerçekleştirilmiştir.

İkinci ele alınan konu ise laser tarama teknolojisinde fotogrametriden yararlanma konusu üzerine odaklanılmıştır. Bunun için laser tarama ile elde edilen modelde meydana gelen boşluk hatalarının fotogrametriden elde edilen model ile doldurulması konusu ele alınmıştır.

Bu çalışmalar Atina Ulusal Teknik Üniversitesi(National Technical University of Athens-Politechniou) Topoğrafya Bölümü'nde gerçekleştirilmiş olup Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Hazırladığım bu çalışmada bana her zaman yol gösteren danışmanım sayın Prof.Dr.Zübeyde ALKIŞ'A, Atina'da bana her türlü imkanı seferber eden sayın Dr.Maria TSAKİRİ' ye, çalışmalarında büyük yardımlarını gördüğüm Prof.Dr.George KARRAS'a , Lazaros GRAMMATİKOPOLOUS, Ilias KALİSPERAKIS, Babis IONNIDIS, Sofia SOLİE' ye , Yrd.Doç.Dr. Bülent BAYRAM'a;

Yunanistan'da bulunduğum 9 aylık süre içerisinde her zaman yanımda olan arkadaşlarım Barış EMRE, Filippos GRITZIOTIS, Zeynep GRITZIOTIS, Pol Kolokoussis, Artemis VALANIS, Georgia Kalou, Gül ERESİN'e ve Atina'da yardımlarını gördüğüm diğer arkadaşlarıma;

Çalışmamı Atina'da yapmamı sağlayan Yunanistan Hükümeti ve T.C.Milli Eğitim Bakanlığı'na;

destekleri için İstanbul'da anabilim dalında bulunan dostlarıma, hocalarıma;

yakın arkadaşlarım M.Serkan KOCAMAN'a, Gürsel ÇOBAN, Tansu TOSUN'a;

moral kaynağım Zülal KUMPAS'a ve herkoşulda hep yanımda olan aileme teşekkürü borç bilirim.

Arş.Gör.Nusret DEMİR

Jeodezi ve Fotogrametri&Endüstri

Mühendisi

ÖZET

Fotogrametri nesnelerin üç boyutlu olarak modellenmesi için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Laser tarayıcı teknolojisi de son yıllarda nesnelerin üç boyutlu modellemesi için alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır.

Laser teknolojisinde nesne, yansıma yoğunluğu verisi içeren üç boyutlu nokta kümesi olarak elde edilir, kayıt, bütünleştirme işlemlerinden sonra model oluşturulmaktadır. Piyasada pek çok laser tarayıcı sistemleri ve nokta kümelerini işlemede kullanılan yazılımlar bulunmaktadır.

İlk bölümde fotogrametri ve laser tarama yöntemi açıklanmış, uygulamada belirlenen amaç belirtilmiştir. İkinci bölümde nesne ölçüm teknikleri açıklanmış, üçüncü bölümde yersel laser tarayıcıların genel özellikleri belirtilmiştir. Dördüncü bölümde laser tarama yönteminde kullanılan yazılımlar, beşinci bölümde tarama işlemi ,altıncı bölümde laser ile modelleme konuları teorik ve uygulama örneklili olarak açıklanmıştır.

Uygulama olarak iki ayrı konu ele alınmış olup birincisi ışın desteleri yoluyla görüntülerin dengelenmesinde laser noktalarından yararlanma ve diğeri laser noktalarından elde edilen modelin hatalarının fotogrametri ile giderilmesi gerçekleştirilmiştir. Işın desteleri yoluyla dengeleme uygulaması Ulusal Teknik Üniversitesi kantin girişı örneğı üzerinde, laser noktalarından elde edilen model ile ilgili uygulama ise Yunanistan'da bulunan Bizans dönemine ait Samarrina Kilisesi örneğı üzerinde açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Fotogrametri, Yersel Fotogrametri, Laser Tarayıcı, 3B Modelleme, Işın Desteleri

ABSTRACT

Photogrammetry is a method that frequently used for 3D modelling for objects and laser scanning method is come out as an alternative method for modelling in last years.

For laser scanning system, objects are get as 3D point clouds those have intensity data and after registration process, 3D model can be done. There are so many laser scanning systems and modelling software in the market.

In first section, general characteristics of photogrammetry and laser scanning method have been explained and in the second section measurment technics of object has been discuss. In third section close range laser scanner systems and in forth section laser scanner software have been explained. In fifth section scanning process and in sixth section modelling by laser points have been discussed.

For the application section, we took up two topics. First, bundle adjustment of close range images by using laser points as control points. We did this application on canteen entry of National Technical University of Athens .And other topic is filling holes for models those have been done by laser method by photogrammetric model.

Keywords: Photogrammetry, Terrestrial Photogrammetry, Laser Scanner, 3D Modelling, Bundle, Filling holes

1. GİRİŞ

Fotogrametri yıllar boyu görüntüler yardımıyla nesnelerin üç boyutlu modellenmesi için uygulanan bir teknik olmuştur. Fotogrametri çok uzun yıllardan beri analog ve sayısal yöntemlerle elde edilen görüntülerden özellikle son yıllarda geliştirilen sayısal değerlendirme sistemleri yardımıyla nesnelerin üç boyutlu modellenmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde ise kullanıma giren laser tarama teknolojisi pek çok ölçme uygulaması için umut verici bir alternatif olarak görünmektedir. Uçaktan ve yerden laser tarama teknolojisi çok büyük miktarda üç boyut verisini çok hızlı elde etmekte ve nesnelerin görüntüleriyle bütünleştirilerek bir gösterim sağlamaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı mekansal nesnelerin, görüntüleme tekniklerine göre daha gerçeğe yakın bir gösterim elde etmesidir. Bu elde edilen modeller, tarihi miras, endüstriyel, toprak yönetimi ve tıp uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kültürel mirasın belgelendirilmesi konusunda, üç boyutlu modeller görselleştirme için çok önemli araç olmaktadır.(El-Hakim,2001)

Laser teknolojisi ile elde edilen modeller gerçek modellerin gerçek dünyayla, örneğin sanal müze gibi uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde, laser tarayıcı temelli üç boyutlu modeller hem eğlence hem de bilimsel araştırmalarda sıklıkla yer bulmuşlardır. Bilimsel araştırmalarda ana konu nesnenin şekil kompleksliği ve boyutu önemli olmaktadır.

Laser İngilizce; Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (uyarılmış ışın salınımıyla ışığın kuvvetlendirilmesi) cümlesindeki kelimelerin baş harflerinin alınmasından türetilmiş bir kelimedir.

1960 senesinde ABD’de Theodore H. Maiman tarafından keşfedilmiştir. Normal ışık, dalga boyları muhtelif, rengarenk, yani farklı faz ve frekansa sahip dalgalardan meydana gelir. Laser ışığı ise yüksek genlikli, aynı fazda, birbirine paralel, tek renkli, hemen hemen aynı frekanslı dalgalardan ibarettir. Optik frekans bölgesi yaklaşık olarak bir trilyon hertz ile üç bin trilyon hertz arasında yer alır. Bu bölge, kızıl ötesi ışınları, görülebilen ışınları ve elektromanyetik spektrumun morötesi ışınlarını kapsar. Buna karşılık mikro dalga frekans bölgesi yaklaşık olarak 300 milyon Hz’den 300 milyar Hz’e kadar uzanır. Yani, laser çok yüksek frekanslarda çalışır.

Laserin önemi uygulamasının yaygın olmasında ve onun daha da genişlemesinin beklenmesinde yatmaktadır. Özellikle uygulamanın genişliği, ışınların frekansların hassas bir şekilde kontrolünden, yayılan ışının yayılma düzeninden veya ışınların olağanüstü yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Laser dolayısıyla, holografide, opektraskopide çok

önemli gelişmeler ortaya çıkmıştır. Bunlar yoluyla laser diğer bilimsel ve teknolojik alanlarda da etkisini göstermektedir. Laser konusunda yapılan bu incelemeler, nesnelerin modellenmesi ve 3 boyutlu olarak elde edilmesi konusunda da laser tarayıcıların uygulanabilirliğini ortaya çıkarmışlardır.

Laser tarayıcı teknolojisiyle ilgili pek çok yayında belirtildiği gibi bazı geometrik konular henüz çözülememiştir. Üç boyutlu model ve genel olarak sanal gerçeklik uygulamaları olmak üzere pek çok çalışma yapılmış ve bu oluşturulan modellerde bir takım hatalar ortaya çıkmakta ve bunların giderilmesi araştırma konusu olmaktadır.

Ayrıca yıllardan beri fotogrametrinin modelleme konusunda kullanılan üstün bir teknik olmasından dolayı, laser tarama teknolojisinde de fotogrametriden yararlanma olanakları araştırılmıştır.

Yersel Fotogrametri, yıllardır nesnelerin modellenmesi konusunda önemli bir araç olmuştur. Buna karşılık laser tarayıcı tekniği oldukça yeni bir tekniktir. Hangi yöntemin amacı kullanılacağı tartışma konusu olmuş ve iki yöntemin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. (Vozikis,2004)

Laser tarayıcıların birbirlerine göre farklılıkları aşağıda belirtilen özelliklere göre ele alınmaktadır:

- Tarama görüşü alanının büyüklüğü
- Sistemin oynayabilirliği (dönen veya süpürme hareketi yapan aynalar)
- Diğer sistemlerle entegrasyon ya da sistemle bütünleşik olmaları
- Vs.(Schulz, 2004)

Laser tarayıcı çalışmaya başladığı zaman bir referans koordinat sisteminde nesne üzerinde elde edilen noktalarla laser tarayıcı yazılımları kullanılarak üç boyutlu model oluşturulmakta ve istenen dosya biçiminde kayıt edilebilmektedir. (Bornaz, 2002)

Laser tarayıcıların fotogrametriyle karşılaştırıldığı zaman bazı avantajlardan sözedilebilir:

- Üç boyutlu noktaların doğrudan elde edilebilmesi
- Bu sistemler bir yüzeyi çok fazla sayıda üç boyutlu nokta olarak gösterilebilmesi.
- Düzensiz yüzeyler için mükemmel bir teknik
- Çok kısa zamanda sonuçların elde edilebilmesi

Diğer yandan fotogrametrinin laser tarayıcı tekniğine göre avantajlarını sayarsak:

- Nesnenin verisini elde etme zamanı sadece görüntü elde etmekle sınırlı olduğundan çok kısa
- Yüksek çözünürlük
- Maliyet az
- Eski görüntülerin kullanılarak model etme özelliği(Wehr, 1999)

Bu çalışmayla Fotogrametri ve laser tarayıcı sisteminin birlikte kullanımına ilişkin konular ele alınmış olup,

- fotogrametrik bir işlem olan ışın desteleri yönteminde laser tarayıcı sisteminden yararlanılması,
- laser tarayıcıdan elde edilen modelde fotogrametriden yararlanılması olarak amaçlanmıştır.

Bu çalışmada ikinci bölümde nesne ölçüm teknikleri ve burada laser tarama yöntemi ve fotogrametrinin, bu tekniklerdeki yeri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde yersel laser tarayıcıların genel özellikleri, dördüncü bölümde laser tarama sistemleri için kullanılan yazılımlar, beşinci bölümde tarama işlemi, altıncı bölümde laser ile modelleme ile iki boyutlu çizimler gerçekleştirme konuları, yedinci ve son bölümde de bir fotogrametri uygulamasında laser tarama yönteminden ve bir laser tarama uygulamasında fotogrametriden yararlanılması gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi laser verilerinden elde edilen bir modelde meydana gelen boşluk hatalarının fotogrametriden elde edilen model yardımıyla ortadan kaldırılması; ikinci olarak da fotogrametride çok kullanım alanı bulunan ışın desteleri yoluyla görüntülerin dengelenmesi konusunda laser tarama teknolojisinden yararlanma olanaklarına değinilmiştir.



2. NESNE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Üç boyutlu model elde etme tekniği iki ana kısımda incelenmektedir:

- Nesne üzerinde ölçümlere dayanan sistemler
- Ölçüm kullanmayan sistemler (Guarnieri, 2004)

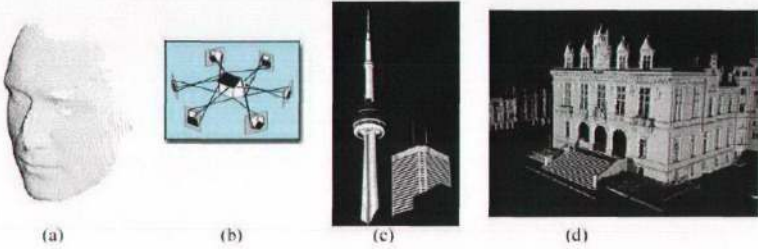
2.1 Nesne Üzerinde Ölçümlere Dayanan Sistemler

Bu teknikler iki ana kategoride incelenmektedir.

- Aktif algılayıcı kullanan sistemler. Yıllardır nesne ölçümleri için yapısal ışın (Maas,1992)(Gartner ,1995)(Sablatnig 1995),kodlanmış ışın(Wahl,1984) ve laser ışını(Sequeira ,1999) kullanılmaktadır. Günümüzde triangulasyon bazlı, ışının gidiş dönüş zamanını kullanan, devamlı dalga veya yansıma ölçümü gibi pek çok ticari çözüm bulunmaktadır.
- Pasif algılayıcı metodlar: Bu tekniklerde üç boyutlu nesne bilgisi için iki boyutlu görüntü kullanılmaktadır veya üç boyutlu verinin yerine gölgelendirmeden şekle, dokudan şekle, speculariteden şekle, dış hatlardan şekle gibi yüzey normallerini hesaplamaktadırlar

Pasif görüntü bazlı yöntemler tek veya çoklu istasyonlardan üç boyut ölçümlerini sağlamaktadırlar, projektif geometri veya perspektif kamera modelini kullanırlar; taşınabilir ve algılayıcıların maliyeti çok yüksek değildir. Diğer yandan aktif algılayıcılar(esas olarak laser tarayıcılar) nesneler veya görünüm(scene) modelleme için geometrik veri için bir standart haline gelmeye başlamışlardır. Bunlar milyonlarca nokta elde eder ve sıklıkla renk bilgisi içermektedir. Fakat algılayıcıların özel uygulamalar için kullanılabilirlik ve yüzey yansıma özelliklerine göre maliyetleri biraz pahalı olabilmektedir. (Guarnieri, 2004)

Aşağıdaki şekilde günümüzde kullanılan modelleme teknikleri görülmektedir:



Şekil 2.1. Modelleme teknikleri(Guarnieri, 2004)

- (a) 5 görüntüden eşleştirme algoritmasıyla elde edilmiş fotogrametrik nokta kümesi
- (b) Birden fazla görüntünün kullanılmasıyla ışın desteleriyle görüntü dengelemesi çözümü
- (c) Optech laser tarayıcıdan elde edilen sonuçlar
- (d) Mensi Laser Tarayıcı üç boyutlu modelleme

2.2 Ölçüm Kullanmayan Sistemler

Basit geometrik şekillerden üç boyutlu modeller elde edilmesini sağlayan bilgisayar animasyonları bu tekniği kullanmaktadırlar. Bunlar eğrileri tekrar tekrar bölerek poligon oluşturma ve yumuşatma işlemleri yaparlar ve çoğunlukla bilgisayar oyunu ve animasyon alanında kullanılırlar. (Guarnieri, 2004)

2.3 Fotogrametri

Fotogrametri, fotoğraflar yardımıyla üç boyutlu modeller elde etmemizi sağlamaktadır. Yıllardan beri bir veya daha çok görüntü yardımıyla üç boyutlu modelleme ve doğru kalibrasyon ve dönüştürme işlemleri fotogrametri ile gerçekleştirilmiştir.

Bazı fotogrametri yazılımları (sanal)scene modellemeyi tek veya bir çok görüntü yardımıyla elde ederken, bazıları sadece kalibrasyon ve dönüştürme sağlamaktadırlar.

Genel olarak fotogrametrik iş akışı incelenirse:

- Tasarım(algılayıcı geometrisi)
- Ölçümler(nokta kümeleri)
- Modelleme(geometri, doku)
- Görselleştirme olarak sıralanabilir.

Günümüzde algılayıcı geometrisi ve ölçüm konusu modelleme ve görselleştirmeden ayrı olarak değerlendirilmektedir. Fakat pek çok uygulamada gerçekçi üç boyutlu modeller oluşturulması ve doğru ölçülere ulaşmada bir köprü vazifesi görmektedirler. Ölçüm elle veya otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Otomatik fotogrametrik algoritmalar çok sık nokta kümeleri elde edebilir fakat uygunsuz noktalar sonuçlarda ortaya çıkabilmekte ve bir kontrol işlemine gereksinim duyulabilmektedir. Bu otomatik işlemler nesne yüzeyi geometrisiyle değil, yumuşatma algoritmalarıyla da ortaya çıkabilmektedir. Bu yüzden nokta kümelerini yüksek kalitede ve detay kaybı olmaksızın poligon yapılarına dönüştürmek zordur. Diğer yandan, ölçümlerin elle veya yarı otomatik yapılması durumunda ölçümlerde daha yüksek bir güvenilirlik elde edilememekte fakat nesneyi tanımlayan az miktarda nokta ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte operatörün nesneyi iyi anlaması ve modelleme yazılımı fonksiyonlarını bilmesi önemli bir konudur.

Yersel fotogrametri hava fotogrametrisiyle karşılaştırıldığı zaman bu yöntem, özel kameralarla sınırlandırılmamıştır. Yersel fotogrametri, değişik fotoğraf elde etme teknikleriyle sürekli bir gelişim göstermiştir. Görüntü elde etmede yeni teknoloji ve teknikler (CCD kameralar, Görüntü tarayıcıları), bilgisayar ortamında veri işleme, verinin CAD ve görselleştirme araçlarında sunulması daha yeni sistemlerin geliştirilmesine liderlik etmektedirler.

Bu yöntemlerin geliştirilmesi en çok tarihi yapıların kaydedilmesinde büyük yararlar getirmektedirler. (Guarnieri, 2004)

2.4 Fotogrametride Stratejiler:

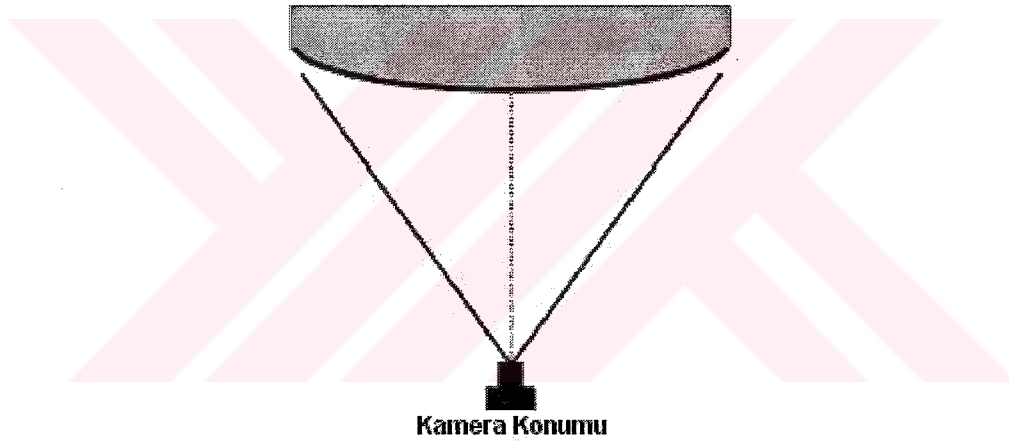
Yakın resim fotogrametrisi nesne hakkında geometrik bilgi, konum, boyut ve şekli hakkında bilgi sağlayan, bunu fotoğraflar üzerinde yapan bir tekniktir.

Bu yöntemde üç boyutlu bir nokta elde edilmesi için uzayda iki ışının (fotoğraftan nesneye) kesişmesi gerekmektedir veya bu noktanın bulunduğu ışın ve yüzey gereklidir.

Eğer ikiden fazla ışın mevcutsa ışın desteleri yöntemi uygulanabilir. (Guarnieri, 2004)

2.4.1 Tek resim değerlendirmesi:

Nesnenin biçimi ve sayısal yüzey modeli bilindiği zaman ve nesneyle ilgili detaylar istendiği zaman bu yöntem uygulanabilir.



Şekil 2.2. Tek resim değerlendirme (Guarnieri, 2004)

2.4.2 İç ve Dış Yöneltilme Elemanlarının Bilinmesi Durumu:

Bu durum için kameranın iç yöneltilme elemanları, kameranın konumu ve dönüklüklerinin bilinmesi gerekmektedir. Böylece noktalar, ilgili yüzeyin şeklinin bilinmesiyle kameradan yüzeye olan ışınların kesişmesinden hesaplanabilmektedir. İç yöneltilme sadece kalibre edilmiş odak uzaklığı ve alım noktasının konumunu ifade etmez aynı zamanda lens distorsiyon katsayısını da ifade etmektedir. Eğer kameranın konumu ve dönüklüğü nesne üzerinde en az 3 noktada bilirse bu, dış yöneltilmenin hesaplanması için yeterlidir (Guarnieri, 2004)

2.4.3 Kamera parametrelerinin Bilinmemesi Durumu:

Bu, yersel fotogrametride sıklıkla karşılaşılan bir problemdir. Yüzey şekli düzlemlerle sınırlıdır. Nesne düzlemi ve görüntü düzlemi arasındaki ilişki iki düzlemin izdüşümsel eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$X = \frac{a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3}{c_1 \cdot x + c_2 \cdot y + 1} \quad (2.1)$$

$$Y = \frac{b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3}{c_1 \cdot x + c_2 \cdot y + 1} \quad (2.2)$$

(2.1) ve (2.2) numaralı denklemlerde görülen X ve Y nesne düzlemindeki koordinatlardır, x ve y ise görüntü üzerindeki ölçülen resim koordinatlarıdır. a,b,c, izdüşümsel eşitliği ifade etmek için kullanılan parametrelerdir. En az 4 kontrol noktasının tek görüntüde ölçülmesiyle bu 8 bilinmeyen belirlenebilmektedir. ($a_1, a_2, \dots, c_2$)

Bu eşitlikte yüzeydeki noktalar kullanılarak koordinatları belirlenebilir. Bu, bina yüzeyleri için de geçerlidir. Sayısal görüntü işleme teknikleri her bir piksel için bu işlemi uygulayabilir ve nesne düzlemi için ortofoto elde edilebilmektedir. (Guarnieri, 2004)



orjinal fotoğraf



yöneltilmiş ortofoto

Şekil 2.3. Orjinal fotoğraf ve yöneltilmiş ortofoto (Guarnieri, 2004)

2.4.4 Çift Resim Değerlendirmesi(Stereodeğerlendirme):

Eğer nesnenin geometrisi karmaşık ise, üç boyutlu nesnenin tek resim değerlendirilmesi olanaksızdır. Bu durumda en az iki görüntüye ihtiyaç vardır. Çift resim değerlendirilmesi yöntemine göre görüntüler aynı anda görüntülenerek değerlendirilmelidir .

Kameralar iyi bir stereogörüş için olabildiğince birbirine paralel olarak konumlandırılmalıdır. Metrik kameralar kalibre edilmiş iç yöneltme elemanlarına sahiptirler ve ihmal edilebilir lens distorsiyonuna sahiptirler. Bu işlem için sıklıkla metrik kameralar kullanılır. Kamera konumları arasındaki mesafe yani baz uzunluğunun nesne ve kamera arasındaki uzaklığının 1:5 ve 1:15 arası olduğu durumlarda iyi stereo görüş elde edilir.

Çift resim değerlendirilmesi sonucu:

- Bina yüzeylerinin 2B planları
- 3B yüzey modelleri
- Koordinat listeleri
- Topoloji ilişkileri elde edilebilmektedir.

3. YERSEL LASER TARAYICILAR:

3B laser tarayıcılar nesne yüzeyi verisini 3 boyutlu koordinat olarak elde etmektedir.

- Otomatik ve sistematik bir işlem yapılıır.
- Her saniyede binlerce nokta verisi elde edebilmektedir.
- Koordinatlar verileri elde ederken sağlayabilmektedir.

Tarayıcı ayrıca taranan nesne yüzeyinin yansıma değerlerini de 3 boyutlu koordinatlara ek olarak sağlayabilmektedir.

3B tarayıcılar:

- Yerinde durarak sabit konumda işlem yapan(üretim hatları gibi uygulamalar)
- Bir tripod gibi bir düzenele işlem yapanlar(close-range)
- Topografik uygulamalar için kullanılan airborne sistemler olarak sınıflandırılabilirler.

Eğer etkileyici bir mimari yapı, mühendislik yapısı veya endüstriyel bir boru hattının geometrisi elde edilmek isteniyorsa, geleneksel olarak jeodezik veya fotogrametrik ölçüm yöntemlerinden biri seçilecektir.

Jeodezik yöntemde prizmasız bir total station kullanılarak karakteristik noktaların en azıyla teknolojik aletler kullanılsa bile arazideki ölçüm işi uzun zaman alacaktır. Aynı zamanda alanın sadece iki boyutlu izdüşümü elde edilmekte ve eş zamanlı sunumu imkansız olmaktadır. Geometrik modelleme ve işleme ofiste yapılmaktadır. Fotogrametride ise en az iki farklı istasyondan sayısal metrik kamerayla resim elde etmek suretiyle görüntü alımında zaman kazancı vardır. Modelleme ise operatörün becerisine bağlıdır. Bağlı dönüşümler için resim ve kamera özellikleri ortaya konulmalıdır. (Boehler, 2002)

3B lazer tarayıcı objeyi görülebilir 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 denilmektedir.

Tarama sonucu olarak nokta bulutu oluşur, bilgisayar ekranında eş zamanlı olarak gösterilmektedir. Aygıtın tipine bağlı olarak nokta mesafesine göre nokta bulutu renkli olabilir veya bir yoğunluk değeri gösterebilir. Sezgisellik yoktur, her noktanın doğrudan 3B koordinat değerine ulaşılabilir. Nokta bulutunun pek çok olanakları vardır:

- Nokta bulutu, tarama işlemi süresince istenen mesafe ve perspektifte döndürülebilmektedir.
- Uygun olmayan ve hoş olmayan noktalar kolayca elemine edilir
- Ölçümler bulutun iki noktasından yararlanarak yerine getirilebilmekte, bu yolla kalite kontrol olanaklı hale gelmektedir.
- Nokta bulutunun doğru parçalarından yararlanarak en iyi CAD modelleri oluşturulabilir.

Bu yeni metod tüm yapılar için bir ters mühendislik uygulamasını olanaklı hale getirmektedir. Sonuç olarak tarama işlemi ile CAD modeline doğrudan bağlantı sağlanmaktadır. Modelleme planları ve zor envanterler sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Özellikle eski binaların restore edilmesinde yeni yöntem, diğer yöntemlerle de bütünleşme sağladığından hızla kabul görmüştür

Kültürel varlıkların metrik olarak belgelendirilmesi yakın alım uzaklığı uygulamalarındandır. Nesneler küçük heykelciklerden binalara kadar farklılık gösterebilmektedir. Düzensiz şekiller ve yüzeyler sıklıkla karşı karşıya kalınan bir durumdur. Bunların belgelendirilmesinde de zaman öneml bir faktör olarak görünmektedir. Son zamanlarda fotogrametri sıklıkla kullanılan bir metod olmuştur.

3.1 Çalışma İlkesi

3.1.1 Laser ışınının gidiş geliş zamanıyla işlem yapan tarayıcılar:

Tarayıcı nesneye laser ışınını gönderir ve yayılan ve yansıyan laser ışınlarının gidiş dönüş zamanları yardımıyla aradaki mesafe hesaplanabilmektedir. Bu prensip aynı zamanda elektronik takeomatlerden de bilinmektedir. Tarayıcılar laser ışınının açısal yön sapmasını engellemek için küçük dönme araçlarına sahiptirler. Bu tip tarayıcıların tipik standart sapmaları bir kaç mm olmaktadır. Alım uzaklığı kısaldıkça bu değer bütün nesne yüzeyi için aynı olmaktadır. 3 boyutlu doğruluk derecesi de laser ışınının açısal çözünürlüğüne bağlıdır. (Boehler, 2002)

3.1.2 Faz karşılaştırma metoduyla işlem yapanlar:

Bu metod da elektronik taraıcılardan iyi bilinmektedir. Bu yöntemde laser ışını harmonik hareketle oluşturulmaktadır ve mesafe giden ve geri gelen dalgaların faz farkından hesaplanmaktadır. Kullanıcı açısından tarayıcıların bu yöntemle çalışması önemli değildir.. Daha karmaşık sinyal yapısı kullandığı için doğruluk derecesi daha iyi olabilir. (Boehler, 2002)

3.1.3 Triangulasyon Tarayıcıları:

3.1.3.1 Tek Kamera Çözümü:

Bu tarayıcı basit bir ışın yayma düzeneği içerir ve nesne üzerinde belirlenmiş baz sonunda aniden yayılma açısı değişmektedir ve diğer yandan CCD kamera bu baz üzerindeki laser ışınını saptamaktadır. Yansıyan yüzeyin 3 boyutlu konumu bu CCD kamera tarayıcı ve nesne arasında oluşturulan üçgen problemi ile çözülmektedir. Nesne ve tarayıcı arasındaki mesafenin doğruluk derecesi mesafenin karesiyle orantılıdır. Baz uzunluğu değişmeyeceği için bu tip tarayıcılar kısa mesafe ve küçük nesneler için iyi sonuç sağlamakta ve laser ışınının gidiş dönüş prensibiyle ölçüm yapan tarayıcılardan daha doğru işlem sağlamaktadırlar (Boehler, 2002)

3.1.3.2 İki Kameralı Sistem:

Bu tip tarayıcılar iki CCD kamerası kullanırlar ve her biri bir başka baz uzunluğu sonuyla işlem yapmaktadır. Işın veya doku bir ölçüm işlevi içermeyen ayrı bir ışın düzeneğiyle elde edilir. Geometrik bağıntılar tek kameralı sistemle aynıdır. Aynı doğruluk derecesi elde edilir. (Boehler, 2002)

3.2 Tarayıcıların Genel Özellikleri:

3.2.1 Genel:

Kullanıcıların tarayıcıları kıyaslarken genelde doğruluk derecesine bakmalarına rağmen uygulama için diğer özelliklerin ve kültürel varlıkları tarama kabiliyetini göz önüne almaları gerekmektedir. (Boehler, 2002)

3.2.2 Hız:

Yüksek çözünürlük için zamana bağlı olarak nokta taranabilmektedir. 100 nokta/saniye ile 1000 nokta/saniye kabul edilebilir normal hız sayılmaktadır. (Boehler, 2002)

3.2.3 Çözünürlük ve Işın Boyutu:

Nesne çözünürlüğü teorik olarak laser ışınının açısal çözünürlüğüne ve yansıyan ışının nesne üzerindeki alanına bağlıdır. Yüksek çözünürlüğün istendiği durumlarla laser ışınının sağlayabildiği en iyi odaklama kabiliyeti dikkatlice saptanmalıdır. (Boehler, 2002)

3.2.4 Alım Uzaklığı Sınırlamaları ve Radyasyon Etkisi:

Laser tarayıcılar için verilen alım uzaklığı özelliklerinin pek çok parametreye bağlı olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Bunlar; nesne yüzeyinin yansıma özelliğine, doğrudan güneş ışını almalarına ve ek olarak yansıyan güneş ışınına, nesne üzerindeki yapay radyasyona, nesne yakınındaki radyasyon kaynaklarına bağlıdır. Genel olarak faz farkı prensibini kullanan tarayıcılarda CCD üzerinde sinyal saptanması ve faz farkı ölçümleri daha duyarlı olmasına karşın ışın zamanı prensibini kullanan tarayıcılar nisbeten daha kuvvetlidir ve gecede ölçüme olanak sağlamaktadırlar. (Boehler, 2002)

3.2.5 Görüş Alanı:

Motorlu dönüş sistemleri bulunmayan tarayıcılarda FOV(görüş açısı) sınırlayıcı bir unsurdur. Genellikle 40 x 40 derecelik bir alanda işlem yapabilmektedirler. Tek eksenli tarayıcılar MENSİ SOISIC gibi. (Boehler, 2002)

3.2.6 Kayıt Araçları:

Her tarama işlemi farklı bir konumdan gerçekleştirilmişse bunların tek bir koordinat sisteminde kaydı yapılarak bütünleştirilmesi gerekmektedir. Nesne üzerinde bazı hedef noktaları tarama yazılımlarında kolayca saptanıp bu işlem uygulanabilmektedir. Bazı sistemler kendi özel hedef noktalarını kullanmaktadırlar. Bu hedef noktaları aynı zamanda takeometrik ve fotogrametrik hedef noktaları olarak da uygundur. (Boehler, 2002)

3.2.7 Kameralar:

Çoğu uygulama nesne üzerinde doku (texture) bilgisini içermektedir. Görüntülerin model üzerine uygulanmasıyla gerçekçi modeller sağlanabilmektedir. Bazı tarayıcılar geri dönen yansıma yoğunluğunu da ölçmektedirler. Bazıları ise doku haritalaması için yeterli kameraya sahip değildirler. Üçgenleme prensibiyle çalışan tarayıcılarda kameranın ışın konumunu bulup belirlemek için doku eklemek uygun olmamaktadır. Yüksek kaliteli görüntü sağlamak için bugün için bir kamerayı tarayıcıya bağlamak uygun çözüm olarak görünmektedir. Bu durumda kamera ve tarayıcının ilgili konumları tarama sonuçları ve görüntülere dayalı olarak kalibre edilmektedir. (Boehler, 2002)

3.2.8 Taşıma Kolaylığı:

İdeal olarak tarama sistemi taşınabilir ve küçük olmalıdır. Fakat günümüzde çoğu sistem oldukça ağırdır. Özellikle yerleşim yerlerinden uzakta kültürel nesne uygulamalarında güç birimlerinin de birlikte taşınması önemli bir sorun olmaktadır. (Barber, 2001)

3.2.9 Tarayıcılar Arasında Temel Yapısal Farklılıklar:

- Kamera benzeri tarayıcılar ve panoramik tarayıcılar
- Mesafe spektrum(min 1-2 m ve 25-800 m max)
- Hassasiyet(6mm-25mm)
- Hesaplama ve modelleme için sağlanan yazılımın verimi
- Ektra bilgi sağlıyor mu?(radyometrik çözünürlük) açısından incelenmelidir.

Kamera benzeri tarayıcılar, önceden belirlenmiş ve açısal alanda yönlendirilmiş video kamera kullanmaktadırlar. Panoramik tarayıcılar düşey eksen etrafında düşey profilleri tararken dönmektedir. Laser tarayıcının stratejik avantajı karanlıktada da çalışabilmesidir

3.3 Tarayıcı Bileşenleri:

Büyük nesneleri taramada kullanılan tarayıcılar bir sistem olarak ele alınmaktadırlar. Aşağıda Cyrax 2400 sisteminin bileşenlerini gösterilmiştir.

- Tarayıcı ünitesi
- Kontrol Ünitesi
- Güç Ünitesi
- Ayaklık, Tripod vs.

Tarayıcı ünitesi geleneksel ölçüm aletinden daha büyük bir yapıdadır ve normal olarak güç ünitesi ayrıdır. Kontrol bir diz üstü bilgisayar ile sağlanmaktadır, bu da güneş ışığında bilgisayar ekranının görülememesi gibi bir sorun ortaya çıkarmaktadır. Bir güneş ışığından etkilenmeyen monitörü bulunan bilgisayar çözüm olabilir, bu da pahalı bir çözümdür. Bunun için iyi gölgelendirilmiş bir ortam da düşünülebilir. Elektrik güç genellikle bir pilden sağlanmaktadır, bitince araba aküsü ile doldurulabilmektedir. Bu sadece tarayıcı ünitesine güç sağlayıp, diz üstü bilgisayara güç sağlamamaktadır. Diz üstü bilgisayar için ayrı bir pil kullanılır ve şarj edilebilir olması uygun olmaktadır. Bazı durumlarda taşınabilir bir jeneratör uygun olmaktadır. Tarayıcı bir ayaklık üzerinde durmaktadır. Bu da tekerlekli olarak da tasarlanabilir. İlk LIDAR sistemleri tasarım olarak, iki kişinin kurabileceği bir yapıydılar fakat günümüzde hemen hemen hepsi tek bir kişinin taşıyabileceği ve kurabileceği bir tasarıma sahiptir. Gelecekte kuşkusuz daha hafif ve küçük sistemlerin üretileceği kesindir.(Barber, 2001)

3.4 Çeşitli Sistemler:

Günümüzde birçok firma tarafından üretilen değişik özellikleri bulunan laser tarayıcı sistemleri bulunmaktadır. Bu firmalar ve ürettikleri sistemler aşağıdaki tabloda görülebilmektedir.

Çizelge 3.1.Çeşitli Laser Tarayıcı Sistemleri

Üretici	Laser Tarayıcı Sistemi
3rd Tech Inc	DeltaSphere
Cyra Technologies	HDS 2500
Cyra Technologies	HDS 3000
Cyra Technologies	HDS 4500
Cyra Technologies	HDS 450
IQSun 880	IQVoution
I-SITE Ply Ltd	I-SITE 4400
Measurement Devices Ltd.	LaserAce Scanner
MENSI	GS100
MENSI	GS200
Optech Inc.	ALTM 30/70
Optech Inc.	ILRIS 3D
Üretici	Laser

	Tarayıcı Sistemi
Riegl USA	LPM 800 HA
Riegl USA	LMS Z210i
Riegl USA	LMS Z360
Riegl USA	LMS Z420
Visi Image Inc.	3Dguru
Zoller+Fronlich GmbH (Z+F)	IMAGER 5003-53500

Çizelgede görülen sistemlerin çeşitli özellikleri ve karşılaştırılmaları EK-1 'de belirtilmiştir.

4. 3B TARAYICI YAZILIMLARI:

Yersel laser tarama sistemi, günümüzde pek çok mühendislik uygulamasında kullanılan bir sistem haline gelmiştir. Laser tarama sistemi, taranan nesneleri düzensiz nokta kümeleri şeklinde hızlı ve ucuz bir biçimde elde etmemizi sağlamaktadır. Bununla beraber bazı problemlerin çözümü gerekmektedir. Veri kalitesi, diğer sistemlerle bütünleşme mümkün müdür? Gibi soruların yanıtı aranır olmuştur.

Laser tarayıcının veri kalitesi, iki farklı açıdan ele alınmaktadır. Doğruluk derecesi ve kullanılabilirlik. Geçmişte metrik kalite testleri, doğruluk derecesinin tespiti için laser tarayıcı üreticileri tarafından yapılmaktaydı. Kullanılabilirlik ise son kullanıcının taranan nesnenin noktalar tarafından doğru belirlenip ve kolay işlenmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Taranan nesnenin şeklinin elde edilmesi, yüksek yoğunlukla elde edilmiş noktalara bağlıdır. Yüksek yoğunluklu noktalar detaylandırma, veri depolama ve verinin kullanımında pek çok soruna sebep olmaktadır.

Mühendislik alanında, çok yönden tarama işlemi, bir nesnenin elde edilmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu çok yönden taramanın birleştirilmesi, kaydı, referanslandırılması şimdiye kadar pek çok araştırma ekibinin konusu olmuştur. Bunun için LSR(Laser kayıt yazılımı) kullanılmaktadır, bu çok yönlü taramanın kaydını yapar, kalitesi için kuvvetli istatistiksel araçlara sahiptir. Veriler için yaygın dosya biçimlerini kullanmaktadır:ASCII, DXF, VRML. (Bornaz, 2002)

3B tarayıcı yazılımları genel olarak çok farklı türlerdedirler ve modüller içermektedirler. Veri işlemeden sonuç ürüne kadar genel olarak aşağıda sıralanan işlem adımlarını uygularlar:

- Tarayıcı kontrol yazılımı
- Nokta bulutu oluşturma yazılımı
- Nokta bulutunu temel şekillere uydurma
- Karışık yüzey modellerinin oluşturulması
- Doku ve görüntü eklenmesi
- Veri ve proje yönetimi

Bu yazılımların kalitesi sonuç ürün olan 3B modelin kalitesiyle belirlenebilmektedir. Nitekim bazı tarayıcılar çok iyi performans sağlarken yazılımları hayal kırıklığı yaratabilmektedirler. Bazı ek modüllere ihtiyaç duyulduğundan beri bazı yazılım firmaları bu konunun üstüne gitmişlerdir. Piyasada güçlü CAD yazılımları olmasına rağmen ,u yazılımlar çok geniş nokta kümelerinin işlemleri için iyi sonuç vermemektedirler. Bu yüzden bazı firmalar bu CAD yazılımlarında kullanılabilecek ek modüller oluşturma yoluna gitmişlerdir. (Boehler, 2002)

4.1 Tarayıcı Kontrol Yazılımı:

4.1.1 Tarama Penceresi ve Tarama Çözünürlüğü

Tarama işleminin daha verimli olması için önemli gelişmeler:

- Değişik pencere tanımlamalarının seçim olanakları(sayısal giriş, laser ışınının kendisinin kullanılması veya kamera özelliğiyle ayarlanması)
- Boru hattı gibi yapılar için hareketli pencereler
- Nesne yüzeyinde hedef noktaları için otomatik veya yarı otomatik olarak tarama çözünürlüğünün ayarlanması
- Tarama çözünürlüğünün nesne yüzeylerine göre otomatik ayarlanması(kenarlarda yüksek çözünürlük gibi). (Boehler, 2002)

4.1.2 Tarama Yaparken Görselleştirme ve Kayıt işlemi:

Tarama işlemi nesne yüzeyi hakkında bilgi edinmeyi sağlayan bir işlemdir. Bu yüzden birden çok taramayı birleştiren ve yüzeyi yüzey ağı şeklinde gösteren yazılım modülleri bulunmaktadır.(Boehler, 2002)

4.2 Nokta Kümesi İşleme Yazılımı:

4.2.1 Görselleştirme:

Yazılımlarda klasik olarak yakınlaştırma, kaydırma işlemleri yapılmaktadır. Nokta inceltme gibi fonksiyonlar bulunmakta ve ayrıca yüzeyden yansıma değerleri de kayıtedilerek bir yoğunluk verisi de elde edilmekte ve böylece görselleştirme sağlanmaktadır. Bu yazılım aracına çoğunlukla lisanssız ve ücretsiz olarak sahip olunabilmektedir.(Boehler, 2002)



Şekil 4.1. Yoğunluk verisi içeren laser noktaları

4.2.2 Nokta Kümelerinden Veri Ayıklama

Veri toplanırken yoğunlukla değişik nedenlerle bir kısım noktaların silinmesi gerekmektedir. Bu nedenler şöyle sıralanabilir:

- Ölçülen nesnenin arka planında bulunan nesnelerden yansıyan ışınlar,
- Tarayıcı ve nesne arasındaki diğer nesnelerden vb. yansıyan ışınlar (hareket halindeki insanlar, trafik, ağaç yaprakları vb.),
- Kenarlardaki kısmi yansıma,
- Yüzeyden dolayı meydana gelen sistematik yansıma hataları,
- Çok parlak nesnelerde oluşabilen hatalı nokta kümeleri.

Kaba hatalar taşıyan nokta kümeleri kayıt (registration) işleminden önce silinebilmektedir. Ön ve arka planda bulunan noktalar, aralık limiti parametresinin tanımlanmasıyla elimine edilebilmektedirler. Pekçok hatalı ve düzensiz nokta bütünleştirme işleminden önce elimine edilebilmektedir. Bu temizleme işlemi çoğu yazılımda interaktif olarak gerçekleştirilmektedir.

Üzerinde çalışmak istenen noktalar için istenen mesafe değerinin girilmesiyle bu noktaların ön ve arka kısımlarında kalan noktalar kolaylıkla elemine edilebilmektedir. Çoklu yansımadan elde edilmiş hatalı noktalar da bu yöntemle elemine edilebilmektedir. Zor olan kısım kenarlardaki hatalı noktaların tespit edilebilmesidir. Kenarlardaki yansıyan laser ışınının yüzdesine göre, meydana gelen sapma çok küçük veya çok büyük olabilir. Hatanın sistematik olması durumunda yazılım bunu saptama olanağı sağlamakta ve kullanıcı bu noktaları kolaylıkla silebilmektedir. (Boehler, 2002)

4.2.3 Veri Filtreleme ve Nokta Azaltma:

Bütün temizleme işlemlerine rağmen, elde edilen noktalarda düzensizlik mevcut olmaktadır. Eğer taranan nesnenin düzgün, pürüzsüz olduğu biliniyorsa, alçak veya orta düzey filtreleme işlemi uygulanabilir. Nesne eğer kenarların oluşturduğu pürüzsüz parçalardan oluşuyorsa, filtreleme işlemi tavsiye edilmez.

Nokta inceltme işlemi de filtreleme gibi benzer etkileri sağlamaktadır. Eğer tarama işlemi birden fazla taramadan oluşuyorsa bütünleştirmeden sonra nokta inceltmenin yapılması önerilmektedir. Aşağıda bir yazılıma ait örnek verilmiştir



Şekil 4.2. Modelleme yazılımında nokta azaltma işlemi ve pürüzsüzlük derecesi ayarı

4.2.4 Bütünleştirme(Nokta Kaydı):

Nokta kaydı ve bütünleştirme iki farklı amaç için gereklidir.

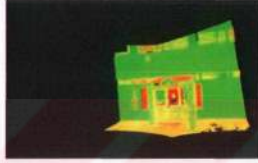
- Farklı gözlemlerden elde edilmiş tarama kümelerinin bütünleştirilmesi
- Nesnenin bir koordinat sistemine bağlanması

Bağlama ve kontrol noktaları , nokta kümesinden sağtanabilmektedir. Bu noktalar nesnenin köşe vs gibi kısımları da olabildiği gibi özel hedef noktaları da kullanılabilir. Belirli bir koordinat sistemine bağlanmak için bu hedef noktalarının öncelikle takeometrik ölçümlerle veya yersel fotogrametrik yöntemlerle koordinatlarının hesaplanması gerekmektedir. (Boehler, 2002)



Şekil 4.3. Veri kaydı ve bütünleştirmeye tabi tutulmamış iki ayrı laser nokta kümesi

Bütünleştirilmiş iki nokta kümesi:



Şekil 4.4. Kayıt Edilmiş ve Bütünleştirilmiş Laser Noktaları

4.2.5 Bütünleştirilmiş Nokta Kümelerinden Veri Temizleme:

Bütün temizleme işlemlerinden sonra da bazı hatalı noktalar bulunabilmektedir. Bu noktaların da silinmesi mümkündür.

4.2.6 Bütünleştirme İşleminin Sonra Nokta İnceltme:

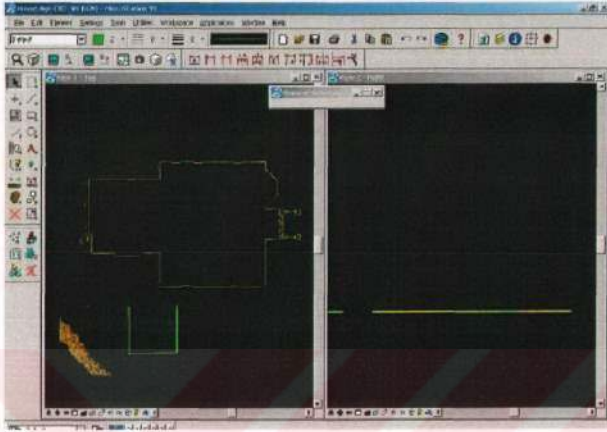
Nesne yüzeyinde çok fazla miktarda nokta kümesi toplamak daha fazla ayrıntı yakalamak açısından önemlidir. Ancak yüzey normali ve laser ışını arasındaki açı ve tarayıcıya olan mesafeye bağlı olarak, özellikle açının küçük olduğu alanlardaki noktaları elimine etmeye yarayan nokta inceltme fonksiyonu olan yazılım tercih edilmelidir. Nokta inceltme tekniğinin bir diğer yolu ise düzgün yüzeylerdeki nokta sayısının azaltılmasıdır.

(Boehler, 2002)

4.2.7 Nokta Kümelerinden Basit Çizimler Oluşturma:

Genel olarak laser nokta kümeleri sonuç ürün için yeterli olmamaktadır. Fotogrametride olduğu gibi nesnenin geometrisinin elde edilmesi istenmektedir. Bunun için verinin dikkatlice elde edilmesi ve inceltme, filtreleme gibi işlemlerden geçirilmiş olması gerekmektedir.

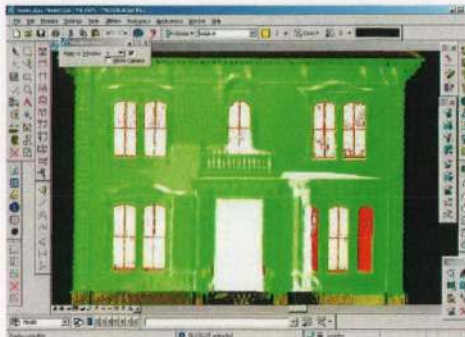
Nesneyle ilgili kesit çizimleri istendiğinde yazılım, istenen bölgeye ait nokta verisini sağlayabilmekte ve bir CAD yazılımı yardımıyla çizim gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4.5. Microstation Cloudworks modülünde çizim oluşturma

4.3 Basit Geometrik Şekillere Dönüştürme Yazılımı:

Eğer taranan nesne basit geometrik şekiller (düzlem, silindir, koni, küre gibi) içeriyor veya geometrisi basit bir gösterimse ilgili nokta kümeleri yazılım tarafından istenen şekillere dönüştürülebilmektedir. Eğer taranan nesnenin geometrik özellikleri tam olarak biliniyorsa (boru hatları gibi) çok hızlı bir şekilde bunların istenen geometrik şekle dönüştürülmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 4.6. Microstation Cloudworks yazılımında basit geometrik şekillere dönüştürme

Kültürel mirasın belgelendirilmesi projelerinde basit geometrik şekiller nesnenin gösterimi için yeterli olmamaktadırlar. Bu nedenle bu özellik pek kullanılamaz. (Boehler, 2002)

4.4 Karmaşık Yüzey Modelleri Oluşturmak İçin Yazılım:

4.4.1 Yüzey Ağı Oluşturma:

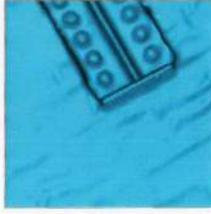
Yüzey ağı oluşturma düzensiz yüzeylerin geometrik gösterimi için uygun standart bir yöntemdir. Bu yöntem fotogrametri ve ölçme bilimi ile uğraşanlar tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde iki boyutlu düzlem üzerine yükseklik verileri eklenerek 2.5 boyut adı verilen üç boyutlu gösterim oluşturulmaktadır. Bazı tarayıcı yazılımları alternatif olarak 2.5 boyutlu yüzey ağı oluşturma modülünü içermektedirler. Gerçek üç boyutlu yüzey ağı oluşturma heykeller gibi kapalı nesnelerde uygundur veya sürahi nesnesi gibi üzerinde açıklık bulunan nesnelerde iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu yöntemde yüzey ağı oluşturmak için hesaplama ve işlem zamanı nesnenin geometrisine göre değişmektedir ve sağlıklı bir gösterim her zaman elde edilemeyebilir. (Boehler, 2002)



Şekil 4.7. Yüzey Ağı Oluşturulmuş Laser Nokta Verisi

4.4.2 Nokta İnceltme:

Bu fonksiyon nokta kümelerinin bütünleştirilmesi sırasında da yapıldığı gibi yüzey ağı oluşturma işleminde de uygulanabilmektedir. Burada yine pürüzsüz yüzeylerin olduğu durumlarda yumuşatma fonksiyonu uygulanabilmektedir. (Boehler, 2002)



Şekil 4.8. Modelde Yumuşatma

4.4.3 Uygulama ve Performans:

Teorik olarak yüzey ağı oluşturma işlemi, otomatik olarak ilgili parametrelerin girilmesiyle gerçekleşmektedir. Fakat gerçekte operatör interaktif olarak ağda meydana gelen deliklerin doldurulması gibi pek çok işlemi kendisi gerçekleştirir. (Boehler, 2002)

4.4.4 Kenarlar:

Tarama çözünürlüğünün yeterli olduğu durumlarda yazılım, kenarları otomatik olarak belirleyebilmektedir. Kenarlara yakın olan noktaların silinmemesine ve yüzey ağı üçgenlerinin kenarlarının bir kenar üzerinden geçmemesinden emin olunmalıdır. Kenarların mükemmel olarak belirlenememesi durumunda kullanıcı kenarları kendi belirleyebilme olanağına sahiptir. (Boehler, 2002)

4.4.5 Düzenleme:

Tarama işleminde meydana gelen bazı problemler sıklıkla yüzey ağı oluşturma işlemi sırasında kendini göstermektedirler (delikler, uygun olmayan üçgenler). Problemler alanlar iyi bir düzenleme aracıyla kısa bir zaman içinde düzenlenebilmektedir. (Boehler, 2002)

4.4.6 Performans:

Çeşitli yazılımlar 3 boyutlu yüzey ağı oluşturma fonksiyonunu içermektedir. Bunların esnekliği ve performansı tartışma konusudur. Bir yazılım, diğer yazılıma göre %10 daha kısa sürede bu işlemi tamamlıyorsa başarılı kabul edilmektedir. (Boehler, 2002)

4.5 NURBS Modelleme

NURBS modelleme seçildiği zaman, yüzeyin üçgenlerden ayrı olarak eğrilerle de gösterilebileceği kabul edilmektedir. Bu gösterim verinin hacmini indirgemektedir. Aynı zamanda nesnenin pürüzsüz olduğu bilindiği durumlarda, NURBS modelleme taramada meydana gelen düzensizlikleri, gürültüleri ortadan kaldırabilmektedir. Bu yöntem endüstriyel parçalar için oldukça verimli sonuçlar vermektedir. Fakat karmaşık şekilli nesnelerin gösteriminde eğri sayısı fazla olacağı için uygun olmayabilir. (Boehler, 2002)

4.6 Doku ve Görüntü Eklenmesi(Texture mapping):

4.6.1 Doku Eklenmesi:

Doku sadece yüzeyin gösterimini zenginleştirmektedir. Çoğu durumlarda, beyaz doku, nesneye mermerimsi bir görüntü vermektedir. Bu sadece eğer bir veya daha fazla ışık kaynağı düşünülürse uygulanabilmektedir. Aynı zamanda yansıma özelliklerinin tanımlanması durumunda kaba ve düzgün yüzeyler de tanımlanabilmektedirler. Karmaşık dokular ve gelişmiş gösterim özellikleri tarama yazılımlarında mevcuttur. (Boehler, 2002)

4.6.2 Tarama Verisinden Görüntü Bilgisinin Eklenmesi:

Tarama verisinden görüntü bilgisi elde edilebilmektedir. Işının gidiş dönüş prensibine göre işlem yapan tarayıcılar dönen sinyalin kuvvetine göre gösterim sağlamaktadırlar. Bu değerler, ilgili nesnenin gri tonlarda da gösterimini sağlamaktadırlar. Son yıllarda üretilen tarayıcılar aynı zamanda ilgili nesneden elde edilen nokta verilerine RGB verisine de ekleyerek tarayıcıdan nesneyle ilgili görüntü bilgisini elde etmeyi olanaklı hale getirmişlerdir. (Boehler, 2002)

4.6.3 Bağımsız Kameralardan Görüntü Bilgisinin Eklenmesi:

Yüksek kaliteli görüntüler için, bağımsız olarak sayısal veya analog kameralardan görüntü bilgisinin elde edilmesi gerekli olabilir. Kamera konumun tarayıcı konumuna yakın olması görüntü bilgisinin eklenmesi işini kolaylaştırmaktadır.

(Boehler, 2002)

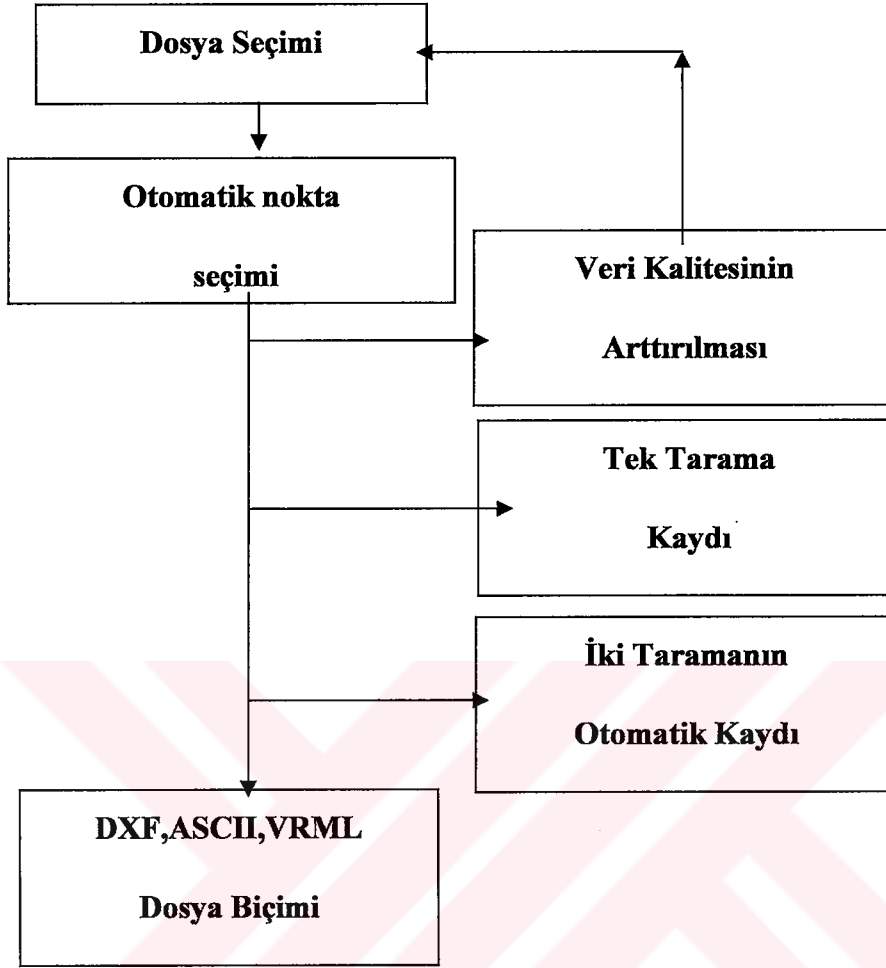
4.6.4 Görüntü İzdüşürme Yöntemi ve Mozaikleme:

Görüntüler nesne üzerine izdüşürülmelidirler. Fotogrametrik tekniklerin kullanılmasıyla bu işlem daha da hızlı gerçekleştirilebilmektedir. Topoğrafik uygulamalarda kullanılan mozaikleme yöntemi kullanıldığında gerçek üç boyutlu nesneler için bu işlem daha karmaşıktır. Nesnenin en küçük biriminin dahi görüntüsü gerekmektedir. (Visnovcova, 2001) Nesnenin her tarafının tam aydınlatılması olanağının zor olması nedeniyle berraklık, kontrast, renk dengesi gibi radyometrik çözünürlüğün ayarlanması güçleşmektedir. (Boehler, 2002)

4.7 Veri ve Proje Yönetimi Yazılımı:

Taranan nesnenin doğru 3 boyutlu modelini oluşturmak için ham laser verisinin işlenmesi gerekmektedir.

Yazılımda gerçekleştirilen işlemler:



Çok yönlü taramalar tek bir 3 boyutlu modele indirgenmelidir. Yazılım bu problemi, programlama dilleri yardımıyla çözmektedir. Yazılım dört temel prosedür içermektedir: orijinal verinin filtrelenmesi (otomatik prosedür), dış referans sisteminde seçilen taramanın kaydı (etkileşimli prosedür), iki bitişik taramanın kaydı (otomatik prosedürü), filtrelenmiş verinin kullanılabilir biçimde dışarı verilmesi. (Barber, 2001)

4.7.1 Veri Kalitesinin Geliştirilmesi:

Bu problemin çözülmesi robust kestirim tabanlıdır. Orijinal veri 3B üçgen ağına dönüştürülmüştür. Her ağ taranan nokta serisi içermektedir. Mesafelerin medyanı belirlenir ve standart sapma hesaplanır.

Gerçek mesafenin belirlenmesi için Laser tarayıcının doğruluk oranından daha küçük değerlere sahip mesafeler ortalamaları alınarak kullanılırlar, diğer noktalar hesaba katılmaz.

4.7.2 Verinin Kaydedilmesi:

Laser tarama sistemi X,Y,Z nokta koordinatlarını ve laser ışınının etki alanındaki ortalama yansıma değerini kaydeder. Mühendislik nesneleri çoğunlukla düşük yansıma özelliği göstermektedir. Eğer yansıma özelliği gösteren hedef noktaları taranacak olan nesne üzerine konursa, bunlar tüm noktalardan daha kolay ayırdedilir. Tüm hedef noktaları otomatik olarak kolayca bulunabilir ve koordinatları saptanabilir.

LSR yazılımı bitişik taramalarda bulunan aynı noktalarda bir taramayı referans alır ve bir sonraki taramanın referans sistemini düzeltilir. (Barber, 2001)

4.7.3 Oluşan Dosya Biçimi

CAD modelleri için DXF,3B yüzey modelleme yazılımlarında text dosya için ASCII, görselleştirme için VRML biçiminde sağlanabilmektedir.

4.7.4 Veri İzleme ve Kalite Kontrol:

Nokta kümelerinin elde edilmesi ve sonucunda da üç boyutlu gösterim için pek çok işlem adımı gerekmektedir. Bu adımlar boyunca, gözlemler yapılmakta, dengelenmekte veya silinmektedir. Proje süresince elde edilen bütün veri kaydedilmelidir. Dengelem işlemleri, standart sapmalar, meydana gelen artık hatalar elde edilmiş olmalıdır. Nokta verisinden sonuç verisine olan gösterim farkı da yazılımın sonuç kalitesini ifade etmektedir.

4.7.5 Veri Aktarma ve Dışarı Veri Sağlama :

Tarayıcı yazılımlarına değişik firmalara ait tarayıcı yazılımlarındaki verinin aktarılabilmesi aktarılabilmesi gerekmektedir. Başka bir deyişle farklı yazılımlarda aynı nesneye ait veriler paylaşılabilmelidir. Noktaların kartezyen koordinatları yanında CAD ve 3B modelleme yazılımlarıyla RGB, mesafe ve açı değerleri de elde edilebilmektedir. (Marbs,2002) Bu veriler CAD ve 3D modelleme yazılımlarına sağlanmaktadır. (Boehler, 2002)

4.8 Çeşitli Yazılım Ürünleri:

Günümüzde gerek Laser tarayıcı sistemi üreten gerekse diğer firmalar tarafından geliştirilen yazılımlar bulunmaktadır. Bu firmalar ve yazılımların başlıcaları aşağıdaki çizelgede görülebilmektedir.

Çizelge 4.1.Çeşitli yazılım ürünleri

Firma	Yazılım
InnoMetric	PolyWorks
IQ volution	IQ scene
I-SITE Pty Ltd.	I-SITE Studio 2.3
Kubit GmbH	PointCloud
Leica Geosystems/Cyra	Cyclone
Leica Geosystems/Cyra	Cloudworks
MDL	Laser Cloud Viewer
MDL	Demon
MENSI	RealWorks Survey
MENSI	3Dipsos
Optech	REALM

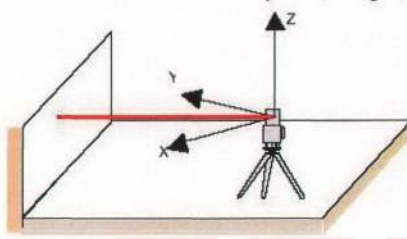
Firma	Yazılım
Zoller+Fronlich GmbH(Z+F)	LFM Modeller
Zoller+Fronlich GmbH(Z+F)	LFM Viewer
Raindrop Ltd.	Geomagic

Bu yazılımların genel özelliklerini ve karşılaştırılmaları ile ilgili bilgileri EK-2 de görülebilmektedir.



5. TARAMA İŞLEMİ

Bir laser tarayıcı binlerce noktayı birkaç saniyede elde edebilen bir total station gibi düşünülebilir. Ölçülen noktalar lokal koordinat sistemine referanslandırılır.



Şekil 5.1. Tarama işleminde koordinat sistemi (Bornaz,2002)

Tarama işleminin doğru yapılabilmesi için bazı kuralları göz önüne almak gerekmektedir. Eğer taranacak nesne karmaşık veya büyük bir şekle sahipse taramalar serisi gerekebilmektedir. Nesnenin yüzeyinde elde edilen noktaların çözünürlüğü tarama sisteminin değişmez açısal çözünürlüğüne bağlıdır. İyi bir işlem planlaması gerekmektedir.

- Sistematik hataların belirlenmesi için bitişik taramalar arasındaki büyük üst üste binnelerin tespiti
- Önemli detayların saptanması

Eğer tarayıcı konumu biliniirse, her tarama için laser tarayıcı konumu ve nesne arasındaki maksimum mesafe, açısal çözünürlüğün tanımlanması mümkündür. Açısal çözünürlük, nesneden maksimum mesafede algılanan anlamlı en küçük detaya neden olmaktadır.

Bir lokal referans sistemindeki tarama işlemi, bitişik ve üstü üste binen taramalardaki türdeş noktaların(köşeler gibi) tanımlanmasını gerektirmektedir. Bu noktalar yansıma özelliği gösteren hedeflerin kullanılmasıyla elde edilebilmektedir. Yansıma özelliği gösteren hedefler iki taramada en az üç nokta olarak tanımlanmaktadır. Hedefin boyutu, laser tarayıcının izin verdiği oranda ve ilgili yazılım tarafından yeterli doğrulukta tanımlandığı büyüklüğe sahip olabilir. Eğer bu nokta çok küçükse, otomatik eşleştirme başarısız olabilir veya yanlış sonuçlar ortaya çıkabilir. Hedeflerin boyutu nesne ve tarayıcı arasındaki maksimum

mesafenin açısal çözünürlüğüne göre seçilmelidir. (Bornaz, 2002)

Tarayıcılar sadece XYZ verisinin alınmasıyla sınırlı değildir aynı zamanda geri dönen yansımaların yoğunluğunu da kaydetmektedir. Yoğunluk eklenmiş nokta verisi sunumun değerini arttırmaktadır. Cyrax 2400/2500 ve Riegl LMS Z210 yoğunluk kaydı yapmaktadır ve bu da aktif enerjinin algılanmasına bağlıdır. Yoğunluk verisi gölge ve karanlık alanlarda da kaydedilebilmektedir. LMSZ-210 aynı zamanda pasif enerjiyi de kaydederek tam renkli bir veri sağlamaktadır. Şekil(5.2)de Riegl LMSZ-210 tarayıcısından elde edilmiş tam renkli ve yoğunluk verisini gösteren veri görülmektedir. Böylece veri bir nokta bulutu verisinden daha çok tercih edilir olmaktadır ve her pikselde XYZ verisinin bulunduğu bir görüntü olarak tanımlanmaktadır. Bazı tarayıcılar da ortam ışığından bağımsız olarak üç farklı laser dalga boyu kullanarak gerçek renkli bir işlem yapabilmektedirler.



Şekil 5.2. Kameradan elde edilmiş yansıma yoğunluğu verisi içeren laser nokta kümesi

Bu işlemler laser verisinin işlenmesi ve sunumunda ele alınmaktadır. Bu bütün tarayıcı çeşitlerinde uygulanmaktadır. Tarama işleminin ilk adımı veri kayıdır. Eğer tarayıcı tarama işlemleri sırasında nesne hareket ettiriliyorsa, taramalar bilinen bir koordinat sistemine taşınmalıdır.

Laser tarama sonucunda nokta koordinatları dosyalar olarak dışarı verilmektedir. Bu nokta kümelerinden alansal model ve yüzey ağı olarak model elde edilmektedir. Nesnenin şekline göre bir tek tarama kümesi model oluşturmak için yeterli olamayabilir. Laser ışınları, noktaları ifade etmek için doğrusal bir gidiş yönüne sahiptirler bu yüzden nesneleri düzlem olarak ifade etmezler bu yüzden farklı görüş alanlarından elde edilmiş tarama kümelerine ihtiyaç duyulmaktadır. (Andreazzi,2003)

Ortak koordinat sistemine taşıma işleminde taramalar içindeki ortak noktaların karşılaştırılması yoluyla ve kaydedilen taramaların tek bir sisteme dönüştürülmesiyle tek bir veri kümesi olarak elde edilebilirler. Bu işlem taramalarda ortak nokta kullanımını gerektirmektedir. Bu da diğer ölçme yöntemleriyle belirlenmiş bir grid ağındaki yerel ortak nokta kümesiyle daha basit hale getirilebilmektedir. Bu yolla bir tarama işlemi diğer taramayla üst üste binmez. Ayrık noktaların kullanımı bazı nokta tanımlama metodları gerektirmektedir. Bu noktalar olarak üç boyulu şekillerin kullanımı, çözümü tek bir noktaya indirgemektedir. Cyrax sistemleri, bu işlem için küre biçimindeki nesneleri kullanmaktadır. Bir başka çözüm elbette düz hedeflerin kullanımı olabilmektedir. (Barber, 2001)

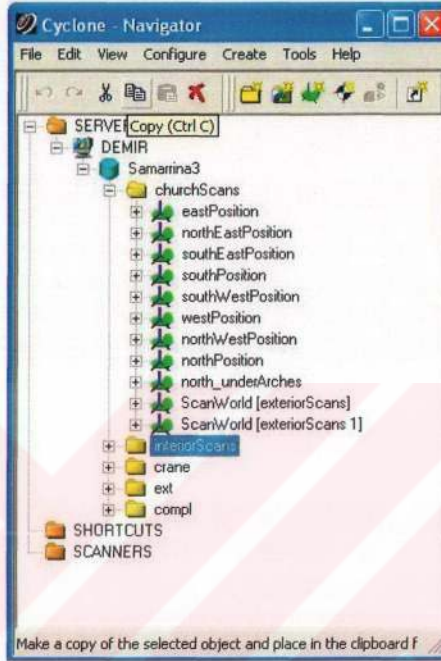
5.1 Veri Kaydı ve Bütünleştirmeye Uygulama Örneği:

Bütünleştirme ve veri kaydı için Yunanistan'ın Patra bölgesinde bulunan Samarrina kilisesi'nin laser tarayıcı tekniğiyle modelleme çalışması yapıldı. Bu kilisi günümüzde kullanılmamakta olup, oldukça eski ve Ortodoks mimarisinin özelliklerini taşımaktadır.

Farklı yönlerden elde edilen tarama kümeleri için kayıt işlemi yapıldı.

Bu uygulamada tarama işlemi üç sınıfa ayrıldı. Kilisenin iç kısmı, dış kısmı ve vinç taramaları olarak isimlendirildi.

Nesnenin üç boyutlu verisinin elde edilmesi için Kilisenin dış bölümü yönlerine göre sınıflandırılarak her yön için bir tarama ögesi oluşturuldu. Bu taramaların birbirlerine bağlanarak tek bir tarama ögesi oluşturmak için veri kaydı(registration) işlemi yapıldı.



Şekil 5.3.Cyclone yazılımı genel kullanım penceresi

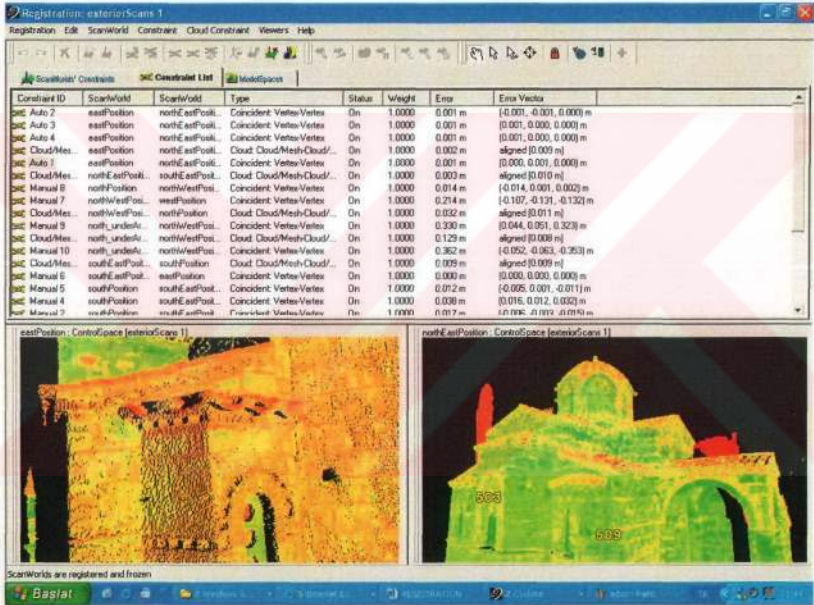
Veri kaydı için öncelikle nesne üzerine yerleştirilmiş olan bağlama noktaları (tie points) , hedef noktaları(target points) yerleştirilmiştir. Veri kaydı işlemi bunlar gözönüne alınarak yapılmıştır.

Veri kaydı işleminde, Cyclone programında karşımıza çıkan kayıt(registration)modülünde birbirleriyle birleştirilecek tarama ögeleri sağ ve sol ekranda ekrana getirilmektedir.

Öncelikle tarama işleminde tanımlanan hedef noktaları yardımıyla otomatik olarak, tarama ögelerinin bütünleştirilmesi için Constraint menüsünden otomatik sabit ekle(auto add constraint) işlevi çalıştırılmaktadır.

Her iki tarama ögesinde belirlenen üç adet ortak nokta seçilir ve nokta bulutu sabiti (Cloud constraint) menüsünden yeni sabit eklenmesiyle iki tarama ögesinin bütünleştirilmesi sağlanır.

Otomatik sabit ekleme işleviyle tanımlanamayan hedef noktası tabanlı kayıt işlemi için yine ModelSpace penceresinde ilgili hedef noktalarının seçilerek bu sefer constraint menüsünde add constraint işlevi ile hedef noktası tabanlı bütünleştirme sağlanmaktadır. Nokta tabanlı bütünleştirmede bu işlemin optimize edilip meydana gelen bütünleştirme hatasının saptanması gerekmektedir. Bunun için Optimize Cloud Aligment işlevi çalıştırılmaktadır. Bu işlev sayesinde birden fazla tarama ögesinin birleştirilmesi sırasında meydana gelen ortalama hata belirlenmektedir.



Şekil 5.4. Veri kaydı ve bütünleştirme işlemi

Dış tarama ögelerinin ortalama kayıt katası 1 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.5. Kaydedilmiş ve bütünleştirilmiş laser nokta kümesi

Vinç taramaları da ayrıca kayıt işlemine tabi tutulmuştur, vinç ve dış taramaların bütünleştirme işlemi için yine veri kaydı işlemi gerçekleştirilmiştir. Projede bu işlem **ext** olarak adlandırılmıştır ve bütün vinç ve dış taramalar bir tek tarama ögesinde birleştirilmiştir.



Şekil 5.6. Tarama işlemlerinin sınıflandırılması

Bu kayıt işleminin ortalama hatası nokta kümesi kaydı gerçekleştirildiği için 19 mm olarak belirlenmiştir.

Kilisenin iç kısmı kilisenin bölümlerine göre sınıflara ayrılarak tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. İç tarama işlemleri için de aynı prosedürler uygulanmıştır ve ortalama kayıt hatası 6 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.7. İç tarama verilerinin bütünleştirilmesi

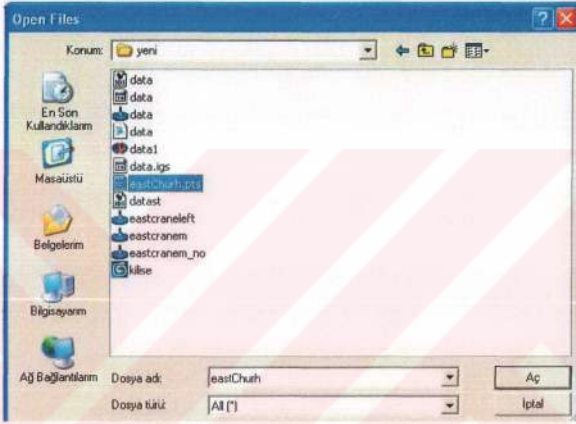
Bütün iç ve dış taramaların ayrı ayrı bütünleştirilmesinden sonra ise kilisenin tamamını kapsayan tarama ögesi için kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada da nokta kümesi temelli kayıt gerçekleştirildiği için meydana gelen ortalama hata 2 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.8. Kaydedilmiş ve bütünleştirilmiş laser nokta kümesi

6. LASER İLE MODELLEME:

Yüzey modellemenin amacı, nesnenin geometrik gösterimini üçgenleme yardımıyla ifade etmektir. Bu uygulamada yüzey modellemesini gerçekleştirmek için Geomagic Studio yazılımı kullanılmıştır. Laser verileriyle modelleme örneği için Yunanistan'da bulunan Bizans dönemine ait Samarrina Kilisesi'nin doğu cephesi ele alınmıştır. Doğü cephesine ait taranmış laser verisi Cyclone yazılımında bütünleştirilmiş ve koordinat sistemi olarak tarayıcı lokal koordinat sistemi ele alınmıştır.



Şekil 6.1. ASCII Biçiminde laser nokta verisinin Geomagic yazılımında açılması.

Daha sonra elde edilecek modelin doğruluğunu arttırmak amacıyla Tools-Options-Large Data menüsünden elde edilecek üçgen sayısını donanımın izin verdiği ölçüde yüksek bir değer olarak atamak gerekmektedir. Bu uygulama için 5 milyon üçgen olarak ayarlanmıştır.

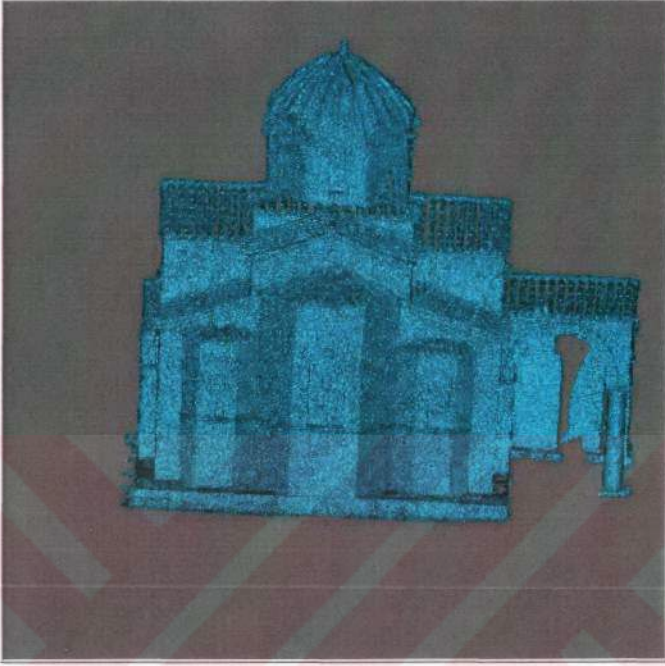
Cyclone yazılımından ASCII biçimde dışarı verilen nokta verisi Geomagic yazılımında açılmıştır.



Şekil 6.2. Samarrina Kilisesi Doğu Cephesi laser nokta kümesi.

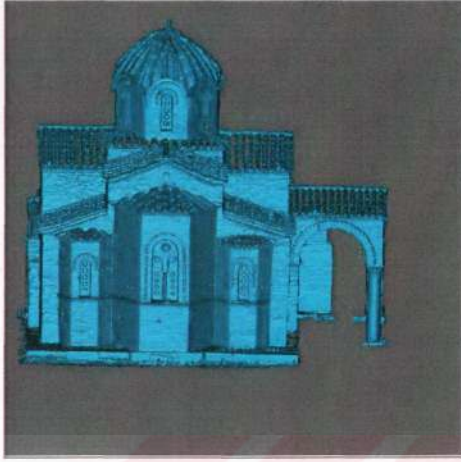
Geomagic yazılımında nokta, poligon ve şekil olmak üzere üç modul vardır. Nokta modülünde laser noktalarının düzenlenmesi, poligon modülü triangulasyon işlemi ve şekil modülü de NURBS modeller oluşturmak için kullanılmaktadır.

İlk aşama olan nokta modülünde manuel bir işlemler dizisi söz konusudur. Nokta kümesi yazılıma aktarıldıktan sonra istenmeyen noktaların silinmesi gibi işlemler kullanıcı tarafından gerçekleştirilir. Daha sonra nokta kümesindeki düzensiz noktalar saptanır ve kullanıcı tarafından silinmesi sağlanır. Ayrıca nokta inceletmede otomatik saptama fonksiyonu bina gibi nesnelerin modellenmesinde uygun olmayan sonuçlara ve detay kayıplarına neden olabileceğinden kullanılmamıştır. Nokta modülünde bu işlemlerden sonra wrap komutuyla üçgenleme işlemiyle modelleme gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirme işleminden sonra oluşan modelde düzensizlik (gürültü-noise) meydana gelmektedir.



Şekil 6.3. Gürültülü model

Yazılımda bulunan reduce noise işlevi ile bu düzensizlik giderilir ve gerçeğe yakın bir model elde edilir.



Şekil 6.4.Gürültüden arındırılmış model

Fakat bu modelde üçgenleme hatalarından dolayı bazı boşluklar meydana gelmektedir. Bunlar da yazılımda bulunan otomatik işlemlerle ortadan kaldırılabilir ve ortadan kaldırılamayan boşluklar kullanıcı tarafından düzenleme işlevleriyle doldurulabilmektedirler.

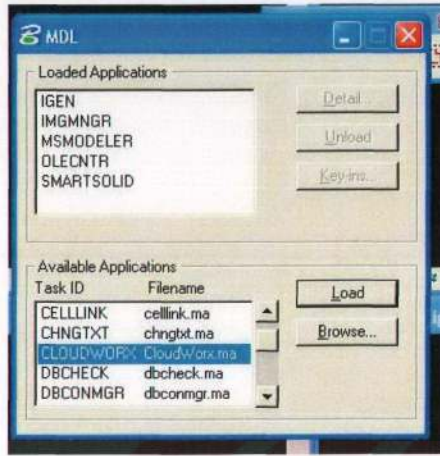
6.1 Laser Verilerinden İki Boyutlu Çizimler Elde Etme:

Fotogrametrinin ana konularından biri iki boyutlu çizimlerin elde edilmesidir. Laser tarayıcı sistemleriyle bu işlem hızlı bir işlemler dizisiyle mümkün olabilmektedir. Bu işlemle için mevcut CAD yazılımlarında oluşturulmuş modüller bulunmaktadır. Bu modüllerle laser tarayıcı yazılımının veritabanından ilgili veriye ulaşabilmekte ve iki boyutlu çizimler için kesit alınabilmektedir.

6.1.1 Cloudworks ile İki Boyutlu Çizim Gerçekleştirme:

Cloudworks Bentley firmasının geliştirilmiş ve AutoCAD ya da Microstation CAD yazılımlarında çalışabilen bir modüldür. Cyrax tarayıcı yazılımı olan Cyclone ile iletişim halinde çalışmaktadır.

Microstation üzerinde MDL fonsiyonu ile başlatılabilmektedir.



Şekil 6.5. Cloudworks Modülünün çalıştırılması

Bu işlemin yapılmasından sonra Cloudworks araç çubuğu gelmektedir.

Ayrıca üst menü çubuğunda Cloudworks işlevlerine ulaşılmasını sağlayan araç çubuğu da bulunmaktadır.



Şekil 6.6. Cloudworks Menüü



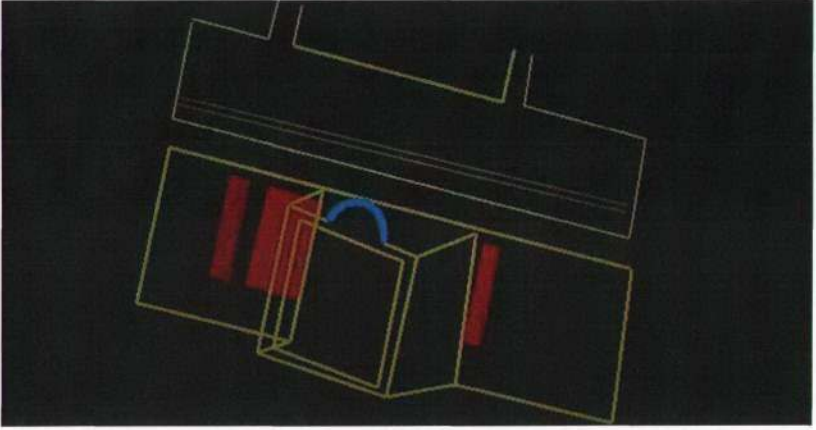
Şekil 6.6. Cloudworks Modülü Menü

Open ModelSpace View seçilmesiyle ilgili laser veritabanından istenen veri çalışma ortamında getirilebilmektedir.

Cloudworks yazılımı, çalışma yapılacak alanı nokta kümesinden çıkarma, diğer alanları gizleme, yapılan çizimleri nokta kümesiyle ilişkili hale getirme fonksiyonlarına sahiptir.

Uygulamayla ilgili çalışma Microstation CAD yazılımına çağrıldıktan sonra iki boyutlu çizimi yapılacak olan bölgeler sınıflandırıldı.

Bu çalışmaya ait uygulama Atina Teknik Üniversitesi kantin girişi örneği üzerinde açıklanmıştır.



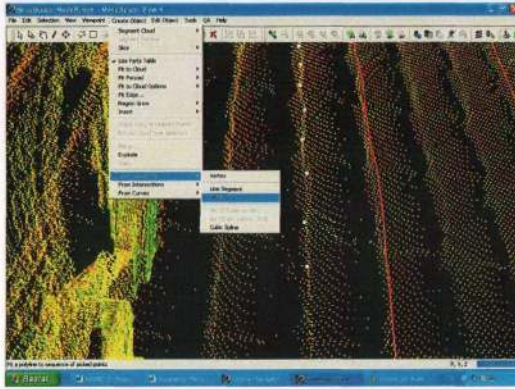
Şekil 6.7.Cloudwork ile laser verilerinden oluşturulan çizim.

6.1.2 Cyclone Yazılımıyla İki Boyutlu Çizimlerin Gerçekleştirilmesi:

Cyclone programında da iki boyutlu çizimler oluşturulabilmektedirler. Bunun için bütünleştirme işleminden geçirilmiş laser noktalarının kullanıcı tarafından düzenleme işlemine tabi tutularak, nokta çizgi, eğri, yay gibi temel iki boyutlu geometrik şekillere dönüştürme işlemiyle çizimler oluşturulabilmektedir.

Bu işlem için Cyclone yazılımından yararlanılmış ve işlemler manual olarak gerçekleştirilmiştir.

Kayıt ve bütünleştirme işleminden geçirilen laser nokta kümesi, çizim için hazır hale getirilmiştir. Nesneyi oluşturan doğru parçalarını oluşturan noktalar nokta kümesinden seçilip doğru ve yay geometrik nesneleri kullanılarak çizim gerçekleştirilmiştir.

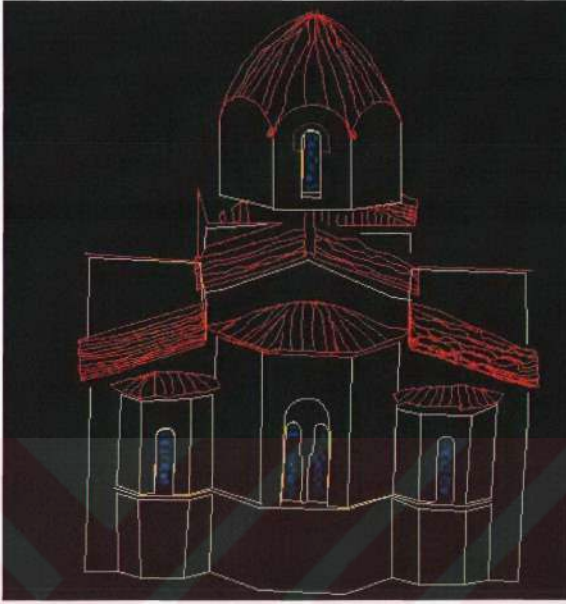


Şekil 6.8.Noktaların seçilip doğru haline getirilmesi



Şekil 6.9.Noktaların seçilip yay haline getirilmesi

Çizimi gerçekleştirilen nesnede kenarlar, pencereler gibi çizimi gerçekleştirilecek kısımlardaki laser noktalarının seçilmesiyle çizim gerçekleştirilir.



Şekil 6.10.Cyclone yazılımı ile elde edilen çizim

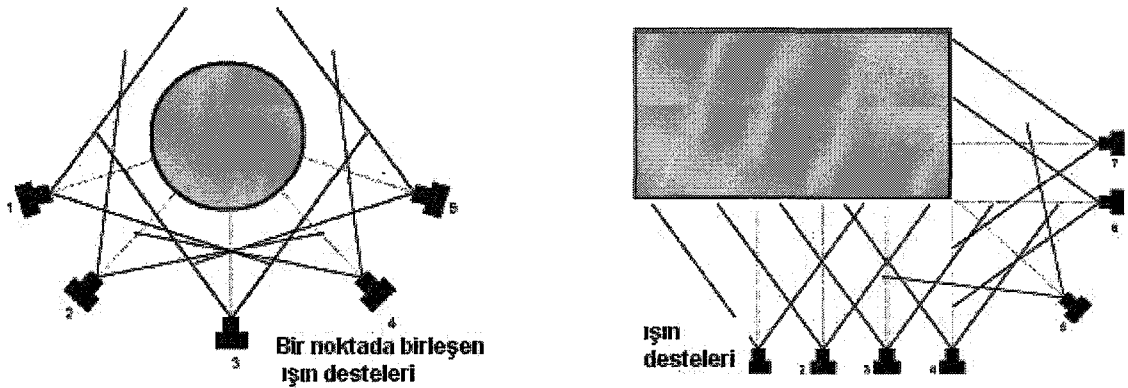
7. LASER TARAMA TEKNOLOJİSİ VE FOTOGRAMETRİNİN BERABER KULLANILMASINA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR:

7.1 Yoğunluk Verisi İçeren Seçilen Laser Noktaları Yardımıyla Görüntülerin Işın Desteleri Yöntemine Göre Dengelenmesi

7.1.1 Fotogrametride Işın Desteleri Yöntemiyle Dengeleme

Bazı durumlarda karmaşık şekilli nesnelerin elde edilmesinde resim çiftleri yeterli olmamaktadır. Bunun için bütün nesneyi kaplayan görüntüler kullanılır. Bütün bina veya her nesne için benzer çözümler istendiğinde, ölçümlere ek olarak tüm görüntülerin eş zamanlı olarak dönüklükleri gerekmektedir.

Bu yöntemin bir yararı da işlemi yaparken kalibrasyon olanağı sağlamasıdır. Bu da kullanıcıya bilinmeyen veya kalibre edilmemiş kameralarla çalışma olanağı sağlamaktadır. Bu nedenle bu teknikte metrik kameralarla çalışmak bir koşul olmadığından daha esnek bir yapı sunmaktadır. Aynı zamanda kamera konumunun geometrisi ayarlanabilir, paralel görüş gerekli değildir. Yatay, düşey ve eğik fotoğraflarla çalışılabilmektedir. Farklı kamera veya merceklerin kombinasyonu kolaylıkla yapılabilmektedir.(Guarnieri, 2004)



Şekil 7.1. Işın desteleri yöntemi (Guarnieri, 2004)

Çekilen fotoğraflarda, her noktanın en az iki ışının kabul edilebilir bir açıyla kesişmesiyle ifade edilmeleri gerekmektedir. Bu kabul edilebilir açı istenen doğruluk derecesine bağlıdır. Ek bilgi olarak yüzeylerin düzlüğü ve çizgilerin paralellliği, çeşitli kısımların dikliği bu işlemde tanımlanabilir ve nesnenin geometrisi hakkında sağlıklı çözüm elde edilebilir.

Tüm ölçümler ve bilinmeyen parametreler istatistiksel en küçük kareler dengelemesiyle hesaplanır. Sistemin artık hatalarına göre, kaba hatalar elemine edilebilir, böylece sadece doğruluk derecesi değil aynı zamanda sonuçların gerçekliği de doğal olarak da arttırılabilmektedir. (Guarnieri, 2004)

Işın desteleriyle dengeleme yöntemi sayısal yersel fotogrametri uygulamalarında sık kullanılan bir tekniktir. Yarı metrik, metrik kameraların kullanılabilmesi, bir noktada kesişen ışınlara sahip fotoğrafların kullanılması ve basit bir bilgisayar üzerinde elde edilebilen esnek ölçümlerin kombinasyonunu sağlamaktadır. Dengeleme işleminden dolayı, sonuçlar daha güvenilir, doğru ve CAD uygulamaları için kolaylıkla hazır duruma getirilmektedir. (King, 1997)

Işın dengelemelerinin sonuçları genellikle ilgili nesnenin üç boyutlu tel kafes ve yüzey modelleri olarak veya koordinat listesi ve topolojik ilişkileri olarak elde edilmektedir. Bunlar da CAD veya bilgi sistemlerinde kullanılabilir. Görselleştirme veya animasyon olarak ya da diğer değişle phototexture model olarak da elde edilebilen sonuçlar arasındadır. Genellikle nesne bir adımda elde edilir, doku (tekstur) ise orjinal görüntülerden elde edilmektedir.

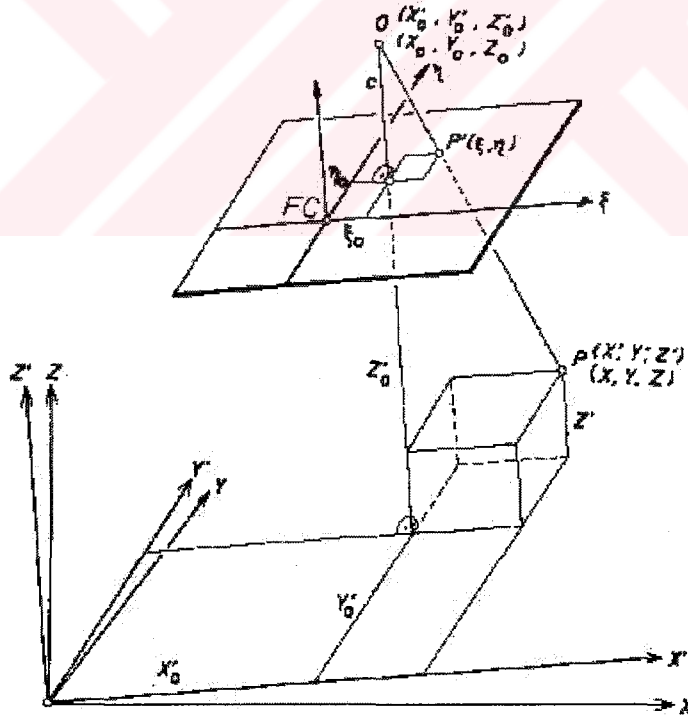
Işın desteleri yoluyla dengeleme modellemenin türüne bakmaksızın, ortofoto üretiminde, fotogrametrik değerlendirmede, self kalibrasyon işleminde ele alınması gereken önemli bir konudur. Sağlam bir dış yöneltme sağlamak için gerekli parametreler önem teşkil etmektedirler. İç yöneltmeyi gerçekleştirme, tam self kalibrasyonla ışın desteleriyle dengeleme işlemi sıklıkla uygun olmayan ve de genellikle de nesne derinliğüne fakat aynı zamanda da elverişsiz geometri, hatalı ve yanlış seçilmiş kontrol noktalarıyla dış yöneltmede hata yapmayı sınırlamaktadırlar. Diğer yandan tam self kalibrasyon her zaman pratik olmayabilir, özellikle eğer değişik tipte metrik olmayan kameralar kullanılmışsa bu uygun olmayan durum ortaya çıkmaktadır. (Grammatikopoulos, 2004)

Bu yöntemin esası kollinearite yani üç noktanın aynı doğru üzerinde bulunması koşuludur.

Bu ilkeye göre şu koşullar yerine getirilmektedir:

- Fotoğraf noktası(P'), izdüşüm merkezi(O) ve arazi noktası (P) aynı izdüşüm üzerindedir.
- Aynı noktaya ait izdüşüm ışınları arazide aynı noktada kesişir.
- Yer kontrol noktalarının koordinatları verilen değerlere eşit olmalıdır.

Bu düzeltme denklemlerinde bilinmeyenler, her fotoğrafın $\Omega\Phi K$ dönüklük açıları ile $X_{o,i}$ $Y_{o,i}$ $Z_{o,i}$ izdüşüm merkezinin koordinatları ve bütün bağlama noktalarının $X_y Y_y Z_y$ koordinatlarıdır.



Kolinearite koşulu: Projeksiyon merkezi O , fotoğraf üzeri nokta ve nesne üzerindeki nokta aynı doğru üzerindedir.

Şekil 7.2.Kolinearite koşulu (Altan)

$$x' = f \cdot \frac{a_{11}(X - X_o) + a_{21}(Y - Y_o) + a_{31}(Z - Z_o)}{a_{13}(X - X_o) + a_{23}(Y - Y_o) + a_{33}(Z - Z_o)}$$

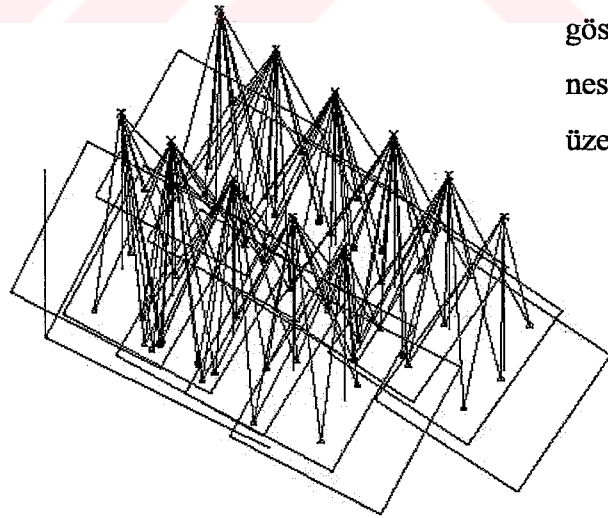
$$y' = f \cdot \frac{a_{12}(X - X_o) + a_{22}(Y - Y_o) + a_{32}(Z - Z_o)}{a_{13}(X - X_o) + a_{23}(Y - Y_o) + a_{33}(Z - Z_o)}$$

Kolinearite formülü:

f:kalibre edilmiş odak uzaklığı

a:dönüşüm matrisi katsayısı

Işın desteleriyle görüntüleri dengelemesi yönteminde isminden de anlaşılacağı gibi projeksiyon merkezinden fotoğraf noktalarına olan ışınlar kullanılmaktadır.



Işın demetlerinin optimal gösterimi: Burada ışınlar nesne ya da yer üzerinde üzerinde kesişmektedirler.

Şekil 7.3. Işın destelerinin optimal gösterimi (Altan)

Işın desteleriyle görüntülerin dengelemesi yönteminde fotoğraf koordinatlarından

yararlanılmaktadır.

Bu yöntemde ölçmeler gerçekte fotoğraf koordinatlarıdır. Elde edilen koordinatlar ise aralarında korelasyon da olabilecek türetilmiş koordinatlardır. Bu nedenler teorik açıdan ışın destleri yöntemi sağlam bir matematik temele dayanmaktadır.

Bu yöntemde nesneden koordinatların belirlenmesi bir ara işlem olmayıp nesne ve fotoğraf koordinatlarının arasındaki ilişkiler hesaplanmaktadır. Işın destleri yoluyla dengeleme yönteminde görüntü koordinatları ve tanımlanmış projeksiyon merkezi , uzayda ışın destlerini tanımlamaktadırlar. Tüm destlerin dış yöneltme elemanları, fotoğraflardan eş zamanlı olarak hesaplanmaktadır. Kontrol noktalarının nesne ve görüntü koordinatları, bağlama noktalarının görüntü koordinatlarıyla birlikte başlangıç verisini oluşturmaktadır.

En küçük kareler yönteminin ifade edilmesiyle;

Işın destleri mümkün olduğunca bağlama noktalarında kesişirler ve mümkün olduğunca da kontrol noktalarının yanından geçerler.

X'Y'Z' nesne koordinat sistemi , görüntü koordinat sistemine paralel $\xi\eta\zeta$ (her görüntü noktası için $\zeta=0$ ve projeksiyon merkezi için $\xi=0$) ve orjinal XYZ nesne koordinatlarına dönüştürülmüştür. X'Y'Z' için kolinearite koşulu için eşitlikler yazılırsa;

$$\frac{x - x_0}{c} = \frac{X' - X'_0}{Z'_0 - Z'}$$

$$\frac{h - h_0}{c} = \frac{Y' - Y'_0}{Z'_0 - Z'}$$

$$x = x_0 - c \frac{X' - X'_0}{Z' - Z'_0}$$

$$h = h_0 - c \frac{Y' - Y'_0}{Z' - Z'_0}$$

X'Y'Z' görüntü koordinatlarının XYZ nesne koordinatlarına dönüştürülmesi;

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' - X_0 \\ Y' - Y_0 \\ Z' - Z_0 \end{bmatrix} \quad (7.7)$$



Bu ifadeyle $RT=R^-$ çarpılmasıyla ve ζ ve η eşitliklerinde yerlerine koyulmasıyla görüntü ve nesne arasındaki ilişki tanımlanmış olmaktadır.

$$x = x_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = x_0 - c \frac{Z_x}{N}$$

$$h = x_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = h_0 - c \frac{Z_x}{N}$$

(7.8) ifadesinde R matrisi elemanları ω ϕ κ dönüklük açılarının fonksiyonlarıdır.

7.1.2 Işın Desteleri Yöntemiyle Görüntülerin Dengelenmesinde Laser noktalarının Kontrol Noktaları Olarak Kullanılması

Bu uygulamada amatör kamerayla elde edilmiş görüntülerin laser tarayıcıdan elde edilmiş yoğunluk verisi içeren laser noktaları kullanılarak ışın desteleri yöntemi ile dengelenmesi amaçlanmıştır. Uygulama alanına doku içeren kağıt nesneler yapıştırılmasıyla, bu noktaların laser nokta kümesinden seçilebilmesi hedeflenmiştir. Tarayıcı sistemi olarak Cyrax 2500, amatör kamera olarak ise Sony 5 Megapiksel kamera kullanılmıştır. Laser nokta kümesinin kaydı ve bütünleştirilmesi için Cyclone yazılımı, Işın desteleri yoluyla dengeleme için ise AUTOCAD yazılımı bünyesinde çalışan BASTA yazılımı kullanılmıştır. Aşağıda bütün işlem adımları ayrıntılı olarak ele alınmıştır:

Laser tarayıcı ile taranan noktaların yeryüzünde bir koordinat sistemine bağlanabilmeleri için laser taramadan bağımsız olarak bir total station yardımıyla nesne üzerine yerleştirilen hedef noktaları yardımıyla, taranan noktalar belirlenen bir koordinat sistemine bağlanabilmektedir.

Bu uygulamada total station konumu $x,y,z=(0,0,0)$ kabul edilerek işlem yapılmıştır.



Şekil 7.4. Uygulamanın yapıldığı bina girişi

Reflektörsüz total station kullanımıyla yerleştirilen fotogrametrik hedef noktaları ve daha sonra ışın desteleri yoluyla dengeleme işleminde kullanılacak nesne üzerine yerleştirilmiş doku nesnelere takeometrik alım yapılmıştır.

Ayrıntı noktalarının konumlarının jeodezik yöntemlerle belirlenmesiyle ışın desteleri dengelemesi, laser noktalarından okununan ve jeodezik yöntemlerle elde edilen koordinatların karşılaştırılması sağlanabilecektir.

Bu işlemde belirlenen her nokta için yatay açı, düşey açı, eğik mesafe elde edilmiştir. Nokta koordinatları takeometrik alım hesapları yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 7.1 Total stationla elde edilen koordinatlar

Nokta Numaraları	X(m)	Y(m)	Z(m)
866	1.773	0.000	-10.356
867	1.040	1.450	-9.854
868	1.860	2.002	-7.694
869	-0.062	2.049	-7.659
870	1.798	3.878	-5.832
871	-0.050	3.946	-5.792
872	1.902	7.036	-7.942
873	-0.260	7.085	-7.917
874	4.014	5.127	-8.510
875	3.921	1.317	-9.729
901	2.921	2.466	-9.311
902	3.993	3.388	-9.105
903	3.633	3.894	-8.932
Nokta	X(m)	Y(m)	Z(m)

Numaraları			
904	2.048	4.665	-8.672
905	2.957	4.929	-8.474
906	0.259	2.672	-7.759
907	0.258	4.064	-7.316
101	0.961	0.899	-10.044
102	0.979	0.848	-10.062
103	0.800	1.203	-7.485
104	0.470	1.096	-10.115
105	0.486	2.621	-7.778
106	0.433	2.710	-7.748
107	1.096	3.906	-5.824
108	1.023	7.093	-7.928
109	0.019	7.207	-7.883
110	1.153	6.917	-7.984
111	1.077	3.867	-5.858
112	1.049	0.739	-10.102
113	-0.228	7.340	-7.836
114	1.903	2.833	-6.869
115	1.956	3.381	-6.340
116	1.517	2.760	-7.732
117	0.837	1.314	-10.035
Nokta	X(m)	Y(m)	Z(m)

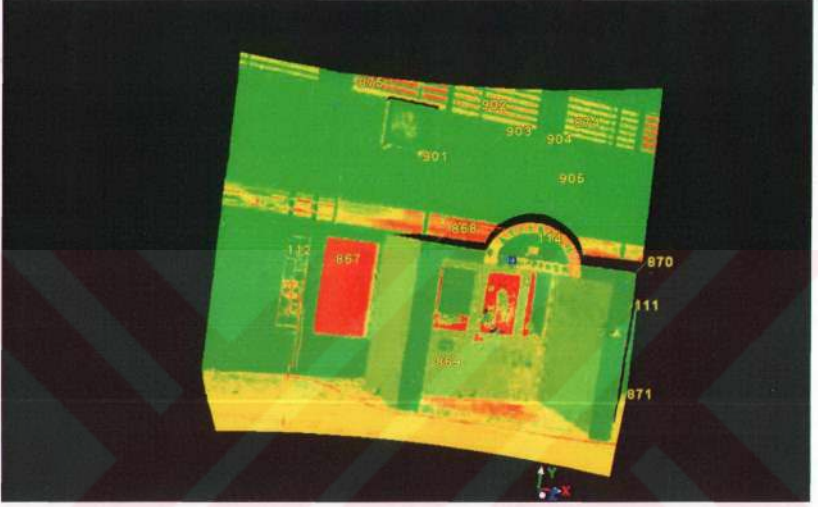
Numaraları			
118	0.520	2.740	-7.737

Bu işlem sayesinde noktaların belirli bir koordinat sistemine bağlanması sağlanmış ayrıca ışın desteleri yoluyla dengeleme için laser verilerinin yoğunluk değerlerinden seçilen noktalar ve dengeleme sonucu elde edilen bağlama noktalarının koordinatlarının doğruluğunun kontrolü sağlanmıştır.

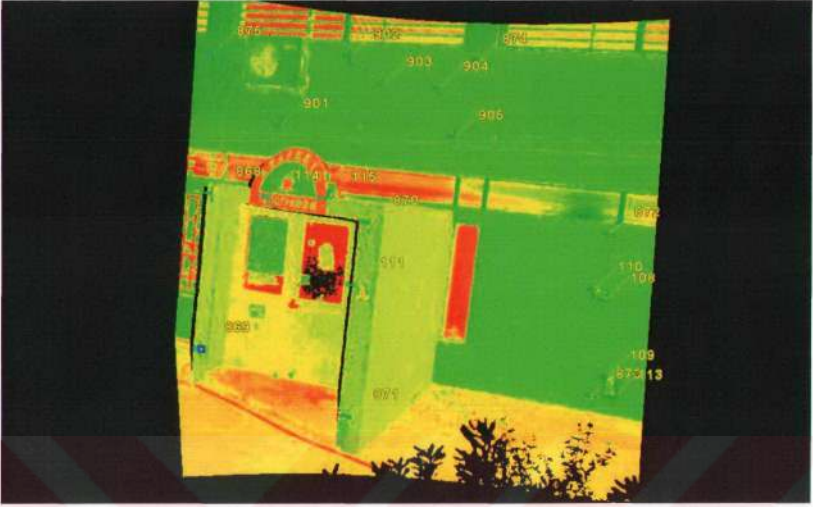


Daha sonra ilgili nesne sağ ve sol yandan olmak üzere iki yönden 6 mm çözünürlükte taranmıştır.

Elde edilen iki tarama kümesinde takeometrik olarak koordinatları hesaplanan noktalar yoğunluk görüntülerinde saptanarak işaretlenmiştir.

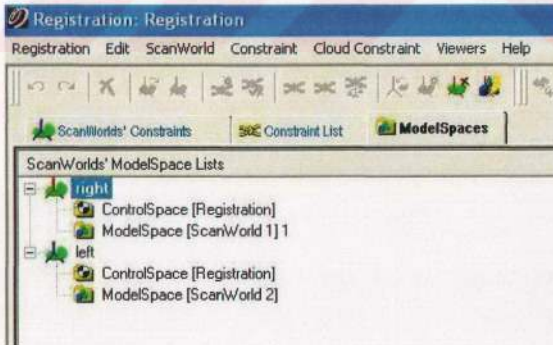


Şekil 7.7. Sol yönden taranmış laser nokta kümesi ve işaretlenen kontrol noktaları



Şekil 7.7. Sağ yönden taranmış laser nokta kümesi ve işaretlenen kontrol noktaları

Sağ ve sol tarama kümeleri öncelikle kendi aralarında bütünleştirme işlemine tutulmuşlar ve daha sonra hedef bazlı bütünleştirme uygulaması yapılmıştır.



Şekil 7.8. Sağ ve Sol Laser Nokta Kümelerinin Kayıt ve Bütünleştirme İşlemi

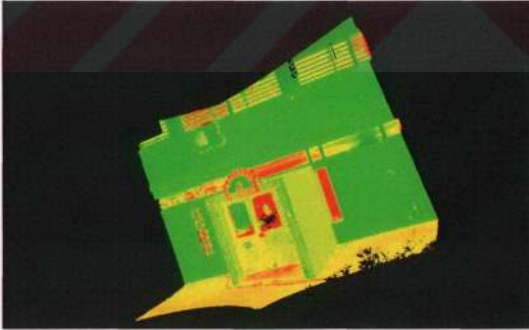
Bu yöntemde her iki tarama kümesinde işaretlenmiş olan noktalar esas alınarak bütünleştirme otomatik olarak gerçekleştirilmektedir

Registration: Registration							
Registration Edit ScanWorld Constraint Cloud Constraint Viewers Help							
ScanWorlds' Constraints							
SAC Constraint List							
ModelSpace							
Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
SAC TargetID: 8...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.003, 0.004, -0.002) m
SAC TargetID: 9...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.001, -0.003, 0.002) m
SAC TargetID: 8...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, -0.002, 0.000) m
SAC TargetID: 8...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.002, 0.000, 0.003) m
SAC TargetID: 8...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.001, 0.001, 0.005) m
SAC TargetID: 9...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.007 m	(-0.006, -0.002, -0.004) m
SAC TargetID: 9...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.001, 0.004, -0.003) m
SAC TargetID: 9...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.004, 0.005, -0.002) m
SAC TargetID: 1...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.000, -0.005, -0.002) m
SAC TargetID: 9...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.002, 0.001, 0.003) m
SAC TargetID: 8...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.002, 0.004, -0.003) m
SAC Auto [Targ...	right	left	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.009 m	(0.005, -0.007, 0.002) m

Şekil 7.9. Kayıt işlemi ekranı

Takeometrik alımla koordinatları belirlenen kontrol noktaları import fonksiyonu yardımıyla sisteme aktarılmış ve bir önceki adıma benzer işlemle kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir.

Bu koordinatlar laser tarayıcı koordinat sisteminde tanımlanarak $X=-Z$ $Y=Y$ $Z=X$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 7.10. Kayıt ve bütünleştirme işleminden sonra laser nokta kümesi

Meydana gelen RMS hatası ortalama 5 mm .olarak tespit edilmiştir.

Işın Desteleriyle görüntülerin dengelenmesi için ilgili nesnenin fotoğrafları birbirlerine bindirmeli olarak çekilmiştir.

Bu fotoğraflar için amatör SONY 5 MP sayısal kamera kullanılmıştır.

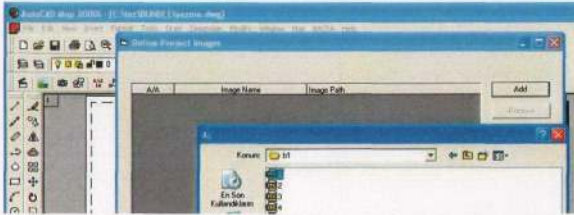


Şekil 7.11. Amatör kamera ile elde edilen görüntüler

Işın desteleri yoluyla dengeleme için Atina Ulusal Teknik Üniversitesi'nde geliştirilen BASTA yazılımı kullanılmıştır.

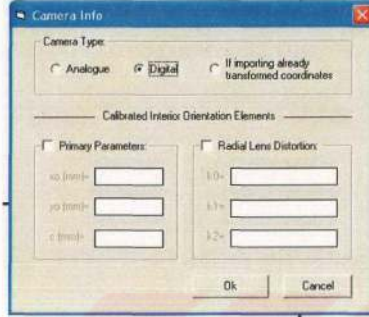
Bu yazılım AUTOCAD 2000 platformunda çalışan bir modül olarak tasarlanmıştır.

Bu çalışma öncelikle elde edilen görüntülerin çalışma ekranına getirilmesi sağlanmıştır.



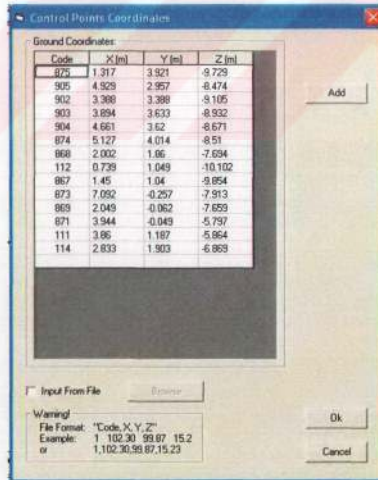
Şekil 7.12. Görüntülerin yazılımda açılması

Kullanılan kamera olarak sayısal ve kamera parametreleri bilinmeyen kamera seçeneği seçilmiştir.



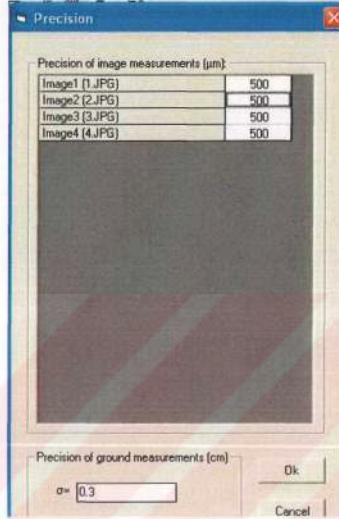
Şekil 7.13.BASTA Yazılımında kamera parametreleri ekranı

Daha sonra laser noktalarından seçilen kontrol noktası olarak kullanıcak noktalar belirlenmi ve projeye dahil edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 7.14.Kontrol noktalarının yazılıma dahil edilmesi

Görüntü duyarlılığı yaklaşık olarak 500 μm ve yer ölçmelerinin duyarlılığı 3 mm olarak kabul edilmiştir.



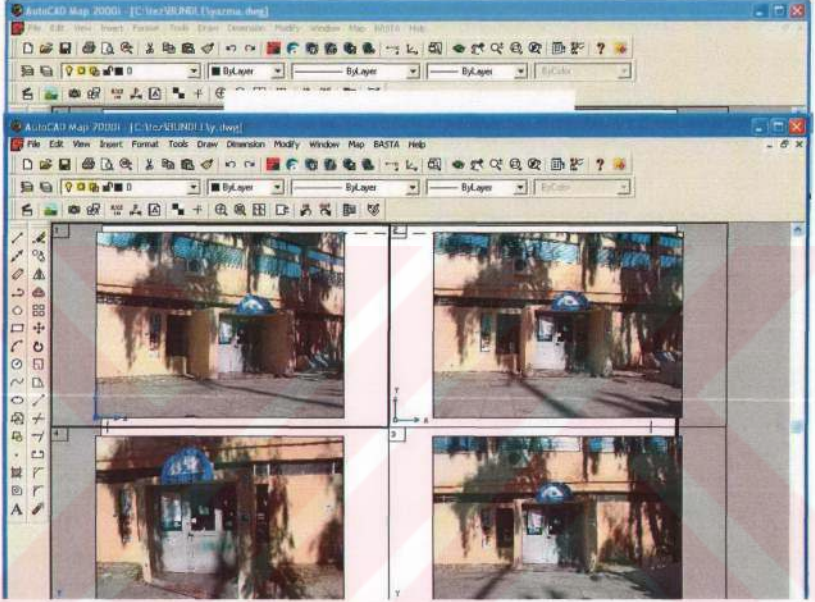
Şekil 7.15. Görüntü duyarlılıkları ekranı

Bu işlemden sonra dört görüntü için yaklaşık $X_oY_oZ_o$ ve $\omega \phi \kappa$ değerleri belirlendi.

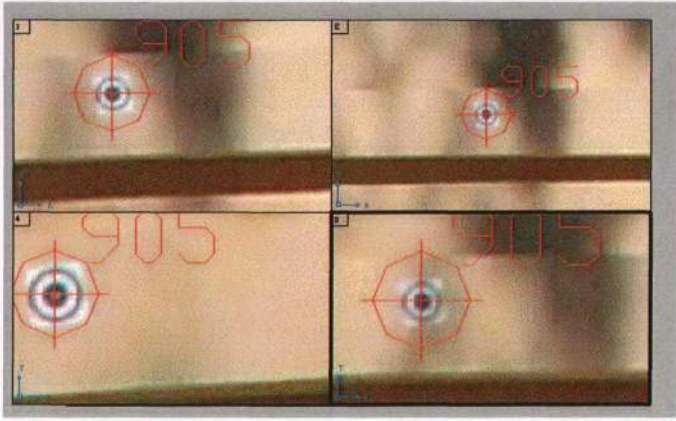
Çizelge 7.2. Yaklaşık görüntü koordinatları ve dönüklük açıları değerleri

Görüntü	$X_o(m)$	$Y_o(m)$	$Z_o(m)$	$\Omega(gon)$	$\Phi(gon)$	$K(gon)$
1	0.40	1.70	-0.50	395	376	396
2	0.20	1.65	-1.00	397	366	397
3	1.10	1.03	0.50	399	376	399
4	2.50	1.53	-2.00	391	389	396

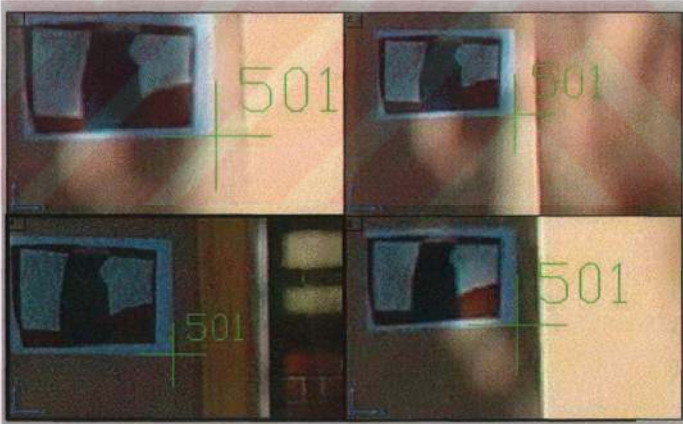
Yaklaşık kamera parametresi olarak $x_0, y_0 = 0$ mm ve c parametresi 2500 m olarak kabul edilmiştir. Daha sonra dört görüntüdeki ilgili noktalar kontrol noktası olarak işaretlenmiş ve bağlama noktaları oluşturulmuştur.



Şekil 7.16.BASTA Yazılımında kullanılan görüntüler



Şekil 7.17.Kontrol noktalarının işaretlenmesi



Şekil 7.18.Bağlama noktalarının işaretlenmesi

Bütün ilgili bağlama noktalarının işaretlenmesinden sonra bu noktaların konumlarının belirlenmesi için ilgili yazılımda işlem gerçekleştirilmiştir ve kullanılan kamera için Çizelge 7.3 'de görülen sonuçlar elde edilmiştir.

Ayrıca syöntemin doğruluğunu araştırmak için aynı noktaların laser nokta kümesinden de seçilmesiyle konum kontrolü sağlanabilmiştir.

Çizelge 7.3.Dengeleme sonucu yazılımdan çıkan sonuçlar

Sonuçlar		
c(piksel)	2566.27	+/- 2.5
x0(piksel)	6.74	+/- 1.17
y0(piksel)	7.039	+/- 1.19
k1($\times 10^{-8}$)	-3.24	
k2($\times 10^{-15}$)	4.79	

Çizelge 7.4. Aynı noktaların ışın desteleri ve laserden elde edilmesiyle çıkan sonuçların karşılaştırılması

Nokta No		Işın desteleri	Laser	Fark(mm)
3	X	2.673	2.673	0
	Y	0.2573	0.257	0.3
	Z	-7.7632	-7.761	-2.2
9	X	3.2714	3.268	3.4
	Y	0.9958	1	-4.2
	Z	-7.5601	-7.559	-1.1
115	X	3.4903	3.486	4.3
	Y	1.9614	1.965	-3.6
	Z	-6.2419	-6.237	-4.9

Nokta No		Işın desteleri	Laser	Fark(mm)
501	X	4.0062	4.011	-4.8
	Y	1.0756	1.075	0.6
	Z	-5.725	-5.723	-2
502	X	3.8341	3.834	0.1
	Y	-0.3205	-0.324	3.5
	Z	-5.8894	-5.904	14.6
503	X	0.9748	0.973	1.8
	Y	0.1162	0.112	4.2
	Z	-10.0148	-10.015	0.2
504	X	7.0986	7.096	2.6
	Y	1.169	1.17	-1
	Z	-7.9185	-7.917	-1.5
505	X	7.1743	7.175	-0.7
	Y	0.0242	0.022	2.2
	Z	-7.8896	-7.893	3.4
506	X	2.9454	2.944	1.4
	Y	-0.208	-0.214	6
	Z	-7.6568	-7.661	4.2

Nokta No		Işın desteleri	Laser	Fark(mm)
508	X	0.7188	0.721	-2.2
	Y	1.0676	1.07	-2.4
	Z	-10.1125	-10.11	-2.5
509	X	0.9757	0.972	3.7
	Y	1.8307	1.834	-3.3
	Z	-10.0258	-10.018	-7.8
510	X	1.2567	1.253	3.7
	Y	2.9405	2.935	5.5
	Z	-9.7447	-9.747	2.3
511	X	1.566	1.563	3
	Y	1.8286	1.822	6.6
	Z	-9.8223	-9.816	-6.3
512	X	2.4991	2.497	2.1
	Y	0.7829	0.788	-5.1
	Z	-7.8293	-7.828	-1.3
508	X	4.924	4.93	-6
	Y	4.3546	4.351	3.6
	Z	-8.6806	-8.681	0.4
Nokta		Işın desteleri	Laser	Fark(mm)

No				
514	X	3.6954	3.696	-0.6
	Y	0.591	0.591	0
	Z	-7.4116	-7.404	-7.6
515	X	7.4022	7.396	6.2
	Y	-0.2536	-0.249	-4.6
	Z	-7.8232	-7.817	-6.2
901	X	2.4678	2.468	-0.2
	Y	2.9204	2.92	0.4
	Z	-9.3144	-9.314	-0.4

Çizelge 7.5 Bağlama noktalarının koordinatlarının ortalama hatası

dx(mm)	dy(mm)	dz(mm)
1.174	0.368	-0.695

Bu sonuçlardan da görülebileceği üzere amatör kameradan elde edilmiş görüntülerin ışın desteleri yoluyla dengelemesinde laser nokta kümesinin kullanılabilirliği sonucuna ulaşılmıştır.



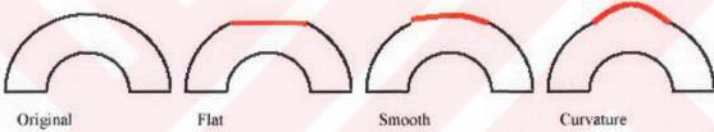
7.2 Laser Verileri ile Oluşturulan Modellerde Meydana Gelen Boşlukların Fotogrametrik Veriyle Doldurulması

7.2.1 Samarrina Kilisesi Doğu Cephesi Üzerinde Uygulama

Bir önceki bölümde açıklandığı üzere modelleme yazılımında üçgenleme işleminden kaynaklanan hatalardan dolayı, oluşan modelde boşluklar meydana gelmektedir. Bu meydana gelen boşlukların yazılım tarafından otomatik olarak giderilebilmesi mümkündür, fakat yazılımın bu işlemi yapabilmesi işlem yapılan bilgisayarın gücü, verinin hacmi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir.

Yazılım, bu boşlukları gidermek için üç farklı teknik kullanmaktadır. Bunlar:

1. Yatay doldurma
2. Yumuşatarak doldurma
3. Eğrisel doldurma



ss.

Şekil 7.19. Modellemede boşluk doldurma çeşitleri

Bu oluşan boşlukların giderilmesi için aynı nesnenin fotogrametrik yöntemle elde edilmiş modelinden yararlanılması amaçlanmıştır.

Bunun için çalışmamıza konu olan Samarrina kilisesi doğu cephesi ve çan kulesi ele alınmıştır. Doğu cephesinin fotogrametrik yöntemle modeli için (Katopodi,2005) çalışmasında elde edilen Photomodeller yazılımı kullanılarak oluşturulan model kullanılmıştır. Çalışmamıza konu olan modelin üzerinde bulunan boşlukların giderilmesi için bu modelden yararlanılmıştır.

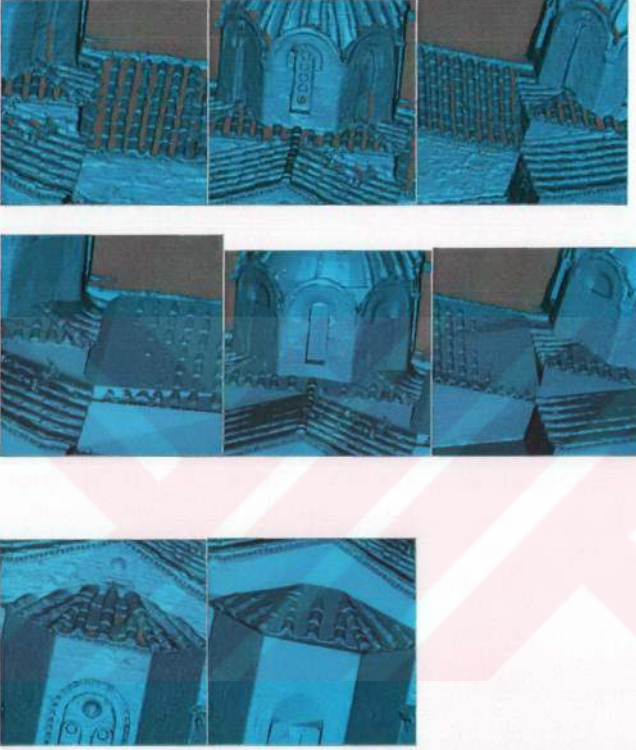


Şekil 7.20 Photomodeller Yazılımıyla elde edilen model (Katopodi,2005)

Laser verilerinden elde edilen model ve fotogrametrik yöntemle elde edilen modelin birlikte aynı koordinat sisteminde açılmasıyla meydana gelen boşlukların giderilmiştir. Bu sorunun çözülmesi için önce iki model aynı koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Bunun için fotogrametrik yöntemle elde edilen modelin koordinatları referans olarak kabul edilmiş ve laser noktaları kayıt (registration) işlemiyle koordinat sistemi buna dönüştürülmüştür. Sonra bütün noktalar tekrar modellemeye tabi tutularak koordinat birliği sağlanmıştır.

Fotogrametrik yöntemle elde edilmiş modelin OBJ dosya biçiminde dışarı verilmesiyle laser modelleme yazılımında iki modelin üstüste açılması sağlanmış ve modeldeki boşlukların fotogrametriden elde edilen modelle giderilmesi sağlanmıştır.

Boşlukların oluştuğu kısımların ve fotogrametrik veriyle bunların giderilmesi:



Şekil 7.21. Boşluk olan kısımların fotogrametrik veriyle kapatılmalarının gösterimi



Şekil 7.22.İki Modelin üstüste çakıştırılmasıyla meydana gelen Bboşlukların giderilmesi.

7.3 Samarrina Kilisesi Çan Kulesinin Laser Verileri ile Modellenmesinde Fotogrametri ve CAD Ortamından Yararlanılması

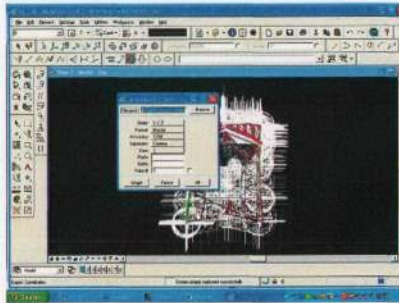
Çan Kulesinin modeli; fotogrametik veriler için photomodeller yazılımında, laser verilerinden elde edilen modeli de Geomagic yazılımında gerçekleştirilmiştir Fotogrametri ve laser tarama yöntemiyle elde edilen modellerin aynı koordinat sisteminde tanımlanması için veri kaydı ve bütünleştirilmesi (registration) yönteminden yararlanılmış ve bunun için Cyclone yazılımı kullanılmıştır.

Baz olarak ele alınacak modelin photomodeler yazılımından elde edilecek fotogrametrik yöntemle oluşturulmuş model kabul edilmiş ve bunun için bu model üzerinde koordinat dönüşümünde kullanılacak kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 7.23. Fotogrametriyle elde edilen modelin .dxf dosya biçiminde CAD yazılımında açılması.

Bunun için fotogrametrik yöntemle oluşturulmuş model CAD yazılımında .dxf dosya biçiminde açılmış ve nokta verisi olarak dışarıya aktarımı sağlanmıştır.

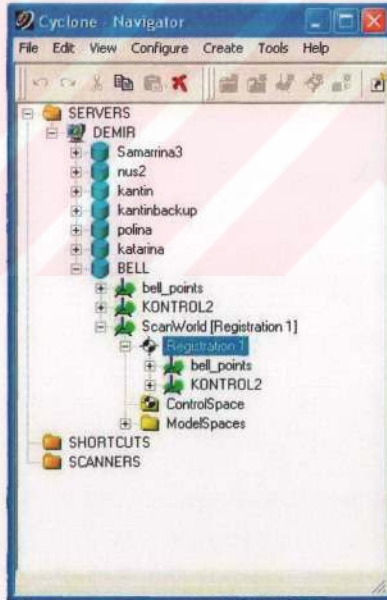


Şekil 7.24. Modelin nokta olarak aktarımı



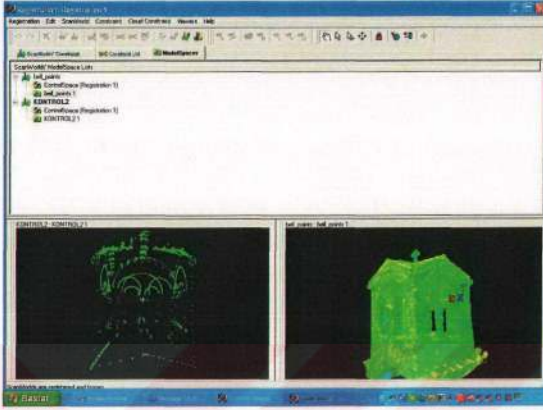
Şekil 7.25.dxf dosya biçimindeki modelin dışarıya nokta verisi olarak aktarımı.

Dışarı aktarılan noktalar kayıt ve bütünleştirme(registration) yöntemiyle laser nokta kümesinin koordinat sisteminin fotogrametrik modelin koordinat sistemine dönüştürülmesi sağlanacaktır. Öncelikle modelden sağlanan noktaların Cyclone yazılımına aktarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.26.Cyclone Yazılımında laser noktalarının ve modelden sağlanan noktaların kayıt işlemine aktarılması

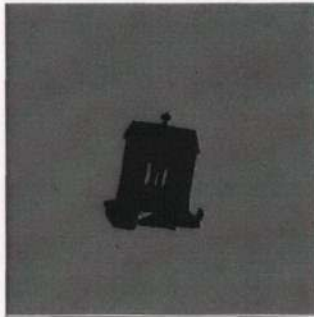
Kayıt işleminde sol ekranda modelden elde edilen noktalar sağda ise orjinal laser nokta kümesi görünmektedir.



Şekil 7.27. Veri kaydı ve bütünleştirme işlemi

İki ayrı nokta kümesinden ortak noktaların seçilmesiyle orjinal laser nokta kümesi, fotogrametriden elde edilmiş modelin koordinat sisteminde tanımlanmış olmaktadır.

Koordinat sistemi fotogrametrik model koordinat sistemine dönüştürülmüş laser nokta kümesi modelleme yazılımında açılmış ve ilgili işlem dizisi uygulanmıştır.



Şekil 7.28. Modelleme yazılımında açılan koordinat sistemi dönüştürülmüş nokta kümesi.

Modelleme yazılımında yüzey ağı ile model oluşturulmuştur.



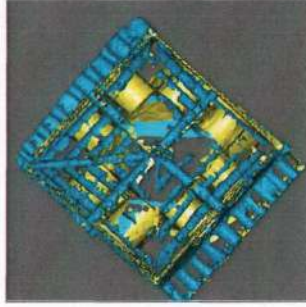
Şekil 7.29. Modelleme yazılımında oluşturulan ilk model.

Bu oluşturulan modelde üçgenleme işleminden dolayı gürültü azaltma işlemi yapılmıştır.



Şekil 7.30. Gürültü giderme işlemi yapıldıktan sonra.

Oluşturulan modelde özellikle çatı kısmında , bir önceki bölümde belirtilen nedenlerden dolayı büyük boşluklar meydana gelmiştir. Bu çalışmada bu boşlukların fotogrametrik veriyle giderilmesi amaçlanmıştır.



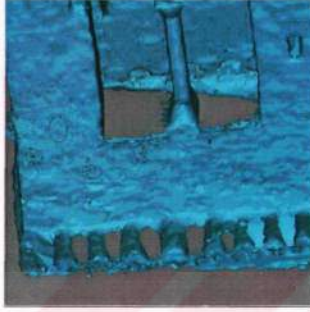
Şekil 7.31. Modelin yukardan görünümü.

Çatı kısmının tamamen fotogrametrik yöntemle elde edilen modelden alınıp bu model ile bütünleştirme amaçlanmıştır. Bunun için modelleme yazılımında çatı kısmı tamamen silinmiştir.



Şekil 7.32.Çatı kısmının silinmesi.

Daha sonraki işlem ise fotogrametriden elde edilen modelden ilgili kısımların ve çatının alınmasıdır. Çünkü oluşturulan laser noktalarından elde edilen modelde yüzey kısımlarında da küçük boşluklar meydana gelmiştir ve bunların da fotogrametrik model yardımıyla doldurulması amaçlanmıştır.



Şekil 7.33.Yüzeydeki oluşan diğer boşluklar.

Kiremit kısmında oluşan boşlukların giderilmesi ise CAD yazılımında çizilmek suretiyle yapılmıştır.

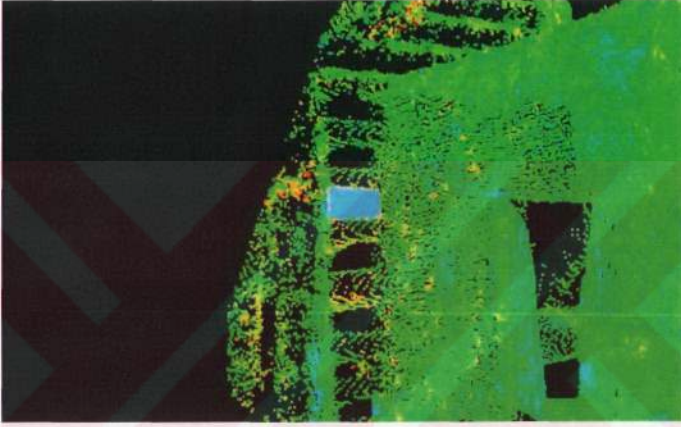


Şekil 7.34. Fotogrametrik yöntemle elde edilen model.

İki modelin Geomagic yazılımında birlikte açılmasıyla fotogrametrik modelden istenen yerler alınmış ve laser verisinden elde edilen modelle birleştirilmesi sağlanmıştır.

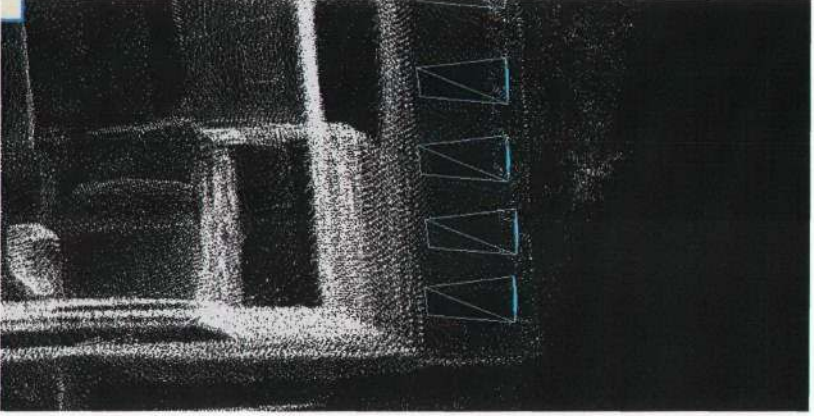
Kiremit kısımlarının doldurulması işlemi ise daha önce de belirtildiği gibi CAD yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bunun için Cyclone yazılımında çizim araçları kullanılarak kiremiti dolduracak şekilde yarım silindir şekli oluşturulmuştur.



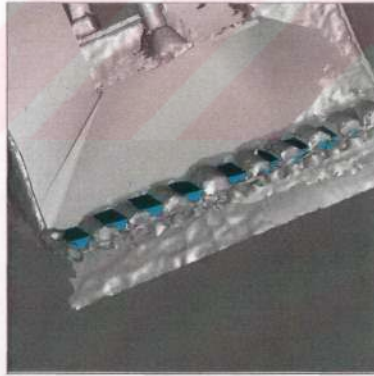
Şekil 7.35. Cyclone yazılımında oluşturulan yarım silindir.

Daha sonra bu oluşturulan silindir CAD yazılımında açılmak üzere .dxf dosya biçiminde dışarıya aktarılmıştır. Diğer tüm boşluklar için kopyalama işlemi yapılmıştır.



Şekil 7.36.CAD yazılımında tüm boşluklar için silindir nesnesinin kopyalanması.

Daha sonra oluşturulan bu silindir objeleri modelleme yazılımına .stl dosya biçimiyle aktarılmaktadır.



Şekil 7.37.Silindirlerin oluşturulan modele eklenmesi

Böylelikle CAD ve fotogrametri ve laser verilerinden elde edilerek çan kulesinin üç boyutlu modeli oluşturulmuştur.



Şekil 7.38.Laser ve fotogrametrik modelin birlikte kullanımıyla boşlukları doldurulmuş model

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Nesnelerin modellenmesi konusunda çeşitli teknikler geliştirmişlerdir . Bunlar nesne üzerinde ölçümlere dayanan ve dayanmayan olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Fotogrametri nesnenin görüntülerinden yararlanarak ölçümleri gerçekleştiren bir teknik olduğu için ve laser tarayıcı da nesne üzerine gönderdiği laser ışınları yardımıyla ölçüm işlemlerini gerçekleştirdiği için nesne üzerinde ölçüm kullanan tekniklerdir.

Fotogrametri konusunda bilimsel gelişmelerle birlikte çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar tek resim, çift resim ve ışın desteleri yöntemi olarak sıralanabilir. Laser tarayıcı ise nesneyi 3 boyutlu, yansıma yoğunluğu verisi içeren nokta kümesi olarak elde eder. Laser Tarama sisteminin görünen en büyük avantajı zaman maliyeti konusunda açık bir üstünlüğünün bulunmasıdır.

Bu çalışmada fotogrametrinin genel özellikleri belirtildikten sonra laser tarayıcı teknolojisinin genel özellikleri, kullanılan yazılımların ve tarayıcıların nitelikleri açıklanmış ve fotogrametri ile laser tarayıcı teknolojisinin beraber kullanımına ilişkin iki ayrı konuda üç farklı uygulama gerçekleştirilmiştir.

İlk ele alınan konu, ışın desteleri yoluyla görüntülerin dengelenmesi için yersel laser tarayıcıdan elde edilen nokta kümesinin kontrol noktaları olarak kullanılmasıdır. Bunun için öncelikle ışın desteleri yoluyla dengeleme yönteminin genel özellikleri açıklanmıştır. Laser tarayıcının kullanılmasına ilişkin uygulamada laser nokta kümesinden seçilen noktaların doğruluğundan emin olmak için elektronik total station'dan yararlanılmıştır. Uygulama sonucunda görüntülerin ışın desteleri yöntemiyle dengelenmesinde laser nokta kümesinin kontrol noktaları olarak kullanılmasıyla dengelemesi sağlanmıştır. Bu sayede kayıt ve bütünleştirme işleminden geçirilmiş laser nokta kümesi, amatör kameradan elde edilmiş görüntülerin ışın desteleri yöntemine göre dengelenmesinde kullanılabilirliği mümkün olabilmektedir. Böylece doku özelliği gösteren kısımlardan seçilen noktalar kontrol noktası olarak kullanılabilir. Bunu kontrol noktası olarak kullanılabilmektedir.

İkinci olarak ele alınan konu ise laser noktalarından yararlanılarak yapılan modelleme işleminde meydana gelen boşluk hatalarının fotogrametriden yararlanılarak doldurulmasıdır. Bunun için iki ayrı örnek üzerinde meydana gelen boşlukların doldurulması hedeflenmiştir. İlk olarak Samarrina Kilisesi doğu cephesinin modelinde oluşan boşlukların fotogrametriden elde edilen 3 boyutlu modelle doldurulması gerçekleştirilmiştir. Aynı uygulama çan kulesi kısmı için de yapılmış ve ek olarak çatı kısmının tamamen fotogrametrik modelden alınarak

ve kiremit kısmında meydana gelen boşlukların da CAD yazılımından yararlanılarak giderilmesi sağlanmıştır. Laser noktaları ile meydana gelen bu hataların programlama, algoritmalar, yazılım geliştirilmesi yoluyla giderilmesi farklı çalışmalarla ayrı bir çözüm olarak sunulabilmesi önerilmektedir. Bu çalışmada bu hataların fotogrametrinin kullanılması ile giderilmesi üzerinde durulmuş olup, fotogrametri ile bu hataların giderilebilirliği sonucuna ulaşılmıştır.



KAYNAKLAR

- Akça, (2004) ,D. “ Full Automatic Registration of Laser Scanner Point Clouds” , Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH, Zuerich, Switzerland
- Altan, O., “Photogrammetric Triangulation”, Ders Notu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Turkey
- Aloysweir, (2002) “Fusion of Photogrammetric and Laser Scanner Data”, University of Stuttgart, Institute for Navigation, Stutgart, Germany
- Andreazzi, L. “New Frontiers to Architectural Survey:Laser Scanner 3D, (2003) ” University of Catania, Engineering Faculty,Dept of Architecture and Town Planning, Lab. of Arcitextural Photogrammetry and Survey, Catania, Italy
- Barber D., Mills J.,(2001) “Laser Scanning and Photogrammetry: 21st Century Metrology”, Department of Geomatics University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, UK
- Boccardo, G. Comoglio,(1999) “New Methodologies for Architectural Photogrammetric Survey” ,Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino, Torino, Italy
- Boehler, W., Heinz, G., Marbs, A., Siebold, M.(2002), “ 3D Scanning Software: An Introduction”, University of Applied Sciences, Mainz, Germany
- Boehler, W., Marbs, A.,(2002), “ 3D Scanning Instruments”, University of Applied Sciences, Mainz, Germany
- Bornaz L., Lingua A., Rinaudo F., (2002) “Engineering Aand Enviromental Applications of Laser Scanner Techniques”, Politecnico di Torino –Dipartimento di Georisorse e Territorio C.so Duca degli Abruzzi, Torino, Italy
- Cardenal, E. Mata, P. Castro, J. Delgado, M.A. Hernandez, J.L. Perez, M. Ramos, M. Torres, (2004) “ Evaluation of a Digital Non Metric Camera(Canon D30) For the Photogrammetric Recording of Historical Buildings” , The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX
- Delara Jr., E. A. Mitishita, A. Habib, (2004), “ Bundle Adjustment of Images From Non-Metric CCD Camera Using Lidar Data as Control Points”, XX.ISPRS Congress, Istanbul, Turkey
- Demir, N., Bayram, B., Alkış, Z., Helvacı, C., Vögtle, T., Ringle, K., Steinle, E., (2004), “Laser Scanning for Terrestrial Photogrammetry, Alternative System or Combined with Traditional System”, XX.ISPRS Congress, Istanbul, Turkey
- Forkuo, B. King,(2004) “Automatic Fusion of Photogrammetric Imagery and Laser Scanner Point Clouds”, XX.ISPRS Congress, Istanbul, Turkey
- Gartner, H., Lehle, P., Tiziani, H.J.,(1995), “ New, High efficient, B,nary codes for structured light methods” , SPIE, Vol.2599, pp. 4-13
- Guarnieri, A. Vettore, F. Remondino,(2004), “ Photogrammetry and Ground-based Laser Scanning: Assessment of Metric Accuracy of the 3D Model of Pozzoveggiani Church”, FIG Workig Week, Athens, Greece

- Grammatikopoulos, I. Kalisperakis, G. Karras, T. Kokkinos, E. Petsa (2004) , “On Automatic Orthoprojection and Texture Mapping of 3D Surface Models” ,International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, sf 360-365.
- Fangi, G., Fiori F., Gagliardini, G., Malinverni, S., (2002), “Fast and Accurate Close Range 3D Modelling by Laser Scanning System”, University of Ancona, Italy, 2002
- Forkuo, E., King, B., (2004), “ Registration of Photogrammetric Imagey and Laser Scanning Point Clouds”, ASPRS Annual Conferece Proceedings, Denver, Colorado, USA
- Habib, M. S. Ghanma, M.F. Morgan, E. Mitisita, (2004), “ Integration of Laser and Photogrammetric Data for Clibration Purposes”, XX.ISPRS Congress, Istanbul, Turkey
- Ionnidis, Ch., Demir, N., Soile, S., Tsakiri, M. “Combination of Laser Scanner Data and Simple Photogrammetric Procedures For Surface Reconstruction of Monuments”, CIPA Congress, Torino, Italy, 2005
- Jansa, N. Studnicka, G. Forkert, A. Haring, H. Kager, (2004), “ Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetry- Acquisition Techniques Complementing One Another”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX
- Jacobsen, K., “ Block Ajustment” ,Instute for Photogrammetry and Surveying Engineering, Hannover, Germany
- Katopodi, K., (2005), “ Samarrina Kilisesi için Photomodeller ile Model oluşturulması ve Ortofoto üretiminde Laser Taramadan yararlanılması” (Yunanca), Atina Ulusal Teknik Üniversitesi, Atina, Yunanistan
- King, A. (1997), “ Some Considerations for the Statistical Testing of Least quares Adjustment of Photogrammetric Bundles”, Photogrammetric Record XV(90), pp. 929-934
- Külür, S., (2003), “Fotogrametri ve Laser Tarama” ,9.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı ,Ankara, 2003
- Lichti, D., S.J.Gordon, M.P.Stewart, J.Franke, M. Tsakiri, (2001) “ Comparison of Digital Photogrammetry and Laser Scanning”, Videometrics and Optical Methods for 3D Shape Measurement, San Jose, Canada
- Maas, H.G., (1992), “Robust Automatic Surface Reconstruction with Structed Light”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 24
- Mavromati, D., E. Petsa, G.E. Karras, (2003) , “ Experiences in Photogrammetric Archaeological Recording”, XIX CIPA International Symposium, Antalya, Turkey
- Reulke, A. Wehr, “ Fusion of Digital Panoramic Camera Data with Laser Scanner Data”, Univers,ty Stuttgart, Germany
- Sablatnig, R., Menard, C. (1997),” 3D Recontruction of Archaeological Pottery using Profile Primitives”, International Workshop on Synthetic-Natural Hybrid Coding and Three Dimensional Imaging, pp. 93-96
- Stephan, A., Heinz, I., Mettenleiter, M., Hartl, F., Frönlich, C. “Interactive Modelling of 3D-Environments”, Wangen, Germany
- Triggs, P. McLauchlan, R. Hartley, A. Fitzgibbon, (2000), “Bundle Adjustment”, Vision

Algorithms: Theory and Practice, Springer-Verlag LNCS, 2000

Van Den Heuvel, (2000) "Trends in Cad-Based Photogrammetric Measurement", Delphi University of Technology, Netherlands.

Vozikis, A. Haring, E. Vozikis, K. Kraus, (2004) , "Laser Scanning: A New Method for Recording and Documentation in Archaeology", FIG Working Week, Athens, Greece

Wunderlich, T., (2003) "Terrestrial Laser Scanners-An Important Step towards Contruction Information", FIG Working Week, Paris, France

İNTERNET KAYNAKLARI

<http://www.riegl.co.at>

<http://foto.hut.fi>

<http://www.3dlasermapping.com>

<http://www.isprs.org>

<http://www.sciencedirect.com/>

<http://www.nlc.net.au/>

<http://cipa.icomos.org>

EKLER

- Ek 1 Çeşitli Laser Tarayıcı Sistemleri
Ek 2 Çeşitli Laser Tarama ve Modelleme Yazılımları



EK 1- ÇEŞİTLİ LASER TARAYICI SİSTEMLERİ

Üretici	3rd Tech Inc	Cyra Technologies	Cyra Technologies	Cyra Technologies	Cyra Technologies	IQsun 880	I-SITE Piy Ltd.
Ürün	DeltaSphere	HDS2500	HDS 3000	HDS 4500	HDS 450	IQVoution	I-SITE 4400
Performans							
Laser							
Dalgaboyu(nm)	670	532	532	780	780	785	905
Laser Gücü (W)	5mW	< 1mW	< 1mW	23mW	32mW	10mW	10mW
FDA Laser Sınıfı	IIa	2	3R	3R	3R	3R/3A	3R
Tanımlanmış uzunlukta sinyal	0 fitte 0.1 inç ve 30 fitte 0.28 inç	< 6 mm 50 m.ye kadar	< 6 mm 50 m.ye kadar	1 m.de 3.5 mm	2 m.de 3.5 mm	3 mm	0 m.de 20mm ve 300m.de 600mm
Ölçüm Tekniği	iki laser ışını arasındaki süre	ışının gidiş dönüş zamanı	ışının gidiş dönüş zamanı	faz kayması	faz kayması	faz farkı ölçümü	ışının gidiş dönüş zamanı
Ortalama veri elde etme oranı(pps)	19200	1000	1000	125000	125000	240000	4400
Maksimum veri elde etme oranı(pps)	25000	1000	1000	625000	500000	240000	4400
Tanımlanmış uzunlukta ölçüm doğruluğu	40 lt'de 0.3 in	50 m.'de +/-4mm	50 m.'de +/-4mm	0.4-25.2m arasında <3mm	0.4-53.5m arasında <5mm	10m.'de 3mm	300m.'de +/-50mm
Tanımlanmış uzunlukta konum doğruluğu	40 lt'de 0.4 in	50 m.'de +/-4mm	50 m.'de +/-4mm	25.2 in'de 7mm.	53.5m.'de 14mm.	10m.'de 3.5mm	300m.'de +/-50mm
Açısal doğruluk	0.015 derece	+/- 60 microradyan	+/- 30 microradyan	+/- 0.01 derece	+/- 0.01 derece	0.007 derece	0.02 derece
Doğruluk sertifikası	N/A	Fabrika	Fabrika	Fabrika	Fabrika	Özel	N/A
Minimum alım uzaklığı	1 ft	1.5 m.	1 m	0.4 m.	0.4 m.	0.2 m.	2 m.
Maksimum alım uzaklığı	40 ft.	100 m.	100 m.	25.2 m.	53.3 m.	76 m.	400 m
Düşey açıda FOV	145 derece	40 derece	270 derece	310 derece	310 derece	320 derece	80 derece

Ürün	DeltaSphere	HDS2500	HDS 3000	HDS 4500	HDS 450	IQVoution	I-SITE 4400
Yatay açıda FOV	360 derece	40 derece	360 derece	360 derece	360 derece	360 derece	360 derece
Düşey taramada iki nokta arası	0.05 derece	50 m.'de 0.25 mm	50m.'de 1.25 mm	0.018 derece	0.018 derece	0.0011 derece	0.1 derece
Yatay taramada iki nokta arası	0.05 derece		50m.'de 1.25 mm	0.01 derece	0.01 derece	0.00075 derece	0.1 derece
Yüzey yansıtıcılık oranı(%)		5-100	5-100	5-100	5-100	5-95	5+
Dahili Kamera	Opsiyonel	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Evet
GPS veya diğer optik ölçüm aletleriyle entegreli çalışma imkanı var mı?							
Topoğrafik yapıyı taramak için etkin mi?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Jeoreferans	Evet
Veri işlemek için üreticinin sağladığı yazılım mı kullanılıyor?	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Farklı istasyonlardan elde edilmiş verilerin birbirlerine eklenmesi donanım tarafından otomatik sağlanıyor mu?	Nokta bütünleşmesi başka bir yazılımdan sağlanıyor.	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
	Evet,diğer yazılım	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet

Ürün	DeltaSphere	HDS2500	HDS 3000	HDS 4500	HDS 450	IQVoution	I-SITE 4400
Çalışma Ortamı							
Veri depolama ısı aralığı	32 F /113 F	-25 C / 65 C	-25 C /65 C	0 C / 70 C	0 C / 70 C	0 F / 160 F	-20 C / 50 C
İşlem yapma ısı aralığı	32 F /113 F	0 C / 40 C	0 C / 40 C	0 C / 40 C	0 C / 40 C	32 F / 113 F	-10 C / 50 C
Nem (%)	Nemli havada çalışır	Yoğun olmayan ortam	Yoğun olmayan ortam	Yoğun olmayan ortam	Yoğun olmayan ortam	Yoğun olmayan ortam	< %95
Ortam Işığı	Dış ortamda çalışır fakat direkt gelen güneş ışığı alım uzaklığını etkileyebilir.	Parlak ışık ve tamamen karanlık ortam arasındaki işlemlerde işlem yapma kabiliyetine sahiptir.	Parlak ışık ve tamamen karanlık ortam arasındaki işlemlerde işlem yapma kabiliyetine sahiptir.	Gün ışığından karanlığa kadar her ortamda çalışabilir.	Gün ışığından karanlığa kadar her ortamda çalışabilir.	Parlak ışık ve tamamen karanlık ortam arasındaki işlemlerde işlem yapma kabiliyetine sahiptir.	Her ortam uygundur.
Genel Özellikler							
Boyutlar	14x14x14 in	40.1x33.7x42.9 in	26.5x37x51 cm	30x18x35 cm	30x18x35 cm	15.75x6.3x9.95 in	43x25x33 cm
Ağırlık	22 lbs	20.5 kg	16 kg	13 kg	13 kg	18 kg	14 kg
Önerilen ortam standart tripod mu? Hayırsa önerilen ortam nedir?	Evet	Cyra Tripod	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Güç Ünitesi	5.75x3x1.75 in	31x28x24 cm	15.5x23x21.5 cm	AC:13X16X19cm Bat:32x26x24 cm	AC:13X16X19cm Bat:32x26x24 cm	15x7x3.5cm	Tarayıcı bünyesinde
Boyutları							
AC Güç Gereksinimi	100-240 V	90-240 V		120-230V	120-230V	100-240V	N/A
DC Güç	12V	12V	36V	24V	24V	24V	24V
Piller	Standart 12 V	Kurşun asidi	Kurşun asidi	Kurşun asidi	Kurşun asidi	Standart 24 V	Nimh Şarj edilebilir
Pil ömrü	4-8 saat	8-20 saat	8-20 saat	8 saat	8 saat	6-8 saat	İşlem sırasında 4 saat

Ürün	DeltaSphere	HDS2500	HDS 3000	HDS 4500	HDS 450	IQVoution	I-SITE 4400
Bilgisayar Gereksinimi (Kontrol)	128MB RAM	500MhzPent.	500MhzPent.	600Mhz (Win2000/NT)	600Mhz (Win2000/NT)	PC Gerekli değil	Dokunmatik tablet
Bilgisayar Gereksinimi (Veri İşleme)	512 MB RAM	256MB RAM 500MhzPentil.	256MB RAM 500MhzPentil.	600Mhz (Win2000/NT)	600Mhz (Win2000/NT)	1 GB RAM	veri kaydetme sağlar. P4 2GHZ 512 RAM
Sistemdeki toplam parça sayısı	2	2	2	4	4	1	32MB ekran kartı
Toplam sistem ağırlığı	48 lbs	87 kg	70 kg	45 kg	45 kg	27.5 kg	30 kg
Garanti süresi	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl
Opsiyonel Aksesuarlar	Kalibre edilmiş kamera	2	3	taşıyıcı,tripod, laptop tablası	taşıyıcı,tripod, laptop tablası	2	N/A

ÇEŞİTLİ LASER TARAYICI SİSTEMLERİ

Üretici	Measurement Devices Ltd.	MENSI	MENSI	MENSI	MENSI	MENSI	MENSI	Optech Inc.	Optech Inc.
Ürün	LaserAce Scanner	GS100	GS200	S10	S25			ALTM 30/70	ILRIS-3D
Performans									
Laser Dalgaboyu(nm)	905	532	532	635	635			1064	1540
Laser Gücü (W)	1mW	1mW	1mW	2.5mW	2.5mW			7mW	10mW
FDA Laser Sınıfı	1M	2	2	3R	3R			Class IV	Class 1
Tanımlanmış uzunlukta sinyal yarıçapı	100 m.'de 30cm	50 m.'de 3 mm	51 m.'de 3 mm					Çift:1000m.de 20 cm / 1000m.de 70 cm.	30m.'de 17mm.
Ölçüm Tekniği	İşğin gidiş dönüş zamanı	İşğin gidiş dönüş zamanı	İşğin gidiş dönüş zamanı	Triangulasyon	Triangulasyon			İşğin gidiş dönüş zamanı	İşğin gidiş dönüş zamanı
Ortalama veri elde etme oranı(pps)	250	5000	5000	100	100			Değişken:70000 ,50000 veya 33000	2000
Maksimum veri elde etme oranı(pps)	250	5000	5000	100	100			Her seferde 70000 4 aralıkta	3000
Tanımlanmış uzunlukta ölçüm doğruluğu	600m.'de 10cm	50m.'de 3.2mm//100 m.'de 5mm.	50m.'de 1.5mm//100 m.'de 2.5mm.	1 m.'de 0.2mm, 5m.'de -2.25 mm, 10 m.'de -6.6mm mm	0.35+0.01xD^2			1200m.de 2 cm.	100m.'de 7mm.
Tanımlanmış uzunlukta konum doğruluğu	600m.'de 20cm	50m.'de 3.2mm//100 m.'de 5mm.	50m.'de 1.5mm//100 m.'de 2.5mm.	1 m.'de 0.2mm, 5m.'de -2.25 mm, 10 m.'de -6.6mm mm	0.35+0.01xD^2				100m.'de 10mm
Açısal doğruluk	0.02 derece	6.6 saniye	6.6 saniye	4 saniye	4 saniye			yükseklikx1/2000	0.0045 derece
Doğruluk sertifikası		MENSI test protokolu	MENSI test protokolu	MENSI test protokolu	MENSI test protokolu			0.01 dereceden iyi	ISO 12857 Total station ile kalibrasyon
Minimum alım uzaklığı	5 m	1 m	1 m	0.8 m.	2 m.			200m.	3m.

Ürün	LaserAce Scanner	GS100	GS200	S10	S25	ALTM 30/70	ILIRIS-3D
Maksimum alım uzaklığı	700 m	150 m.'ye kadar 1m	350 m.'ye kadar 1m	10 m.	25 m.	3000m.	>1500 m.
Düşey açıda FOV	- 45 derece — 90 derece	60 derece	60 derece	320 derece	320 derece	N/A	40 derece
Yatay açıda FOV	360 derece	360 derece	360 derece	46 derece	46 derece	50 derece	40 derece
Düşey taramada iki nokta arası	0.01 derece	6.6 saniye	6.6 saniye	40 saniye	40 saniye	N/A	0.0015 derece
Yatay taramada iki nokta arası	0.01 derece	6.6 saniye	6.6 saniye	40 saniye	40 saniye	Yüzeyin özelliği belirler.	0.0015 derece
Yüzey yansıtıcılık oranı(%)	Yüzde yüz	Mesafeye bağlı olarak %2-%99	Mesafeye bağlı olarak %2-%99	Mesafeye bağlı olarak %2-%99	Mesafeye bağlı olarak %2-%99	Evet	%1-%100
Dahili Kamera	Hayır	Evet(RGB ve fotomozaik için)	Evet(RGB ve fotomozaik için)	Evet	Evet	Evet	Evet,opsiyonel harici
GPS veya diğer optik ölçüm aletleriyle entegreli çalışma imkanı var mı?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet, hedef	Dahili GPS ve Navatell IMU	Evet
Topoğrafik yapıyı taramak için etkin mi?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Veri işlemek için üreticinin sağladığı yazılım mı kullanılıyor?	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet

Ürün	LaserAce Scanner	GS100	GS200	S10	S25	ALTM 30/70	ILRIS-3D
Farklı istasyonlardan elde edilmiş verilerin birbirlerine eklenmesi donanım tarafından otomatik sağlanıyor mu?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Çalışma Ortamı							
Veri depolama ısı aralığı	-20 C / 45 C	-20 C / 50 C	-20 C / 50 C	0 C / 35 C	0 C / 35 C	-35 C	-20 C / 50 C
İşlem yapma ısı aralığı	-10 C / 45 C	0 C / 40 C	0 C / 40 C	0 C / 40 C	0 C / 40 C	-20 / 35 C	0 C / 40 C
Nem (%)	Her koşul	Her koşul	Her koşul	Her koşul	Her koşul	%0-%95	%5-%95
Ortam Işığı	Tam güneş	Etki etmez	Etki etmez	Parlak ışık etki edebilir.	Parlak ışık etki edebilir.	Gece Gündüz uygun	Etki etmez fakat çok parlak ışık veya tamamen karanlık ortam sorun yaratabilir.
Genel Özellikler							
Boyutlar	21x24x42 cm	34x27x42 cm	34x27x42 cm	72x21x28mm	102x21x28 cm.	25x32x56cm	312x312x205mm.
Ağırlık	10.2 kg	13.6 kg	13.6 kg	16.3 kg	18.6 kg	20 kg.	12 kg.
Önerilen ortam standart tripod mu? Hayırsa önerilen ortam nedir?	Evet	Evet	Evet	N/A	N/A	Uçakta kullanılıyor	Evet
Güç Ünitesi Boyutları	16x12x8 cm	10.5x20x65cm	10.5x20x65cm	dahili	dahili	59x58x49cm.	280x203x100mm.

Ürün	LaserAce Scanner	GS100	GS200	S10	S25	ALTM 30/70	ILRIS-3D
Güç Ünitesi Ağırlığı	6.3 kg	1.5 kg	1.5 kg			55kg.	4.5kg.
AC Güç Gereksinimi		90 - 240 VAC	91 - 240 VAC	110 - 220 V	110 - 220 V	N/A	85-240 VAC
DC Güç	12 VDC	24V	24V	24 V	25 V	28 VDC	18-36 VDC
Piller	12 V piller	Standart	Standart	N/A	N/A	N/A	240 W.H-R NiMH
Pil ömrü	6 saat	3 saat	4 saat			N/A	2.75 saat
Bilgisayar Gereksinimi (Kontrol)	Hayır	Cep veya dizüstü bilgisayar	Cep veya dizüstü bilgisayar	dahili	dahili	Dell Latitude Laptop	Palm PDA veya Laptop
Bilgisayar Gereksinimi (Veri İşleme)	Hayır	PentiumIII1.4Ghz, 512RAM	PentiumIII1.4Ghz, 512RAM	PentiumIII1.4Ghz, 512RAM	PentiumIII1.4Ghz, 512RAM	730GB Dual CPU Server	256 MB RAM
Sistemdeki toplam parça sayısı	2	1	1	2	2	5	1
Toplam sistem ağırlığı	52,6	16.1 kg(2)	16.1 kg(2)	31 kg	31 kg	137kg.	32 kg.
Garanti süresi	12 ay	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl
Opsiyonel	Kırmızı laser	Piller,güncelleştiril	Kablosuz ağ,piller,güncell eştirilebilir yazılım	Nükleer versiyon	Nükleer	Sayısallaştırıcı	Komple modelleme yazılımları
Aksesuarlar	İşaretçi	ebilir yazılım	yazılım		versiyon		

ÇEŞİTLİ LASER TARAYICI SİSTEMLERİ

Üretici	Riegl USA	Riegl USA	Riegl USA	Riegl USA	Visi Image Inc.	Zoller+Fronlich GmbH (Z+F)
Ürün	LPM 800 HA	LMS Z210i	LMS Z360	LMS Z420	3Dguru	IMAGER 5003-53500
Performans						
Laser Dalgaboyu(nm)	904	904	904	1000	650	780
Laser Gücü (W)	1mW	1mW	1mW	1mW	10mW	32mW
FDA Laser Sınıfı	1	1	1	1	3R	3R
Tanımlanmış uzunlukta sinyal yarıçapı	50 m.'de 50mm.	50 m.'de 50mm.	50m.'de 20mm.	50m.'de 15 mm.	15 m.'de 3 mm.	1 m.'de 3.5mm.
Ölçüm Tekniği	LIDAR	LIDAR	LIDAR	LIDAR	CW	Faz kayması
Ortalama veri elde etme oranı(pps)	1000	8000	8000	6600	210000	125000
Maksimum veri elde etme oranı(pps)	2000	12000	12000	10000	210000	500000
Tanımlanmış uzunlukta ölçüm doğruluğu	800m.'de 15 mm.	400m.'de 15 mm.	200m.'de 6mm.	800 m.'de 10 mm.	20 m.'de 0.25 mm.	<0.20 in.
Tanımlanmış uzunlukta konum doğruluğu	20 m.'de 6.3 mm.	100m.'de 6 mm.	100m.'de 6mm.	100 m.'de 6 mm.	32 m'de 1.8 mm.	
Açılabilirlik	1 dakika	20 saniye	20 saniye	20 saniye	+/- 3.9 salise	53.5m.'de 14mm.
Doğruluk sertifikası	NIST	NIST	NIST	NIST		+/- 0.01 derece
Minimum alım uzaklığı	10 m.	4 m.	1 m.	2m.	0.2 m.	0.4m.
Maksimum alım uzaklığı	1000 m.	500 m.	300 m.	1000 m.	36.5 m.	53.5 m.
Düşey açıda FOV	160 derece	80 derece	90 derece	80 derece	262 derece	310 derece

Ürün	LPM 800 HA	LMS Z210i	LMS Z360	LMS Z420	3Dguru	IMAGER 5003-53500
Yatay açıda FOV	360 derece	360 derece	360 derece	360 derece	360 derece	360 derece
Düşey taramada iki nokta arası	1 dakika	20 saniye	20 saniye	20 saniye	0.0152 derece	0.018 derece
Yatay taramada iki nokta arası	1 dakika	20 saniye	20 saniye	20 saniye	0.00015 derece	0.01 derece
Yüzey yansıtıcılık oranı(%)	%5-%100	%5-%100	%5-%100	%5-%100	%3-%95	%5-%99
Dahili Kamera	6 megapiksel kamera	6 megapiksel kamera	6 megapiksel kamera	6 megapiksel kamera	Mar-04 Kamera	Hayır
GPS veya diğer optik ölçüm aletleriyle entegreli çalışma imkanı var mı?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet, Taramalar kontrol ölçümlerine bağlanabilir.
Topoğrafik yapıyı taramak için etkin mi?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Ölçüm aleti: Evet, GPS: Hayır
Veri işlemek için üreticinin sağladığı yazılım mı kullanılıyor?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Farklı istasyonlardan elde edilmiş verilerin birbirlerine eklenmesi donanım tarafından otomatik sağlanıyor mu?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet

Ürün	LPM 800 HA	LMS Z210i	LMS Z360	LMS Z420	3Dguru	IMAGER 5003-53500
Çalışma Ortamı						
Veri depolama ısı aralığı	-20 C / 70 C	-20 C / 60 C	-20 C / 60 C	-10 C / 50 C	-10 C / 60 C	0 C / 70 C
İşlem yapma ısı aralığı	0 C / 50 C	-10 C / 50 C	-10 C / 50 C	0 C / 40 C	2 C / 45 C	0 C / 40 C
Nem (%)	Etki etmez	Etki etmez	Etki etmez	Etki etmez	<100	Etki etmez
Ortam ışığı	Etki etmez	Etki etmez	Etki etmez	Etki etmez	Tüm ışık ortamı uygun	Tüm ışık ortamı uygun
Genel Özellikler						
Boyutlar	28x30x32 cm	44x21 cm.	49x21 cm.	47x21 cm.	19x7.5x6.5 in	30x35x18
Ağırlık	15 kg.	13 kg.	13 kg.	15 kg.	15.8 lbs	13 kg.
Önerilen ortam standart tripod mu? Hayırsa önerilen ortam nedir?	Evet	Tripod veya özel araç	Tripod veya özel araç	Tripod veya özel araç	Evet	Evet
Güç Ünitesi Boyutları	12x11x8 cm.	12x11x8 cm.	12x11x8 cm.	12x11x8 cm.	21x14x9 in.	(1)
Güç Ünitesi Ağırlığı	19 kg.	19 kg.	19 kg.	19 kg.	37 lbs	17 kg.
AC Güç Gereksinimi	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	80-265 V	120-230 V
DC Güç	12-28 VDC	12-28 VDC	12-28 VDC	12-28 VDC	18 V	24 V
Piller					Li-On	Asit pil
Pil ömrü	8 Saat	8 Saat	8 Saat	8 Saat	8 saat	8 saat
Bilgisayar Gereksinimi (Kontrol)	1000MB RAM	1000MB RAM	1000MB RAM	1000MB RAM	PC/Laptop	1.2 Ghz 512 RAM
Bilgisayar Gereksinimi (Veri İşleme)	1000MB RAM	1000MB RAM	1000MB RAM	1000MB RAM	PC/Laptop	IEEE 1394
Ürün	LPM 800 HA	LMS Z210i	LMS Z360	LMS Z420	3Dguru	IMAGER 5003-53500

Sistemdeki toplam parça sayısı	2	2	2	2	3	
Toplam sistem ağırlığı	70 lbs	70 lbs	70 lbs	70 lbs	65 lbs	Tarayıcı:16Kg .Laptop:4kg. Tripod:16 kg.
Garanti süresi	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl,uzatılabilir	1 yıl
Opsiyonel Aksesuarlar	Evet	Evet	Evet	Evet	Video Mapping	Taşıyıcı,tripod,lap top sehпасı

EK 2-ÇEŞİTLİ LASER TARAMA ve MODELLEME YAZILIMLARI

Üretici	InnoMetric	IQ volution	I-SITE Pty Ltd.	Kubit GmbH	Leica Geosystems/Cyra	Leica Geosystems	MDL
Ürün	PolyWorks	IQ scene	I-SITE Studio 2.3	PointCloud	Cyclone	Cloudworks	Laser Cloud Viewer
Fiyat	Talebe bağlı	5000\$		900 EUR	7500\$-12500\$	995\$-3500\$	1500\$
Verilerinin doğrudan kullanılabildiği tarayıcılar	Optech, Riegl, Callidus, Cyra, Z&F, IQvolution, Mensi ve diğer modeller	IQSun 880, Riegl, Cyra, diğerleri ASCII	I-SITE, Riegl, Optech, GPS, Total Station	Hepsi	Cyrex, Riegl	Cyrex, Riegl	MDL LaserAce
İşletim Sistemi	Windows NT/2000/XP	Win XP/NT	Win 2000 / XP	AutoCAD2000/2002/2004 Modülü	Win 2000 / XP	Win 2000 / XP	Win XP/NT
Minimum donanım işlemci	1Ghz(2 işlemci tercih)	Pentium 1Ghz	P4,2Ghz	AutoCAD	Pii 500 Mhz	Pii 500 Mhz	2.4 Ghz
Minimum RAM	512MB(2GB Önerilir)	512 MB	512 MB	AutoCAD	256 MB	257 MB	512 MB
Hard Disk	215 MB(1GB Önerilir)	25 MB	300 MB	AutoCAD	75 MB	76 MB	2 MB
Diğer Donanım	Open GL, 3 Tuş fare		32 MB OpenGL	AutoCAD	Ethernet Kartı(tarayıcıyla bağlantı ve lisans)	Lisans için ethernet kartı	
Gereksinimleri							
Nokta Kümesi İşlemleri							
Özellik kodu tanımlamaya imkan var mı?	Evet	Hayır	Evet		Evet	Evet	Hayır
CAD Yazılımına aktarma imkanı var mı?	Microstation, AutoCAD	Microstation, AutoCAD	Text, dgd, dxf		Evet	zaten CAD Ortamı	Noktalar ve çizgiler
Nokta kümesinden mesafe açısı gibi ölçümler yapma imkanı var mı?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	

Ürün	PolyWorks	IQ scene	I-SITE Studio 2.3	PointCloud	Cyclone	Cloudworks	Laser Cloud Viewer
Nokta kümesine fotoğraf ekleme imkanı var mı?	Hayır	Hayır	Evet		Noktalar üzerinde RGB değerleri vardır.	Noktalar üzerinde RGB değerleri vardır.	Evet
Farklı nokta kümelerinin tek nokta kümesi yapma imkanı var mı?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet
Nokta kümelerinin bilinen bir koordinat sistemine veya GPS, diğer ölçüm aletleriyle elde edilmiş koordinat sistemine entegre edilmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet
Nokta kümesinin düzlem silindir gibi şekillerle gösterilmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet		Evet	Düzlem ve silindir	Hayır
Taramaların mühendislik çizimleri, kat planları gibi bilgilerle entegre edilmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet

Ürün	PolyWorks	IQ scene	I-SITE Studio 2.3	PointCloud	Cyclone	Cloudworks	Laser Cloud Viewer
Nokta kümelerinden CAD modellerinin dönüştürülmesi yarı-otomatik olarak mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır
Kenarların elde edilmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet		Evet	Hayır	Hayır
Hacim hesabı mümkün mü?	Evet	Hayır	Evet		Evet	Hayır	Hayır
Kesit çıkarma işlemleri mümkün mü?	Evet	Hayır	Evet		Evet	Evet	Hayır
Şekillerin sınırlarının elde edilmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet		Hayır	Hayır	Hayır
Verilerin 3D ortamında herhangi bir açıdan görüntülenmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet		Evet	Evet	Evet
Veri üzerinde uçuş animasyonu mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Yazılım tarayıcının renk algılamasını destekliyor mu?	Evet	Evet	Evet		Evet	Evet	Hayır

Ürün	PolyWorks	IQ scene	I-SITE Studio 2.3	PointCloud	Cyclone	Cloudworks	Laser Cloud Viewer
Hangi veri biçimlerini dışarı veriliyor?	TXT,IGES,DXF, STL,OBJ,VRML	Microstation, AutoCAD,DXF, IGES,ASCII, VRML,diğer	3dp,3dv,txt,dxf, obj,ma,vrmf,00t, dgd		ASCII,DWG,DGN,B MP,JPEG,TIFF	CAD ENTEGRELI	DXF,ASCII
ÇEŞİTLİ							
Yüksek Hızda önizleme?	Hayır	Evet	Evet		Hayır	Hayır	Hayır
Çok kullanıcı?	Hayır	Evet,IQWorks	Hayır		Evet	Evet	
Farklı iş istasyonlardan çok kullanıcı aynı proje için?	Hayır	Evet,IQWorks	Hayır		Evet	Evet	

ÇEŞİTLİ LASER TARAMA VE MODELLEME YAZILIMLARI

Üretici	MDL	MENSI	MENSI	Optech	Zoller+Fronlich GmbH(Z+F)	Zoller+Fronlich GmbH(Z+F)
Ürün	Demon	RealWorks Survey	3Dipos	REALM	LFM Modeller	LFM Viewer
Fiyat	10000\$			Sisteme entegre	12000\$	3000\$
Verilerinin doğru dan kullanılabildiği tarayıcılar	Cyra,MENSI, Reigl	TÜM	TÜM	ALTM	Z+F, Cyra	Z+F, Cyra
İşletim Sistemi	Win XP/NT,Mac	Win 2000pro/NT4/XP	Win 2000pro/NT4/XP	Win NT/2000	Windows, Linux	Windows, Linux
Minimum donanım işlemci	2.4 Ghz	1.2 Ghz	1.2 Ghz	1 Ghz	1.0 Ghz	1.0 Ghz
Minimum RAM	512 MB	512 MB	512 MB	2 MB	512 MB	
Hard Disk	2 MB	35MB(örnek verilerle)	25 MB	60 GB	20 MB	
Diğer Donanım Gereksinimleri						
Nokta Kümesi İşlemleri						
Özellik kodu tanımlamaya imkan var mı?	No	Evet	Hayır	N/A	Hayır	Hayır
CAD Yazılımına aktarma imkanı var mı?	Noktalar ve çizgiler	Evet,AutoCAD, Microstation	Hayır	N/A	Hayır	Hayır
Nokta kümesinden mesafe aç gibi ölçümler yapma imkanı var mı?	Evet	Evet	Evet	N/A	Evet	Evet
Nokta kümesine fotoğraf ekleme imkanı var mı?	Evet	Evet	Evet	N/A	Hayır	Hayır

Ürün	Demon	RealWorks Survey	3Dipsos	REALM	LFM Modeller	LFM Viewer
Farklı nokta kümelerinin tek nokta kümesi yapma imkanı var mı?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Nokta kümelerinin bilinen bir koordinat sistemine veya GPS, diğer ölçüm aletleriyle elde edilmiş koordinat sistemine entegre edilmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Nokta kümesinin düzlem silindiri gibi şekillerle gösterilmesi mümkün mü?	Hayır	Evet	Evet	N/A	Evet	Hayır
Taramaların mühendislik çizimleri, kat planları gibi bilgilerle entegre edilmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	N/A	Evet	Hayır

Ürün	Demon	RealWorks Survey	3Dipsos	REALM	LFM Modeller	LFM Viewer
Nokta kümelerinin otomatik olarak seçilen bölgede yok edilmesi ve bunların ayrıca bir veri dosyası yapmak mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Düzlendirme, silindirik gibi geometrik şekillere dönüştürme otomatik mi manual mi sağlanıyor?	Otomatik	İkisi de	İkisi de	N/A	İkisi de	İkisi de
Eğere otomatikse hangi teknik?	En Küçük Kareler	En Küçük Kareler	En Küçük Kareler		En Küçük Kareler	En Küçük Kareler
RENDERING/						
CAD MODEL						
ELDE ETME /						
GÖRÜNTÜLEME						
Nokta kümelerinin CAD modellerine dönüştürülmesi mümkün mü?	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır

Ürün	Demon	RealWorks Survey	3Dipsos	REALM	LFM Modeller	LFM Viewer
Nokta kümelerinden CAD modellerinin dönüştürülmesi yarı-otomatik olarak mümkün mü?	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Kenarların elde edilmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet	Evet
Hacim hesabı mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Kesit çıkarma işlemi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet	Evet
Şekillerin sınırlarının elde edilmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Verilerin 3D ortamında herhangi bir açıdan görüntülenmesi mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Veri üzerinde uçuş animasyonu mümkün mü?	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Evet
Yazılım tarayıcısının renk algılamasını destekliyor mu?	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	N/A
Ürün	Demon	RealWorks Survey	3Dipsos	REALM	LFM Modeller	LFM Viewer

Hangi veri biçimleri dışarı veriliyor?	(2)	ASCII,txt,dgn,dxf,bmp	(3)	ASCII,XYZ,LAS	SAT,ZFC	ZFC
ÇEŞİTLİ						
Yüksek Hızda önizleme?	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Çok kullanıcı?		N/A	N/A	Evet	Evet	Evet
Farklı iş istasyonlardan çok kullanıcı aynı proje için?		RealWorks View ve Survey Lite	N/A	Evet	Evet	Evet

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	17.04.1980	
Doğum yeri	İzmir	
Lise	1993-1997	Ankara Anadolu Tapu ve Kadastro Meslek Lisesi
Lisans	1997-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Lisans	1999-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü(Çift Lisans)
Yüksek Lisans	2001-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeo Fot. Müh. Anabilim D., Jeo Fot.Müh Programı

Çalıştığı kurumlar

2002-Devam ediyor 01/09/2004-01/06/2005	YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi NTUA-Araştırma Görevlisi-Atina/Yunanistan
--	---