

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAREKETLİ PLATFORMLARLA FOTOGRAMETRİK HACİM HESABI ÜZERİNE
BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedat GÜNER

Temmuz- 2013

GÜMÜŞHANE

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAREKETLİ PLATFORMLARLA FOTOGRAMETRİK HACİM HESABI ÜZERİNE
BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedat GÜNER

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Harita Yüksek Mühendisi”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Teslim Tarihi:

Tezin Sözlü Savunma Tarihi:

Temmuz- 2013



KABUL VE ONAY



Yrd. Doç. Dr. İbrahim Asri danışmanlığında **Sedat GÜNER** tarafından hazırlanan **“HAREKETLİ PLATFORMLARLA FOTOGRAMETRİK HACİM HESABI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr.Temel BAYRAK

Üye (Danışman) : Yrd.Doç.Dr.İbrahim ASRİ

Üye : Yrd.Doç.Dr.Alaaddin VURAL

ONAY

Bu tez/..../.... Tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Temel BAYRAK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAREKETLİ PLATFORMLARLA FOTOGRAMETRİK HACİM HESABI

Sedat GÜNER

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim ASRİ

2013, 53 sayfa

Gelişen algılayıcı sistemler ve hızla artan konumsal bilgi ihtiyacı karşısında harita yapım sistemlerinin de vizyonu sürekli değişmektedir. Buna paralel olarak günümüz harita üretim sektörü için hareketli platformlar üzerinde birkaç farklı algılayıcının birlikte kullanıldığı doğrudan konum bilgisini üreten sistemler geliştirilmektedir. Mobil Harita Yapım Sistemi (MHYS) denilen bu sistemler ilk kullanım alanı olan yol envanterinin çıkarılması ve yol üst yapı ve çevresinin görüntülenmesi, izlenmesinin yanında bu günkü geldiği noktada pek çok mühendislik çalışmalarında konum ve obje geometrisi belirleme alanlarında da sıklıkla kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve paralelinde görüntü işleme tekniklerinin de artan kullanımı MHYS'lerin konum ve geometri bilgisi üretmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, yukarıda anılan pahalı sistemlere karşın oldukça ucuz olmasının yanında uzaktanlığını (detay temassızlığını) koruyan bir ölçme sistemi olarak tasarlanan GPS destekli hareketli yersel fotogrametrik ölçme sisteminden kamera görüntüleri ve dış yöneltme parametreleri elde edildi. Elde edilen bu bilgiler kullanılarak otomatik görüntü eşleme teknikleri ile yüzey modelleri çıkartıldı. Bu yüzey modellerinin hacimsel analiz çalışmalarında kullanılabilirliği için sonuçları analiz edildi.

Anahtar Kelimeler: Yersel Fotogrametri, GPS, Fotoğraf Kamerası, Doğrudan Konumlandırma, Görüntü Eşleme, Hacimsel Analiz

ABSTRACT

MS THESIS

**A CASE STUDY ON DETERMINATION OF OBJECT VOLUMES WITH
PHOTOGRAMETRIC MOBILE PLATFORMS**

Sedat GÜNER

GümüşhaneUniversity

TheGraduate School of Natural andAppliedSciences

Department of CivilEngineering

Supervisor: Ass. Prof. İbrahim Asri

2013, 53 pages

Vision of map production systems changes steadily in time besides the advancement in sensing system and rapidly increasing spatial information requirements. Parallel to these, mobile mapping systems consisting of several sensors that they can directly produce spatial data are developed by today's map production sector. Nowadays, mobile mapping systems are frequently used for the determination of object position and geometry in many engineering projects. Although they were used for road inventory and capturing its superstructure and surrounding environment and monitoring in their early days. Developing technology and increase in the use of image processing techniques are very important in terms of producing spatial and geometric data.

In this study, camera images and exterior orientation parameters were directly obtained by a GPS supported mobile terrestrial photogrammetric positioning system even preventing its remote feature and cheapness against expensive systems mentioned above. Surface models created with these data sets and image processing techniques. The results of produced surface models were analyzed for the usability in volumetric analysis studies. Images were obtained by the system were analyzed by image matching techniques and usability of produced surface models from these analyzes were investigated for the determination of object' volumes.

Keywords: Terrestrial Photogrammetry, GPS, Photo Camera, Direct Positioning, Image Matching, Volumetric Analysis

TEŞEKKÜR

Akademik hayatımın başlangıcı olan yüksek lisans çalışmamı kariyerimin başlangıç noktası olarak görüyorum. Çalışmamın başından bu zamana kadar bana danışmanlık yapan ve hiçbir desteğini esirgemeyen saygıdeğer Yrd. Doç. Dr. İbrahim ASRİ hocama teşekkürü bir borç bilirim. Öğrenim hayatım boyunca benden ilgi ve alakasını esirgemeyen Doç. Dr Temel Bayrak hocama da teşekkür ediyorum. Ayrıca çalışmalarımnda bana yardımcı olan Araştırma Görevlisi Samed Özdemir'e de teşekkür ediyorum ve bu sürecin başından beri benden maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen anneme, babama ve nişanlım Dilek BARIŐ'a ve ailesine sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Sedat GÜNER

Gümüşhane, 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER	xi
TABLolar.....	xiii
KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR	3
3.HACİM HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	14
3.1.Mevcut Hacim Hesaplama Yöntemleri	14
3.1.1.Enkesitlerden Hacim Hesabı.	14
3.1.2.Yüzey Nivelmanı Ölçüleriyle Hacim Hesabı.....	14
3.1.3.Eş Yükseklik Eğrili Haritalardan Hacim Hesabı.....	15
3.1.4.Sayısal Arazi Modelleriyle Hacim Hesabı.....	15
3.2.Görüntü Eşleme.....	15
3.2.1.Sayısal Görüntü Eşleme	16
3.1.1.1.Epipolar Geometri	17
3.2.2.Görüntü Eşleme Tanımı ve Dijital Fotogrametrik Kullanımı	17
3.2.3.Görüntü Eşleme Yöntemleri.....	19
3.2.3.1.Şekle (Detaya) Dayalı Görüntü Eşleme.	19
3.2.3.2.İlişkisel (Sembolik) Eşleme.	20
3.2.3.3.Alana Dayalı Görüntü Eşleme.....	20
3.2.4.Ölçeksel Değişmeyen Özellik Dönüşümü (SIFT) Algoritması.....	21

3.2.5.Rastgele Örnek Uyuşumu (RANSAC) Algoritması.....	23
3.3.Görüntü Eşleme ile Fotogrametrik Yüzey Modeli Üretimi.....	24
3.4.Mobil Harita Yapım Sistemleri.....	26
3.4.1.Mobil Harita Yapım Sistemlerinin Gelişimi.	27
3.4.2.Doğrudan Konumlandırma.....	28
3.4.3.Konum Belirleme ve Harita Yapım Algılayıcıları.	29
4.HAREKETLİ YERSEL FOTOGRAMETRİK ÖLÇME SİSTEMİ PLATFORMUNUN ÖZELLİKLERİ	31
4.1Hareketli Yersel Fotogrametrik Ölçme Sistemi (HYFÖS) ve Özellikleri.	31
4.1.1.Sistem.....	32
4.1.2.Sistem Tasarımı.....	33
4.1.3.Sistem Oluşturulması.	34
4.2.HYFÖS'nin İki Kamera Kullanılarak Hacimsel Analiz Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması	35
4.2.1.Kamera Çekim Merkezlerini Kullanarak Hacim Hesabı.	35
4.2.2.HYFÖS'den Elde Edilen Kontrol Noktalarının Kullanılması.....	36
4.3.HYFÖS' ninÜç Kamera Kullanılarak Hacimsel Analiz Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması	37
4.3.1.Sistem Kullanılarak Alım Yapılması.	39
4.3.2.Elde Edilen Yüzeylerin Karşılaştırılması.....	41
5.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.	45
KAYNAKÇA.....	47
EKLER.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa No</u>
Şekil-2.1. Tsaoling dağının havadan çekilmiş fotoğrafı	3
Şekil-2.2.Lansat görüntüsü.....	4
Şekil-2.3.Sayısal Hava Fotoğrafları	4
Şekil-2.4.Plakalar ve çalışma bölgesindeki dağılımı	5
Şekil-2.5.Taş yığını	6
Şekil-2.6.Açık Maden Yatağı.....	6
Şekil-2.7.İnsan Bedeni	7
Şekil-2.8.Photomodeler Yazılımıyla Modellenmiş Vücut	7
Şekil-2.9.Pulluk yüzeyindeki deformasyonların incelenmesi	7
Şekil-2.10.Ajina Tapa'nın Budist Manastırının koruma projesi	8
Şekil-2.11.Görüntü ve Mesafe Bazlı Ölçme Sistemlerini Kıyaslanması	9
Şekil-2.12.GPS Van Sistemi	10
Şekil-2.13.VISAT sistemi	10
Şekil-2.14.Immersion '94 veri toplama sistemi	11
Şekil-2.15.Elle taşınabilen HYFÖS	11
Şekil-2.16.İnsan Gücüyle Taşınabilen Sistemler	12
Şekil-2.17.Araç üzerine monte edilebilen HYFÖS.....	12
Şekil-2.18. Gelişmiş HYFÖS	13
Şekil-3.1.Görüntü işlemenin iş akışı	16
Şekil-3.2.Otomatik dsm oluturma yaklaşımının diyagramı	25
Şekil-3.3.Doğrudan konumlandırma konsepti	29
Şekil-4.1.Platform geometrisinin belirlenmesi.....	32
Şekil-4.2.Kalibrasyon Alanı	32
Şekil-4.3.Platformun üç boyutlu modeli	33
Şekil-4.4.GPS Destekli Mobil Yersel Fotogrametrik Ölçüm Sistemi.....	34

Şekil-4.5.Araç Üzerindeki Sistemle Gerçekleştirilen Bir Alım İstasyonu.....	35
Şekil-4.6.Programdan otomatik olarak elde edilmiş 3B Yüzey ve Kamera Çekim merkezlerinin görünümü	36
Şekil-4.7.Kalibrasyon Alanı	37
Şekil-4.8.Platformun geometrisinin belirlenmesi.....	38
Şekil-4.9.Kamera ve GPS anteni noktalarının birbirlerine göre durumları belirlendi	38
Şekil-4.10.Çalışma Alanı	39
Şekil-4.11.Kameraların ve GPS alıcılarının bilgisayar ile kontrolü.....	39
Şekil-4.12.Otomatik Nokta Bulutu üretilmesi	40
Şekil-4.13.3B Benzerlik Dönüşümü.....	40
Şekil-4.14.GPS koordinat sistemindeki Yüzey Modeli	41
Şekil-4.15.Lazer Tarayıcı İle Alım Yapılması	42
Şekil-4.16.Lazer tarayıcıdan elde edilen 3B yüzey modeline ait nokta bulutu.....	42
Şekil-4.17.Sistemden Platform koordinat sisteminde elde edilen 3B yüzey.....	43
Şekil-4.18.Sistemden GPS koordinat sisteminde elde edilen 3B Yüzey	43
Şekil-4.19.Lazer tarama ile GPS koordinat sisteminde elde edilen 3B Yüzey	44

TABLÖLAR

	<u>Sayfa No</u>
Şekil-4.1.GPS Anteni ve Kamera Çekim Merkezi Koordinatları	39

KISALTMALAR

GDMYFS : GPS Destekli Mobil Yersel Fotogrametri Sistemi

MHYS : Mobil Harita Yapım Sistemleri

HYFÖS: Hareketli Yersel Fotogrametrik Ölçme Sistemi

GPS : GlobalPositioningSystem- Küresel Konum Belirleme Sistemi

RTK : Real Time Kinematic-Gerçek Zamanlı Konum Belirleme

SIFT :Ölçeksel Değişmeyen Özellik Dönüşümü Algoritması

RANSAC : Rastgele Örnek Uyuşumu Algoritması

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi

SYM: Sayısal Yükseklik Modeli

INS:InertialNavigationSystem (Ataletsel Yönelme Sistemi)

CCD:ChargedCoupled Device

DSM:DigitalSurface Model (Sayısal Yüzey Modeli)

AHRS:AttitudeandHeadigReferanceSystem (Konum ve Yönelme Referans Sistemi)

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler harita veya konum bilgisi üretim işlerine her geçen gün farklı bir nitelik kazandırmaktadır. Özellikle son zamanlarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin hızlı, az maliyetli ve nitelikli konum ve öznitelik bilgi ihtiyacını karşılamak için çok değişik veri toplama sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Algılayıcı sistemlerdeki ve uydu bazlı sistemlerdeki göz kamaştırıcı gelişmeler farklı ölçme ve görüntüleme sistemlerinin bir arada kullanılması durumunu ortaya çıkarmıştır. Bu çoklu sistemler hava fotogrametrisindeki hareketli ölçme sisteminin yersel fotogrametride de uygulama imkanını ortaya çıkarmıştır. Yersel fotogrametrik sistemlere hava fotogrametrisinden daha ziyade hedef objelere yakın olması nedeniyle çok farklı algılama sistemleri entegre edilebilmektedir.

Hareketli ölçme sistemlerinin yada başka bir deyişle Mobil Harita Yapım Sistemlerinin (MHYS) en büyük sorunlarından biri sistemlere entegre edilen algılayıcıların maliyetlerinden dolayı sistemin toplam maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Bu sebeple MHYS'lerin yaygın kullanımı hedeflenen seviye ulaşamamıştır. Bu yüzden araştırmacılar düşük maliyetli sistemler tasarlama yönünde yoğun bir çaba sarf etmektedirler. Bu araştırmaların yöneldiği alanlardan biride pahalı mesafe algılayıcılar yerine (lazer vs.) görüntü eşleme yöntemleri ile fotogrametrik değerlendirme yöntemleridir.

Bu tez çalışmasında pahalı MHYS'lere nazaran daha az maliyetli Asri'nin 2011 yılında geliştirdiği Hareketli Yersel Fotogrametrik Ölçme Sisteminin (HYFÖS) görüntü eşleme yöntemlerinin kullanıldığı yoğun yüzey modeli oluşturma tekniği ile desteklenerek temel mühendislik ölçme işlerinden biri olan hacim hesaplarında kullanılabilirliği araştırıldı.

Bu kapsamda HYFÖS iki kamera ile tasarlandı. Sistemden elde edilen yüzey modeli benzerlik dönüşümü ile ölçeklenirken X ve Y koordinatında istenen sonucu verse de bütün kameralar XY düzleminde olduğundan Z koordinatlarında istenen sonucu vermemiştir. Bu yüzden sistem üç kameralı olarak yeniden tasarlanmış ve istenen sonuçlar elde edilmiştir. Üç kameralı sistem ayrıca, yüzey modelinin gerçek koordinatlarda istenmediği durumlarda GPS alıcılarının kullanım zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır.

Sistemin genel çalışması; platform yüzey modeli çıkarılacak obje yakınına getirilerek sabit bir halde bilgisayar kontrolü ile GPS alıcıları ile konum verileri, yine bilgisayar kontrolü ile kamera alıcılarından görüntü verileri alınır. Görüntü verileri serbest koordinat sisteminde

paket yazılımda otomatik olarak değerlendirilerek fotogrametik yüzey modeli elde edilir. Bu yüzey modeli yine yazılımdan elde edilen kamera çekim merkezleri kullanılarak 3B benzerlik dönüşü kullanılarak platform koordinat sistemine dönüştürlr. Yine 3B benzerlik dönüşümü kullanılarak GPS koordinat sistemine dönüştürlr.

Oluşturulan sistem ve yöntemin başlıca avantajları olarak;

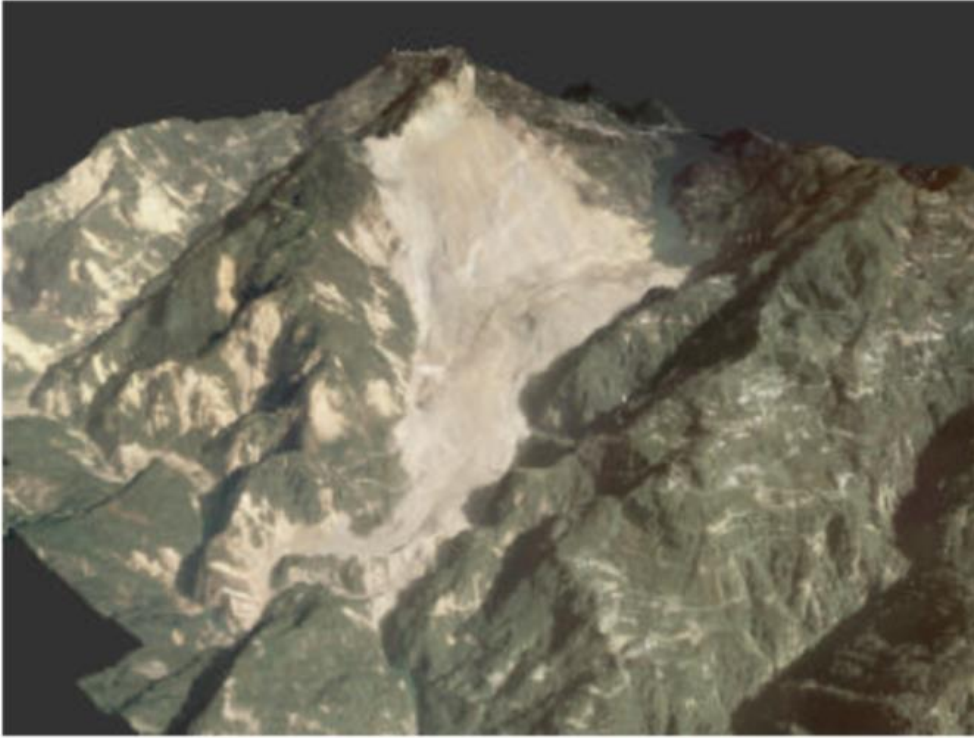
- Maliyet açısından düşük olması
- Objeden bağımsız yani temassız olarak çalışması
- Görüntü tabanlı çalıştığından istenildiği zaman farklı yöntem ve teknikler ile her zaman yeniden değerlendirme yapılabilmesi
- Sistem tamamen bilgisayar kontrolü ile aşamalı olarak otomatik olarak kullanılabilmesi
- İstenildiğinde anlık olarak değerlendirme yapılabilmesi

olarak sayılabilir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu güne kadar hacimsel analiz çalışmaları mühendislik ölçmelerinde farklı yöntem ve metotlarla yapılmıştır. Haritacılık disiplinindeki farklı yöntem ve teknolojilerin bu alandaki ölçme ve hesap yöntemlerini etkilediği görülmüştür. Özellikle fotogrametri alanındaki gelişmeler, görüntü işleme çalışmaları ve hareketli platformlarla ölçmeler göze çarpan önemli gelişmelerdir.

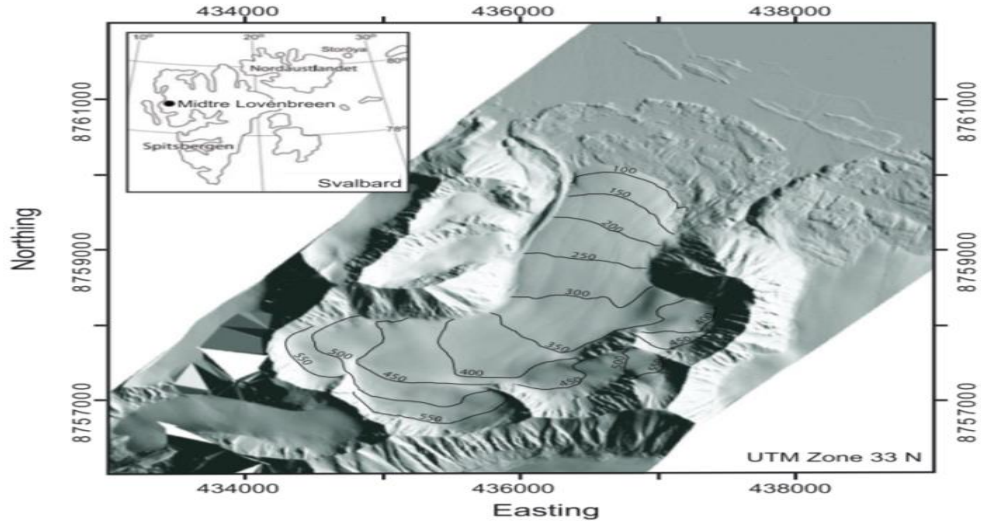
Wang ve ark. (2002) yaptığı çalışmada 21 Eylül 1999 yılında Çinin Taipei adası merkezli büyük bir depremde yakın bölgelerde yeryüzünde deformasyon ve heyelan oluştuğundan bahsedilmiştir. Yine bu bölgedeki Tsaoling Dağı'nda büyük bir heyelan oluşmuştur. Yaptıkları çalışmada depremden 3 ay sonra çekilen hava fotoğrafı ile bu heyelanın hacmini hesaplamaya çalışmışlar ve bu kapsamda heyelan bölgesinin geniş olması ve ulaşım yollarının da zarar görmesinden dolayı yer kontrol noktası tesis etmeden çözüm üretmeye çalışmışlardır. Yer kontrol noktası yerine daha önce ki ortofoto ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) den elde ettikleri noktaları kullanmışlardır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Tsaoling Dağının havadan çekilmiş fotoğrafı (Wang ve ark., 2002)

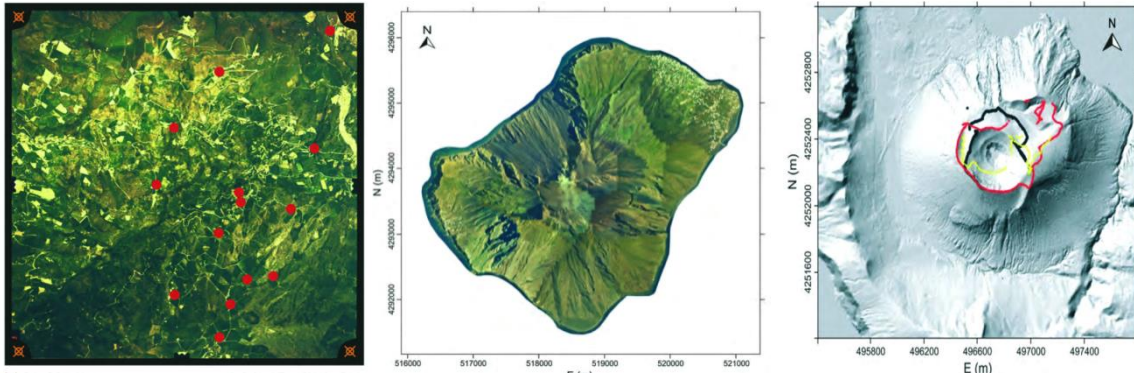
Barrand ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada arşiv hava fotoğraflarından buzullardaki hacimsel değişmeyi incelemişler, ancak buzul bölgelerinde yer kontrol noktası tespiti mümkün

olmadığından bu çalışmada hava lazer tarama verilerini kullanmışlar. Fotoğraflardan elde edilen SYM'nin daha yüksek doğruluğa sahip olduğunu iddia etmişlerdir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Lansat görüntüsü (Barrand ve ark., 2009)

Fabris ve Pesci (2005) yaptıkları çalışmada sayısal hava fotoğraflarından görüntü işleme yöntemleri ile otomatik olarak elde edilmiş SYM ile heyelan, volkanik vb. gibi kitlesel hareketlerin zamansal değişiminin incelenebilirliği üzerine çalışmışlardır (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Sayısal hava fotoğrafları (Fabris ve Pesci, 2005)

Yakar ve ark. (2009) fotogrametrik ve lazer tarama yönteminin hacim hesabındaki yerini incelemiştir. Seçtikleri kazı bölgesinde her iki yöntemle de hacim hesabı yapmışlardır. Bu iki yöntemi doğruluk, zaman ve maliyet bakımından karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda her iki yöntemde hacim hesapları bakımından kullanılabilir olduğu sonucunu elde etmişlerdir (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Plakalar ve çalışma bölgesindeki dağılımı (Yakar ve ark., 2009)

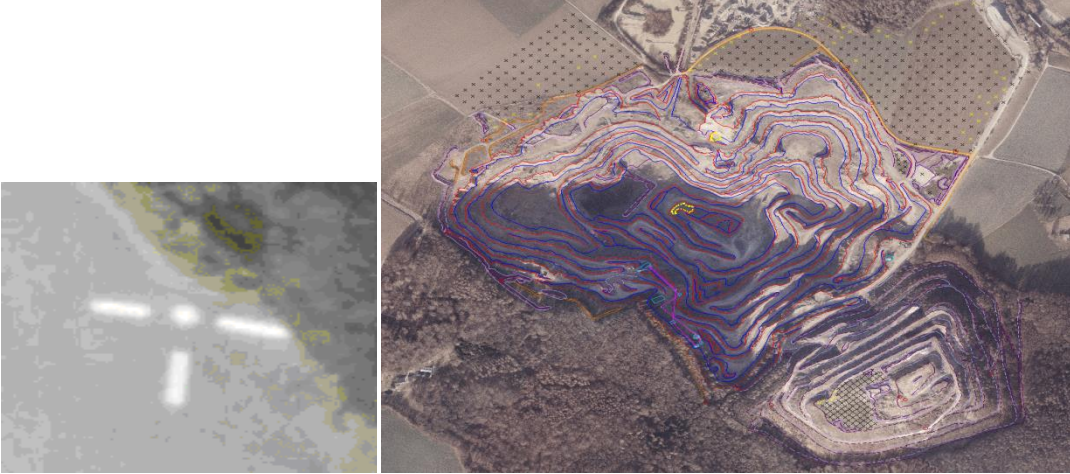
Yılmaz ve yakar (2007) yapmış oldukları çalışmada Jeodezik yöntem ile fotogrametrik yöntemi kullanarak hacim hesabı yapmışlar ve fotogrametrik yöntemin hem maliyet yönünden hem emek yönünden hem de hacim anlamında gerçek değere yaklaşma açısından daha avantajlı olduğu sonucuna varmışlar. Bu deneysel sonuç baz alındığında fotogrametrik yöntem enkesit ile elde edilen değere göre % 10,84 , prizmalardan elde edilen değere göre % 7,91 ve surfer 8 yazılımından elde edilen değere göre ise % 3,01 daha hassas görülmektedir. Zaman bazında fotogrametrik yöntem % 22,35 daha avantajlı görülmektedir.

Yılmaz ve ark. (2007) yapmış oldukları çalışmada taş yığınının klasik ve fotogrametrik yöntemle hacim hesabını yapmış ve yapmış olduğu çalışmada daha başarılı sonuç vermiştir (Şekil 2.5.).



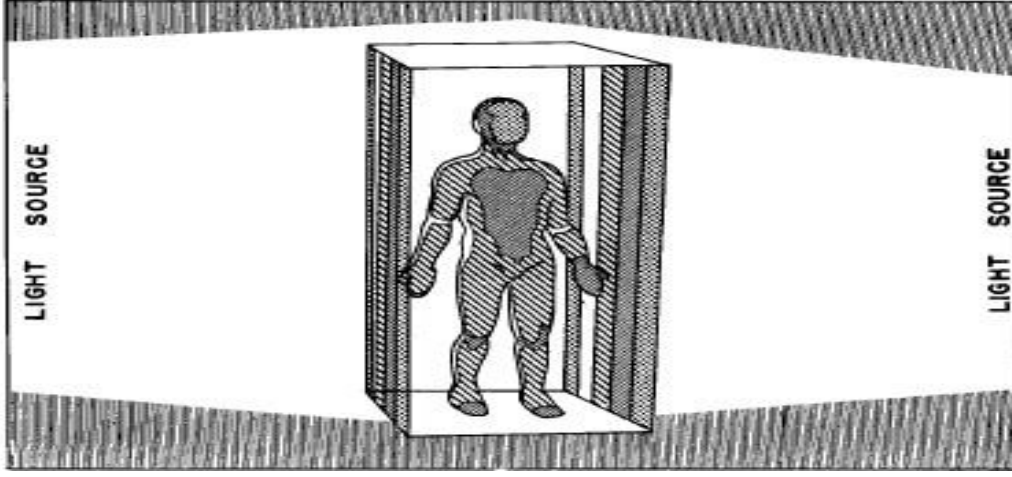
Şekil 2.5. Taş yığını (Yılmaz ve ark., 2007)

Patikova A. (2009) yaptığı çalışmada açık maden yatağının hacminin hesaplanmasını hava fotogrametrisini kullanarak hesaplamıştır (Şekil 2.6.).

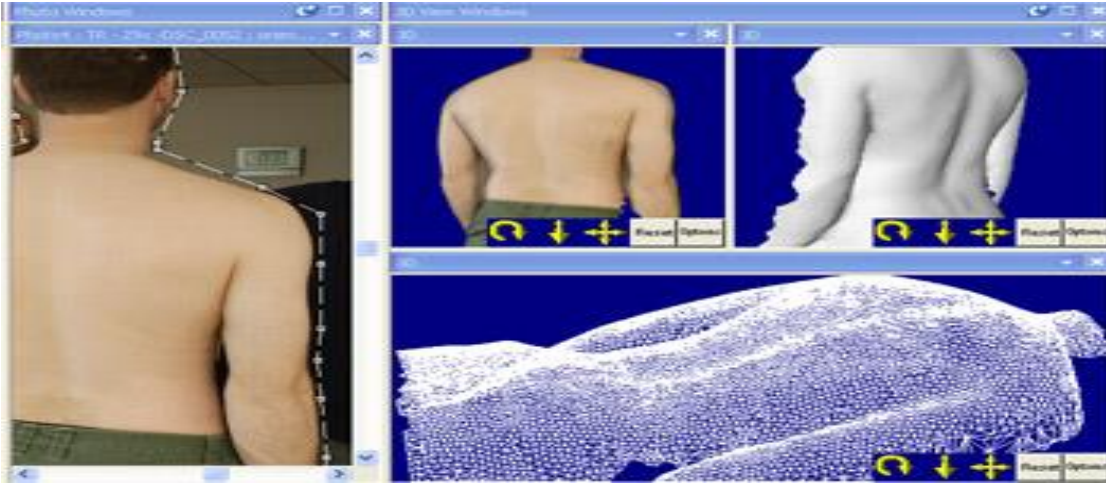


Şekil 2.6. Açık maden yatağı (Patikova A., 2009)

Pierson W.R., (2002) insan bedeninin fotogrametrik yöntemle 3B modeli üzerinden hacminin hesaplanmasıyla alakalı bir çalışma yapmıştır (Şekil 2.7, 2.8).



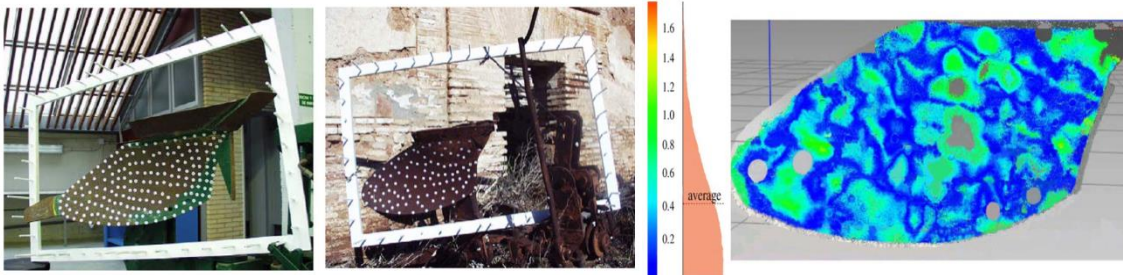
Şekil 2.7. İnsan Bedeni hacminin hesaplanması (Pierson W. R., 2002)



Şekil

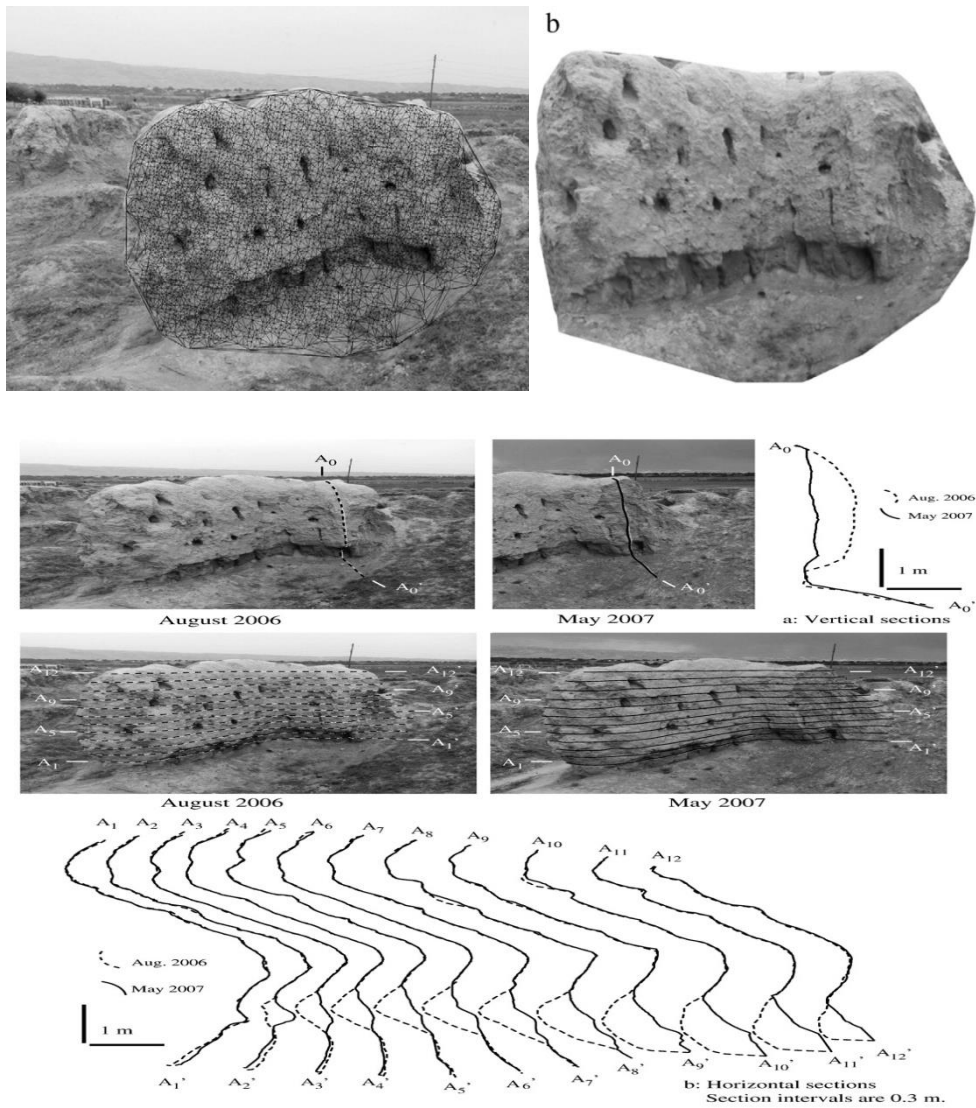
2.8. Photomodeler Yazılımıyla Modellenmiş Vücut (www.photomodeler.com)

Aguilar ve ark. (2005) düşük maliyetli yakın resim fotogrametrisi çalışmasında pulluk saban demiri üzerinde ki deformasyonu yüzey modellerini kullanarak tespit etmeye çalışmışlar (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Pulluk yüzeyindeki deformasyonların incelenmesi (Aguilar ve ark., 2005)

Fujii ve ark. (2009) Tacikistan'daki Ajina Tepa arkeolojik yerleşim alanındaki yapısal bozulmaların dokümantasyonunda dijital fotogrametrinin kullanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Ajina Tepa'nın Budist Manastırının koruma projesi Japonya destekli bir fon ile 2005 yılında başlamış ve 2008 yılına kadar sürmüştür. Projenin amaçlarından birisi bilimsel dokümantasyondur. Duvarların 3B haritasının yapısı ve bütün bölgenin jeomorfolojik haritasının çıkarımı amaçlanmıştır. Toprak duvarların yüzey morfolojisinin kaydını çıkarabilmek için dijital fotogrametrik yöntemler uygulanmıştır. Mevcuttaki çok aşınmış duvarlar 1960 yıllarında kayıtlardaki dış sınırlar ile özellikle karşılaştırılmış ve 3 boyutlu modelleri yapılarak değişimlerin izlenebilmesi için kesitler çıkartılmıştır (Şekil 2.10.).



Şekil 2.10. Ajina Tepa'nın Budist Manastırının koruma projesi (Fujii ve ark., (2009)

Remondino ve Zhang (2006) yaptıkları çalışmada 3B modelleme çalışmalarında kullanılan görüntü ve mesafe bazlı ölçme sistemlerini kıyaslamışlardır. Mesafe bazlı lazer vb.

ölçme sistemlerinin milyonlarca nokta üretebilirken aynı işi görüntü eşleme tekniklerinden alana dayalı ve özellik bazlı eşleme algoritmaları kullanılarak farklı resimlerden elde etmişler (Şekil 2.11.).



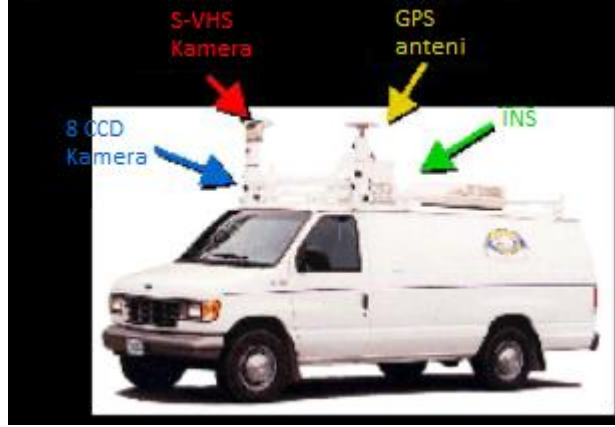
Şekil 2.11. Görüntü ve mesafe bazlı ölçme sistemlerini kıyaslanması (Remondino ve Zhang, 2006).

Yukarıdaki fotogrametrik ölçme sistemi ve görüntü işleme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak zamanla mobil harita yapım sistemleri de aşama kat etmiştir. Bu alandaki ilk çalışmalardan biri olan Novak 1990 yılında GPS ve çeşitli algılayıcıları entegre ettiği otomatik yol çevre bilgileri toplayan hareketli bir stereo görüntüleme sistemi kurmuştur. GPS Van adı verdiği bu sistemde GPS anteni ve görüntüleme sistemleri arasındaki ofseti toplu jeodezik dengeleme ile belirledi. Obje konum doğruluğu ise yaklaşık 10 cm olmuştur (Şekil 2.12.).



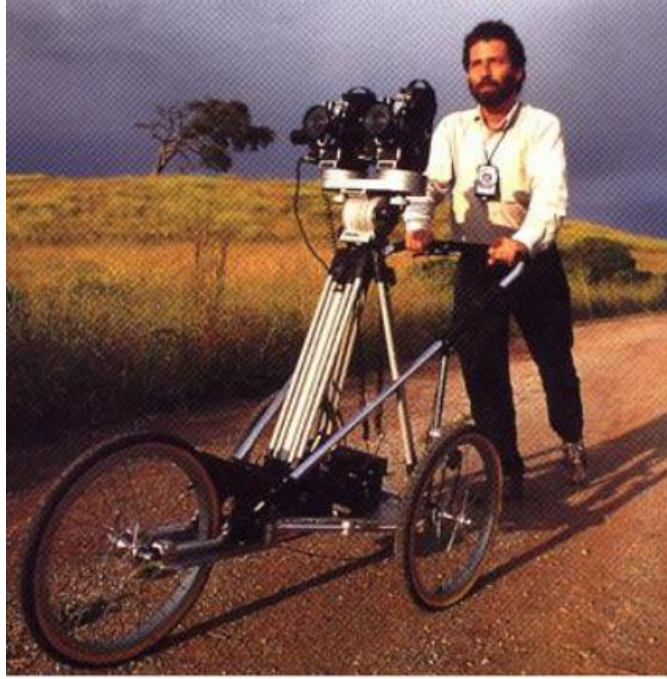
Şekil 2.12 GPS Van sistemi (Novak, 1990)

Schwarz ve ark. (1993) yaptıkları bir çalışmada yol envanteri ve CBS uygulamaları için VISAT ismi verdikleri mobil ölçme sistemi geliştirmişlerdir. INS, çift frekanslı GPS, CCD kameralarının entegre edildiği bu sistemde 50 m' lik bir karayolu koridorunun her iki tarafında 0.3 m. veya daha iyi doğruluğa ulaşmışlardır (Şekil 2.13.).



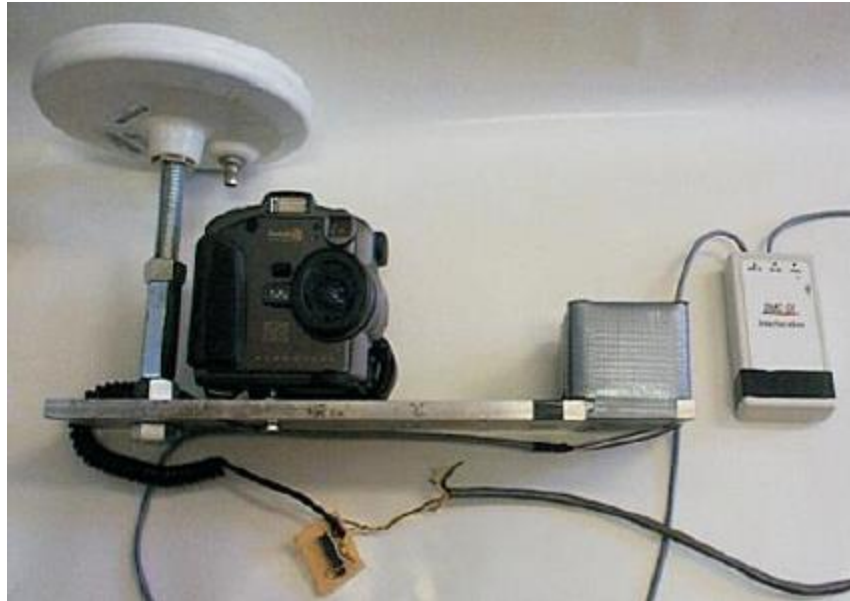
Şekil 2.13 VISAT sistemi (Schwarz ve ark., 1993)

Birçok kara, deniz vb. araçlarda kullanılan MHYS' ler değişik uygulamalar için insan gücü ile taşınabilen platformlar şeklinde de oluşturulmuştur. Bunlardan en eskisi Naimark ve ark. tarafından 1994 yılında tekerlek hareketine göre mesafe belirleyen iki film kamerası entegreli insan gücü ile çalışan Immersion '94 adı verilen sistemdir (Şekil 2.14.).



Şekil 2.14. Immersion '94 veri toplama sistemi (Naimark ve ark., 1994)

Ellum (2001) yaptığı tez çalışmasında insan eliyle taşınabilen bir sistem geliştirmiştir (Şekil 2.15.).



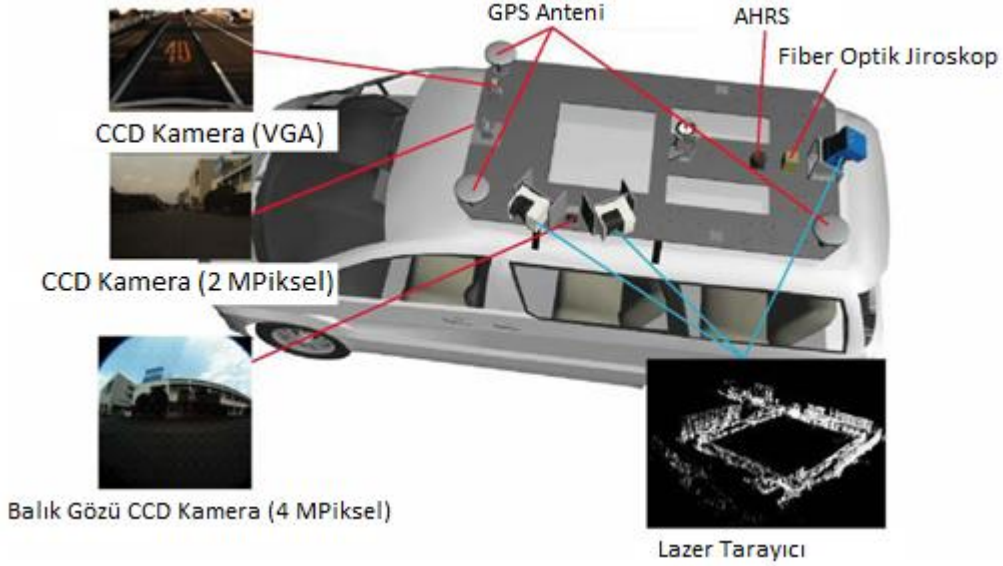
Şekil 2.15. Elle taşınabilen MHYS (Ellum, 2001)

İnsan gücüyle taşınabilen sistemler birçok amaç için geliştirilmiştir. Hatta seri üretim entegre sistemler geliştirilmiştir (Şekil 2.16.) (Seo ve ark. 2004, Asri 2005, Forlani ve Pinto 2007 ve Remondino 2007)



Şekil 2.16. İnsan Gücüyle Taşınabilen Sistemler (Seo ve ark. 2004, Asri 2005, Forlani ve Pinto 2007, Remondino 2007)

Özellikle lazer tarayıcıların ve birçok algılayıcının Ishikawa ve ark. 2006 örneğinde olduğu gibi bir araya geldiği MHYS sistemleri bu alandaki ulaşılmış teknolojinin en son ve yaygın ticari örneklerindedir (Şekil 2.17).

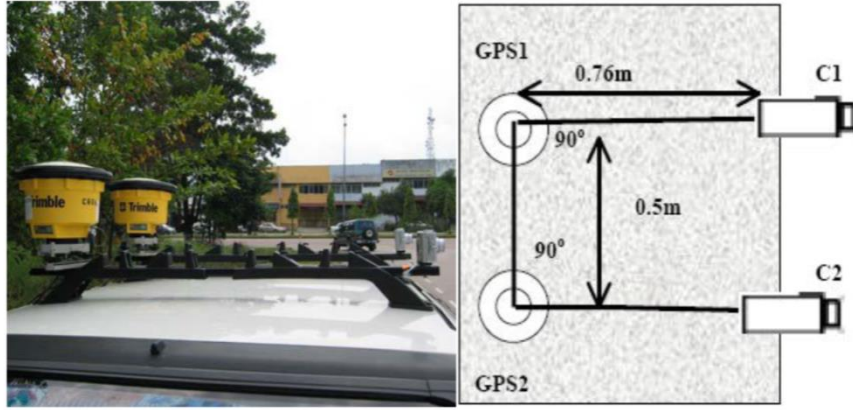


Şekil 2.17 Gelişmiş MHYS (Ishikawa ve ark., 2006)

Gelişmiş sistemlerin maliyetçe büyük yük getirmesinden dolayı aynı zamanda daha az maliyetli sistemler üzerine çalışmalar devam etmiştir.

Wong (2006) yaptığı master tez çalışmasında bir araç üzerine yerleştirdiği 2 GPS alıcısı ve 2 kameradan oluşan bir sistemle mobil harita yapım sistemi oluşturmuştur. Araç

alımı yapılacak konuma geldiğinde duruyor. 1-2 dk. bekledikten sonra diğer konuma hareket ediyor. Veriler Photomodeler yardımıyla değerlendirilerek elde edilen 3 Boyutlu koordinatlar GPS verilerinden de yararlanılarak Matlab yazılımında oluşturulan bir arayüz ile değişik çalışmalarda altlık olarak kullanılmak veya altlık haritaların güncellenmesi için 2 boyutlu konum bilgisine dönüştürmüştür (Şekil 2.18.).



Şekil 2.18. Araç üzerine monte edilebilen MHYS (Wong, 2006)

3. HACİM HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

3.1.Mevcut Hacim Hesaplama Yöntemleri

Genellikle mühendislik projelerinin arazi ile ilgili çalışmaları sırasında maliyet hesaplarının yapılabilmesi için kazılacak ve doldurulcak toprak miktarlarının hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Hacim hesapları genel olarak enkesitlerden, yüzey nivelmanı ölçülerinden ve eş yükseklik eğrili haritalardan yararlanılarak yapılır.

3.1.1. Enkesitlerden Hacim Hesabı

Enkesitlerden yararlanarak yapılan hacim hesapları daha çok yol, kanal, tünel vb. mühendislik projelerinde uygulanır. Bu projelerin yapım aşamasında kazı ve dolgu hacimlerinin hesaplanması gerekir. Öncelikli olarak proje ekseni boyunca belirli aralıklarla enkesitler çıkartılır ve bu enkesitlerden alanları hesaplanır. Hacim hesapları, ardı ardına gelen ve alanları belirlenen bu enkesitlere dayanılarak yapılır. Hesaplama sırasında birbirini izleyen iki enkesit arasındaki arazi parçası düz olarak kabul edilir.

Enkesitlerden yararlanarak yapılan hacim hesabında, birbirini izleyen enkesitler;

- Her ikisi de tam yarmada veya tam dolguda
- Biri yarma diğeri dolguda
- Biri yarmada veya dolguda, diğeri karışık kesitte
- Her ikisi de karışık kesitte olabilirler (Yakar ve ark., 2008),

3.1.2. Yüzey Nivelmanı Ölçüleriyle Hacim Hesabı

Genellikle engebesi az olan yerlerde yapılacak çalışmalarda kazı ve dolgu hacim hesaplarının yapılması amacıyla yüzey nivelmanı çalışmaları yapılır. Yüzey nivelmanında çalışma alanı üçgen, kare ve dörtgenlerden oluşan geometrik şekillere ayrılır. Her bir geometrik şeklin köşe noktalarının kotları hesaplanır. Bu geometrik şekillerin altında veya üstünde belli bir yükseklikten geçen indirgeme yüzeyine göre veya başlangıç kotuna kadar olan kazı veya dolgu hacimleri hesaplanabilir (Yakar ve ark., 2008).

3.1.3. Eş Yükseklik Eğrili Haritalardan Hacim Hesabı

Bilindiği gibi eş yükseklik eğrileri yeryüzünde aynı yükseklikteki noktaları birleştiren eğrilerdir. Eş yükseklik eğrili haritası bulunan bir alanda hacim hesabı enkesitlerle hacim

hesabına benzemektedir. Burada enkesit alanlarının yerini eş yükseklik eğrisinin çevrelediği alan, enkesitler arasındaki mesafenin yerini de eş yükseklik eğrileri arasındaki yükseklik farkı almaktadır. Eş yükseklik eğrilerinin çevrelediği yüzey alanları planimetrik olarak bilgisayarlarla ve sayısallaştırma yazılımlarıyla hesaplanabilir (Yakar ve ark., 2008).

3.1.4. Sayısal Arazi Modelleriyle Hacim Hesabı

Şimdiye kadar hacim hesabında kullanılan yöntemlerde düzenli veriler kullanılmaktadır. Bu veriler daha önceden tespit edilen nokta ve konumlarda yani arazide belirli yerlerden hesaplanır. Bu yöntemler günümüzde halen kullanılmaktadır.

Bu yöntemlere alternatif çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların dayanak noktası araziye tanımlayacak uygun dağılımda ve sıklıkta noktaların toplanmasıdır. Fakat bu yöntem çok fazla hesaplama işlemi gerektirmektedir. Bu matematiksel işlemler karmaşık olmamasına rağmen zaman alıcı ve sıkıcıdır. Ancak bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle bu zorluklar aşılmıştır. Bu yüzden sayısal arazi modeli yöntemi çok büyük önem kazanmış olup hacim hesabında en sık kullanılan metot olmuştur. Burada temel teori araziye en iyi tanımlayacak noktalara dayandırılmaktadır. Her bir nokta kendine komşu noktalara bağlanır. Böylece tüm arazi yüzeyini kaplayacak üçgen serileri oluşturulur. Üçgen prizmanın hacim hesabı en basit yöntemdir. Bu üçgen prizmaların hacimlerinin toplamı tüm yüzeyin belli bir referans yüzeyinden olan hacim miktarını verir.

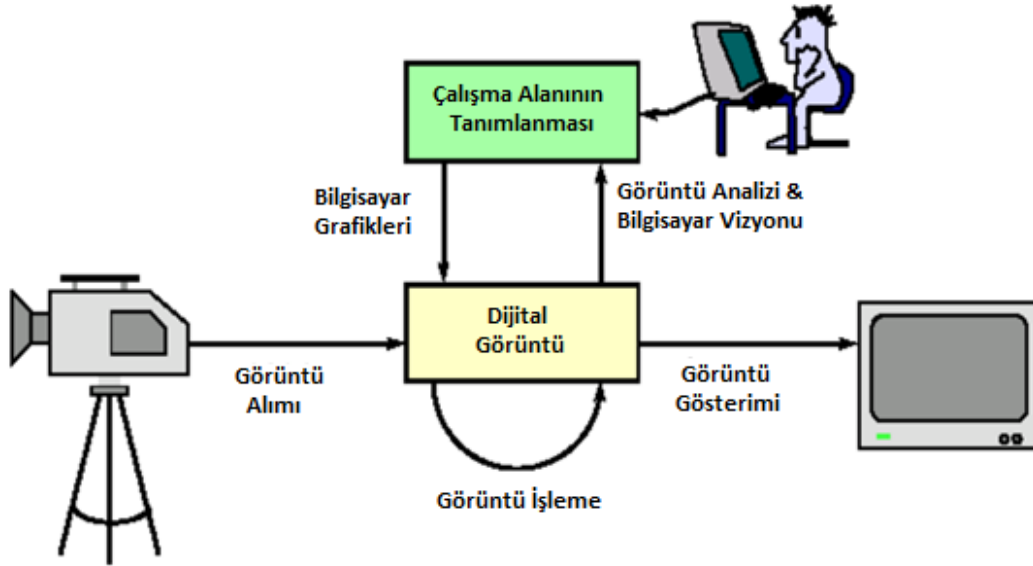
Araştırmalar iki karmaşık yüzey arasındaki hacim hesabını yapabilecek seviyeye gelmiştir. Şu anda çalışmalar doğrudan üçboyutlu yüzeylerin hacminin hesaplanması üzerine yoğunlaşmıştır (Yakar ve ark., 2008).

3.2. Görüntü Eşleme

Günümüzde, haritacılık, bilgisayar bilimleri, elektronik vb. pek çok alanda gelişen görüntüleme teknolojilerinin sağladığı görüntülerden artan bir eğilimle yararlanılmaktadır. Özellikle görüntülerden yararlanmanın en yaygın yolu onlardan bilgi elde etmek ve bu bilgileri yorumlamaktır. Bilgi elde etme ve yorumlama işi ise hız çağının bir gereği olarak otomatik olarak yapılması her zaman kullanıcıların nihai hedefi olmuştur. Ayrıca görüntüleme teknolojilerinin sağladığı bazı görüntüleri doğrudan yorumlamak ve kullanmak mümkün olmamaktadır. Görüntüden bilgi elde etmek ve yorumlamak için yapılan tüm bu işlemler Görüntü İşleme olarak adlandırılabilir (Asri, 2011).

3.2.1. Sayısal Görüntü Eşleme

Dijital bir resim haline getirilmiş olan gerçek yaşamdaki görüntülerin, bir girdi resim olarak işlenerek, o resmin özelliklerinin ve görüntüsünün değiştirilmesi veya iyileştirilmesi sonucunda yeni bir resmin oluşturulmasıdır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Görüntü eşlemenin iş akışı (Yıldırım, 2003)

Sayısal görüntü eşleme denildiğinde, görüntüler üzerinde görüntünün kalitesini artıran, görüntü zenginleştirme, histogram analizi, kontrastlık işlemlerinin yapılması gibi sayısal işleme adımları olan görüntü işleme tekniklerinin uygulanması akla gelir (Öztürk ve Koçak, 2007) .

3.2.1.1. Epipolar Geometri

Fotogrametrik görüntüler merkezi izdüşüm ve perspektif projeksiyon yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntülerdir. Merkezi perspektif projeksiyon, epipolar geometri olarak adlandırılan çok önemli geometrik bir özellik sağlar. Görüntü dikkate alınırsa, üç boyutlu uzayda epipolar düzlem, konu obje noktasını ve her iki görüntünün projeksiyon merkezini içeren düzlem olarak tanımlanır. Bu düzlem, her iki görüntüyü epipolar doğru

olarak adlandırılan doğrularla keser. Eğer iki görüntünün de karşılıklı yöneltmesi biliniyorsa, bir görüntüde verilen bir nokta için diğer görüntüde epipolar doğru hesaplanabilir ve bu noktaya karşılık gelen nokta mutlaka epipolar doğru üzerinde bulunur. Böylece görüntü eşleme problemi, iki boyutlu işlemde bir boyutlu bir işleme dönüşür. Epipolar doğrular boyunca eşlemeyi kullanabilmek için, her iki görüntü bütün stereo modelde düşey veya y-paralaksı giderilerek normal duruma dönüştürülmelidir. (Asri, 2011)

Sonuç olarak, eşlemenin sadece baz doğrusu yönünde yapılması gerekir. Epipolar sınırlamayı kullanabilmek için bir ön işlem gerekli değildir. Bir görüntüde verilen bir nokta için, diğer görüntüdeki epipolar doğru karşılıklı yöneltme parametreleri kullanılarak hesaplanabilir ve eşleme bu epipolar doğrular boyunca sürdürülür (Öztürk ve Koçak, 2007).

Epipolar sınırlama, belirsizlik problemlerinin çözümü ve hesaplama süresini azaltmak için çok önemlidir. Karşılıklı yöneltme parametrelerinin yaklaşık değerleri bilinse bile, eşlenik noktalar için baza dik doğrultuda araştırma alanını azaltmak amacıyla epipolar sınırlama kullanılmalıdır. Yalnız epipolar sınırlamanın sadece görüntü çiftleri için hesaplanabildiği göz önünde bulundurulmalıdır (Asri, 2011).

3.2.2. Görüntü Eşleme Tanımı ve Dijital Fotogrametrik Kullanımı

Eş, kelime anlamı olarak; bir diğerine benzer ya da aynı olandır. Eşleme; eşitini ya da benzerini bulmak veya yapmak anlamında kullanılır. Aynı şekilde eşleme problemi de, ilişki kurma olarak ifade edilir. Veri setleri; görüntüleri, haritaları, obje modellerini ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) verilerini temsil eder. Digital görüntü eşleme, en azından kısmen aynı manzarayı içeren iki veya daha fazla sayısal görüntüden elde edilen temel elemanlar arasındaki ilişkinin otomatik olarak kurulmasıdır (Asri, 2011).

Görüntü eşleme ile ilgili ilk çalışmalar 1950'li yılların sonlarında başlamıştır. Temelde çözüm analog yöntemde dayanmakta olup, korelatörler donanımsal olarak stereo modeldeki gri seviyelerini karşılaştırmaktaydı. Eşleme probleminin sonuçlanmasının neden çok uzun zaman aldığı düşünülebilir. Bu soruya verilecek ilk cevap, piksel olarak adlandırılan en temel görüntü elemanının bilgi içeriği dikkate alınarak açıklanabilir. 15 µm ile taranan bir hava fotoğrafı yaklaşık olarak 285 milyon pikselden ve her bir gri tonu da 0 - 255 arasında bir değerden oluşur. Bu değerlerin büyüklüğü, tek tek piksellere dayalı bir eşlemenin imkansız olduğunu göstermektedir. Bu nedenle görüntü eşlemede farklı yöntemler geliştirilmiştir (Heipke, 1996).

Bu yöntemleri Şekle Dayalı Görüntü Eşleme (Feature Based Image Matching), Alana Dayalı Görüntü Eşleme (Area Based Image Matching) ve İlişkisel Görüntü Eşleme (Relational Image Matching) yöntemleri olarak üç şekilde sınıflandırabiliriz (Varlık ve ark., 2009).

Fotogrametrik işlem adımlarının çoğunluğu bir şekilde eşleme ile ilişkilidir. İç yöneltmede fotoğraf kenar göstergesinin iki boyutlu modelinin eşlenmesi, karşılıklı yöneltmede ve fotogrametrik nirengide nokta transferi, sayısal arazi modellerinde bir görüntü bölümünün diğer görüntü bölümleriyle eşlenerek üç boyutlu arazi noktalarının elde edilmesi eşlemeye verilebilecek örneklerdir (Öztürk ve Koçak, 2007). Ayrıca Sayısal Yükseklik Modelleri oluşturmak için yeniden görüntü eşlemeye başvurulur. Dijital fotogrametri, otomatik fotogrametrik işlemeyle ilgilidir, verinin ölçümü, analizi ve yorumunu kapsar. Bu fotogrametrik işlem zincirinin birçok adımı eşlemeye bağlıdır. Otomatik stereo yöneltmenin yapılabilmesi ve sayısal arazi modeli oluşturma işlemlerinde görüntü eşlemeye ihtiyaç duyulur. Otomatik stereo yöneltmenin ana problemi bindirmeli iki görüntüdeki eşlenik noktaları bulmaktır. Problem genelde iki adımda çözülmektedir. Birinci adımda, görüntülerde örtüşen alanlar bir kaba eşleme yapılarak belirtilir. İkinci adımda bu işlemi çok hassas bir nokta eşleme işlemi takip eder. Genelde birinci adımda şekle dayalı görüntü eşleme yöntemleri, ikinci adımda ise çok hassas olan alana dayalı görüntü eşleme yöntemleri kullanılmaktadır (Varlık ve ark., 2009).

Dijital fotogrametri de amaç, dijital görüntülerden en az insan katılımıyla 2 veya 3 boyutlu topoğrafik ve tematik veri çıkarmaktır. Dijital fotogrametride, dijital görüntülerin karşılıklı ve mutlak yöneltmesi analitik fotogrametrinin prensipleriyle yapılır. Bu işlemin otomatik yapılabilmesi için her iki bindirmeli görüntüdeki aynı noktalar otomatik veya yarı otomatik olarak bulunmalıdır. Bir stereo modelin oluşturulup, bu modeli yer kontrol noktalarına göre yerleştirmek ve böylece istenilen harita projeksiyon sistemini ortaya koymak için gerekli yöneltme işlemlerinin yapılması şüphesiz analog ve analitik stereo çizim aletlerinde olduğu kadar dijital fotogrametrik sistemlerde de zorunludur. Stereo modelin oluşturulması için bir görüntüdeki bir alanın, bir şeklin veya bir noktanın diğer dijital görüntülerde yerinin araştırılması gerekir. Bu araştırma işlemine görüntü eşleme denir. Görüntü eşleme herhangi bir görüntü analiz işleminin hemen hemen tamamında anahtar elemandır (Varlık ve ark., 2009).

3.2.3. Görüntü Eşleme Yöntemleri

Görüntü eşleme, son zamanlarda dijital fotogrametri ve bilgisayarla görmede başlıca araştırma konusu olmuştur. Çeşitli eşleme algoritmaları arasındaki en önemli fark, eşlemede kullanılan temel elemanların farklı olmasıdır (Erdoğan, 2007). Bu güne kadar yapılan araştırmalarda çok sayıda eşleme yöntemi kullanılmış, hatta bilindik temel yöntemlerin birlikte kullanılması ile farklı yöntemler geliştirilmiştir (Yao, 1997). Çok sayıdaki bu yöntemleri üç temel başlık altında toplanabilir.

-Şekle (Detaya) Dayalı Görüntü Eşleme Yöntemleri

-İlişkisel (Sembolik-Yapısal) Görüntü Eşleme Yöntemleri

-Alana Dayalı Görüntü Eşleme Yöntemleri

3.2.3.1. Şekle (Detaya) Dayalı Görüntü Eşleme

Bu yöntemde her iki görüntüde belli şekillerin çıkartılması gerekir. Eşlemede ikinci adım bu şekiller arasında yapılan eşlemedir. Birinci adımda genellikle noktalar veya kenarlar çıkartılır. Bunun için operatörler veya kenar belirleyicileri kullanılır. İkinci adımda referans görüntü (model görüntü) seçilir ve muhtemel eşleme noktalarının geçici listesi meydana getirilir. Bu işte eleman niteliklerinin benzerliğini anlayabilmek için çapraz ilişki katsayısı kriter olarak kullanılır. Çoklu çözümler olduğunda, bunların tutarlılığı kontrol edilir ve en iyi çözüm seçilir. Değişik ölçü tutarlılıkları mevcuttur. En önemlilerinden biri paralaks büyüklüğüdür. Yükseklikler ve paralaksların yerel olarak çok az değiştiği varsayımı altında belirli bir çözüm civardaki yerel çözümlerden biri ile çakışacaktır. Bu yöntemin dezavantajları, şekil çıkartılması esnasında kaybolan bilginin tekrar elde edilememesi, zayıf sınırlama yapmaları ve çok karışık algoritma gerektirmeleridir. Bazı yöntemler piksel altı hassasiyeti sağlarlar, fakat Alana Dayalı yöntemlerin hassasiyet düzeyine erişemezler (Ackerman ve Hahn, 1992).

3.2.3.2. İlişkisel (Sembolik) Eşleme

İlişkisel eşleme görüntülerin sembolik tanımlarını karşılaştırır ve bir maliyet fonksiyonuyla benzerlikleri ölçer. Sembolik tanımlar gri değerlere veya türetilmiş detaylara başvurur. Bu tanımlar grafik, ağaç veya anlamsal ağlar olarak gösterilirler. Diğerlerinin tersine, ilişkisel eşleme geometrik benzerlik özelliklerine katı bir şekilde bağlı değildir. Bir

benzerlik kriteri olarak şekil veya konumu kullanma yerine, topolojik özellikleri karşılaştırır (Erdoğan, 2007).

3.2.3.3. Alana Dayalı Görüntü Eşleme

Bu yöntemde temel fikir sol görüntüdeki bir parçanın (ilişki penceresi) sağ görüntüdeki karşılığının bulunmasıdır. Bunun için her iki parçanın $f1[u,v]$ ve $f2[u,v]$ gri değerleri karşılaştırılır. En önemli alana dayalı eşleme yöntemleri Çapraz İlişki ve En Küçük Kareler Görüntü Eşlemesidir. Birincide her iki görüntüde aynı büyüklükte olan iki parçanın $f1$ ve $f2$ gri değerleri arasındaki korelasyonun en yüksek olduğu yer araştırılır, En Küçük Kareler Görüntü Eşlemede ise gri değer farkları minimum olacak şekilde sağdaki resim deforme edilir. Bu eşleme yöntemleri hassastır, Çapraz İlişki ile 1-2 piksel hassasiyetle eşleme yapılırken En Küçük Kareler Görüntü Eşleme ile piksel altı hassasiyete inilebilir. En Küçük Kareler Görüntü Eşleme yönteminin esas dezavantajı çok iyi yaklaşık değerler gerektirmesidir (Altan, 1998). En önemli Alana Dayalı Görüntü Eşleme yöntemleri Karşılıklı İlişki (Çapraz korelasyon) ve En Küçük Kareler Görüntü eşlemesidir.

a) Karşılıklı İlişki Yöntemi (Cross Correlation)

Karşılıklı ilişki yönteminde, sol ve sağ görüntüdeki iki parça arasındaki korelasyon (ilişki) değeri hesaplanır. Sol görüntüde referans olarak alınan küçük bir parça (5x5 pikselden daha küçük olmayan ilişki penceresi olarak adlandırılan dörtgen) seçilir ve kendisinin Sağ görüntüdeki yeri, dörtgen parçaya yaklaşık olarak karşılık gelen bir araştırma bölgesi (araştırma penceresi olarak ta adlandırılır) üzerinde piksel piksel araştırılarak bulunur (Gruen, 1998),

b) En Küçük Kareler Görüntü Eşleme Yöntemi

Seksenli yılların başında geliştirilen En Küçük Kareler Görüntü Eşleme yöntemi esneklik ve hassasiyet yönünden oldukça etkili bir yöntemdir ve halen pek çok dijital fotogrametrik eşleme görevinde kullanılmaktadır.

En Küçük Kareler Görüntü Eşlemede, Karşılıklı ilişki yönteminde olduğu gibi Sol ve Sağ Resimdeki aynı büyüklükte olan iki görüntü parçasının (ilişki penceresinin) gri renk değerleri kullanılır.

Karşılıklı ilişki yönteminden temel farkı Sol ve Sağ Resimdeki ilişki pencereleri arasındaki ilişki katsayısını bulmak yerine gri değerler farkları minimum olacak şekilde sağdaki resim deforme edilmesidir. Bu deformasyon bir Affin dönüşümü ile modellenir. Böylece sağ görüntüdeki parça sol görüntüdeki parçaya en iyi eşlenecek şekilde motive edilmiş olur (Gruen ve Baltsavias, 1988).

En Küçük Kareler yaklaşımına dayanan görüntü eşleme, en küçük kareler dengelemesini kullanarak eşleme pencereleri arasındaki gri değerlerin farklılıklarını minimize eder. Bunun için sol görüntüdeki seçilen dörtgen şeklindeki ilişki penceresinin sağ görüntüdeki yaklaşık yeri bilinmelidir. İlk dengelemeden elde edilen kesin değerler bir sonraki dengelemede yaklaşık değerler olarak kabul edilirler ve dengeleme bu şekilde belli bir inceliğe erişinceye kadar devam eder (Gruen ve Baltsavias, 1987).

3.2.4. Ölçeksel Değişmeyen Özellik Dönüşümü (SIFT) Algoritması

Görüntü eşlemede iki resim arasındaki dönüşüm parametrelerini belirlemek için iki resimdeki ortak detay noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu detay noktalarının her resimde manuel olarak belirlenmesi eşleme mantığına ters düşmektedir. Bu detay noktalarının otomatik belirlenmesi görüntü eşleme konusunda çalışan araştırmacıların önemli konularından biri olmuştur. Bu yüzden SIFT gibi otomatik detay tanımlama yöntemleri geliştirilmiştir. Özgen 2008 yılında yaptığı tez çalışmasında SIFT yöntemini aşağıdaki şekilde tanıtmıştır.

SIFT (Scale Invariant Feature Transform) metodu, 1999 yılında David G. Lowe tarafından ortaya konulmuş olup, David Lowe teorisinin patentini 2004 yılında almıştır. David G. Lowe halen British of Colombia Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde ders vermekte ve araştırmalarına devam etmektedir.

SIFT algoritması dört asamadan oluşan bir algoritmadır:

- Ölçeksel uzaydaki uç noktaların (minimum - maksimum) elde edilmesi:

Algoritmanın ilk aşaması olan bu kısımda, tüm ölçekler ve resim konumları araştırılır. Boyutsal ve dögüsel değişime karşı dayanıklı potansiyel özellik noktalarının tanımlanması etkili bir şekilde gerçekleştirilir.

- Kilit noktaların konumlarının belirlenmesi:

Her aday noktada konum ve ölçek belirlemek için ayrıntılı bir model oluşturulur. Kilit noktalar, özellik noktalarının kararlılığına göre seçilir.

- Döngüsel değişime karşı dayanıklılık kazanılması:

Kilit noktanın bulunduğu her konum için bir veya daha fazla yön atanır. Daha sonra yapılacak olan tüm işlemler; yön, ölçek ve konum olarak ataması yapılmış kilit noktalar baz alınarak yapılacağından bu değişimlere karşı dayanıklılık kazanılmış olur.

- Kilit nokta tanımlayıcıların bulunması:

Her kilit nokta için etrafındaki alanda ve seçilen ölçeksel büyüklükte resim gradyentleri ölçülür. Bu gradyentler, parlaklık ve şekil değişimlerine karşı kararlılık kazanılmasını temin edecek şekilde temsil edilirler. Bu algoritma SIFT olarak adlandırılır. Çünkü bu algoritma ile resim bilgileri ölçeksel bazda değişmeyen koordinatlara dönüştürülür. SIFT ile resmi ölçeksel ve konumsal bazda tam anlamıyla kapsayabilmek için fazla miktarda özellik noktası bulunur. Resmin içeriğine ve SIFT algoritmasında seçilen parametrelere göre değişiklik göstermesine rağmen, tipik bir 500x500 piksellik resim için yaklaşık 2000 civarında SIFT noktası bulunur (Asri, 2011).

3.2.5. Rastgele Örnek Uyuşumu (RANSAC) Algoritması

Görüntü eşleme çalışmalarında SIFT ve benzeri otomatik detay çıkarım algoritmaları ile belirlenen detayların hepsinin her iki resimde de uyumlu olması düşünülemez. Bu nedenle yanlış ve uyumsuz detayların elemine edilmesi gerekmektedir. Bunun içinde son zamanlardaki yaygın yöntem RANSAC algoritmasıdır (Wei ve ark., 2008).

1981 yılında Fischler ve Bolles tarafından geliştirilen yeni bir model olan Rastgele Örnek Uyuşumu (Random Sample Consensus: RANSAC) deneysel veri tanımlamak için uygun bir modeldir. RANSAC büyük hataların önemli bir yüzdesini içeren verinin değerlendirmesini ve düzeltmesini yapabilir. Bu nedenle hata yapabilen özellik bulucuların sağladığı verilere dayanan yorumlamanın olduğu otomatik resim analiz uygulamaları için ideal uygunluktur.

RANSAC yöntemi bilindik düzeltme tekniklerinin tersidir. Başlangıç çözümünü elde etmek için mümkün olduğunca çok veri kullanmak ve sonrasında geçersiz veri noktalarını elemine etmeye çalışmak yerine RANSAC uygun küçük başlangıç veri kümesi kullanır ve

mümkün olduğunca bu küme tutarlı veri ile genişletilir. Örneğin; iki boyutlu noktalar kümesine bir daire yayı uydurma görevi verildiğinde RANSAC yaklaşımı üç noktalı (bir daireyi belirlemek için üç noktaya ihtiyaç duyulmasından dolayı) bir küme seçecek, kastedilen dairenin merkezi ve yarıçapını hesaplayacak ve daire için önerilen uyumlulukta olan yeterince yakın noktaların(onların sapmaları yeterince küçük olan ölçme hatalarıdır) miktarını sayacaktır. Eğer yeterince uyumlu nokta varsa RANSAC karşılıklı tutarlı noktalar kümesince tanımlanmış daire parametreleri için iyileştirilmiş bir tahmin hesaplamak için en küçük kareler gibi bir düzeltme tekniği kullanacaktır.

RANSAC modeli üç tane belirtilmemiş parametre içerir:

1. Bir nokta modeli ile uyumlu olup olmadığını belirlemek için kullanılan hata toleransı
2. Tetkik etmek için alt küme sayısı
3. Doğru modelin bulunduğu uyumlu nokta sayı olan eşik değeri

Özetle RANSAC araştırılan bir veri kümesinin matematiksel modelini tahmin eden bir algoritmadır. Araştırılan veri hem tutarlı hem de tutarsızlık içerir. Tutarlı olanlar aynı parametre takımı ile tanımlanabilen bir veri kümesine karşılık gelirken tutarsız olanlar bir model tarafından tanımlanamaz. Bu yüzden hassas bir model uydurmak için bu tutarsız veriler ayıklanmalıdır. Burada iki temel problem vardır.

Birincisi; iki veri arasındaki en iyi eşlemeyi ve mevcut modellerden birini bulmak (sınıflandırma).

İkincisi; seçilen modelin bağımsız parametreleri için en iyi değeri hesaplamak(parametre tahmini). RANSAC algoritması diğer klasik yöntemlerin veri setindeki tek bir kaba hatada başarısız olduğu bu iki problemi oldukça fazla kaba hata olması durumunda bile çözüme ulaştırabilir (Erdem, 2007).

3.3. Görüntü Eşleme ile Fotogrametrik Yüzey Modeli Üretimi

Son zamanların 3B modelleme çalışmaları temel olarak iki başlık altında toplanmaktadır. Bunlar görüntü ve mesafe (lazer vs.) verileridir. Mesafe algılayıcıları son zamanlarda hız ve milyonlarca nokta ölçebilmelerinden dolayı yaygın bir şekilde

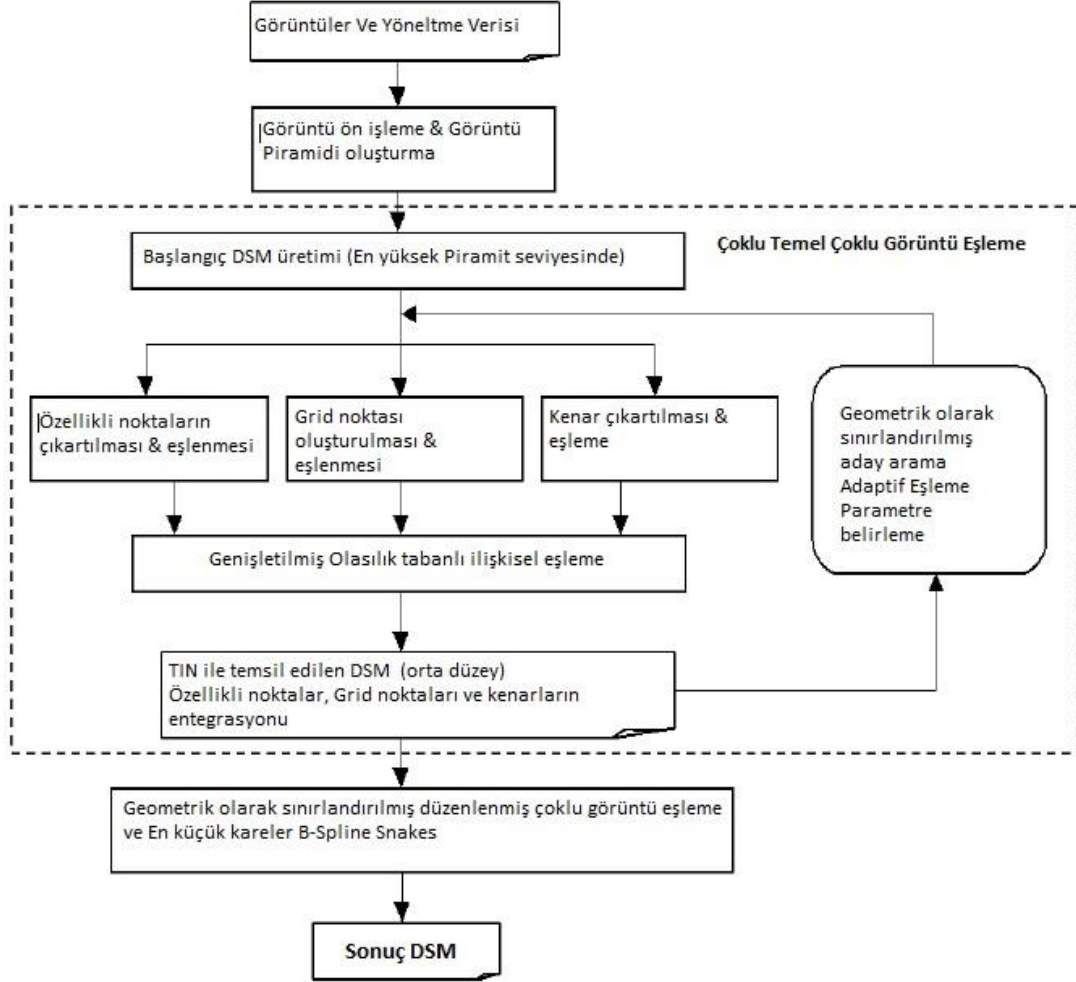
kullanılmaktadır. Ancak diğerk yönden fotogrametri de mesafe algılayıcıları ile aynı ölçüde nesne detayını çıkarma potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel alan ve öznitelik tabanlı gelişmiş görüntü işleme algoritmalarının kombinasyonu ile karmaşık veya standart bir şekilde sahip olmayan nesnelerin yüzeylerinin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Mesafe algılayıcılarının yaygınlaşması, hızlı ve hassas 3B veri üretmesine rağmen araştırmacılar tarafından görüntülerden 3B modelleme üzerine büyük bir yoğunlaşma mevcuttur (Remondino, ve Zhang , 2006). Bu açıdan bakılırsa pahalı ve yoğun veri işleme yönünden dezavantajlı bir duruma sahip mesafe algılayıcılarına iyi bir alternatif gibi görülebilir.

Çoklu görüntü eşleme yaklaşımı ilk başta yüksek çözünürlüklü doğrusal sıralı görüntüler için geliştirilmiştir. Fakat sonrada diğerk hava veya yakın resim fotogrametrik verilerinin işlenmesi için genişletilmiştir. Çoklu görüntü eşleme yaklaşımı bilinen kalibrasyon ve yöneltme parametrelerinden başlayarak temel olarak birbirine bağlı 3 adımda gerçekleştirilmektedir.

1. Görüntü ön işleme: görüntülerdeki aşırı aydınlık veya karanlık bölgeler gibi radyometrik problemlerin giderilmesi ve öznitelik çıkartılması ve görüntü eşlenmesi için resimlerin optimizasyonu için filtrelenmesinden oluşmaktadır.

2. Çoklu Temel *Çoklu-Görüntü eşleme*: Bu aşama düşük çözünürlükteki temel öznitelik eşlemeden yüksek çözünürlükteki görüntü eşlemeye kadar çoklu eşleme olanakları sunmaktadır.

3. Rafine Eşlem: Birbirine göre geometrik durumları belirlenmiş çoklu fotoğraflardan yanlış veya düşük doğrulukdaki eşlemelerden arındırılarak piksel altı hassasiyette eşleme yapılması (Remondino ve Zhang , 2006).



Şekil 3.2. Otomatik DSM oluşturma yaklaşımının diyagramı (Remondino ve Zhang, 2006).

3.4. Mobil Harita Yapım Sistemleri

Harita yapım biliminin dijital harita yapım alanında sürekli olarak ilerlediği bilinen bir gerçektir. Son on, on beş yıllık süreçte özellikle dijital teknolojilerin etkisiyle Fotogrametri, Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaysal konum belirleme teknolojilerinin entegrasyonu mümkün olmuş ve bu da harita yapım sektörünün hızla gelişmesi ve muazzam bir şekilde büyümesiyle sonuçlanmıştır. Modern dijital harita yapım teknolojisi birçok disiplinin birleşimi, çoklu platform düzeltmeleri, çoklu algılayıcı entegrasyonu, çoklu veri bütünleşmesi ile karakterize olmuştur.

Çoklu platform ve çoklu algılayıcı entegreli harita yapım teknolojisi hızlı konumsal veri toplama yönünde açık bir eğilim ortaya koymuştur. Algılayıcılar; uydular, uçaklar, helikopterler, kara araçları, deniz veya su araçları, hatta arazi personeli tarafından elde taşınabilen araçlar gibi farklı platformlar üzerine monte edilebilmektedir. İnternet ve kablosuz

iletişim ağlarının kullanımının artması ve algılayıcı ağlardaki son gelişmeler verimli bir şekilde veri transferi ve veri işleme için önemli olanaklar sağlamıştır. Bunun sonucu olarak ta harita yapımı mobil ve dinamik bir hal almıştır.

Mobil harita yapımı; bir konumsal veri toplama aracı olarak kullanılan platform üzerine monte edilen harita yapım algılayıcıları ile tanımlanır. Mobil harita yapımı üzerine alıştırılmalar 1980'lerin sonlarına kadar uzanır. İlk çalışmalar kara yolu alt yapı haritalarının hızlı olarak üretilmesi ve ulaşım hatlarının envanterine duyulan ihtiyaç nedeniyle sürdürüldü. Bu süreçte, kameralar, yön bulma ve konum belirleme algılayıcıları (örneğin Küresel Konum Belirleme-Global Positioning System: GPS) ve ataletsel ölçme birimi (Inertial Measurement Unit: IMU) gibi araçlar birbirine entegre ve harita yapım amacı doğrultusunda bir mobil araç üzerine monte edildi. Objelerin yön bulma ve konum belirleme algılayıcıları kullanılarak konumlandırılan resimlerden ölçümü ve haritalarının yapımı gerçekleştirilebildi. İlk zamanlarda, araştırmacılar tarafından bu heyecan verici araştırma alanını tanımlamak için değişik terimler kullandı. Kinematik ölçme, dinamik harita yapımı, araç bazlı harita yapımı vs. gibi terimler bilimsel literatürde yer aldı. 1997 de Mobil Harita Yapım Teknolojisi (Mobile Mapping Technology) üzerine ilk uluslar arası sempozyum ABD'nin Ohio eyaletinin Columbus şehrindeki The Ohio State Üniversitesinin Harita Yapımı Merkezinde yapıldı. Daha sonra "Mobile Mapping-Mobil Harita Yapımı" terimi kabul gördü ve çoğunlukla bu terim kullanıldı. (Asri, 2011)

3.4.1. Mobil Harita Yapım Sistemlerinin Gelişimi

Genel olarak mobil harita yapım teknolojilerinin gelişim süreci üç aşamada incelenebilir.

Foto-Kayıt (Photo-Logging): 1970'li yıllarda foto-kayıt sistemleri birçok karayolu taşımacılığı departmanı tarafından üst yapı performansını izleme, işaretleme, bakım işleri, tecavüzler vb. alanlarda kullanıldı. Bu tür hizmetlere genellikle 2 veya 3 yıllık aralıklarla gereksinim duyulmaktadır. Bu amaçlarla araçlara monte edilen çoğu film kameraları minibüs tipi araçların ön camları yönünde araca takılarak fotoğraf çekimi için kullanıldılar. Kameralara ek olarak ayrıca, bir atalet cihazı (jiroskop ve ivmeölçer vb.) ve bir tekerlek hareket sayacı (km sayacı gibi) da çekilen fotoğrafların anlık konumlarını belirlemek amacıyla kullanıldılar. Bu sayede, her bir fotoğraf, çekim zamanı ve coğrafi konum bilgisi ile beraber tespit edilmiş oldu. Bu fotoğraflar otoyol performansının başlıca resimsel kaydı olarak depolandı (Birge, 1985).

Bu sistemlerde araç konumunun kaba doğruluğu ve sadece bir kamera konfigürasyonu kullanması nedeniyle 3B obje ölçümü fonksiyonel olarak kullanılabilir değildi. Foto-kayıt'ın en büyük dezavantajı depolama ve işlemenin film tabanlı olmasıdır. Filmlerin kırılğan ve film işlemenin maliyetli olmasından dolayı mühendislik, planlama, yasal veya güvenlik faaliyetleri için erişimi zaman almaktaydı.

Video-Kayıt (Video-Logging): GPS ve dijital video görüntüleme teknolojilerinin ortaya çıkması ile kullanışsız foto-kayıt sistemlerinin yerini GPS bazlı video-kayıt sistemleri aldı. GPS tabanlı video-kayıt sistemlerinin otoyol envanteri için hızlı ve düşük maliyet yaklaşımı sunduğu birçok proje ile ispatlanmıştır. Toplanan video görüntüleri sürekli olarak GPS yön bulma ve konum bulma bilgileri kullanılarak küresel koordinat sistemine göre konumlandırılmaktadır. Film işleme içermediğinden veri işleme için geçen zaman önemli ölçüde düşmüştür. Ayrıca dijital ve konumlandırılmış video verileri hızlı erişime ve etkin bir yöneltmeye imkân verir. Otoyol video verilerinin yorumlanabilme yeteneği görüntü işleme yazılımı kullanarak da güçlendirilmiştir. Bu yöntem çoğu ulaşım departmanı tarafından kabul görmüştür. Görsel envanter ve yol güzergâhı boyunca özellik dokümantasyonu bu tür sistemlerin ana amacı olarak ifade edilebilir (Tao ve Li, 2007).

Mobil Harita Yapımı (Mobile Mapping): Karasal mobil harita yapım sistemlerinin gelişmesi Kuzey Amerika'daki iki araştırma gurubu tarafından başlatıldı. Bunlar ABD'deki The Ohio State Üniversitesinin Harita Yapım Merkezi ve Kanada'daki Calgary Üniversitesi Geomatik Mühendisliğidir. Video kayıt sistemleri diğerlerinin aksine mobil harita yapım sistemleri olarak geliştirilmiş entegre çoklu algılayıcı veri toplama ve işleme teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen tamamen 3B harita yapım olanakları sunmaktadır.

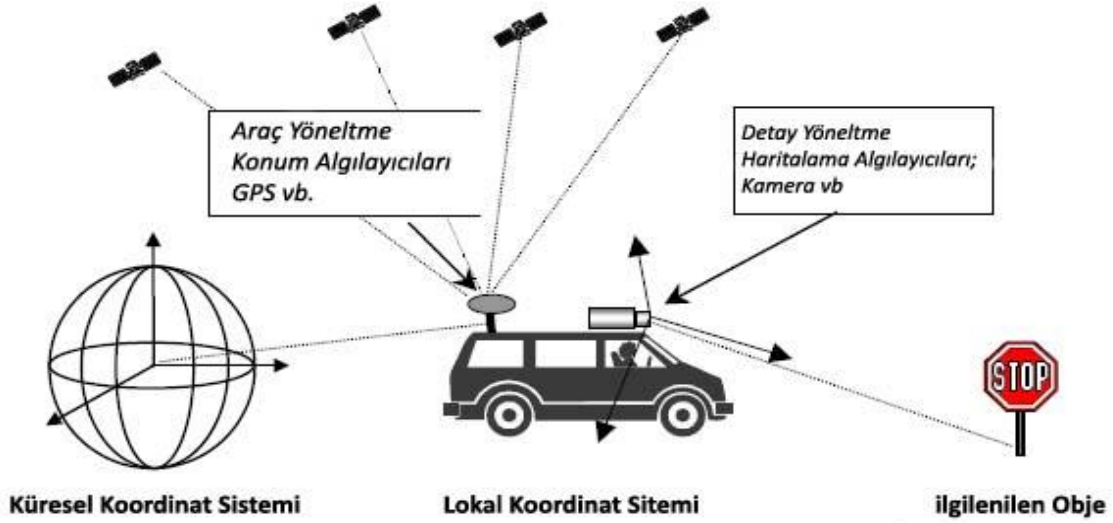
Mobil Harita Yapım Sistemlerinin yaygın bir özelliği, stereo görüntüleme ve 3B ölçüm sağlamak için mobil bir platform üzerine birden fazla kamera monte edilmesidir. Ardışık dijital görüntülerin doğrudan konumlandırması yön bulma ve konumlandırma teknikleri kullanılarak gerçekleştirilir. Çoklu konum algılayıcılarında GPS, IMU ve pusula veri işlemede konumlandırmanın doğruluğunu ve kuvvetini arttırmak için birlikte kullanılmışlardır. Klasik harita yapımındaki yer kontrol noktası gereksinimi bu şekilde ortadan kaldırılabilir.

Bunun paralelinde ise geniş format dijital kameralar, lazer tarayıcılar (LIDAR) ve İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (IfSAR veya InSAR) harita yapım sistemleri gibi hava algılayıcılarında etkileyici gelişme yaşandı. Son 10 yıldır uydu algılayıcıları özellikle yüksek

çözünürlüklü ticari görüntüleme uyduları (örn., IKONOS, QuickBird, OrbView-3) harita yapımında önemli rol oynamıştır. Birde algılayıcı yönünden ucuz ve küçük algılayıcıların hem profesyonel ve hem de genel kullanıcılar için artan kullanımı ve kablosuz, mobil ve gezici ağ erişimi mobil harita yapımını geniş bir kullanıma ulaştırmış ve yaygın hale getirmiştir (Asri, 2011).

3.4.2. Doğrudan Konumlandırma

Mobil Harita Yapımının en önemli konsepti doğrudan konumlandırma. Doğrudan konumlandırmanın kavramsal şeması şekil 6'da görülmektedir. Doğrudan konumlandırma yer kontrol noktası olmadan harita yapım algılayıcısının dış yöneltmesinin belirlenmesi ve fotogrametrik blok triyagülasyonu ile ilgilidir. Örneğin bir kamera algılayıcısı kullanılması durumunda çekilen her görüntü konumlandırma parametreleri yani üç konum parametresi ve 3 durum parametresi ile tespit edilebilir. Sonuç olarak 3B obje ölçümü fotogrametrik önden kestirme kullanılarak doğrudan yapılabilir.



Şekil 3.3. Doğrudan konumlandırma konsepti (Tao, 2000)

3.4.3. Konum Belirleme ve Harita Yapım Algılayıcıları

Mobil harita yapım sistemlerinde genel olarak başlıca iki algılayıcı tipi vardır. Bunlar; konum belirleme ve harita yapım algılayıcılarıdır. Konum belirleme algılayıcıları aracın dolayısıyla platformun konumunu ve referans sistemine göre durumunu, harita yapım algılayıcıları ilgilenilen objenin platforma göre dolayısıyla referans sistemine göre konumunu

belirlemek için kullanılır. Ayrıca harita yapım algılayıcıları objelerin öznitelik verileri hakkında bilgi elde etmeye de imkan verirler (Asri, 2011).

Konum belirleme algılayıcıları:

a) Çevre-bağımlı harici konumlandırma algılayıcıları: GPS, Radyo navigasyon sistemleri, Loran-C, hücresel konum belirleme araçları vb.

b) Bağımsız atalet konum belirleme algılayıcıları: INS veya IMU, kaba pusula sistemleri, jiroskop, ivmeölçer, kumpaslar, kilometre sayaçları, barometreler vb.

Harita Yapım Algılayıcıları;

a) Pasif görüntüleme algılayıcıları: video veya dijital kameralar, multi-spektrum veya hiper-spektrum tarayıcılar

b) Aktif görüntüleme algılayıcıları: Lazer mesafe ölçerler veya tarayıcılar, sentetik açıklıklı radar (SAR) vb.

Ses kaydedici ve konuşma tanıyan araçlar, dokunmatik ekranlar, ısı veya hava basınçölçerler, gravite ölçerler vb. gibi diğer algılayıcılar da entegrasyon için kullanılabilir (Tao 2000).

Büyük firmalar yukarıda bahsedilen özellikle lazer entegreli çoklu algılayıcı sistemleri üretip satma ve hizmet verme yönünde bir eğilim göstermektedirler. Ancak bu sistemlerin kadastral amaçlı kullanımlara imkân sağlayacak doğrulukta olanları yüksek maliyetli algılayıcılardan oluşmakta bu da sistemlerin fiyatını oldukça arttırmaktadır. Bu sistemlerin maliyeti genelde 100 000 €'yu bulmaktadır. Bu nedenle bu sistemler daha çok özel kullanıcılar için bir çözüm olmaktadır. Yaygın kullanımlar için araştırmacılar düşük maliyetli (30 000 € altında) sistemler tasarlamaktadırlar (Bendea ve ark. 2009).

Düşük maliyetli sistemler için düşük maliyetli ve düşük hassasiyetli algılayıcılar kullanılmakta ve bunlar genelde fazla hassasiyet gerektirmeyen CBS uygulamalarında kullanılmaktadır (Madeira ve ark. 2008, Gontran ve ark. 2003, Jaakkola ve ark 2010). Fazla hassasiyet gerektiren kadastral vb. uygulamalarda ise özel yazılımlarla veya farklı tekniklerin beraber kullanılması ile hassasiyet arttırılmaktadır (Asri, 2011).

4. HAREKETLİ PLATFORMLARLA FOTOGRAMETRİK HACİM HESABI

4.1. Hareketli Yersel Fotogrametrik Ölçme Sistemi (HYFÖS) ve Özellikleri

Teknolojik gelişmeler ve fotogrametrinin ana amacına ulaşmak için yapılan çalışmalar zamanla Mobile Harita Yapım Sistemlerini ortaya çıkarmıştır. Mobile Harita Yapım Sistemlerinin iki temel bileşeni bulunmaktadır. Bunlardan birincisi konumlandırma algılayıcıları diğeri ise harita yapım algılayıcılarıdır. Konumlandırma algılayıcıları sistemin konumunu dolayısıyla harita yapım algılayıcısının konumunu bir koordinat sisteminde tespit etmek için, harita yapım algılayıcıları ise uzaktaki cisimlerin konumlarının tespitinde kullanılır (Asri ve ark., 2012).

Günümüzde hem harita yapım sistemi hem de harita yapım sistemini konumlandırmak için kullanılan donanım oldukça pahalıdır. Bu nedenle daha ucuz sistemlerin geliştirilmesi mobil harita yapım teknolojisinin önemli bir problemi olarak önümüzde durmaktadır. Bunun yanı sıra diğeri önemli bir problem ise, yine harita yapım sisteminin konumlandırılmasında karşımıza çıkan, sistemin referanslandığı ve kullandığı koordinat sistemi eksenleri etrafındaki dönüklüklerin yüksek doğrulukla belirlenmesi problemidir.

Asri 2011 yılında bu problem ve amaçlar ışığında hareketli bir platform üzerinde en yaygın konumlandırma algılayıcılarından GPS ile yine en önemli harita yapım algılayıcılarından dijital kameraları birlikte kullanarak oluşturulmuş bir ölçme sistemi olan Hareketli Yersel Fotogrametrik Ölçme Sistemi (HYFÖS) oluşturdu. Bu sistem GPS Sisteminin sağladığı konumsal doğruluğa bağlı olarak 20 m obje uzaklığında mühendislik çalışmalarında kullanılabilecek bir sistemdir.

Sistemin bir kalibrasyon alanında (Şekil 4.1. ve 4.2.) platformun geometrisi (kamera ve GPS ilişkileri) çözüldükten sonra herhangi bir alım istasyonunda bu sistemden elde edilen dış yöneltme parametreleri kullanılarak doğrudan konum bilgisi üretmek mümkün olmaktadır.



Şekil 4.1. Platform geometrisinin belirlenmesi (Asri, 2011)



Şekil 4.2. Kalibrasyon Alanı (Asri ve ark., 2012).

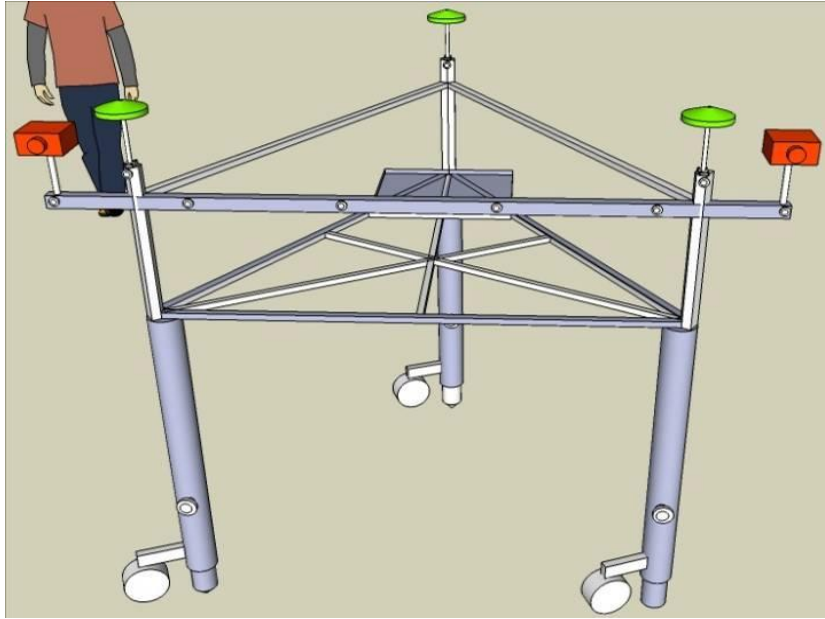
4.1.1. Sistem

Hareketli Yersel Mobil Fotogrametrik Sistemlerinin temel özelliği olan iki grup algılama sisteminden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi konumlandırma algılayıcısı olarak tanımlanan GPS alıcıları diğeri ise harita yapım algılayıcısı olan dijital fotoğraf kameralarıdır.

Sistemin temel çalışma mantığı, GPS alıcılarından faydalanılarak fotogrametrik ölçmenin iki temel prensibinden biri olan dış yöneltme elemanlarının sanal kontrol noktaları yardımıyla belirlenmesine ve kameralarla elde edilen görüntülerden de fotogrametrik olarak doğrudan obje koordinatlarının tespitine dayanır. Sanal kontrol noktalarının her yeni alım istasyonundaki koordinatları ise platform üzerine monte edilen GPS alıcılarının GPS gözlemleri sonucunda elde edilen koordinatlarından üretilir.

4.1.2. Sistem Tasarımı

Hareketli yersel fotogrametrik ölçme sistemi için oluşturulacak platformda öncelikli olarak geliştirilen sistemin çalışabilirliği ve yine geliştirilen yazılımların testi için insan gücüyle hareket ettirilerek tasarlandı. Sistem platformu alternatif kamera, GPS vb. araçların farklı kombinasyonunu test etmeye de elverişli olacak şekilde tasarlandı. Bunlara ek olarak ayrıca insan gücüyle hareket ettirmeye ve gerektiğinde sabitlemeye yarayan ayakları portatif bir şekilde planlandı (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Platformun üç boyutlu modeli (Asri, 2011)

4.1.3. Sistem Oluşturulması

Bu platformun üzerine üç adet GPS alıcısı ve iki adet kamera yerleştirilecek şekilde planlanmıştır. (şekil 4.4.) Daha sonradan üçüncü bir kamera yerleştirmek için ilave bir aparat oluşturulmuştur.



şekil 4.4. GPS Destekli Mobil Yersel Fotogrametrik Ölçüm Sistemi

Sistem gerektiğinde portatif ayakları sökülerek motorlu bir aracın üzerinde monte edilerek kullanılabilir (şekil 4.5).



Şekil 4.5. Araç üzerindeki sistemle gerçekleştirilen bir alım istasyonu

4.2. HYFÖS' nin İki Kamera Kullanılarak Hacimsel Analiz Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması

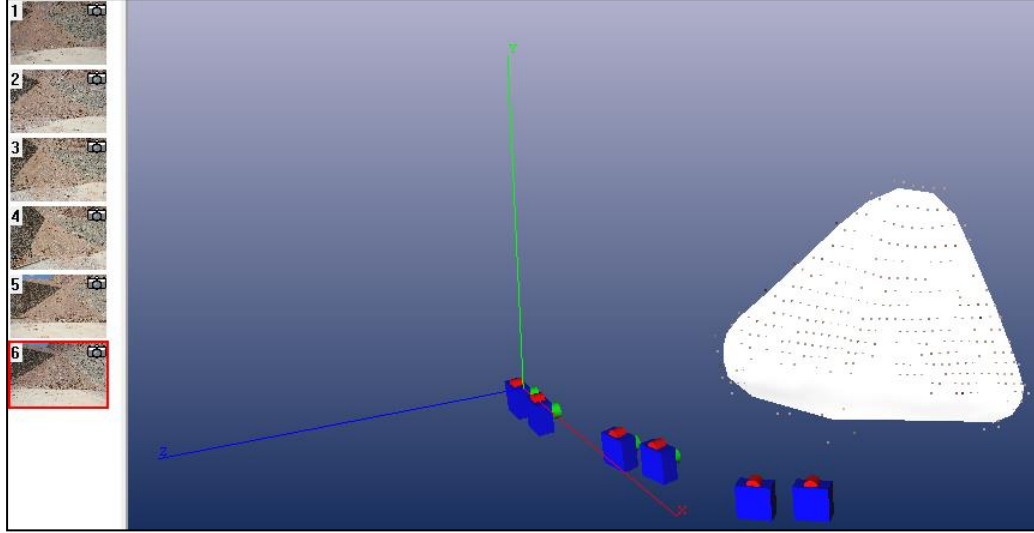
Görüntü eşleme teknikleri fotogrametri, dolayısı ile de haritacılık çalışmalarında kullanımı son zamanlarda artış göstermiştir. Özellikle otomatik yüzey çıkartma işlemlerinde kullanımı önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu aşamada HYFÖS ile elde edilen fotoğraflardan hacmi hesaplanacak alanın görüntü eşleme tekniği ile otomatik olarak 3B yüzey modelinin çıkartılması ve yine HYFÖS ile elde edilen konumsal bilgilerden bu modelin ölçeklenerek hacim hesabının yapılması esas alınmıştır.

Bu işlem içinde 2 yöntem ortaya çıkmıştır. Bunlardan bir tanesi kamera çekim merkezlerinden yararlanmak, diğeri ise HYFÖS sisteminden elde edilen detay noktalarını kontrol noktası olarak kullanarak çözüm yapmak.

4.2.1. Kamera Çekim Merkezlerini Kullanarak Hacim Hesabı

PhotoModeler Scanner yazılımı kullanarak HYFÖS ile elde edilen resimler otomatik olarak yönlendirilip, yine otomatik olarak eşlenip ve yine otomatik olarak yüzey çıkarma işlemi yapılmaktadır. Yazılım ilk resmin koordinat eksenlerini baz alarak serbest bir koordinat sisteminde yüzey oluşturmakta ve yine aynı koordinat sisteminde kamera çekim

merkezlerinin koordinatlarını vermektedir. HYFÖS ile elde edilen GPS koordinat sistemindeki kamera çekim merkezlerinin koordinatlarını kullanarak 3B benzerlik dönüşümü ile resim koordinat sistemindeki yüzeyi GPS koordinat sistemine dönüştürülerek hacim hesabı yapılmıştır (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Programdan otomatik olarak elde edilmiş 3B Yüzey ve Kamera Çekim merkezlerinin görünümü

Yapılan bu işlem sonucunda X ve Y koordinatlarında problem olamamakla beraber bütün kameraların aynı yükseklikte olmasından kaynaklı olarak Z koordinatında istenilen hassasiyete ulaşılamamıştır. Bu sorun daha önce Asri'nin 2011 yılında doktora tez çalışmasında uyguladığı daha yüksekte 3. bir kameranın sisteme dahil edilmesi ile çözülebilir.

4.2.2. HYFÖS'den Elde Edilen Kontrol Noktalarının Kullanılması

HYFÖS temel olarak doğrudan konum elde etme sistemidir. Dolayısı ile resimler üzerindeki bir noktanın konumu sistemden elde edilen dış yöneltme parametreleri ile doğrudan Önden Kestir Yöntemi hesaplanabilmektedir. PhotoModeler Scanner yazılımında otomatik yüzey hesaplamadan önce sistem hesaplanan yeterli sayıdaki ve uygun durumdaki noktaların koordinatları kontrol noktası olarak girilerek elde edilecek yüzey doğrudan GPS koordinat sisteminde olmaktadır.

Yapılan bu işlem sonucunda hacim hesabı hacim bazında yeterli doğruluğu sağlamakta ancak yüzey koordinatlarının hassasiyeti sistemden elde edilen kontrol noktası olarak kullanılan noktaların hassasiyeti ile sınırlı kalmaktadır.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda daha iyi sonuç verebilecek 3 kameralı bir sistem tasarlamak ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

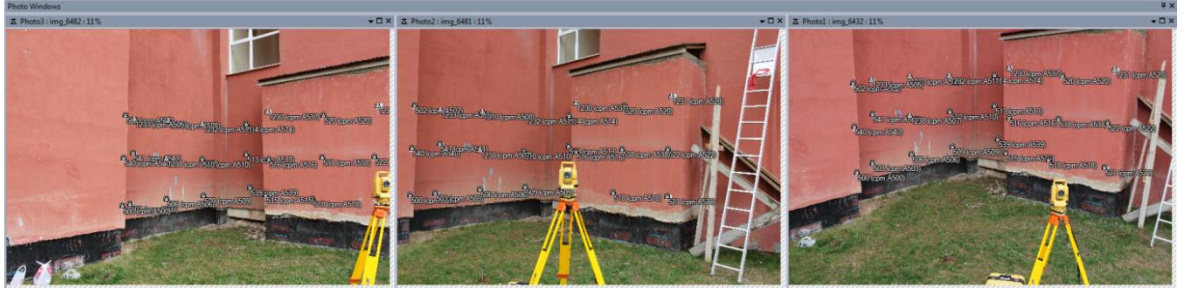
4.3. HYFÖS' nin Üç Kamera Kullanılarak Hacimsel Analiz Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Önceki çalışmalarda sistem iki kameraya göre tasarlandığından Asri'nin 2011 yılındaki üçüncü kamera aparatını sisteme ilave edince sistemin yeniden kalibrasyonunu yapmak gerekti. Bunun için Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binasının yanında bir kalibrasyon alanı belirlendi (Şekil 4.7.).



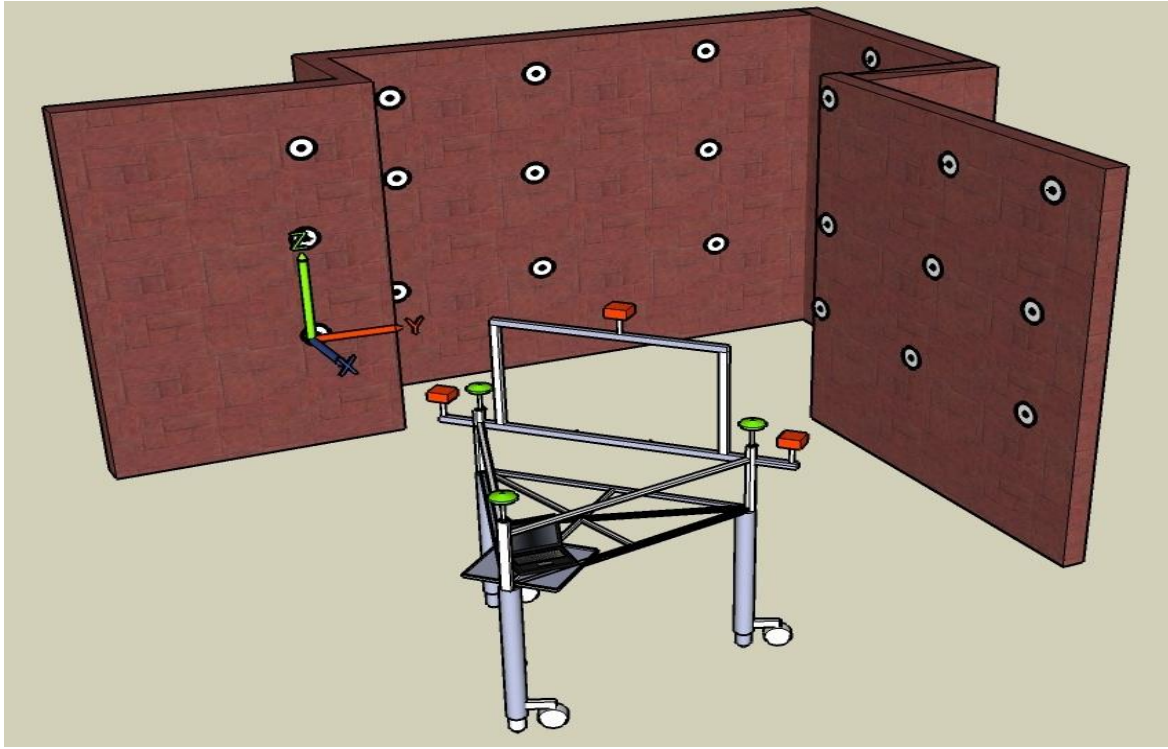
Şekil 4.7. Kalibrasyon Alanı

Platformun geometrisini belirlemek ve platform koordinat sistemini tanımlamak için bu kalibrasyon alanında lokal bir koordinat sistemi oluşturularak kontrol noktalarına ve platformdaki GPS anteni takılacak noktalara koordinat verildi (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Platformun geometrisinin belirlenmesi

GPS anteni takılacak noktaları ölçülen platformu hareket ettirmeden platform üzerindeki 3 ayrı noktadaki kameralar ile görüntü alımı yapıldı. Bu görüntüler Photomodeler Scanner yazılımında değerlendirilerek sistem kalibrasyonu yapıldı. Başka bir deyişle sistemin geometrisi ve bu geometri içindeki kamera ve GPS anteni noktalarının birbirlerine göre durumları belirlendi. (Şekil 4.9., Tablo 4.1.)



Şekil 4.9. Lokal bir koordinat sisteminde Kamera ve GPS anteni noktalarının birbirlerine göre durumlarının belirlenmesi

Tablo 4.1. GPS Anteni ve Kamera Çekim Merkezi Koordinatları

Platform GPS Anteni Koordinatları				Platform Kamera Çekim Merkezi Koordinatları			
N. No	X	Y	Z	N. No	X	Y	Z
G1	-3.6650	-2.4040	0.2760	K1	-2.611649	-1.377973	0.945878
G2	-3.2860	-0.9420	0.2500	K2	-1.959622	-2.038251	0.133934
G3	-2.2100	-1.9960	0.2310	K3	-3.345935	-0.653899	0.157689

4.3.1. Sistem Kullanılarak Alım Yapılması

Sistem geometrisi belirlendikten sonra Gümüşhane Üniversitesi yerleşkesi içinde sistemin test edilebileceği bir çalışma alanı belirlendi (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Çalışma Alanı

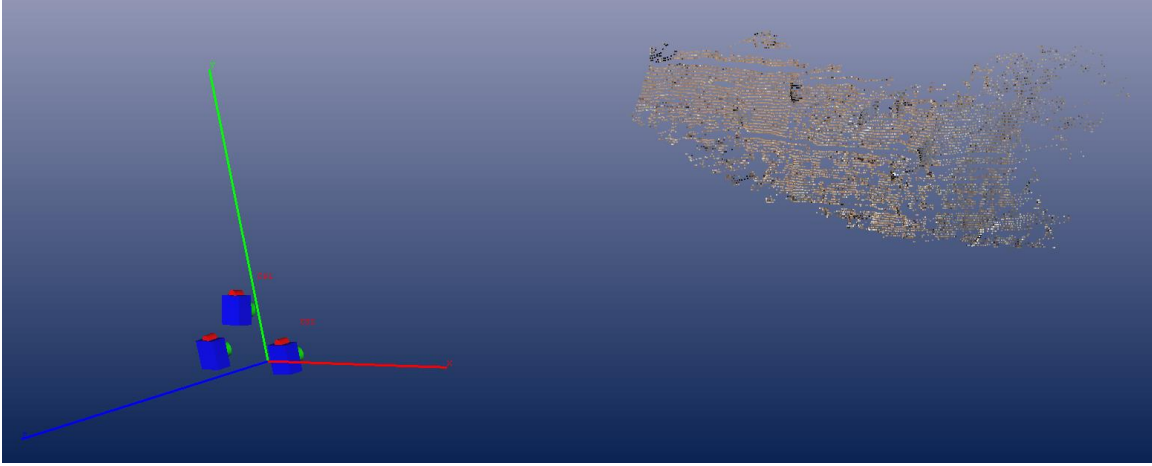
Kalibrasyonu yapılan sistem belirlenen çalışma alanına getirilerek farklı istasyonlardan alım yapıldı. Alım sırasında kameralar ve GPS alıcıları bilgisayar ile otomatik olarak kontrol edildi (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Kameraların ve GPS alıcılarının bilgisayar ile kontrolü

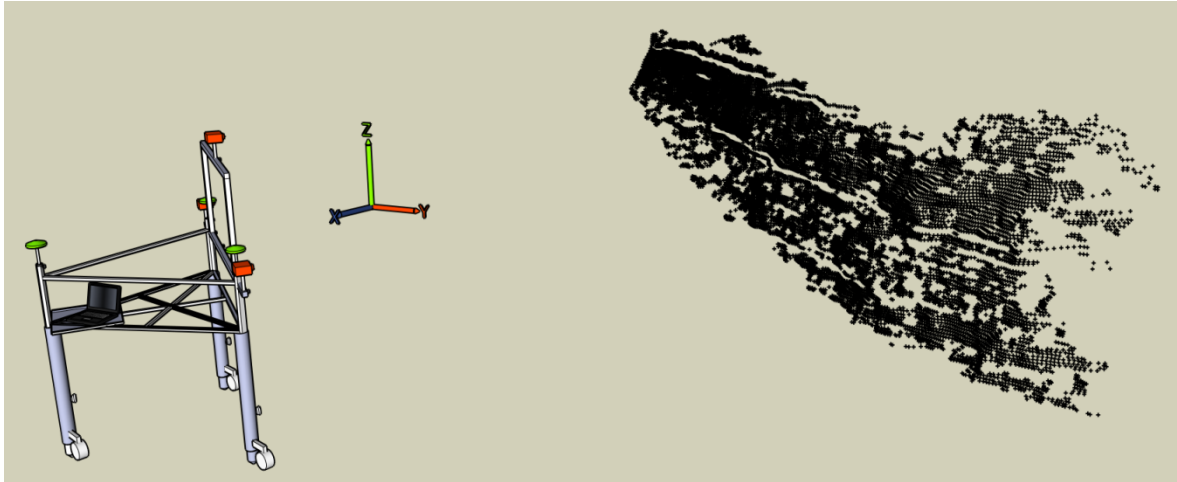
Elde edilen görüntüler Photomodeler Scanner yazılımında değerlendirildi. Yazılımın özelliklerinden biri olarak kontrol noktası girilmediğinden yazılım ilk kameranın resim

koordinat sisteminde, seçilen bölgenin 3B yüzey modelini otomatik olarak nokta bulutu halinde üretti (Şekil 4.11.).



Şekil 4.12. Otomatik nokta bulutu üretilmesi

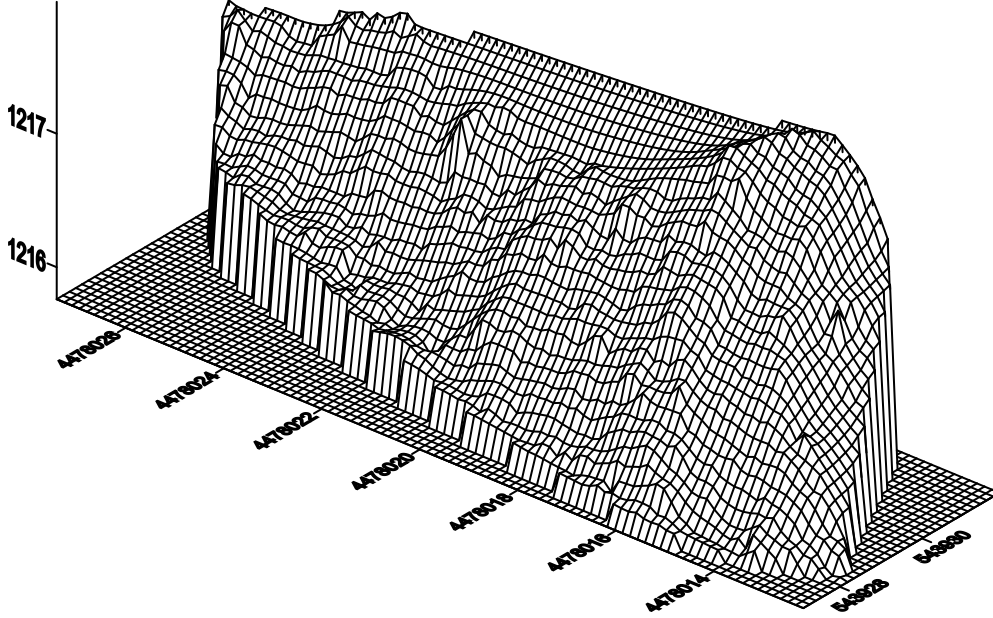
Resim koordinat sisteminde elde edilen 3B yüzey modeline ait nokta bulutu yazılımın ürettiği kamera çekim merkezi koordinatları ve kalibrasyon alanındaki platform koordinat sisteminde elde edilen kamera çekim merkezi koordinatları kullanılarak 3B benzerlik dönüşümü ile platform koordinat sistemine dönüştürüldü (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. Platform koordinat sistemindeki nokta bulutu

Bu haliyle hacim hesaplarında kullanılabilecek metrik yüzey elde edilmiştir. Yüzey karşılaştırmalarında kullanmak için global koordinat sisteminde yüzeyi elde etmek için platformdaki GPS anteninden elde edilen koordinatlar kullanılabilir. Bu kapsamda GPS koordinat sisteminden elde edilen anten koordinatları ile platform koordinat sisteminden elde

edilen anten koordinatları kullanılarak 3B benzerlik dönüşümü ile 3B yüzey modeline ait nokta bulutu GPS koordinat sistemine dönüştürülmüştür (Şekil 4.14.).



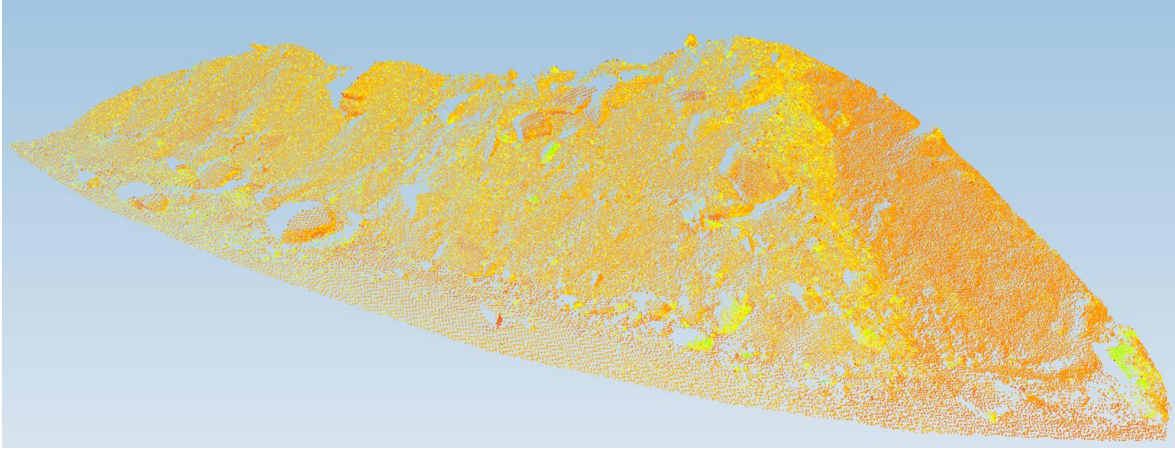
Şekil 4.14. GPS koordinat sistemindeki Yüzey Modeli

4.3.2. Elde Edilen Yüzeylerin Karşılaştırılması

Sistemden elde edilen yüzeyin tutarlılığının karşılaştırılabilmesi için referans bir yüzeye ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için Leica C10 Lazer tarayıcı ile çalışma alanındaki Photomodeler Scanner yazılımından elde edilen 3B yüzey modeline ait nokta bulutunun kapsadığı bölge taranarak 3B lazer nokta bulutu elde edilmiştir (Şekil 4.15., 4.16.).

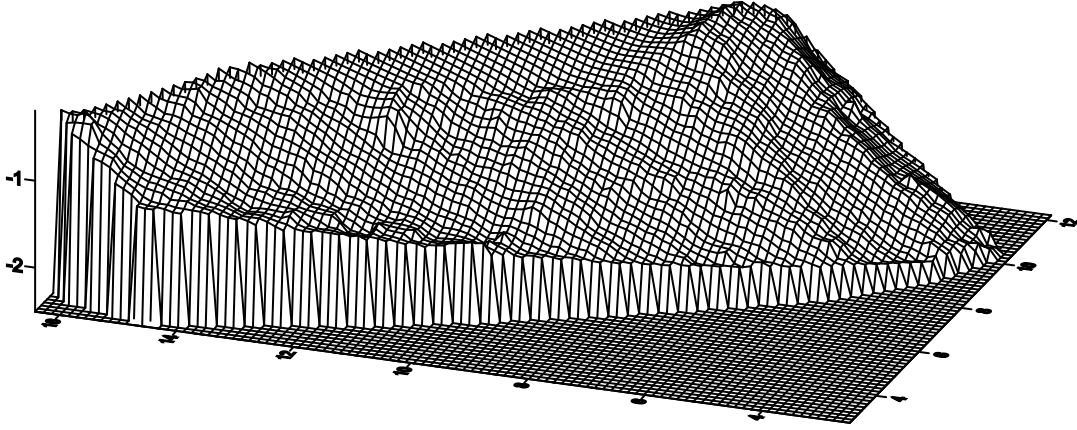


Şekil 4.15. Lazer tarayıcı ile alım yapılması

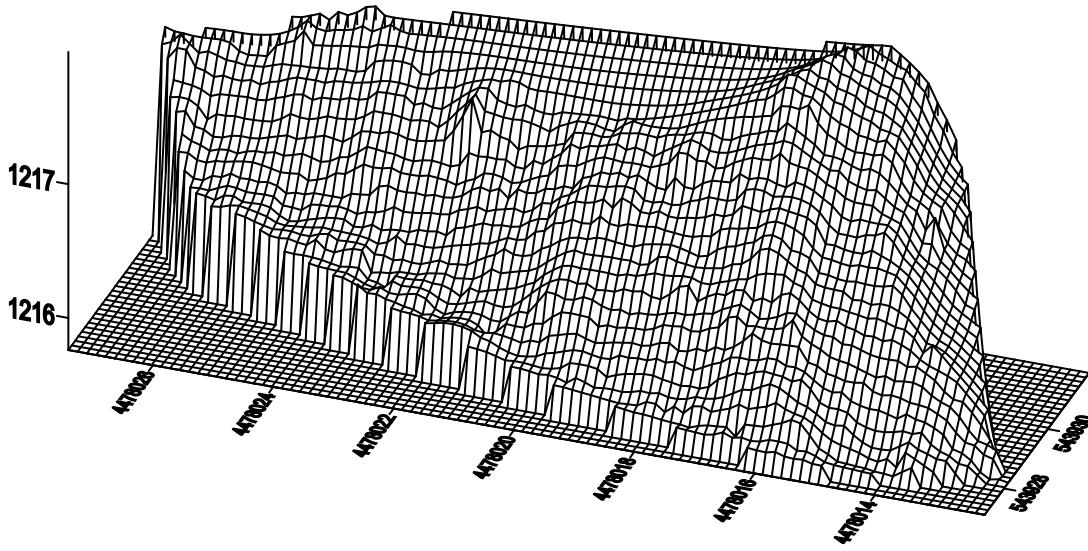


Şekil 4.16. Lazer tarayıcıdan elde edilen 3B yüzey modeline ait nokta bulutu

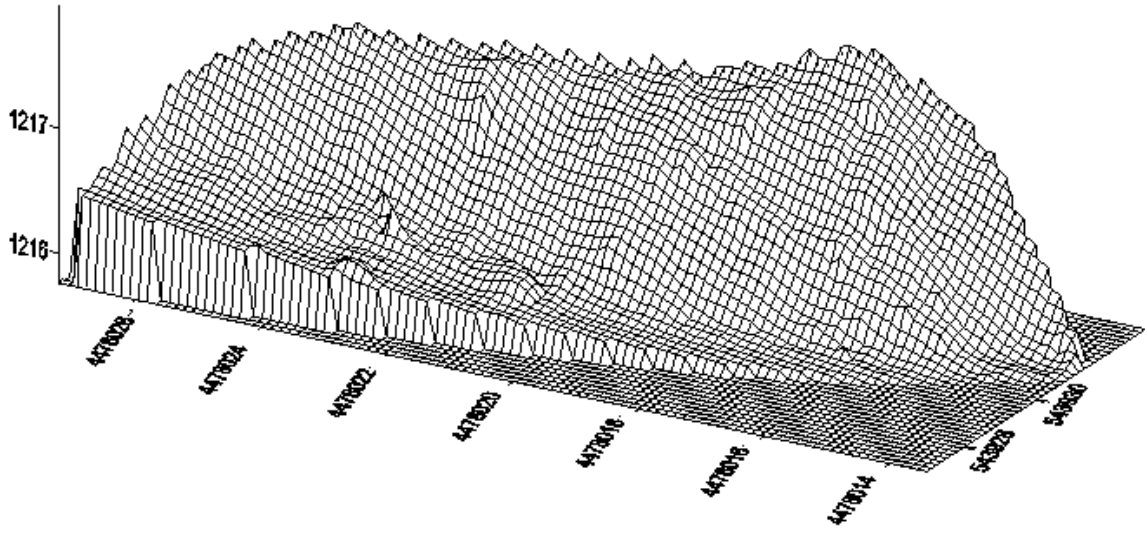
Hacimsel karşılaştırma yapabilmek için kapalı uygun bir yüzey içeren bir çalışma alanı bulunamadığından hacimsel analiz anlamında bir karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak her iki yöntemle de elde edilen yüzeye ait 3B nokta bulutları çeşitli algoritmalar kullanılarak yüzey bazında kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucunda nokta bulutlarından elde edilen yüzeylerin birbirlerine çok yakın olarak elde edildiği görülmüştür (Şekil 4.17., 4.18., 4.19.).



Şekil 4.17. Sistemden Platform koordinat sisteminde elde edilen 3B yüzey



Şekil 4.18. Sistemden GPS koordinat sisteminde elde edilen 3B Yüzey



Şekil 4.19. Lazer tarama ile GPS koordinat sisteminde elde edilen 3B Yüzey

Şekil 4.16.'daki yüzeyin diğer yüzeylere oranla farklılık göstermesinin sebebi platform koordinat sisteminin keyfi bir koordinat sistemi olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.17 ve 4.18. arasındaki küçük farklar ise fotogrametrik 3B nokta bulutu ile lazer 3B nokta bulutunun dış sınırlarının ortak olarak belirlenememesinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla nokta bulutlarının kapsadığı alanlar farklı olmaktadır. Bu sebeple de genel görünüşte özellikle kenarlarda farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Mobil Harita yapım sistemleri ilk çıkış aşamasından bu güne geldiği aşamaya kadar hep otomatik alım ve hesaplama, doğrudan konumlandırma ve düşük maliyet hedefini benimsemiştir. Araştırmacılar bu ilkeler doğrultusunda çalışırken çok farklı platformlara çok farklı algılayıcılar entegre etmiş ve bu sistemlerden elde edilen verileri çok farklı teknik ve yöntemler ile değerlendirmeye tabi tutmuşlardır. Çalışmalar sonucu oluşturulan donanım ve yazılımları ile bir bütün olan bu sistemler birçok mühendislik veya başka mesleki disiplinlerin konumsal ve geometrik veri ihtiyacına cevap vermişlerdir. Ancak sistemler özellikle maliyet konusunda hedeflenen düzeyi yakalayamadığından yaygın kullanımı sınır kaldığı görülmüştür.

Bu tez çalışması kapsamında Asri'nin 2011 yılında geliştirdiği Hareketli Yersel Fotogrametrik Ölçme Sisteminin hacimsel analiz çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu doğrultuda Asri'nin çalışması görüntü eşleme teknikleri ile otomatik fotogrametrik 3B nokta bulutu ve yüzey modeli çıkarma işlemleri ile desteklenmiştir.

Sistem ilk önce iki kameralı olarak çalıştırılmış ama iki kameralı sistemde bütün kameralar aynı düzlemde olduğu için yüksekliklerde istenilen sonuç elde edilememiştir. sonrasında sistem üç kamera ile tekrar çalıştırılmıştır. Üç kamera ile yapılan çalışmadan elde edilen yüzey modelleri lazer tarama verilerinden elde edilen yüzey modelleri bir birlerine yakın olarak elde edilmiştir. Şartların elvermemesi sonucu kapalı yüzeylerde çalışma yapılamadığından hacimsel bir karşılaştırma yapılamamıştır.

Üç kameralı sistem ayrıca bir avantaj ortaya koymuştur. Bu sistem eğer sadece hacim hesaplamak için kullanılacak ve konumsal bir karşılaştırma yapılmayacaksa platform koordinat sisteminde elde edilen yüzey modeli zaten resim koordinat sisteminde elde edilen fotogrametrik nokta bulutundan oluşturulan yüzey modelinin gerçek boyutlarda ölçeklendirilmiş hali olacaktır. Buda GPS kullanımını zorunlu kılmadığından sistemi maliyet ve kullanım kolaylığı açısından avantajlı hale getirecektir.

Yapılan bu çalışmada özellikle üzerine çıkılamayacak toprak hafriyatı, değişik maden yığınları vb. için hedef objeden bağımsız olarak hacim hesabı çalışmalarında kullanılabilceği

ön görülmüştür. Görün işleme ve Hareketli Harita Yapım Sistemlerinin beraber kullanımı bu ve benzerindeki bir çok çalışma için ideal olarak kullanımı gerekli otomasyonun yapılması ile bir çok mühendislik çalışmasına olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Özellikle sistem her harita bürosunda bulunabilecek GPS alıcıları ve kolaylıkla temin edilebilecek kameralar sayesinde bir kere kalibrasyon yaptıktan sonra bir çok kurum, kuruluş yada kişilerce kolaylıkla oluşturulabilmesi açısından yada kullanılabilmesi açısından ayrıca öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

Ackerman, F., ve Hahn, M.,1992, Image Pyramids For Digital Photogrammetry, Stuttgart

Ackermann, F., 1996. The Status and Accuracy Performance of GPS Photogrammetry. Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry, ASPRS, 108-115.

Aguilar, M. A., Aguilar, F. J., Agüera, F., & Carvajal, F. (2005). The evaluation of close-range photogrammetry for the modelling of mouldboard plough surfaces. Biosystems engineering

Altan, M. O.,1998, Why Digital, Symposium On Digital Photogrammetry, İstanbul

Asri, İ., 2005, “Üç Boyutlu Modelleme ve Alaeddin Camii Örneği”, Y.Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

Asri, İ., 2011, “GPS Destekli Mobil Yersel Fotogrametri Sistemi”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

Asri, İ., Çorumluoğlu, Ö., ve Güner, S., 2012, Hareketli Yersel Fotogrametrik Ölçme Sisteminin Hacimsel Analiz Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Electronic Journal of Map Technologies, 4(3), 1-6.

Barrand, N. E., Murray, T., James, T. D., Barr, S. L., & Mills, J. P. (2009). Instruments and Methods-Optimizing photogrammetric DEMs for glacier volume change assessment using laser-scanning derived ground-control points. Journal of Glaciology

Ellum, C., 2001, “the Development of a Backpack Mobile Mapping System”, MSc Thesis, Report No. 20159, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary

Erdem, E., 2007, “Havadan Çekilmiş Yer Videolarından Panoramik Görüntü Oluşturulması”, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Erdoğan M., 2007, “Veri Türü, Kalitesi Ve Üretim Yöntemine Göre Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Standartlarının Belirlenmesi” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Fabris, M., ve Pesci, A. 2005. Automated DEM extraction in digital aerial photogrammetry: precisions and validation for mass movement monitoring. *Annals of Geophysics*.

Forlani, G., Pinto, L., 2007, GPS-assisted Adjustment of Terrestrial Blocks, V. International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT), Padua – Italy

Fujii, Y., Fodde, E., Watanabe, K., & Murakami, K. 2009. Digital photogrammetry for the documentation of structural damage in earthen archaeological sites: The case of Ajina Tepa, Tajikistan. *Engineering Geology*,

Gruen, A., ve Baltsavias, E.,1988, Geometrically Constrained Multiphoto Matching, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, No : 5

Gruen, A., ve Baltsavias, E.,1987, High Image Precision Image Matching For DTM Generation , *Photogrammetria (PRS)*, 42, Elsevier Science Publishers, B. V, Amsterdam.

Gruen, A.,1998, DTM Generation and Visualization, *Syposium on Digital Photogrammetry*, 21 – 22 May, İstanbul.

Heipke, C., 1996, *Overview of Image Matching Techniques*, Official Publication, OEEPE

Micheal Naimark, John Woodfill, Paul Debevec, and Leo Villareal, (1994), *Immersion '94*. Interval Research Corporation image-based modeling and rendering Project from summer 1994, presented at SIGGRAPH 95 Panel “Museums Without Walls: New Media for New Museums

Novak, K., 1990, “Integration of a GPS Receiver and a Stereo-Vision System in a Vehicle”, In *Proceedings of SPIE Vol. 1395 – Close-Range Photogrammetry Engineering (SPIE)*, Zurich, Switzerland

Öztürk, E., Koçak, E., 2007, “Farklı Kaynaklardan Değişik Yöntem ve Ölçeklerde Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması”, Harita Dergisi, No. 137, 2007, s. 25-41, ISSN: 1300-5790, Harita Genel Komutanlığı

Patikova, A., 2009, “Digital Photogrammetry In The Practice of Open Pit Mining”, Commission IV, WG IV/7, Germany

Pierson, W. R., 2002 “A Photogrammetric Technique for the Estimation of Surface area and Volume”, California College of Medicine, San Francisco, Calif.

Remondino, F., ve Zhang, L. 2006. Surface reconstruction algorithms for detailed close-range object modeling. In Proc. ISPRS Commission III Symposium

Remondino, F., 2007, Terrestrial 3D modeling and visualization, Belediyecilik Uygulamalarında 3-Boyutlu Modern Veri Toplama/Görüntüleme/Modelleme Teknolojileri Çalıştayı, İstanbul.

Schwarz, K.-P., H. Martell, N. El-Sheimy, R. Li, M. Chapman, and D. Cosandier, (1993), “VISAT- A Mobile Highway Survey System of High Accuracy”. In Proceedings of the Vehicle Navigation and Information Systems Conference, pp. 467-481. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Ottawa, Canada.

Schwarz, K.P. ve Wei M., 1994. Aided Versus Embedded: A Comparison of Two Approaches to GPS/INS Integration. Proc. Of IEEE Position Location and navigation Symposium, April 11-15, Las Vegas

Seo D., Lee, J., Lee, Y., Yeu B. , Kim N., 2004, Development of Road Information System Using Digital Photogrammetry, XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey

Tao, C. V. ve Li, J., 2007, “Advances in Mobile Mapping Technology” Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-42723-4 xi-xiv

Üstüntaş, T., Müftüoğlu, O., Şen, Z., 2006, “Dijital fotogrametride yapısal görüntü eşleştirme” itüdergisi/d - Mühendislik Serisi, Cilt: 5, Sayı: 1, Şubat 2006

Üstüntaş, T., Müftüoğlu, O., İgen, Z., 2006, “Dijital fotogrametride yapısal görüntü eşleştirme”
Mühendislik Serisi, Cilt: 5, Sayı: 1, Şubat 2006

Varlık A., Uysal M., Karalar F., Can ZC., 2009, “ Dijital Fotogrametride Alana Dayalı
Görüntü Eşleme Yöntemleri” Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2009,

Varlık A., Uysal M., Karalar F., Can ZC., 2009, “ Dijital Fotogrametride Alana Dayalı
Görüntü Eşleme Yöntemleri” Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2009, 1(3) Yao,

Wang, S. C., Yang, Y. C., & Hseu, S. T. 2002. Problems and accuracy of photogrammetric
volume estimation of landslide induced by earthquake. In Proceedings of the 23rd Asian
Conference on Remote Sensing, ACRS

Wang Wei, Hong Jun, Tang Yiping, 2008, "Image Matching for Geomorphic Measurement
Based on SIFT and RANSAC Methods," csse, vol. 2, pp.317-320 2008 International
Conference on Computer Science and Software Engineering,

Wong, T. C. S., 2006, “Development of land based mobile mapping system using global
positioning system and close range photogrammetric techniques”, Masters thesis,
Geomatic Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.

Yakar, M., Yılmaz , H. M., Mutluoğlu, Ö., (2009), “Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama
ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması” TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası
12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 11 – 15 Mayıs 2009, Ankara

Yakar, M., Yılmaz, M., Mutluoğlu, Ö., 2008, “Lazer Tarama Teknolojisi ve Fotogrametrik
Yöntemle Hacim Hesabı” Proje No 105M179, Konya Selçuk Üniversitesi, Konya

Yao, W., 1997, “Autocorrelation Techniques for Soft Photogrammetry”, Ph.D. dissertation,
Iowa State University, Ames, Iowa,.

Yıldırım, K.S., İnce, C., Kalaycı, T. E., 2003, “Görüntü İşleme”
<http://yzgrafik.ege.edu.tr/~tekrei/dosyalar/sunum/gi.pdf> [ziyaret tarihi: 21.06.2013]

Yılmaz , H. M. ve Yakar, M., 2007, “Digital Yersel Fotogrametrinin Hacim Hesabında Kullanılması” TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2 – 6 Nisan 2007, Ankara

EKLER

Uygulamada Kullanılan Yazılımlar

- Photodeler Scanner 2013
- Leica Cyclone
- Matlab
- Netcad
- Autocad
- Sketch Up

Uygulamada Kullanılan Donanımlar

- Topcon Tps3200 Total Station
- Canon EOS 550d
- Topcon HiperPro GPS
- Leica C10 Lazer Tarayıcı

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Trabzon'da doğdu. İlkokulu Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu'nda, liseyi Trabzon Alparslan Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimimi Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimimi Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita mühendisliği Anabilim Dalında yaptı. Yüksek lisans tezini Fotogrametri Bilim Dalında tamamladı. Kasım 2011'den beri Celal Bayar Üniversitesi Köprübaşı Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.