

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİJİTAL GÖRÜNTÜLER KULLANILARAK
SAYISAL ARAZİ MODELLERİNİN (DTM) OLUŞTURULMASI

AYHAN YÜKSEKKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
YRD.DOÇ.DR. SEDAT DOĞAN

SAMSUN – 2006

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma jürimiz tarafından 14/02/2006 tarihinde yapılan sınav ile Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sedat DOĞAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Okan ÖZGÖNENEL

ONAY :

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

...../...../2006

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof.Dr.Nur ONAR

ÖZET

Günümüzde, gelişmiş bilgisayarlar ve görüntüleme sistemleri ile, arazi parçalarının sayısal koordinatları ile oluşturulan yüzey elemanları sayesinde, arazi modelleri görsel olarak da oluşturulabilmekte ve sayısal koordinat bilgilerini de içinde tutan bu görsel modele, modern anlamda Sayısal Arazi Modeli (SAM) denilmektedir.

Bu tez çalışmasında, dijital uydu veya hava fotoğrafları kullanılarak SAM modellerinin elde edilmesi için kullanılan yöntemler anlatılmış ve bu anlatılanlarla birlikte, tez çalışması kapsamında SAM modeli oluşturmak için TERR 1.0 adı verilen bir yazılım Borland C++ Builder platformunda geliştirilmiş ve örnek uygulama yapılmıştır.

Bu çalışmada, geliştirilen TERR 1.0 yazılımının test edilmesi amacıyla yapılan örnek uygulamada, sayısal arazi modeli oluşturmak için gerçek arazi görüntüleri kullanılamamıştır. Çünkü, gerçek bir araziye ait stereo hava fotoğrafları bulunamamıştır. Bunun yerine, yakın fotogrametri yöntemiyle stereo olarak çekilmiş olan bir görüntü çifti kullanılmıştır. Bu görüntüler, İsviçre ETH, Zürih Jeodezi ve Fotogrametri Enstitüsünden elde edilmiştir. Bu stereo görüntülerden, SAM modelinin veri noktaları olarak kullanılmak üzere 41 adet nokta, TERR 1.0 yazılımı ile yarı otomatik görüntü eşleştirme tekniği kullanılarak ölçülmüş, ve bu noktalardan küçük bir SAM modeli oluşturulmuştur. Yazılımın doğruluğunu kanıtlamak için, aynı noktalar kullanılarak, ArcView 3D yazılımı ve 3D CITY VAQS (Doğan, Doğan, Altan, 2004) ile de SAM modeli oluşturulmuş ve iki model karşılaştırılarak, TERR 1.0 yazılımının doğru çalıştığından emin olunmuştur.

Anahtar Kelimeler : Görüntü Eşleştirme, Sayısal Arazi Modeli.

ABSTRACT

With the advanced computes and display systems and by using surface elements whose coordinates are computed numerically, can be used to create visual views of the terrain with the geometric representations. This numerical and visual model is called “ Digital Terrain Model (DTM) “.

In this thesis, the methods used to create DTM models with the data acquired from digital satellite or aerial photogrammetric images, have been explained. Within the thesis studies, by the use of the explained methods, a computer program has been developed to a create DTM models of a region by using digital images. We called these program as TERR 1.0 and developed with Borland C++ Builder platform.

In order to test the developed TERR 1.0 software, we couldn't use real terrain images, since we couldn't obtain real stereo image pairs of any region. Instead we used stereo test images acquired with close range photogrammetry technique, at Swiss ETH Photogrammetry Institute. By using these stereo images, we measured the image coordinates of 41 control points and computed their object coordinates by using TERR 1.0. For image coordinate measurements we used Adaptive Least Squares Matching (ALSM) technique. After we obtained the object coordinates of the measured points we created DTM model by using Delaunay Triangulation Technique, with our program TERR 1.0. Then we also created DTM, by using the same points with ArcView GIS software and compared it with the DTM, created by TERR 1.0.

TEŐEKKÜR

Bu alıőmanın her aőamasında bana destek olan ve emeğini esirgemeyen Prof.Dr. Sebahattin Bektaş, Arő.Gör. M.Serhan Temiz ve danıőmanım Yrd.Doç.Dr Sedat Doğan' a teőekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. GİRİŞ	1
2. SAYISAL ARAZİ MODELİ (SAM)	5
2.1. SAM Modellerinin Kullanım Alanları	9
2.2. SAM Modeli Oluşturmak İçin Gereken İşlem Adımları	10
2.3. SAM Oluşturma Yöntemleri	11
2.3.1. Üçgenleme (Triangulation) Yöntemi	11
2.3.1.1. Delaunay Üçgenlemesi ve Voronoi Diagramı	11
2.3.2. Grid Yöntemi	14
3. DİJİTAL GÖRÜNTÜLER VE ÖZELLİKLERİ	15
3.1. Görüntülerin Elde Edilmesi	15
3.2. Görüntülerin Sayısallaştırılması	15
3.3. Görüntü Matrisi ve Görüntülerin Bilgisayarda Gösterilmesi	16
3.4. Görüntü Türleri	19
3.5. Renkli Görüntülerde Band İşlemleri	20
3.6. Geometrik Görüntü Dönüşümleri	22
3.7. Görüntüler Üzerinde Kullanılan Matematiksel Kavramlar	23
3.7.1. Korelasyon	23
3.7.2. Gradient (Değişim)	23
3.7.3. Sayısal Türev	25
3.7.3.1. Sonlu Farklarla Yaklaşık Türev Hesabı	25
3.7.3.2. Merkezi Farklar Yöntemi	26
3.7.4. İkinci Türev Operatörleri	26
4. GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME (Image Matching)	29
4.1. Görüntü Eşleştirmenin Tanımı	29
4.2. Görüntü Eşleştirme Yöntemlerinin Sınıflandırılması	29
4.2.1. Alana Dayalı Görüntü Eşleştirme Yöntemleri (Area-Based Matching)	30
4.2.2. Şekle Dayalı Görüntü Eşleştirme (Feature-Based Matching)	30
4.2.3. İlişkisel Görüntü Eşleştirme (Relational Matching)	31
4.3. Alana Dayalı Görüntü Eşleştirme Yöntemleri	31
4.3.1. Çapraz Korelasyon Eşleştirme Yöntemi (Cross-Correlation Matching)	32

4.3.2. En Küçük Kareler Eşleştirme Yöntemi (Adaptive Least Square Matching)	36
5. PROGRAM VE UYGULAMA	43
5.1. Program Hakkında Genel Bilgiler	43
5.2. TERR 1.0 Yazılımının Menüleri	43
5.2.1. File (Dosya) Menüsü	44
5.2.2. View Menüsü	44
5.2.3. Band Menüsü	47
5.2.4. Image Menüsü	48
5.2.5. Matching (Eşleştirme) Menüsü	54
5.2.6. Transformations (Dönüşümler) Menüsü	55
5.2.7. Enhancement (Zenginleştirme) Menüsü	56
5.3. Uygulama	57
5.3.1. Uygulamanın Amacı	57
5.3.2. Görüntüler Üzerinden Koordinatların Ölçülmesi	58
5.3.3. SAM Modelin 3 Boyutlu Gösterimi	61
5.3.4. İstatistikî Sonuçlar	63
5.3.5. Model Hatalarının Testi	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	70
EKLER	71

ŞEKİLLER LİSTESİ**Sayfa**

Şekil 2.1. Voronoi Diagramı	12
Şekil 2.2. Delaunay Üçgenlemesi	12
Şekil 2.3. En yakın noktanın çember yardımıyla araştırılması	13
Şekil 3.1. Dik koordinat sistemi	16
Şekil 3.2. Resim koordinat sistemi	17
Şekil 3.3. Görüntü alanı ve görüntü düzlemi	18
Şekil 3.4. Binary Görüntü	19
Şekil 3.5. Gri düzeyli görüntü	19
Şekil 3.6. Renkli görüntü	20
Şekil 3.7. Kırmızı bandın elde edilmesi	21
Şekil 3.8. Yeşil bandın elde edilmesi	21
Şekil 3.9. Mavi bandın elde edilmesi	22
Şekil 3.10. Merkezi Fark Yaklaşımı	26
Şekil 4.1. Çapraz Korelasyon ilkesi	33
Şekil 4.2. Görüntü Matrisi	34
Şekil 4.3. Çapraz Korelasyon Sonucu	35
Şekil 4.4. Görüntü Matrisi üzerinde türev alınışı	39
Şekil 5.1. Program Menüleri	43
Şekil 5.2. File Menüsü	44
Şekil 5.3. View Menüsü	44
Şekil 5.4. Negatifi alınmış görüntü	45
Şekil 5.5. Sola döndürülmüş görüntü	45
Şekil 5.6. Aşağı döndürülmüş görüntü	46
Şekil 5.7. Görüntünün histogramı	47
Şekil 5.8. Band Menüsü	47
Şekil 5.9. Görüntünün farklı bandlarda elde edilmesi	48
Şekil 5.10. Image Menüsü	49
Şekil 5.11. Görüntü Ekleme	49
Şekil 5.12. Görüntü Çıkarma	50
Şekil 5.13. Sabit bir sayıya bölünmüş görüntü	50
Şekil 5.14. Mantıksal Görüntü İşlemleri	51
Şekil 5.15. Filters Menüsü	52

Şekil 5.16. Kenar Arama Süzgeçleri	52
Şekil 5.17. Gürültü Temizleme Süzgeçleri	53
Şekil 5.18. Matching Menüsü	54
Şekil 5.19. Eşleştirme Ayarları grafik arayüzü	54
Şekil 5.20. Transformations Menüsü	55
Şekil 5.21. Afin Dönüşümü grafik arayüzü	55
Şekil 5.22. Enhancement Menüsü	56
Şekil 5.23. Histogramı eşitlenmiş görüntü	56
Şekil 5.24. Histogramı gerilmiş görüntü	57
Şekil 5.25. Eşleştirme ayarları ekranı	58
Şekil 5.26. Zoom Eye seçeneği ile koordinat ölçümü	59
Şekil 5.27. Koordinat ölçüm ekranı	60
Şekil 5.28. ArcView 3D ile oluşturulan model	61
Şekil 5.29. 3D CITY VAQS ile oluşturulan Wireframe model	62
Şekil 5.30. 3D CITY VAQS ile oluşturulan Solid model	62
Şekil 5.31. Bilinmeyenlere ait İstatistiksel sonuçlar	64

SEMBOL VE KISALTMALAR

DTM	Sayısal Arazi Modeli
ALSM	En Küçük Kareler Eşleştirmesi
<<	Sola kaydırma operatörü
>>	Sağa kaydırma operatörü
ρ	Korelasyon katsayısı

1.GİRİŞ

Sayısal Arazi Modeli (SAM), yeryüzünün sayısal olarak temsil edilmesiyle oluşturulan bir modeldir, (Aydemir,1983). Sayısal Arazi Modeli düşüncesi 1950'li yıllarda yol projeleriyle ilgili olarak ortaya çıkmıştır. Bu düşünce, yol projelerinin hazırlanması için gereken bazı aşamaların, bilgisayarlar kullanılarak otomatik olarak gerçekleştirilmesi amacıyla Prof. Dr. Charles L. Miller tarafından Massachusetts Institute of Technology' de ortaya konmuştur. Sadece yol güzergahları boyunca yer alan kesit doğrultularında yükseklik ölçümleri yapmak yerine, yolun geçtiği arazi parçasındaki çok sayıda noktanın (x,y,z) koordinatları ölçülmekte ve daha sonra yol geçkilerinin bir çok parametresi bilgisayar yardımıyla hesaplanmaktadır. Elde edilen bu parametrelerin karşılaştırılması ile de en uygun yol geçkilerinin hangileri olduğuna karar verilmektedir, (Doyle,1978). Bu ilk sayısal arazi modeli düşüncesinde, arazinin görsel olarak bilgisayarlarda gösterilmesi olanağı bulunmadığından, sadece araziyi oluşturan sonlu sayıda noktanın koordinatları arazinin sayısal modeli olarak düşünülmüştür. Bu sayısal veriler yorumlanarak, arazinin şekli ve topografik durumuyla ilgili bir çok bilgi türetilabilmektedir. Zira, (x, y, z) koordinatları bilinen noktalar arasında her türlü uzaysal ilişkiyi belirlemek mümkündür.

Günümüzde, gelişmiş bilgisayarlar ve görüntüleme sistemleri ve arazi parçalarının sayısal koordinatları ile oluşturulan yüzey elemanları sayesinde, arazi modelleri görsel olarak da oluşturulabilmektedir. Sayısal koordinat bilgilerini de içinde tutan bu görsel modele, modern anlamda Sayısal Arazi Modeli (SAM) denilmektedir.

Sayısal arazi modeli kavramının gelişimi sürecinde, arazinin sayısal modelini ifade eden farklı terimler kullanılmıştır. İlk başlarda, sayısal arazi modelleri, sayısal yükseklik modeli (SYM) (Digital Elevation Model = DEM) olarak adlandırılmıştır. Daha sonraları, arazinin 2.5 boyutlu görsel ifadesi olanaklı hale gelince, bu terim yerine sayısal arazi modeli anlamında (Digital Terrain Model =DTM) ifadesi kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde, uluslar arası literatürde bu son sayılan DTM terimi, sayısal yükseklik modelini ifade etmek için en yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizdeki Türkçe yayınların

büyük çoğunluğunda, sayısal arazi modelini ifade etmek için orijinal DTM terimi kullanılmaktadır. Yine ulusal ya da uluslararası bilgisayar yazılımlarında da DTM terimi kullanılmaktadır. Ancak, dilimizde bu terime karşılık gelen Sayısal Arazi Modeli terimi ve bunun kısaltması olan SAM ifadesi de artık yerleşik bir hal almaktadır. Bu tez çalışmasının isminde Sayısal Arazi Modeli ifadesi ile birlikte DTM terimi de kullanılmıştır. Böylece yaygın olarak, sayısal arazi modelinin literatürde bilinen kısaltma terimi ile tezin içeriğinin daha kolay anlaşılacağı düşünülmüştür.

Yeryüzünün sayısal modelinin oluşturulabilmesi için, modeli oluşturacak noktaların üç boyutlu koordinatlarının doğru yöntemlerle ve doğru olarak elde edilmesi gerekir. SAM oluşturmak için gereken ve model noktalarından oluşan verilerin toplanmasında farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler; modeli oluşturulacak alanın (arazinin), modelden beklenen doğruluk ve model ile sunulması istenilen bilgilerin içeriğine bağlı olarak tercih edilirler. Örneğin büyük bir bölgeyi kapsayan bir alanda yapılacak uçuş simülasyonu için kullanılacak bir SAM modelinin verileri, bölgeye ait var olan eşyükselti eğrili haritaların sayısallaştırılması ile elde edilebilir. Bu durumda, sayısallaştırılan haritanın ölçeği, SAM modelinin duyarlılığını etkileyecek birincil faktör olacaktır.

Günümüzde küçük alanlarda gerçekleştirilen, mühendislik ve madencilik projelerinde kullanılmak amacıyla oluşturulacak bir SAM modelinin verileri, büyük oranda, yeryüzü üzerinde yapılan klasik jeodezik ölçümlerle elde edilirler. Bu yöntemlerle elde edilen veriler yüksek duyarlığa ve doğruluğa sahiptirler ancak, zaman alıcı olması nedeniyle sadece küçük alanlarda gerçekleştirilen sınırlı sayıda projelerde tercih edilmektedirler. Daha büyük alanların SAM modellerini oluşturmak için gereken veri noktalarının koordinatları, stereo olarak elde edilmiş hava ve uydu fotoğrafları kullanılarak da elde edilebilir. Bu durumda, yersel jeodezik ölçülere oranla daha hızlı veri toplanması sağlanmış olacaktır. Bu şekilde elde edilen veri noktalarıyla oluşturulan bir SAM modelinin duyarlılığı ve doğruluğu da, görüntülerin elde edilme yöntemlerine, görüntüleri elde eden sensör sisteminin çözünürlüğüne ve koordinat hesabı için kullanılan matematiksel modellerin doğruluğuna bağlı olarak değişecektir. Bu tez çalışmasında, dijital uydu veya hava fotoğrafları kullanılarak SAM

modellerinin elde edilmesi için kullanılan yöntemler anlatılmış ve bu anlatılanlarla birlikte, tez çalışması kapsamında SAM modeli oluşturmak için TERR 1.0 adı verilen bir yazılım Borland C++ Builder platformunda geliştirilmiş ve örnek uygulama yapılmıştır.

Tez konusunun ve tezde yapılan çalışmanın kolay anlaşılabilmesi için tezin ikinci bölümünde, görüntülerden sayısal arazi modellerinin elde edilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar ve SAM modeli oluşturmak için kullanılan yaklaşımlar genel hatlarıyla anlatılmıştır. Dijital görüntülerden SAM modeli oluşturmak için kullanılan yöntemlerin bilgisayar programlama dili ile programlanması için, sayısal görüntülerin yapısının bilinmesi gerekir. Bu nedenle tezin üçüncü bölümünde, sayısal görüntülerle ilgili gerekli bilgiler anlatılmıştır. Stereo görüntü çiftlerinden, SAM modelini oluşturacak veri noktalarının seçilmesi ve bu noktaların resim koordinatlarının ölçülüp, bu koordinatlardan fotogrametrik yöntemlerle noktaların üç boyutlu nesne koordinatlarının hesaplanması gerekir. Bunun için, görüntü eşleştirme teknikleri kullanılır. Görüntü eşleştirme teknikleriyle veri noktalarının resim koordinatlarının ölçülmesi ve fotogrametrik yöntemlerle nesne koordinatlarının elde edilmesi konuları dördüncü bölümde anlatılmıştır. Beşinci bölümde, anlatılan bilgilerle tez kapsamında gerçekleştirilen yazılım ve bu yazılımla yapılan bir örnek uygulama verilmiştir. Altıncı ve son bölüm olan sonuçlar bölümünde ise tezde elde edilen bulgular ve öneriler sunulmuştur.

Bu çalışmada, geliştirilen TERR 1.0 yazılımının test edilmesi amacıyla yapılan örnek uygulamada, sayısal arazi modeli oluşturmak için gerçek arazi görüntüleri kullanılamamıştır. Çünkü, gerçek bir araziye ait stereo hava fotoğrafları bulunamamıştır. Bunun yerine, yakın fotogrametri yöntemiyle stereo olarak çekilmiş olan bir görüntü çifti kullanılmıştır. Bu görüntüler, İsviçre ETH, Zürich Jeodezi ve Fotogrametri Enstitüsünden elde edilmiştir. Bu stereo görüntülerden, SAM modelinin veri noktaları olarak kullanılmak üzere 41 adet nokta, TERR 1.0 yazılımı ile yarı otomatik görüntü eşleştirme tekniği kullanılarak ölçülmüş, ve bu noktalardan küçük bir SAM modeli oluşturulmuştur. Yazılımın doğruluğunu kanıtlamak için, aynı noktalar kullanılarak, ArcView 3D yazılımı ve 3D CITY VAQS (Doğan, Doğan, Altan, 2004) ile de SAM modeli oluşturulmuş

ve iki model karşılaştırılarak, TERR 1.0 yazılımının doğru çalıştığından emin olunmuştur. Bu yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde beşinci bölümde anlatılmıştır.

2. SAYISAL ARAZİ MODELİ (SAM)

Son yıllarda, uydu görüntülerinden SAM modelleri elde etme konusunda, bir çok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. SAM modeli oluşturmak için, izdüşüm geometrisi bilinen sensörler kullanan görüntülü uydu platformları kullanılır. Sayıları yüzleri bulan bu tür uydulara örnek olarak, sıkça kullanılan RadarSAT (IRS1-C Pan, Aster VNIR, Spot Pan), Ikonos ve QuickBird uyduları verilebilir. Bunlar içerisinde, çözünürlüğü neredeyse 1/5000 ölçekli hava fotoğraflarının çözünürlüğüne eşdeğer Ikonos ve QuickBird uyduları da SAM modeli oluşturmak için son yıllarda tercih edilmektedir. Uydu görüntüleri ile SAM modeli oluşturma yöntemlerinin, yersel ya da var olan haritaların sayısallaştırılması yoluyla elde edilen verilerle SAM modeli oluşturma yöntemlerine göre önemli avantajları vardır. Bu avantajların en önemlisi, SAM modelinin oluşturulması istenilen bölgelerin, güncel uydu görüntülerinin kolayca elde edilebiliyor olmasıdır. Bu sayede, modeli oluşturulacak bölgelerin güncel verileri kullanılmış olunacaktır. Geometrik çözünürlüğü yüksek uydularla elde edilen görüntülerin kullanılması halinde, oluşturulan SAM modelinin geometrik duyarlığı da artacaktır. Uydu platformlarında taşınan sensörlerin, elektromanyetik spektrumun görünen dalga boylarından başka, görünmeyen dalga boylarından da örnek alabiliyor olması, gece, gündüz ve farklı hava koşullarında da görüntü elde etmeyi olanaklı hale getirmektedir. Gelişmiş yazılımlarla görüntülerin işlenmesi ve SAM verilerinin elde edilmesi işleri, bilgisayarlar sayesinde daha hızlı ve daha az insan emeğiyle SAM modellerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Ayrıca, çok geniş bölgelerin SAM modellerinin oluşturulması söz konusu olduğunda, diğer yöntemlere göre daha düşük maliyetle işin gerçekleştirilmesi olanaklı olmaktadır, (Subramanian ve ark.,2003).

Yukarıda anlatılan avantajların yanı sıra, uydu görüntülerinden SAM modellerinin oluşturulabilmesi için yapılan uygulamalarda, özellikle SAM modelinin duyarlığının artırılması istendiğinde, dezavantaj gibi görülebilecek bazı ek işler gerekmektedir. Modelin doğruluğunu ve duyarlığını artırmak için, yer kontrol noktalarına gereksinim duyulmaktadır. Ancak bu noktaların

belirlenmesi ve ölçülmesi için, GPS tekniklerinin kullanılması durumunda sorun kolayca çözülebilmektedir. Kontrol noktalarının dağılımı ve sayısı, SAM modelinin doğruluğunu ve duyarlılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Genel olarak, bir uydu görüntüsünde, görüntünün içine yaklaşık olarak homojen dağılmış 20-40 tane kontrol noktası, genellikle yüksek çözünürlüklü uydular için için yeterli olmaktadır, (Jacobsen, 2003). Kontrol noktalarından başka, uydunun yörünge bilgileri, sensörlerin geometrik ve radyometrik çözünürlüğü de SAM modelinin duyarlılığını etkilemektedir, (Subramanian ve ark., 2003). Bu bilgiler, uydu görüntüleriyle birlikte ya açık olarak ya da rasyonel polinom katsayıları olarak kullanıcılara verilirler. Bu konular, uydu görüntülerinin düzeltilmesi için kullanılan genel yöntemleri içerdiğinden tez çalışmasında bu konulara daha fazla değinilmemiştir.

SAM modelleri sadece uydu görüntülerinden elde edilmez. Fotoğraf makineleri veya lazer tarayıcılarıyla elde edilen sayısal görüntülerle de elde edilebilir. Zaten bu çalışmada da, özellikle dijital kameralarla elde edilen görüntüler kullanılarak, fotogrametrik yöntemlerle SAM modeli oluşturma işleri anlatılmıştır. Zira, uydu görüntülerinin çözünürlükleri arttıkça, bu görüntülerin değerlendirilmesi için de, dijital fotogrametri tekniklerinin kullanılması zorunlu hale gelmektedir.

Dijital fotogrametri, görüntülerin sayısal olarak ve geometrik ve radyometrik olarak yüksek çözünürlüklerde elde edilebilmesi sayesinde, hızla gelişme göstermektedir. Günümüzde çok hızlı veri işleyebilen bilgisayarların gelişmiş olması ve bellek sorunlarının da büyük ölçüde giderilmiş olması dijital fotogrametriyi daha çekici bir hale getirmiştir. Artık dünyada klasik fotogrametri neredeyse hiç kullanılmamaktadır. Zira dijital fotogrametrinin doğruluğu klasik fotogrametriyi yakalamıştır, (Altan, 1998). Uydu görüntülerinin geometrik çözünürlüğünün teknolojik gelişmelere paralel olarak artması nedeniyle, artık yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden SAM modellerinin oluşturulması için de dijital fotogrametri teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Görüntülerin çözünürlüklerinin artmasıyla birlikte SAM modeli oluşturmak artık daha hızlı, daha ucuz ve insan emeğinin daha az olduğu bir işlem haline gelmektedir.

Görüntülerden SAM modeli oluşturma işini hızlandıran en önemli etki, SAM modelini oluşturan noktaların, görüntülerden tam otomatik ya da yarı otomatik bir süreçle belirlenip ölçülebiliniyor olmasıdır. Henüz, tam otomatik sistemler geliştirilebilmiş değildir. Ancak bu konularda çalışmalar hızla devam etmektedir. Görüntülerden model noktalarının seçilmesi ve bu noktaların üç boyutlu koordinatlarının hesaplanabilmesi için, SAM modeli oluşturulacak bölgenin stereo resim çiftlerinin bulunması gerekir. Başka bir ifadeyle, SAM modeli oluşturulacak bölgenin, farklı açılardan çekilmiş en az iki tane görüntüsünün olması gerekir. Öncelikle görüntülerin birisinden, modeli oluşturacak noktalar seçilmelidir. Bu noktaların nasıl seçileceği konusu, sonraki bölümlerde anlatılacaktır. Model noktaları ilk resimden seçildikten sonra, aynı noktaların ikinci resimde bire-bir tam karşılığının bulunması gerekir. Eğer noktalar, belirgin bir farklılık içeren köşe noktaları ise, bu noktaların karşılığının diğer resimlerde kolayca görülebileceği açıktır. Yani bir insan, bilgisayar ekranında mouse imlecini hareket ettirerek, ilk resimdeki noktanın karşılığını kolaylıkla diğer resimde elle işaretleyebilir. Ancak, karşılığı bulunacak nokta örneğin bir çimenlik alandaysa ve çıplak gözle ayırt edilebilecek yeterli bir farklılık içermiyorsa, bu durumda bu noktanın karşılığının tam olarak yerini bir insanın mouse ile bulup işaretlemesi mümkün değildir. Ancak, bu yolla noktanın sadece yaklaşık olarak yeri işaretlenebilir. Bu sorunun mutlaka çözülmesi gerekir. Bunun için ilk akla gelecek yaklaşım, her iki resimde eşleştirilecek noktaların bulunduğu bölgelerdeki piksellerin renk değerleri arasındaki değişimin istatistiksel olarak karşılaştırılması yaklaşımı olacaktır. Bu durumda örneğin, her iki noktanın etrafındaki seçilen küçük bir bölgede, bu görüntü alanlarının karşılıklı çapraz korelasyonları hesaplanabilir. Korelasyonun en büyük olduğu yerin, aranan eş nokta olduğu söylenebilir. Bu şekilde, bir resimdeki bir noktanın ya da bölgenin, diğer resimde tam olarak karşılığının yani eşinin bulunması problemine, “görüntü eşleştirme problemi” adı verilir. Görüntülerden SAM modeli oluşturmak için kullanılacak bir sistemin en önemli parçası, görüntü eşleştirmesi yapan fonksiyonlardır. Zira, görüntü eşleştirmesi sonucunda bulunan noktaların yerinin resim koordinatları kullanılarak ve izdüşüm geometrisinin bağıntılarında bu koordinatlar yerine konarak, model

noktalarının 3 boyutlu nesne koordinatları elde edilmektedir, (Doğan, Altan, corfu, Doğan doktora tezi). SAM modelinin duyarlığını artırmak için, model noktalarının resim koordinatları çok duyarlı şekilde ölçülmelidir. Bunun için de en duyarlı görüntü eşleştirme yöntemleri kullanılmalıdır. Bu çalışmada, en duyarlı eşleştirme yöntemi olan, İteratif en küçük kareler görüntü eşleştirme yöntemi (Adaptive Least Squares Matching, ALSM) kullanılmıştır, (Gruen, 1985). Görüntü eşleştirme, özellikle dijital fotogrametri ve bilgisayar görmesi (computer vision) konularının önemli araştırma konularından birisi olmuştur. Son yıllarda dijital fotogrametrinin gelişmesiyle dijital formdaki görüntüler üzerinde çerçeve işaretleri, yer kontrol noktaları ve bağlantı noktaları gibi özel işaretlerin görüntü eşleştirme teknikleriyle ölçülmesi işi zorunlu ve sıkça kullanılan bir işlemdir. Görüntü eşleştirme yöntemleri ile resim noktalarının bulunması ve koordinatlarının ölçülmesi sayesinde, yüksek hız ve doğruluğun yanısıra daha az insan emeğiyle ölçüm işinin gerçekleştirilmesi de sağlanmışır. Görüntü eşleştirme yöntemleri ve matematiksel modelleri, dördüncü bölümde detaylıca anlatılmışır.

Görüntülerden dijital fotogrametrik yöntemlerle SAM modeli elde etme olanağı sayesinde, sayısal arazi modellerinin farklı amaçlar için kullanılması da mümkün olmuştur. Örneğin SAM modelleri, fotogrametrik sayısal ortofotoların üretilmesi işinde, yükseklik farklarından doğan hataların düzeltilmesi için kullanılmaktadır. Günümüzde SAM modelleri topografik haritaların üretilmesinde (eşyükselti eğrilerinin otomatik olarak oluşturulması için), şehir planlamada, maden mühendisliğinde, haber ağı planlamasında, silah sistemlerinde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda SAM modelleriyle ilgili yapılan araştırmalar ve uygulamalar bu konuya gösterilen ilginin oldukça fazla olduğunu göstermektedir.

2.1. SAM Modellerinin Kullanım Alanları

Sayısal arazi modelleri, jeodezi ve fotogrametri uygulamalarının yanı sıra, tıp, kimya, endüstriyel ürünlerin tasarımı, mimarlık, vb bir çok farklı alanlarda da kullanılır. Daha önce de belirtildiği gibi, SAM modellerinde, model noktalarının 3 boyutlu koordinatları bilindiğinden, modellenen yüzeylerin üç boyutlu geometrisiyle ilgilenen her türlü disiplin tarafından kullanılmaktadır. Jeodezi ve fotogrametri mühendisliği çalışmalarının konusu olan kullanım alanlarına aşağıdaki örnekler verilebilir.

- Eşyüksekti eğrilerinin SAM modelinden otomatik olarak oluşturulmasında,
- Hacim hesabında; özellikle mühendislik projelerinde araziden çıkarılacak toprak, maden vb. nesnelere hacimlerinin hesabı, oluşturulan SAM modeli üzerinden kolayca yapılabilir. Hacim hesabı için gereken yüzey noktalarının yükseklikleri SAM modeli üzerinden alınarak yine SAM modelinden elde edilebilen enkesitler, yüzey nivelmanı ölçüleri veya eşyükseklik eğrili haritalar üzerinden de hacim hesaplanabilir.
- Sayısal Ortofotoların üretiminde, fotoğrafların yükseklik farklarından dolayı sahip olduğu hatalar, resimdeki arazi bölgesinin SAM modelinden elde edilecek yükseklik bilgileri ile düzeltilebilir.
- Eğim haritalarının hazırlanması işinde; yol geçkilerinin hazırlanması vb. işlerde bölgenin SAM modeli kullanılabilir.
- Görünürlük analizinde; model üzerinden belirli açılardan ve yüksekliklerden görünürlük analizi yaparak nirengi noktalarının ön istikşafı, orman gözetleme kulelerinin inşası vb. çalışmalarda kullanılabilir.
- Kesit çıkarmada; model üzerinden üçgen, dikdörtgen prizmalar veya kare ağ üzerinden kesitler çıkartılarak yarma, dolgu hesapları, profil çıkartma gibi çalışmalarda da SAM modeli kullanılabilir.
- Haber ağı planlamasında, uçak ve helikopter simülatörlerinde, bazı silah sistemlerinde arazinin sanal gerçeklik olarak modellenmesi için de kullanılmaktadır.

2.2. SAM Modeli Oluşturmak İçin Gereken İşlem Adımları

Sayısal arazi oluşturmak için, sırasıyla aşağıdaki işlem adımlarının gerçekleştirilmesi gerekir.

- SAM verilerinin elde edilmesi,
- Modelin oluşturulması,
- Model verilerinin depolanması ve sunulması.

SAM verilerini elde etmek için, önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, ya arazide doğrudan jeodezik yöntemlerle 3 boyutlu koordinat ölçüleri yapılır, ya var olan eşyükselti haritaları sayısallaştırılır ya da modeli oluşturulacak bölgenin stereo uydu ve ya hava fotoğrafları kullanılır. Bir SAM modelini oluşturmak için gereken en önemli, en zor ve en masraflı adım model verilerinin elde edilmesi adımındır. Modeli oluşturacak veriler toplandıktan sonra, modelin oluşturulması işi, sonraki bölümde de anlatılacağı üzere basit bir geometrik algoritma ile gerçekleştirilmektedir.

Modeli oluşturulacak bölgenin büyük olması durumunda, binlerce hatta milyonlarca noktaya gereksinim duyulabilmektedir. Her bir noktanın x,y,z koordinatları gerekmektedir. Bu nedenle, bu kadar çok sayıdaki verinin, bilgisayarlarda hızlıca ve kolayca işlenmesi için etkin veri modelleri kullanılmalıdır. SAM modellerinin sunulması için kullanılan veri modelleri bu çalışmanın konusu olmadığından detaylı olarak ele alınmamıştır.

2.3. SAM Oluşturma Yöntemleri

2.3.1. Üçgenleme (Triangulation) Yöntemi

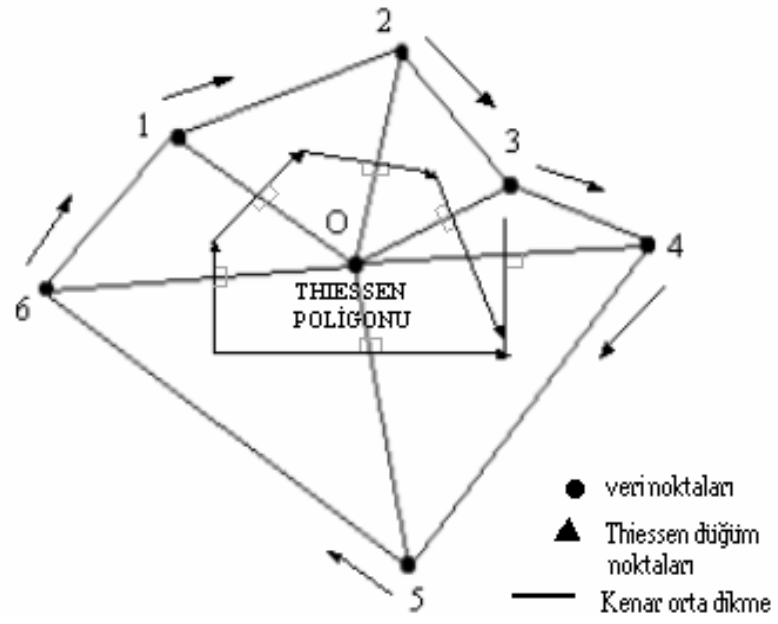
Üçgenleme yöntemindeki amaç; arazi yüzeyini birbiri üzerine binmeyen ve her seferinde tek anlamlı olarak elde edilebilen üçgen yüzeylerin toplamı şeklinde ifade etmektir. Rasgele veya düzgün şekilde dağılmış olan dayanak noktaları üçgenlerin köşe noktalarını oluşturur. Üçgenleme iki, üç veya daha çok boyutlu uzaylarda gerçekleştirilebilir, (Yanalak, 2001).

2.3.1.1. Delaunay Üçgenlemesi ve Voronoi Diagramı

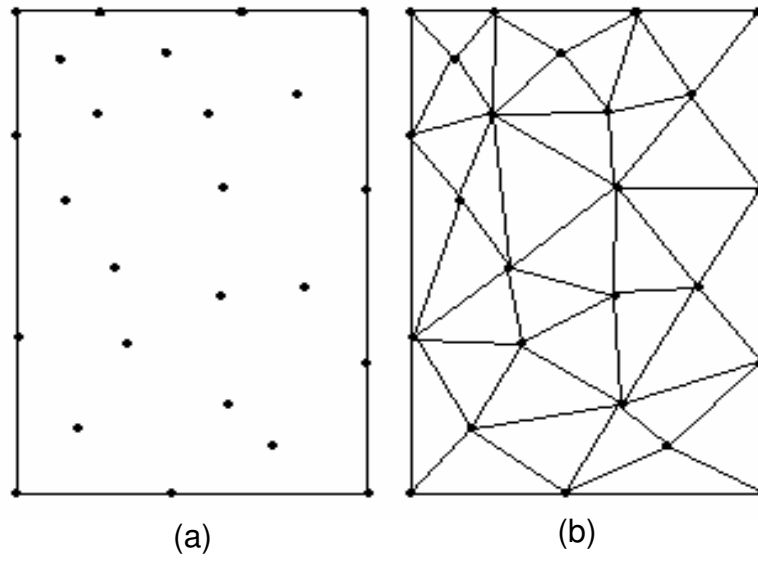
Uygulamalı geometride en çok kullanılan yapılardan Delaunay üçgenlemesi ve Voronoi diagramları; yapay zekadan günlük hayattaki pek çok sorunun çözümünde büyük rol oynarlar. Üçgenlere ayırma denince ilk akla gelen Delaunay üçgenlemesi (Delaunay Triangulation)' dır. Bu yöntemde, elde edilen üçgenler eşkenar üçgene en yakın üçgenlerdir. Delaunay üçgenleri, Voronoi diagramının eşleniği olup, bir Voronoi diagramından yola çıkılarak Delaunay üçgenlemesi elde edilebilir.

Voronoi diagramı literatürde Thiessen Poligonu olarak da geçmektedir. Düzlemde yer alan sonlu sayıdaki nokta kümesindeki herhangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine, o noktanın Voronoi Çokgeni (poligonu) denilmektedir,(Petrie ve Kennie, 1990).

şekil 2.1.' de Voronoi diagramının oluşumu ve şekil 2.2.' de bir veri kümesiyle birlikte Delaunay üçgenlemesi görölmektedir.



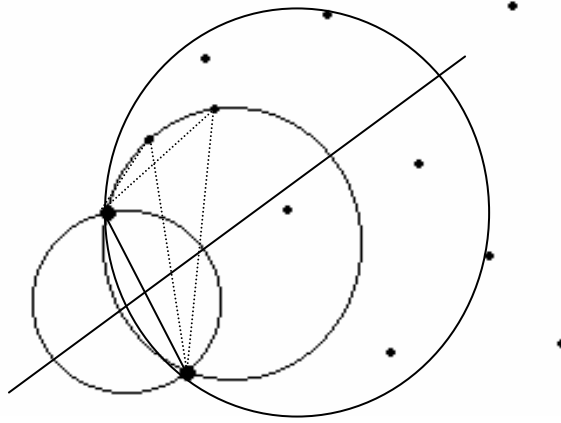
Şekil 2.1. Voronoi Diagramı



Şekil 2.2. Delaunay Üçgenlemesi (McCullagh 1983), a. Veri noktaları,
b. Üçgenlenmiş yüzey ve sınır noktaları

Dealunay üçgenlemesine ait bazı özellikler şunlardır:

- Tek anlamlıdır. Başlangıç noktasından bağımsızdır.
- Oluşan üçgenler en olası eşkenar üçgenlerdir.
- Üçgenlerin çevrel çemberi içerisinde bir başka nokta yer almamaktadır.
- Veri kümesinin dışbükey çerçevesi üçgenlemede yer almaktadır. Bir nokta kümesinin dışbükey çerçevesi o kümeyi içine alan en küçük çokgendir.
- Dayanak noktaları kümesinde birbirine en yakın konumda bulunan nokta çiftinin oluşturduğu doğru parçası üçgenlemede yer almaktadır.
- Her bir noktayı kendisine en yakın nokta ile birleştiren doğru parçası bir üçgen kenarını oluşturmaktadır, (Yanalak, 2001).



Şekil 2.3. En yakın noktanın çember yardımıyla araştırılması

2.3.2. Grid Yöntemi

Grid yöntemde arazi yüzeyi kare veya dikdörtgen gridlere bölünür. Dayanak noktaları grid köşelerinde yer alabileceği gibi, rasgele konumda da bulunabilir. Grid düğüm noktalarının veya piksel orta noktalarının yükseklik değerleri, üç farklı şekilde bulunabilir, (Petrie ve Kennie, 1990).

- Fotogrametrik resim çiftlerinden
- Arazi yüzeyine rasgele dağılmış dayanak noktalarının ölçülmesi ile
- Mevcut eşyüksekti eğrisi verilerinden enterpole ederek

3. DİJİTAL GÖRÜNTÜLER VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde, bundan sonraki bölümlerde sıklıkla kullanılacak olan görüntüler için bilinmesi gereken, görüntülerle ilgili kavramlar ve görüntüler üzerinde yapılan bazı temel işlemler açıklanacaktır.

3.1. Görüntülerin Elde Edilmesi

Görüntüler dijital kameralardan doğrudan elde edilebildiği gibi harita, grafik, slayt veya analog olarak elde edilen fotoğrafların sayısallaştırılmasıyla da elde edilebilir.

3.2. Görüntülerin Sayısallaştırılması

Bir görüntünün en küçük elemanına piksel denir. Fotoğrafik noktaların yoğunluğu, resmin pozlanması anında, resmi çekilen alandan kameraya doğru gelen ışınları ölçen bir kriterdir. Bu durumda taneciklerin yoğunluğu, ışığın yoğunluğunu da kaydeder. Noktaların yoğunluğu başka bir ifadeyle birim zamanda noktaya gelen ışık enerjisinin toplam miktarı diye adlandırılabilir.

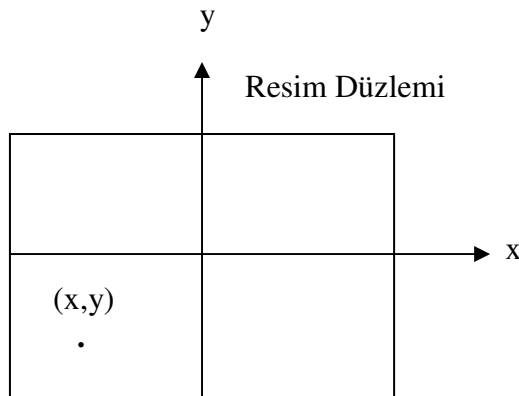
Bir görüntüdeki piksellerin her birine, piksellerin sahip olduğu tanecik yoğunluğu değerlerini ifade eden sayısal değerlerin atanması işlemine görüntünün sayısallaştırılması denir. Bu işlemin gerçekleşmesi için birçok yöntem vardır. Ancak bu yöntemlerden herhangi birini herhangi bir uygulama için seçmemizi sağlayacak bir yöntem yoktur. En küçük görüntü alanının boyutları, bu alanların birbirinden bağımsız olmasını sağlayacak ve ışık yoğunluklarını yaklaşık tek anlamlı olarak ifade edebilecek şekilde olmalıdır. Başka bir deyişle bir alandaki gri düzey değerinin homojen olmasını sağlayacak boyutlarda olmalıdır. Çok doğaldır ki pratik nedenlerden dolayı görüntünün tümünü aynı boyutlu alanlardan oluşturmak en akıllıca yöntemdir. Her bir alanı ifade edecek olan sayı, örneğin fiziksel olarak alan içerisindeki taneciklerin gerçek sayısı olabilir. Bu sayı kodlanarak yeni kod sayıları elde edilebilir.

Bu yeni kodlar fiziksel yoğunluk değerinin yerine kullanılabilir. Bu kodlama işlemine nicelleme (quantisation) adı verilir. Yine bu kodlama işlemine Analog-Dijital Çevrimi (Analog-Digital Conversion) ya da sayısallaştırma da denilmektedir.

Pratikte fotoğrafik görüntülerin sayısallaştırılması işlemi daha karmaşıktır. Görüntüde kullanılan en etkili ve yüksek duyarlıklı sayısallaştırma metodu dijital kameralarda kullanılmaktadır. Bu kameralarda CCD (Charged Coupled Device) adı verilen ışığa duyarlı, yarı iletken çok küçük hücreciklerden oluşan çipler kullanılmaktadır. Bu çiplerle analog resimler taranarak sayısallaştırılabilirken gerçek nesnelerin görüntüleri de doğrudan sayısal formatta kaydedilebilir. Kaydedilen görüntüler artık fiziksel formda değil kodlanmıştır.

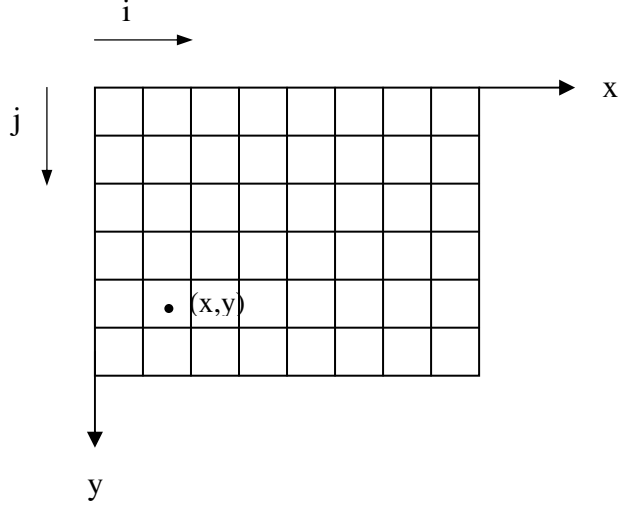
3.3. Görüntü Matrisi ve Görüntülerin Bilgisayarda Gösterilmesi

Bir görüntünün sayısal olarak tanımlanabilmesi için bütün görüntü noktalarının gri düzey değerleri (yoğunlukları) ve bu noktaların görüntüdeki konumları bilinmelidir. Noktaların görüntüdeki konumlarını belirlemek için bir koordinat sistemi kullanılır. Bu koordinat sistemi dik koordinat sistemi olup aşağıdaki şekilde tanımlandığı gibi olabilir.



Şekil 3.1. Dik koordinat sistemi

Koordinat sisteminin orijini resmin sol alt köşesi, sol üst köşesi veya orta noktası olabilir. Koordinat eksenleri de orijine göre belirlenebilir. Örneğin orijin sol üst köşede ise eksenler aşağıdaki gibi olabilir;



Şekil 3.2. Resim koordinat sistemi

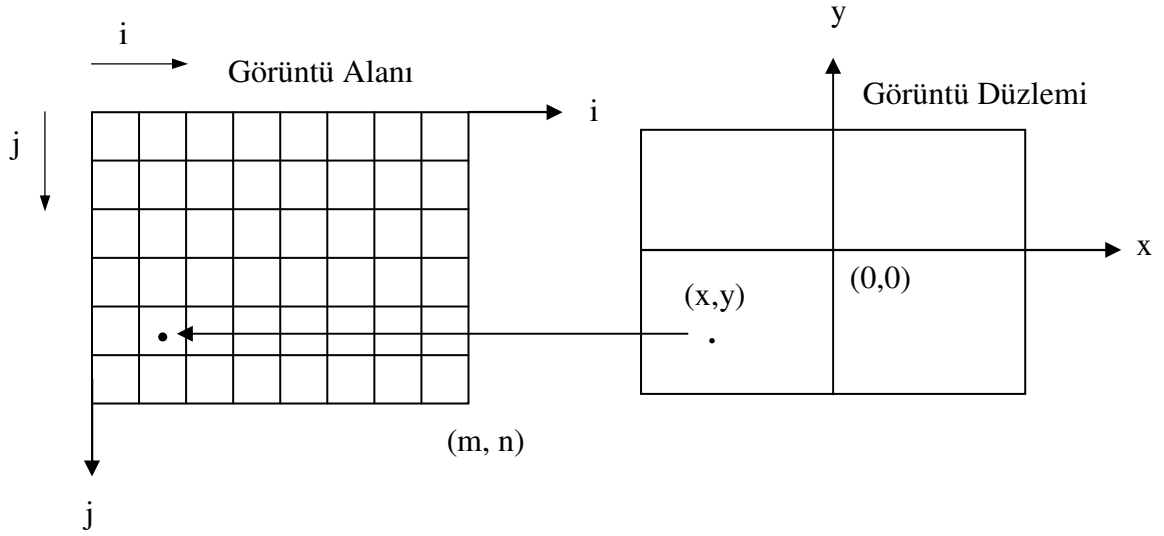
Pratik nedenlerden dolayı bilgisayar programlama dillerinde grafik ekran koordinat sistemi Şekil 3.2.' deki gibi seçilir.

Buraya kadar yapılan açıklamalara göre bir dijital görüntü basit haliyle iki değişkenin fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Görüntüyü bir matris şeklinde düşünebiliriz. Satır sayısı (i) görüntünün yüksekliğini, sütun sayısı (j) görüntünün genişliğini ifade eder. Görüntü orijini sol üst köşedir yani (0,0) pikseli sol üst köşededir. Bu durum (1) ile ifade edilebilir.

$$f = f(x,y) \quad (1)$$

Burada f; (x,y) konumundaki noktanın (pikselin) yoğunluk değerini göstermektedir.

Görüntülerin bilgisayarda gösterimi bu şekilde iken görüntü geometrisinin oluşumu biraz daha farklıdır ve bu iki sistem arasında matematiksel bir ilişki kurulmalıdır. Görüntü düzleminin orijini görüntünün orta noktasında yer alır ve bu düzlemdeki bir noktanın konumu (x,y) şeklinde gösterilir. x soldan sağa doğru ve y aşağıdan yukarıya doğru artar.



Şekil 3.3. Görüntü alanı ve görüntü düzlemi

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' den yararlanarak iki sistem arasında x ve y sensör boyutları olmak üzere;

$$x = \left(j - \frac{m-1}{2}\right)$$

(2)

$$y = -\left(i - \frac{n-1}{2}\right)$$

eşitlikleri yazılabilir. İki sistem arasında ölçek farkı varsa eşitlik ölçekle çarpılarak giderilebilir.

3.4. Görüntü Türleri

Sayısal görüntüler binary (İkili), gri düzeyli ya da Renkli görüntüler olabilirler. İkili (binary) görüntüler, piksellerin sadece 0 ve 1 parlaklık değerine sahip olduğu görüntülerdir. Burada 0 siyah, 1 beyaz renge karşılık gelmektedir.



Şekil 3.4. Binary Görüntü

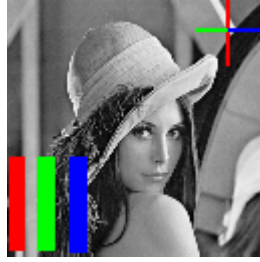
İkili görüntüler günümüzde faks makinelerinde kullanılmaktadır.

Gri düzey görüntüler ya da Monochrome görüntüler belli bir rengin tonlarından oluşur. Burada 0 değeri siyah renge, 255 değeri beyaz renge karşılık gelmektedir. Ara değerler grinin tonlarıdır.



Şekil 3.5. Gri düzeyli görüntü

Renkli görüntüler birden fazla renkli bandla temsil edilen görüntülerdir. En sık kullanılan renkli görüntüler 24 bitlik RGB (Red- kırmızı, Green-yeşil, Blue-mavi) ve 32 bitlik görüntülerdir. Her band 8 bit olmak üzere görüntü 16777216 farklı renk ile temsil edilir. Renkli görüntüler fiziksel görüntüyü en iyi şekilde yansıtırlar.

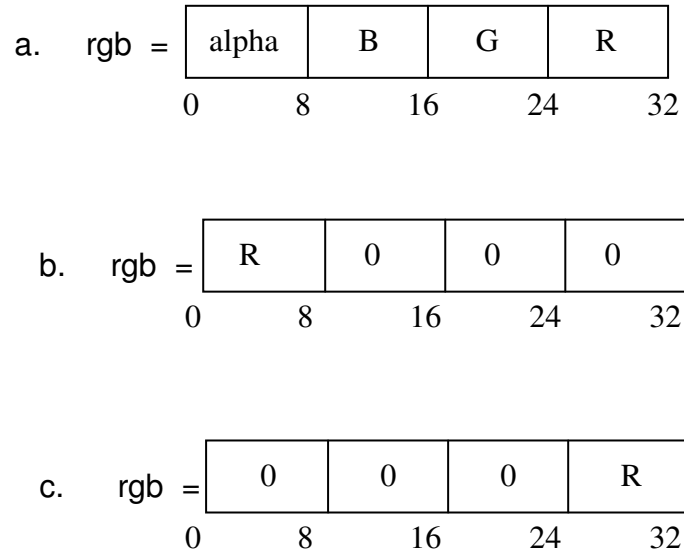


Şekil 3.6. Renkli görüntü

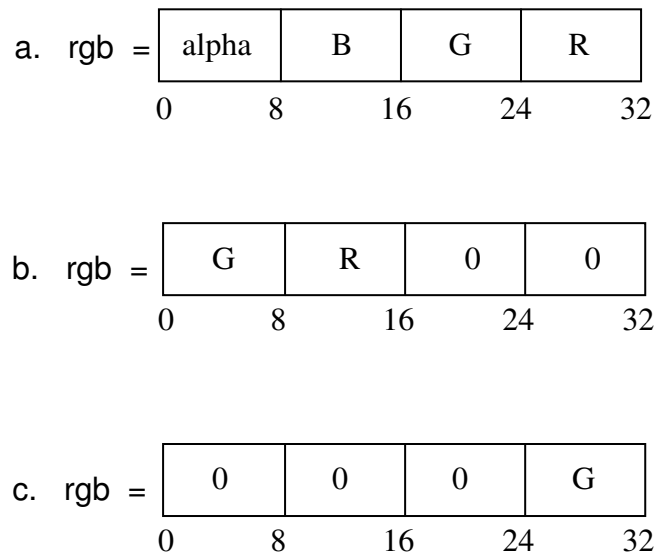
3.5. Renkli Görüntülerde Band İşlemleri

24 bitlik RGB görüntüler, bilgisayarda her piksel için 32 bitlik tamsayı ile temsil edilirler. Bu 32 bitlik verinin ilk 8 biti alfa (alpha) biti, 8-16 biti mavi, 16-24 biti yeşil ve son 8 biti de kırmızı parlaklık değerlerine sahiptir. Görüntünün parlaklığı üzerinde yapılacak işlemlerde bu 32 bitlik veri alınır ve bit kaydırma operatörleri yardımıyla bandlar ayrı ayrı elde edilirler. Piksel değeri (rgb), 32 bitlik tamsayı değeri olmak üzere;

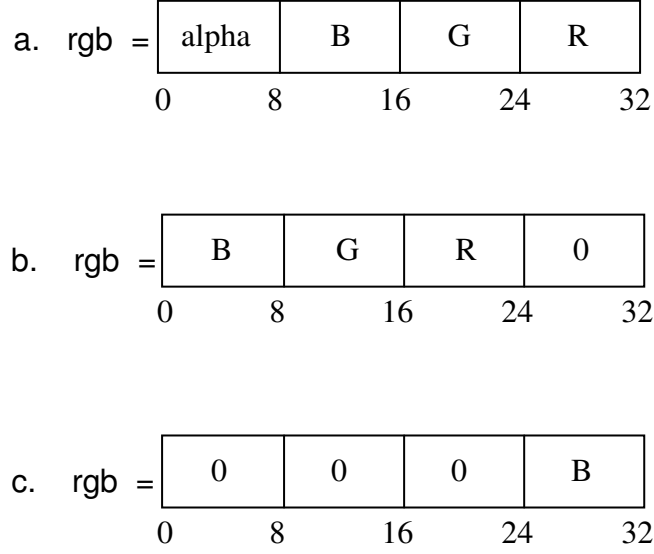
Kırmızı, yeşil ve mavi bandların elde edilişi;

**Şekil 3.7.** Kırmızı bandın elde edilmesi

a.) 32 bitlik orijinal veri, b.) 24 bit sola kaydırma işlemi ($R = (rgb \ll 24)$), c.) 24 bit sağa kaydırma işlemi ($R = (rgb \ll 24) \gg 24$)

**Şekil 3.8.** Yeşil bandın elde edilmesi

a.) 32 bitlik orijinal veri, b.) 16 bit sola kaydırma işlemi ($G = (rgb \ll 16)$), c.) 24 bit sağa kaydırma işlemi ($R = (rgb \ll 16) \gg 24$)



Şekil 3.9. Mavi bandın elde edilmesi.

- a.) 32 bitlik orijinal veri, b.) 8 bit sola kaydırma işlemi ($R = (rgb \ll 8)$), c.)
24 bit sağa kaydırma işlemi ($R = (rgb \ll 8) \gg 24$)

3.6. Geometrik Görüntü Dönüşümleri

Geometrik dönüşümler, bilgisayar grafikleri, bilgisayar görmesi, robot görmesi, sinyal işleme ve patern (doku) tanıma gibi geniş alanlarda kullanılmaktadır (Zhang, 2001).

Bu çalışmada geometrik görüntü dönüşümlerinden afin dönüşümü, en küçük kareler görüntü eşleştirmesinde kullanılmıştır. En Küçük Kareler Görüntü eşleştirme yönteminin fonksiyonel modeli iki parçadan oluşur. Birincisi görüntüdeki geometrik bozulmaları modelleyen parça, diğeri radyometrik bozulmaları modelleyen ikinci parçadır, (Gruen, 1998). Bu çalışmada geometrik bozulmaları modellemek amacıyla afin dönüşümü kullanılmıştır.

Afin dönüşümü, dönüklük, öteleme, ölçek ve eğrilik gibi tipik geometrik dönüşüm elemanlarını içeren 6 parametrelili bir dönüşümdür. Dönüşüm eşitlikleri;

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y \quad y' = b_0 + b_1x + b_2y \quad (3)$$

şeklinde elde edilir. Dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için, 6 adet a_i , b_i parametresinin bilinmesi veya her iki görüntüdeki en az 3 ortak nokta çiftinden hesaplanması gerekir.

3.7. Görüntüler Üzerinde Kullanılan Matematiksel Kavramlar

3.7.1. Korelasyon

Korelasyon (Correlation); en az iki değişken arasındaki ilişkinin incelenmesine denir. Bu ilişkinin derecesini gösteren katsayıya Korelasyon Katsayısı (ρ) denir. Korelasyon katsayısı; $-1 < \rho < +1$ arasında değerler alır, (Ünver, 1995). Bu çalışmada korelasyon, görüntüler arasında bir ilişki kurmak için istatistiksel bir ölçüt olarak kullanılmıştır.

3.7.2. Gradient (Değişim)

Değişim değerleri bir pikselin bir kenara ait olma olasılığı ile ilgili bilgi verirler. Bir görüntünün değişim fonksiyonu;

$$G[f(x, y)] = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (4)$$

şeklinindedir. Değişim ile iki önemli özellik tanımlanır. Birincisi; $G[f(x, y)]$ vektörüdür ve bu vektör $f(x, y)$ fonksiyonunun birim uzaklıktaki maksimum artış oranını gösterir. İkincisi; $G[f(x, y)] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$ olarak verilen eşitliktir ve değişimin sayısal değerini gösterir (Jain ve ark., 1995).

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan değişim temelli sınır belirleme yaklaşımlarından bazıları; Robert operatörü, Sobel operatörü, Prewitt operatörüdür.

Robert operatörü, değişimi hesaplarken mümkün olan en küçük farkları kullanan bir süzgeçlemedir (Jahne, 2000).

Robert operatörü; aşağıdaki süzgeçlerle tanımlanır (Ritter and Wilson, 2000).

$$D_{x-y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad D_{x+y} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Sobel operatörü; pikseller arasında $[3 \times 3]$ komşuluğunu kullanarak, değişim miktarını aşağıdaki fonksiyonla hesaplar;

$$M = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (6)$$

Fonksiyondaki kısmi türevler hesaplanır;

$$\begin{aligned} S_x &= (a_2 + ca_3 + a_4) - (a_0 + ca_7 + a_6) \\ S_y &= (a_0 + ca_1 + a_2) - (a_6 + ca_5 + a_4) \\ c &= 2 \text{ (sabit)} \end{aligned} \quad (7)$$

Diğer değişim operatörleri gibi S_x ve S_y konvolüsyon maskeleri kullanılarak uygulanır.

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Prewitt operatörü, Sobel operatörü ile $c = 1$ sabiti hariç aynı denklemleri kullanır. Dolayısıyla, Prewitt konvolüsyon maskeleri; S_x ve S_y aşağıdaki gibidir (Jain ve ark., 1995).

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

3.7.3. Sayısal Türev

Bir takım ayrık noktalarda değeri bilinen $y = f(x)$ fonksiyonunun, bir noktasındaki türevini, bilinen bu değerleri kullanarak, yaklaşık olarak hesaplamak mümkündür. Benzer şekilde $z = f(x,y)$ türündeki çok değişkenli fonksiyonlar için yaklaşık kısmi türev formülleri de verilebilir. Bunun için genellikle bu fonksiyonun söz konusu nokta civarındaki Taylor seri açılımından yararlanılır (Sonka ve ark., 1993).

3.7.3.1. Sonlu Farklarla Yaklaşık Türev Hesabı

Fonksiyonların analitik olarak verildiği durumlarda, istenilen noktadaki fonksiyon değerlerini hesaplamak, fonksiyonun belirli noktalarında istenilen mertebeden türevlerini bulmak ya da fonksiyonun belirli aralıklardaki integrallerini hesaplamak kolaylıkla yapılabilmektedir. Ancak, fonksiyonların bazı ayrık noktalardaki değerleri belli iken bu tür hesaplamalar sonlu farklar aritmetiği kullanılarak yaklaşık olarak yapılabilmektedir, (Türker & Can, 2003)

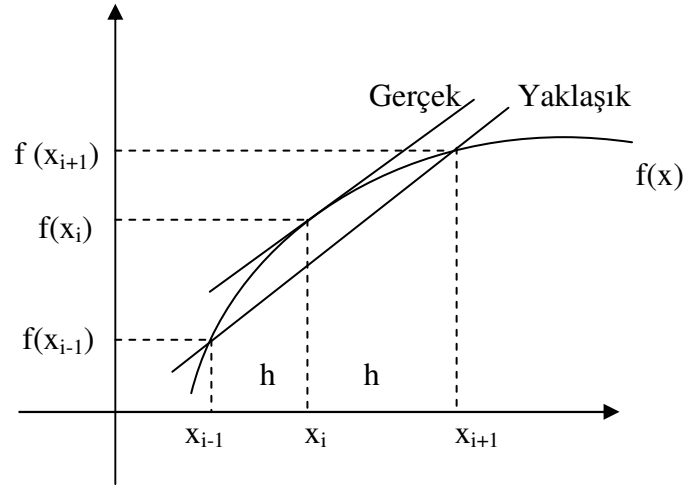
Bu çalışmada görüntüde yer alan piksellerin birinci mertebeden türevlerini alırken merkezi farklar metodu kullanılmıştır.

3.7.3.2. Merkezi Farklar Yöntemi

Bir $f(x)$ fonksiyonunda, bağımsız değişkenin yarım adım ilerisindeki değer ile, yarım adım gerisindeki değer arasındaki fark, Merkezi Fark olarak bilinir (Türker & Can, 2003);

$$\delta f(x) = f\left(x + \frac{h}{2}\right) - f\left(x - \frac{h}{2}\right) \quad (10)$$

şeklinde gösterilir.



Şekil 3.10. Merkezi Fark Yaklaşımı

Merkezi Farklar yönteminin görüntüler üzerinde kullanılışı ikinci bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

3.7.4. İkinci Türev Operatörleri

Sayısal görüntü doğrular içeriyorsa ve görüntüdeki ardışık değişimler doğrusal ise kenar verilerinin elde edilmesi için ikinci dereceden türev operatörleri kullanılır. Kenar noktalarının birinci türevinde bir tepe noktası, ikinci

türevinde sıfır kesişim (zero crossing) olabilir. İkinci türev operatörleri olarak, Laplace operatörleri, direkt olarak ikinci türeve dayalı operatörler, Log operatörleri aşağıda incelenmektedir.

Laplace operatörleri;

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (11)$$

fonksiyonu ile tanımlanır.

Laplace operatörleri;

$$\nabla^2 \approx \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \nabla^2 \approx \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & -20 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

matrisleri ile ifade edilebilir.

Direkt olarak ikinci türeve dayalı operatörler;

$$\frac{\partial^2}{\partial n^2} = \frac{f_x^2 f_{xx} + 2f_x f_y f_{xy} + f_y^2 f_{yy}}{f_x^2 + f_y^2} \quad (13)$$

fonksiyonu ile elde edilir.

İkinci türeve dayalı sıfır kesişim metodu, kenar noktalarını parlaklıklar ile belirlerken, gürültüye çok duyarlıdır. Dolayısıyla gürültüleri azaltmak için süzgeçlenmesi istenir. Bunu yapmak için Marr ve Hildreth Gauss süzgeci ile Laplace kenar belirleme yöntemi birleştirilmiş ve bu yöntem LoG (Laplace of Gaussian) adı verilmiştir. Bu yaklaşımla; görüntüye ilk önce Gauss süzgeci ile konvolüsyon işlemi uygulanır. Bu adımla görüntü düzeltilir ve gürültüler azaltılır. Ayrılmış gürültü noktaları ve küçük yapılar çıkarılır. Düzeltme sonucu kenarlar

yumuşatılır ve kenar belirleme operatörü kenarları yalnızca yerel değişimi en fazla olanları dikkate alır. Bu ikinci türevin sıfır kesişimi ile başılır.

LoG operatörü sonucu elde edilen $h(x, y)$ fonksiyonu aşağıdadır:

$$h(x, y) = \nabla^2[(g(x, y) \times f(x, y))] \quad (14)$$

Yukarıdaki fonksiyona, konvolüsyon için türev kuralı uygulanarak aşağıdaki fonksiyon elde edilir (Jain ve ark., 1995).

$$h(x, y) = [\nabla^2 g(x, y)] \times f(x, y) \quad (15)$$

4. GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME (Image Matching)

4.1. Görüntü Eşleştirmenin Tanımı ve Kullanım Alanları

Dijital görüntü eşleştirme, iki veya daha çok dijital görüntü arasındaki ilişkiyi otomatik olarak kurar. Bu ilişkiyi oluşturmak için birçok görüntü eşleştirme metodu geliştirilmiş ve kullanılmaktadır, (Gruen, 1998)

Dijital fotogrametride amaç dijital görüntülerden en az insan katılımıyla iki veya üç boyutlu topografik 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 görüntülerde yerinin araştırılması gerekir. Bu araştırma işlemine görüntü eşleştirme denir. Görüntü eşleştirme herhangi bir görüntü analiz işleminin hemen hemen tamamında anahtar elemandır.

Fotogrametrik işlem zincirinin birçok adımı eşleştirmeye bağlıdır. Örneğin yöneltmenin yapılabilmesi için bir görüntüdeki yer kontrol noktaları ve bağlantı noktalarının görüntü eşleştirme ile diğer görüntüdeki yerleri bulunur. Otomatik veya yarı otomatik DTM oluşturmak için görüntü eşleştirmeye başvurulur.

4.2. Görüntü Eşleştirme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Görüntü eşleştirme, son yıllarda dijital fotogrametri ve bilgisayar görmesinin araştırma konularından birisi olmuştur. Bu yüzden çok çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlar üç temel başlık altında toplanabilir, (Gruen, 1998).

- a) Alana Dayalı Görüntü Eşleştirme Yöntemleri (Area-Based Matching)
- b) Şekle Dayalı Görüntü Eşleştirme Yöntemleri (Feature-Based Matching)
- c) İlişkisel Görüntü Eşleştirme Yöntemleri (Relational Matching)

4.2.1. Alana Dayalı Görüntü Eşleştirme (Area-Based Matching)

Bu yöntemde temel fikir sol görüntüdeki bir parçanın (ilişki penceresi) sağ görüntüdeki karşılığının bulunmasıdır. Bunun için her iki parçanın $f(u,v)$ ve $g(u,v)$ gri düzey değerleri karşılaştırılır. En önemli alana dayalı eşleştirme yöntemleri Çapraz İlişki (Cross-Correlation) ve En Küçük Kareler (Adaptive Least Squares) yöntemidir. Birincide her iki görüntüde aynı büyüklükte olan iki parçanın f ve g gri değerleri arasındaki korelasyonun en yüksek olduğu yer araştırılır. En Küçük Kareler Görüntü Eşleştirmede ise gri düzey değerleri farkları minimum olacak şekilde sağdaki resim deforme edilir. Bu eşleştirme yöntemleri hassastır. Çapraz Korelasyon ile 1-2 piksel hassasiyetle eşleştirme yapılırken En Küçük Kareler Eşleştirme ile piksel altı hassasiyete inilebilir. En Küçük Kareler Görüntü Eşleştirme yönteminin dezavantajı çok iyi yaklaşık değerler gerektirmesidir, (Gruen, 1998)

4.2.2. Şekle Dayalı Görüntü Eşleştirme (Feature-Based Matching)

Bu yöntemde her iki görüntüde belli şekillerin çıkartılması gerekir. Eşleştirmede ikinci adım bu şekiller arasında yapılan eşleştirmedir. Birinci adımda genellikle noktalar veya kenarlar çıkartılır. Bunun için operatörler veya kenar belirleyicileri kullanılır. İkinci adımda referans görüntü (model görüntü) seçilir ve muhtemel eşleştirme noktalarının geçici listesi meydana getirilir. Bu işte eleman niteliklerinin benzerliğini anlayabilmek için Çapraz Korelasyon Katsayısı kriter olarak kullanılmıştır. Çoklu çözümler olduğunda, bunların

tutarlılığı kontrol edilir ve en iyi çözüm seçilir. Değişik ölçü tutarlılıkları mevcuttur. En önemlilerinden biri paralaks büyüklüğüdür, (Gruen, 1998).

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 ulaştığı hassasiyet düzeyine erişemezler, (Gruen, 1998).

4.2.3. İlişkisel Görüntü Eşleştirme (Relational Matching)

Bu yöntemde resimdeki elemanlar ve yapılar arasındaki geometri ve diğer ilişkiler kullanılır. Eşleştirme ağaç araştırma teknikleri ile sağlanır. Bu yöntemler çok hassas değildir fakat genellikle sağlamdır. İyi yaklaşık değerler gerektirmezler. DTM oluşturmak için dijital fotogrametride kullanımı oldukça azdır, (Gruen, 1998).

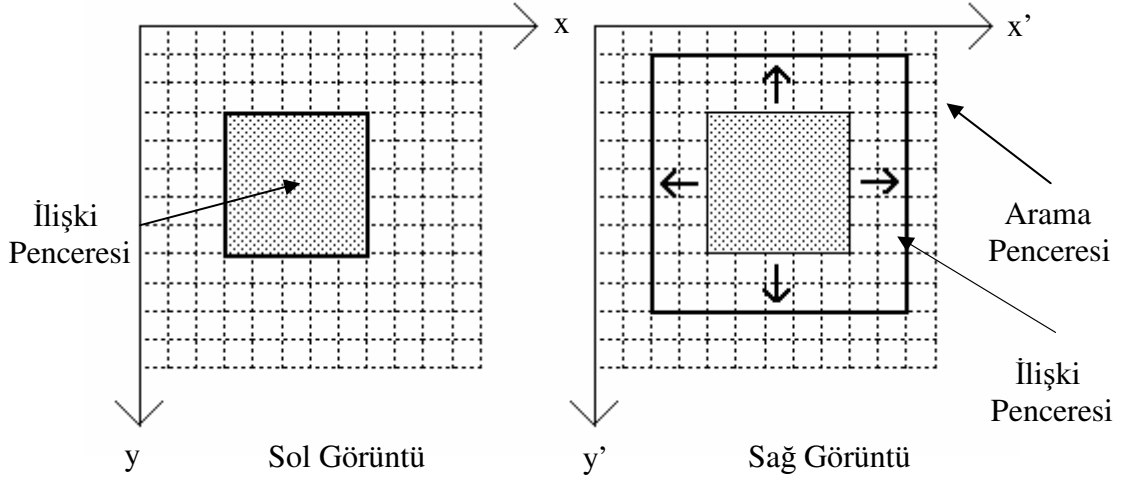
4.3. Alana Dayalı Görüntü Eşleştirme Yöntemleri

Alana Dayalı Görüntü Eşleştirme Teknikleri görüntülerdeki piksellerin gri düzey değerleri ile doğrudan ilgilidir. Temel fikir iki görüntü parçasının (ilişki penceresinin) karşılaştırılmasıdır. Bunun için her iki parçanın gri düzey değerleri karşılaştırılır. En önemli alana dayalı Görüntü Eşleştirme yöntemleri Çapraz Korelasyon ve En Küçük Kareler Görüntü Eşleştirmesidir, (Gruen, 1998).

4.3.1. Çapraz Korelasyon Eşleştirme Yöntemi(Cross-Correlation Matching)

Çapraz Korelasyon 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 gelen bir araştırma bölgesi (arama penceresi) üzerinde piksel piksel araştırılarak bulunur, (Gruen, 1998).

Çalışma kapsamı içerisinde geliştirilen yazılımda Çapraz Korelasyon yöntemiyle eşleştirme şu şekilde yapılır. İlk önce görüntü üzerinde eşleştirme yapacağımız noktayı seçmemiz gerekir. Görüntü üzerinde daha hassas işaretleme için imlecin gezdiği alan bir başka pencerede büyütülerek gösterilmiştir. Sonrasında seçtiğimiz nokta merkez olmak üzere $(2n+1) \times (2n+1)$ piksellik bir dörtgen çizilir. Sağ görüntüde bu noktanın yaklaşık olarak bulunduğu bir alan $(2m+1) \times (2m+1)$ piksellik bir arama penceresi çizilir. Sağ görüntüdeki arama penceresi içindeki gri değerler, sol görüntüdeki seçilen noktayı merkez alan $(2n+1) \times (2n+1)$ piksellik ilişki penceresi içindeki gri değerler ile aşağıda verilen formülle çapraz korelasyon katsayısı (ρ) hesaplanır. Bu hesaplama sonucunda sol görüntüdeki dörtgene en uygun dörtgen, sağ görüntüdeki korelasyon katsayılarının incelenmesiyle bulunur. Sağ görüntüdeki en yüksek korelasyon değerine sahip dörtgenin merkezindeki piksel, sol görüntüde seçilen noktanın en iyi karşılığı olarak kabul edilir, (Gruen, 1998).



Şekil 4.1. Çapraz Korelasyon İlkesi : Sol görüntüde seçilen ilişki penceresinin sağ görüntüdeki karşılığının, bir arama penceresi içerisinde piksel piksel kaydırılarak maksimum korelasyon değeri ile bulunması

İki parça arasındaki ilişkiyi yüksek bir yaklaşıklıkla bulan, her bir piksel konumunda merkezleştirilmiş veya normalize edilmiş korelasyon katsayısının (ρ) hesaplanması şöyledir.

$$\rho(u,v) = \frac{\sum_{u=-n}^n \sum_{v=-m}^m (f(x+u, y+v) - \bar{f}) \cdot (g(x', y') - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{u=-n}^n \sum_{v=-m}^m (f(x+u, y+v) - \bar{f})^2 \cdot \sum_{u=-n}^n \sum_{v=-m}^m (g(x', y') - \bar{g})^2}} \quad (16)$$

$2n+1, 2m+1$ ilişki penceresi boyutları

f, g sol ve sağ görüntüdeki ilişki pencerelerinin gri değerleri

\bar{f}, \bar{g} sol ve sağ görüntüdeki ilişki pencerelerinin gri değerleri ortalaması

x, y, x', y' sol ve sağ görüntüdeki ilişki penceresi merkezinin piksel koordinatları

u, v sol ve sağ görüntüdeki ilişki penceresi koordinatları

25	45	44	34	38	38	45
60	70	70	30	45	70	70
60	20	20	40	45	70	40
15	15	20	20	15	30	42
20	18	20	15	15	25	20

Sol Görüntü

120	130	140	130	170	150	145
110	115	120	125	130	145	150
120	150	140	130	145	150	140
125	115	120	120	130	130	145
80	84	85	90	95	100	110

Sağ Görüntü

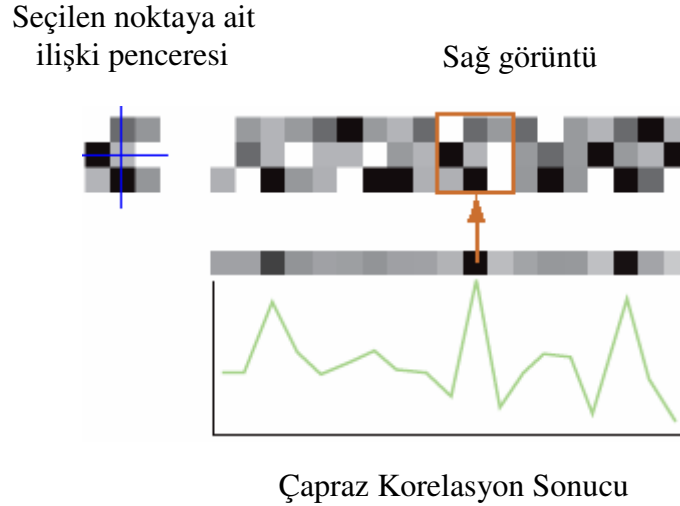
Şekil 4.2. Görüntü Matrisi

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{n-1} (x_i, y_i) = 33.89 \text{ (Sol görüntüdeki ilişki penceresinin gri değerleri ortalaması)}$$

$$\bar{g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{n-1} (x_i, y_i) = 126.11 \text{ (Sol görüntüdeki ilişki penceresinin gri değerleri ortalaması)}$$

$$\rho = \frac{[(70 - 33.89) * (115 - 126.11)] + [(70 - 33.89) * (120 - 126.11)] + \dots}{\sqrt{[(70 - 33.89)^2 * (115 - 126.11)^2] + [(70 - 33.89)^2 * (120 - 126.11)^2] + \dots}}$$

Buna göre seçilen pencerenin korelasyon katsayısı değeri (ρ) = -1.14 gibi bir değer çıkar. Bu değeri sol ve sağ görüntüdeki seçilen pencereler arasında bir ilişkinin olmadığı şeklinde yorumlayabiliriz.



Şekil 4.3. Çapraz Korelasyon sonucu, sol görüntüde seçilen noktanın sağ görüntüde karşılaştırılması sonucunda elde edilen sonuç

Çapraz Korelasyon Yönteminin anlaşılması basit, gerçekleştirilmesi kolay ve hesabı hızlıdır. Çapraz Korelasyon yönteminin dezavantajı; ilişki pencereleri arasında yalnızca iki değişim parametresine izin vermesidir. Dönüklükler, ölçek ve diğer deformasyonlar (radyometrik bozulmalar vb.) hesaba katılmaz. Bir görüntüde verilen bir nokta bu nedenlerden dolayı diğer görüntüde bulunmayabilir. Bu nedenle Çapraz Korelasyon metodunda küçük boyutlu pencereler, stereo ve ortofoto görüntülerde kullanılmalıdır, (Gruen, 1998).

4.3.2. En Küçük Kareler Eşleştirme Metodu (Adaptive Least Squares Matching)

En Küçük Kareler Görüntü Eşleştirme Metodu esneklik ve duyarlılık yönünden oldukça etkili bir metottur ve halen pek çok dijital fotogrametrik eşleştirme görevinde kullanılmaktadır.

En Küçük Kareler Metodunda, Çapraz Korelasyon yönteminde olduğu gibi yine görüntülerin $f(x,y)$ ve $g(x,y)$ gri düzey değerleri kullanılır. Fakat; her bir piksel konumunda korelasyon katsayısını bulmak yerine; en küçük kareler dengelemesini kullanarak eşleştirme pencereleri arasındaki $f(x,y)$ ve $g(x,y)$ arasındaki gri düzey değeri farklılıklarının minimum olacak şekilde ayarlanması amaçlanır. Bunun için sol görüntüde seçilen pencerenin sağ görüntüdeki yaklaşık yeri bilinmelidir. İlk dengelemeden elde edilen kesin değerler bir sonraki dengelemede yaklaşık değerler olarak kabul edilir ve dengeleme bu şekilde belli bir inceliğe erişinceye kadar devam eder, (Gruen, 1985)

Sol görüntüde seçilen $f(x,y)$ gri değerli pencereyle bu noktanın sağ görüntüdeki gerçek karşılığı olduğu varsayılan $g(x,y)$ gri değerli pencere arasında tam bir eşleştirmenin sağlandığı durumda teorik olarak;

$$f(x,y) = g(x,y). \quad (17)$$

olmalıdır.

Ancak bu iki görüntü içerisindeki geometrik ve radyometrik değişimler göz önüne alınırsa bu eşitlik sağlanamaz.

Bundan dolayı yukarıdaki eşitliğe bir hata vektörü eklenir.

$$f(x,y) - g(x,y) = e(x,y). \quad \text{ye da} \quad f(x,y) - e(x,y) = g(x,y). \quad (18)$$

olur.

Burada $g(x,y)$ fonksiyonunun yeri bir şekilde bulunmalıdır. Genellikle afin dönüşümü veya Çapraz Korelasyon yöntemi kullanılır. Hedef pencerenin yaklaşık konumu $g^{ol}(x,y)$ ile gösterilir. Bu eşitlik doğrusal değildir. En iyi eşleştirme noktasının, $e(x,y)$ hatalarını minimum yapan nokta olması gerektiği düşüncesi ile $e^t e = mil$ şartını sağlayan en küçük kareler dengelemesi için doğrusal olmayan denklemlere yaklaşık değerler verilir ve Taylor serisine açılarak doğrusallaştırılır;

$$f(x, y) - e(x, y) = g^o(x, y) + \frac{\partial g^o(x, y)}{\partial x} dx + \frac{\partial g^o(x, y)}{\partial y} dy. \quad (19)$$

denklemleri elde edilir.

$e(x,y)$ gri değerler arasındaki gerçek hata vektörü.

$f(x,y)$ sol görüntüdeki ilişki penceresinin gri değerleri.

$g^{ol}(x,y)$ sağ görüntüdeki ilişki penceresinin gri değerleri.

$$dx = \frac{\partial x}{\partial p_i} dp_i$$

$$p_{ik} = i. \text{ dönüşüm parametresi} \quad (20)$$

$$dy = \frac{\partial y}{\partial p_i} dp_i$$

Son eşitliği açıkça belirtmek gerekirse;

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & 0 \end{bmatrix},$$

(21)

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & 0 \end{bmatrix}.$$

Buradan afin dönüşüm denklemleri;

$$x_1 = a_{11} + a_{12}x_2 + a_{21}y_2,$$

$$y_1 = b_{11} + b_{12}x_2 + b_{21}y_2.$$

(22)

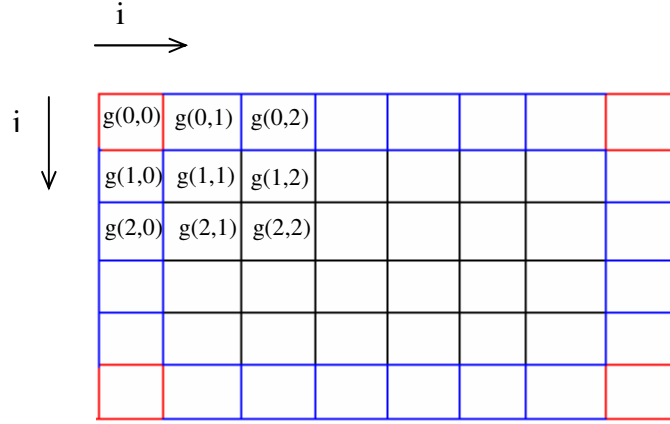
olur. Bu denklemin türevi alınırsa;

$$dx = da_{11} + da_{12}x_2^o + da_{21}y_2^o,$$

(23)

$$dy = db_{11} + db_{12}x_2^o + db_{21}y_2^o.$$

Aşağıda sağ görüntüdeki ilişki penceresinde yer alan piksellerin konumlarına göre (kenar, köşe) gri değerlerinin merkezi farklar ve ortalama farklar yöntemi ile x ve y ' ye göre türevlerinin alınışı görüntü matrisi üzerinde örnekle açıklanmıştır.



Şekil 4.4. Görüntü matrisi üzerinde türev alınışı

Sol üst köşe pikselinin x ve y yönündeki türevleri ; $x(0,0) = g(0,1) - g(0,0)$,

$$g_y(0,0) = g(1,0) - g(0,0).$$

Sol kenar pikselinin x ve y yönündeki türevleri ; $g_x(1,0) = g(1,1) - g(1,0)$,

$$g_y(1,0) = g(1,1) - g(1,0).$$

Orta piksellerin x ve y yönündeki türevleri ;

$$g_x(1,1) = (g(1,2) - g(1,0)) * 0.5$$

$$g_y(1,1) = (g(2,1) - g(0,1)) * 0.5$$

(19) eşitliğinde (23) eşitlikleri ve bir de radyometrik değişim parametreleri (r_s = doğrusal kontrast öteleme parametresi , r_t = kontrast germe parametresi) eklenirse denklem;

$$f(x, y) - e(x, y) = g^o(x, y) + g_x da_{11} + g_x x^o da_{12} + g_x y^o da_{21} \quad (24)$$

$$+ g_y db_{11} + g_y x^o db_{12} + g_y y^o db_{21} + dr_s + dr_t g^o(x, y)$$

şeklinde elde edilir.

Burada;

$$g_x = \frac{\partial g^o(x, y)}{\partial x} \quad g_y = \frac{\partial g^o(x, y)}{\partial y} \quad (25)$$

olarak kısaltılmıştır. (24) eşitliğindeki x bilinmeyen vektörü;

$$x^T = \{da_{11}, da_{12}, da_{21}, db_{11}, db_{12}, db_{21}, r_s, r_t\}, \quad (26)$$

olarak gösterilir.

Buradan A katsayılar matrisi, $(f(x, y) - g^o(x, y))$ düzeltme vektörü ve $e (e(x, y))$ gerçek hata vektörünü klasik matris gösterimi ile ifade edersek;

$$I - e = Ax \quad (27)$$

Ümit değeri $E\{. \}$;

$$E\{e\} = 0, \quad E\{ee^T\} = \sigma_o^2 . P^{-1} \quad (28)$$

(27) ve (28) deki eşitliklerde ifade edilen Gauss-Markow modelinde bilinmeyenler;

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P l, \quad (29)$$

denklemiyle çözülür. Burada $P=I$ kabul edilmiştir. Dengelemenin duyarlılığı m_0 birim ölçünün karesel ortalama hatası ;

$$m_0^2 = \frac{1}{r} V^T P V, \quad (30)$$

ile ifade edilir.

Burada ;

$$r = n - u;$$

r fazla ölçü sayısı

u dönüşüm parametrelerinin sayısı

n gözlem sayısı (dörtgendeki piksel sayısı)

Dengeleme sonucu elde edilen m_0 değeri radyometrik değerlere bağlı olduğu için eşleştirmenin geometrik hassasiyeti hakkında bilgi vermez.

x vektörüyle elde edilen bilinmeyenler, dx ve dy değerlerinden elde edilir ve sol görüntüdeki noktanın karşılığı;

$$x = x^o + dx$$

$$y = y^o + dy \quad (31)$$

ile bulunur.

En Küçük Kareler Görüntü Eşleştirmesi, veri eşleştirme problemlerinin tüm çeşitleri için çok güçlü bir tekniktir. İki parçadan oluşan bir fonksiyonel model içerir. Birincisi geometrik bozulmaları düzeltir. Diğeri ise radyometrik bozulmaları düzeltir. En Küçük Kareler Görüntü Eşleştirme Yönteminin dezavantajı (18) eşitliğinin doğrusallaştırılmasında ortaya çıkar. Burada iki sorun vardır. Birincisi bilinmeyenler için yaklaşık değerler problemi, diğeri dengelemede kullanılacak iterasyon sayısıdır. Bu problemler için çeşitli çözümler yolları mevcuttur. Örneğin eşleştirmeden önce görüntü, önışleme işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemde görüntüye texture (doku) projekte ederek görüntünün bazı özellikleri zenginleştirilirken diğeri bastırılır. Başka bir çözüm de yaklaşık değer hesabı için bazı tekniklerin kullanılmasıdır.

En Küçük Kareler Görüntü Eşleştirme Metodu uyusumlu (adaptive) olarak bilinir, çünkü hedef pencerenin boyutu ve radyometrik değerler her iterasyonda yeniden hesaplanır.

5. PROGRAM VE UYGULAMA

5.1. Program Hakkında Genel Bilgi

Tez kapsamında hazırlanan TERR 1.0 yazılımı, tez içerisinde anlatılan konuların uygulanabilmesi ve sonuçların irdelenmesi ayrıca akademik araştırmalar için test ve araştırma amaçlı geliştirilmiştir. Yazılım, tez konusunu oluşturan; Alana Dayalı Görüntü Eşleştirme Teknikleri, Sayısal Arazi Modeli Üretimi ve ileriki çalışmalarda yardımcı olabilecek bazı temel görüntü işleme fonksiyonlarını içermektedir.

TERR 1.0 yazılımı C++ Builder 6.0 platformunda yazılmıştır. C++ Builder 6.0 Borland firmasının patenti altında, 32 bit derleyicisi olan, Windows altında çalışan ve programlar üretebilen güçlü bir uygulama geliştirme aracıdır.

Yazılımın geliştirilmesinde AMD 1.84 Ghz işlemci, 256 Mb RAM, 128 Mb ekran kartı ve 60 Gb hafızalı bir pc kullanılmıştır.

5.2. TERR 1.0 Yazılımının Menüleri

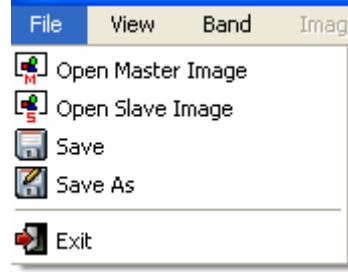
Terr 1.0; File, View, Band, Image, Matching, Transformations, Enhancement ve Help menülerinden oluşmaktadır. Ayrıca bazı uygulamalarda hızlı erişim için düğmeler (icon) yerleştirilmiştir. (Şekil 5.1.)



Şekil 5.1. Program Menüleri

5.2.1. File (Dosya) Menüsü

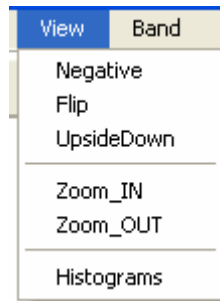
File menüsü çoğu grafik tabanlı programlarda yer alan seçeneklerden oluşur. Eşleştirme için sol görüntüyü açma seçeneği “Open Master Image” ve sağ görüntüyü açma seçeneği “Open Slave Image” seçeneği .bmp uzantılı 24 bitlik RGB görüntülerini açmaktadır. Bölüm 2’ de anlatıldığı gibi R, G, B bandlarını ayrı ayrı dizilerde kaydetmektedir. “Save” ve “Save As” seçeneği yine aynı şekilde sonuç görüntüleri .bmp uzantılı dosyalara kaydetmektedir. “Exit” seçeneği programı kapatmaktadır. (Şekil 5.2.)



Şekil 5.2. File Menüsü

5.2.2. View Menüsü

View menüsünde görüntüler üzerinde görsel amaçlı bazı işlemler mevcuttur. (Şekil 5.3.)



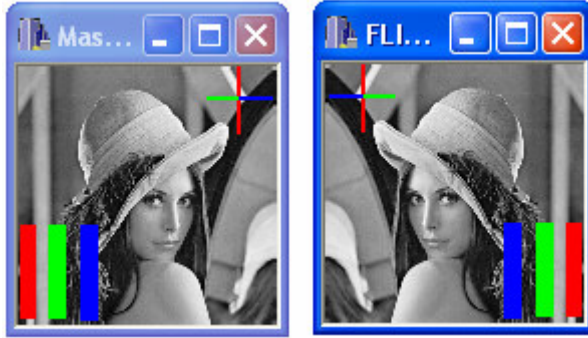
Şekil 5.3. View Menüsü

“Negative” seçeneği görüntünün negatifini (tersini) alır.



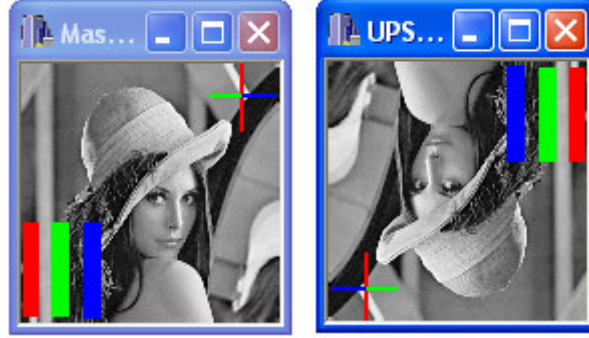
Şekil 5.4. Negatifi alınmış görüntü

“Flip” seçeneği görüntüyü sağa veya sola döndürür.



Şekil 5.5. Sola döndürülmüş görüntü

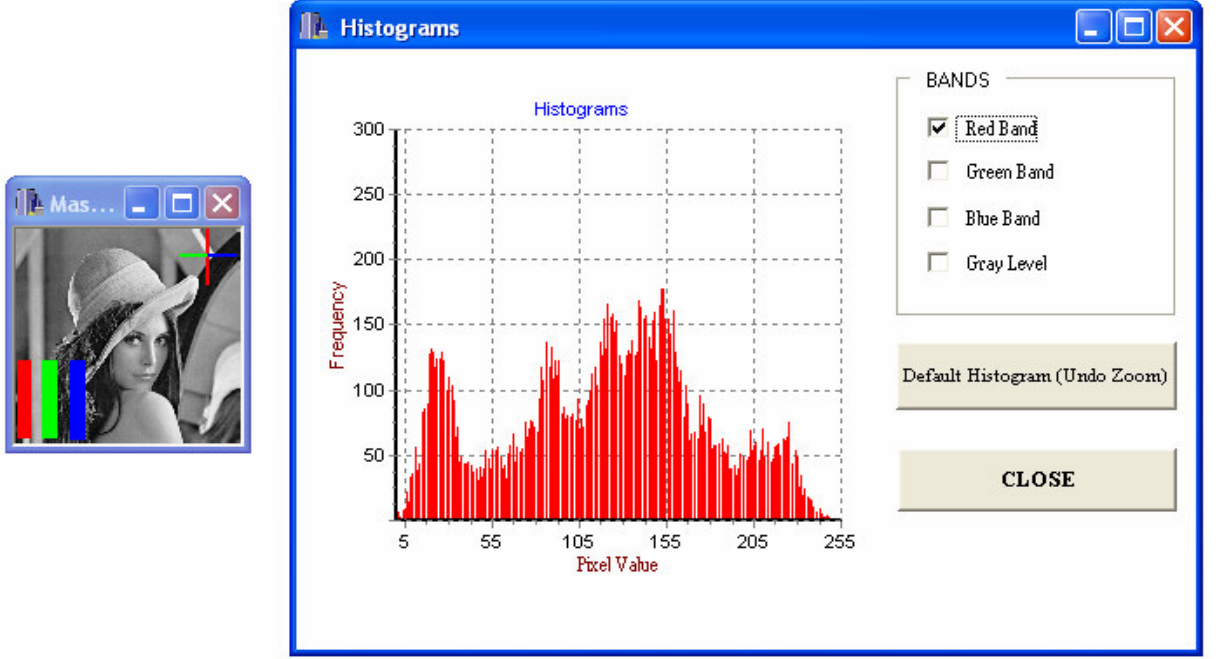
“UpsideDown” seçeneği görüntüyü yukarı veya aşağı döndürür.



Şekil 5.6. Aşağı döndürülmüş görüntü

“Zoom_In” ve “Zoom_Out” seçeneği çoğu grafik uygulamalarında bulunan, görüntüyü büyütüp küçültmeye yarayan bir seçenektir.

“Histograms” seçeneği, görüntünün R, G, B ve gri düzeyde ayrı ayrı histogramlarını görüntüler. Ayrıca histogram grafiği üzerine mouse ile zoom da yapılabilir. (Şekil 5.7.)



Şekil 5.7. Görüntünün histogramı (Red bandı)

5.2.3. Band Menüsü

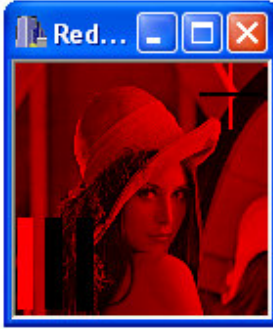
Band menüsünde görüntülerin bandları üzerinde işlem yapmaya yarayan seçenekler mevcuttur. İster tek band üzerinden ister birden çok bandın kombinasyonundan elde edilen görüntüler üzerinde işlem yapmaya olanak tanır. Buradaki seçenekler daha çok uzaktan algılama uygulamalarında yardımcı olmak üzere konulmuştur. (Şekil 5.8.)



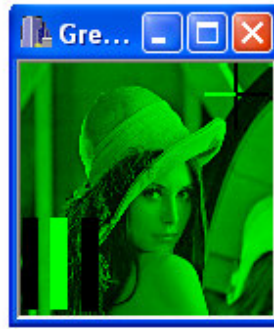
Şekil 5.8. Band Menüsü



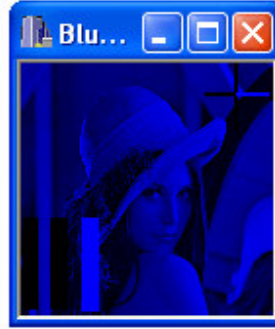
(a)



(b)



(c)



(d)



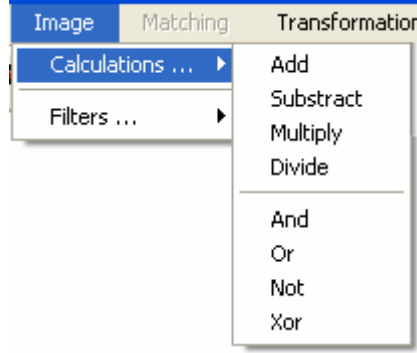
(e)

Şekil 5.9. Görüntünün farklı bandlarda elde edilmesi

a.) Orijinal Görüntü, b.) Red Band, c.) Green Band, d.) Blue Band, e.) Gray Level

5.2.4. Image Menüsü

Image menüsü iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm "Calculations" görüntüler üzerindeki temel matematiksel ve mantıksal işlemlerden oluşur. İkinci bölüm "Filters" ise görüntüler üzerinde kenar arama ve gürültüleri temizleme süzgeçleri yer alır. (Şekil 5.10)



Şekil 5.10. Image Menüsü

“Calculations” menüsü görüntüle üzerinde matematiksel işlemler (Add, Subtract, Multiply, Divide) ve mantıksal işlemlerden (And, Or, Not, Xor) oluşur.

“Add” (Toplama) seçeneğinde, her iki görüntüde karşılık gelen pikseller toplanır. Sonucun 255’ den büyük olması durumunda piksel değeri 255’ e eşitlenir. Görüntünün toplama işlemi, iki ayrı görüntüdeki bilgilerin birleştirilmesi için kullanılır, (Doğan).



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.11. Görüntü Ekleme

a.) , b.) Orijinal Görüntüler, c.) Sonuç Görüntü

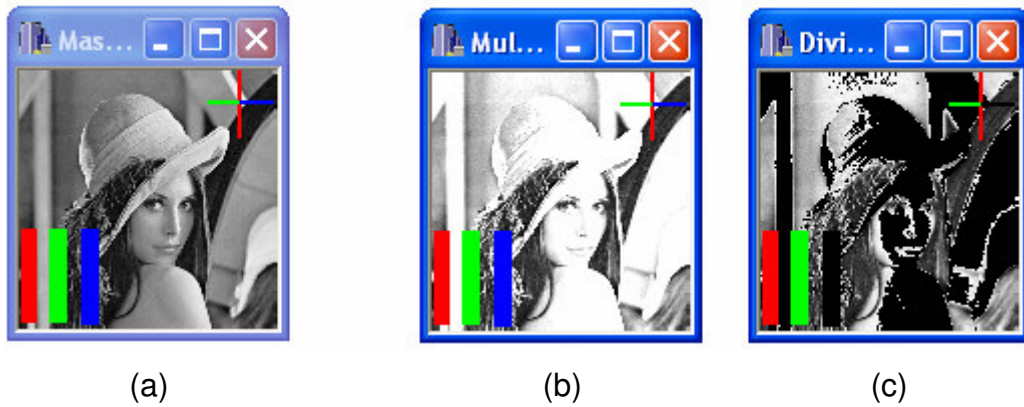
“Substract” (Çıkarma) seçeneği, toplama işlemine benzer biçimde her iki görüntüde karşılık gelen piksellerin farkı alınır. Sonucun negatif olması durumunda piksel değeri 0’ a eşitlenir veya mutlak değeri alınır. Görüntü çıkarma işlemleri, daha çok hareketli görüntülerde, görüntü farklılıklarını belirlemek için kullanılır, (Doğan).



Şekil 5.12. Görüntü Çıkarma

a.) , b.) Orijinal Görüntüler, c.) Sonuç Görüntü

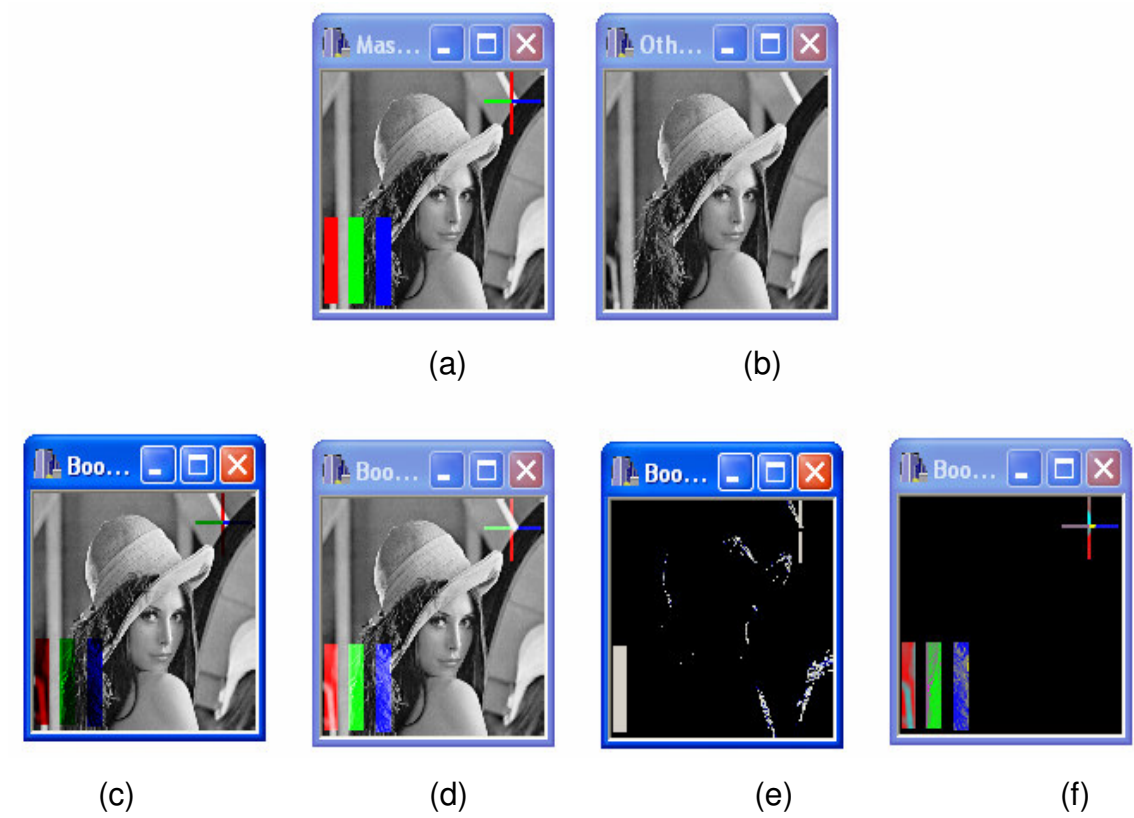
“Multiply” (Çarpma) ve “Divide” (Bölme) seçenekleri, görüntüyü sabit bir sayıyla çarpmaya veya bölmeye yarar. Çarpma işlemi ile görüntünün daha açık, bölme işlemi ise daha koyu olmasını sağlar. (Şekil 5.13.)



Şekil 5.13. Sabit bir sayıya bölünmüş görüntü, a.) Orijinal Görüntü, b.) 2 ile çarpılmış görüntü, c.) 2’ ye bölünmüş görüntü

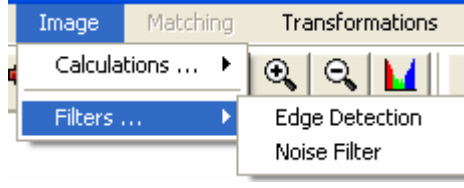
Mantıksal işlemler bit düzeyinde yapılan AND, OR ve NOT işlemleridir. Bunların farklı kombinasyonları ile XOR, NOR ve NAND işlemleri de kolayca elde edilebilir. Mantıksal işlemler daha çok hareketli görüntülerin bilgisayarla simülasyonu için kullanılır.

“And” ve “Or” işlemleri iki görüntüdeki bilgileri birleştirmek için kullanılır. (Şekil 5.14.)



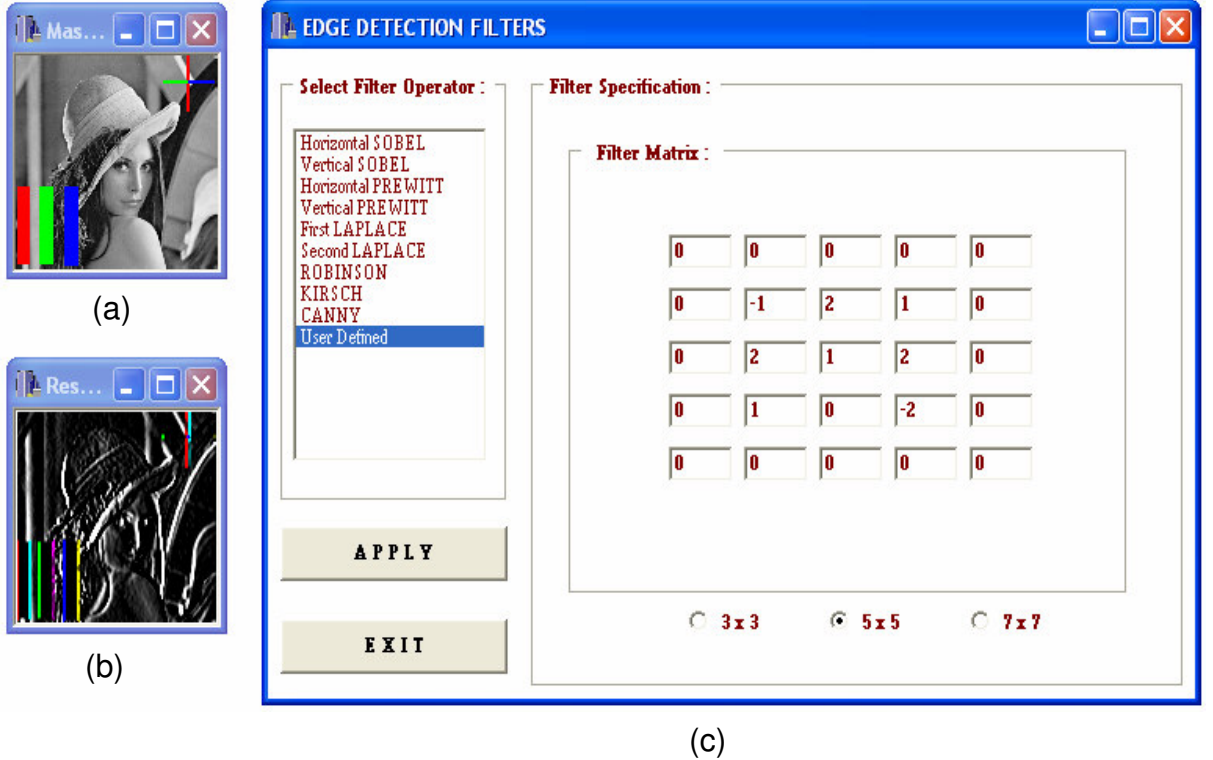
Şekil 5.14. Mantıksal Görüntü İşlemleri, a.) ve b.) Orijinal Görüntüler, c.) AND işlemi uygulanmış görüntü, d.) OR işlemi uygulanmış görüntü, e.) NOT işlemi uygulanmış görüntü, f.) XOR işlemi uygulanmış görüntü

Image menüsünün ikinci bölümünü oluşturan “Filters”, görüntüler üzerinde kenar arama ve gürültüleri temizleme süzgeçlerinden oluşur. (Şekil 5.15.)



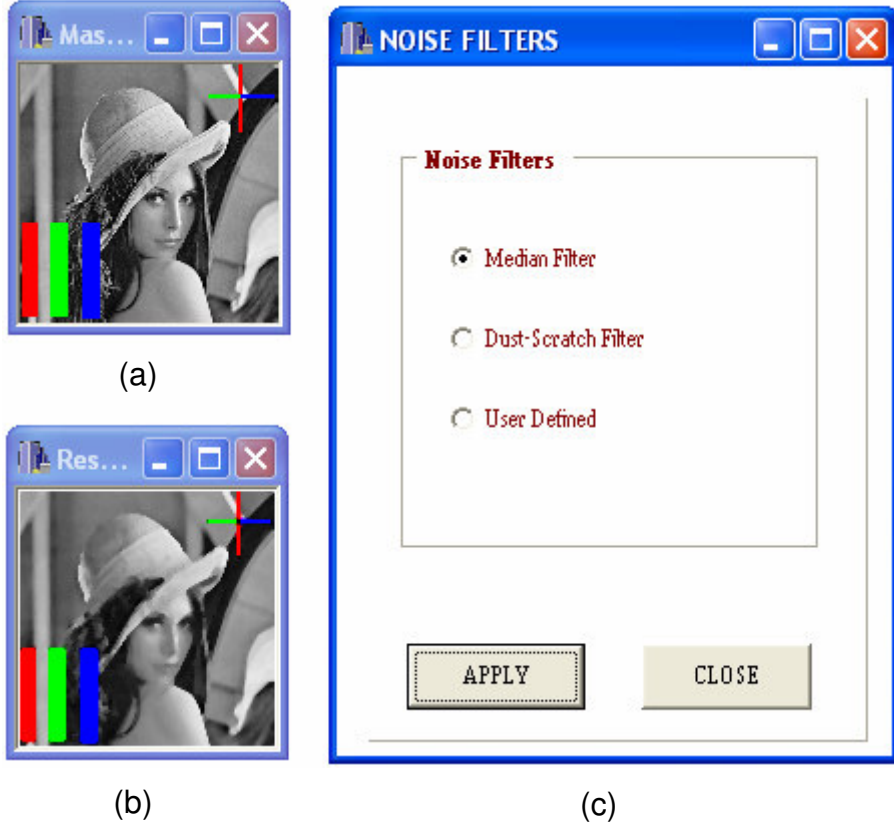
Şekil 5.15. Filters Menüsü

“Edge Detection” seçeneği, görüntüden kenar ve doğruların aranması için gereken bir çok çeşit arama operatörlerini içerir. Bunların çoğu konvolüsyon maskeleriyle uygulanır ve diferansiyel işlemlerdir. Bilinen kenar arama operatörlerinin yanı sıra kullanıcı tanımlı operatörlerde yazılıma dahil edilmiştir. (Şekil 5.16) Kenar arama süzgeçleri tez konusu dışında olduğu için ayrıntıya girilmeyecektir. Bu süzgeçler daha ileriki uygulamalar için TERR 1.0’ a dahil edilmiştir.



Şekil 5.16. Kenar arama süzgeçleri, a.) Orijinal Görüntü, b.) Yatay yönde Sobel süzgeci uygulanmış görüntü, c.) “Edge Detection Filters” grafik arayüzü

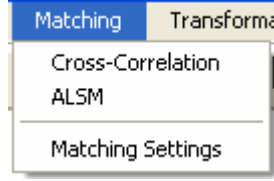
“Noise Filter” seçeneği, görüntülerdeki gürültüleri ayıklamada kullanılan süzgeçleri içerir. (Şekil 5.17.)



Şekil 5.17. Gürültü Temizleme Süzgeçleri, a.) Orjinal görüntü, b.) Median süzgeç uygulanmış görüntü, c.) “Noise Filter” arayüzü

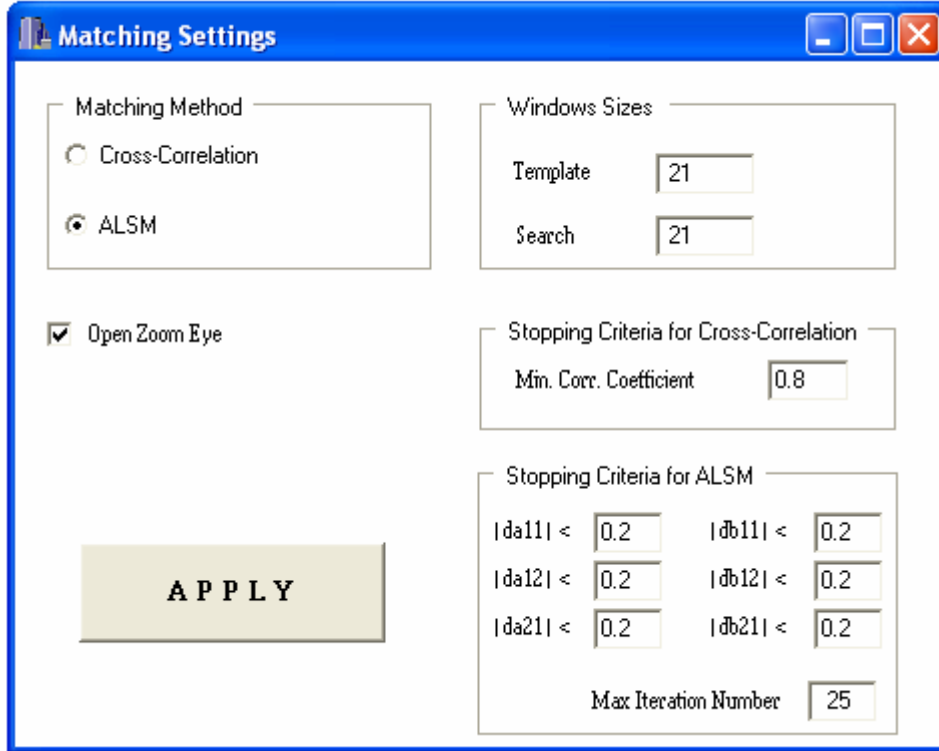
5.2.5. Matching (Eşleştirme) Menüsü

Matching menüsü tezin ana çatısını oluşturmaktadır.(Şekil 5.18.) Menüde üç seçenek bulunmaktadır. Alana Dayalı Görüntü Eşleştirme Yöntemleri “Cross-Correlation”, “ALSM” ve bu iki seçeneğin ayarlarından oluşan “Matching Settings” seçeneklerinden oluşur.



Şekil 5.18. Matching Menüsü

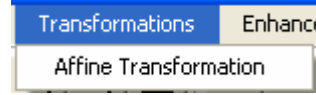
Eşleştirme yöntemlerini ayrı ayrı seçeneklerde uygulanabileceği gibi “Matching Settings” grafik arayüzünü kullanarak bu yöntemler kullanıcının tanımlayabileceği parametrelere göre uygulanabilir.



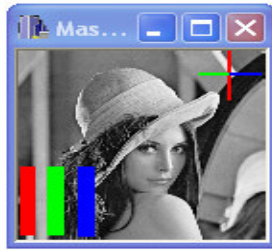
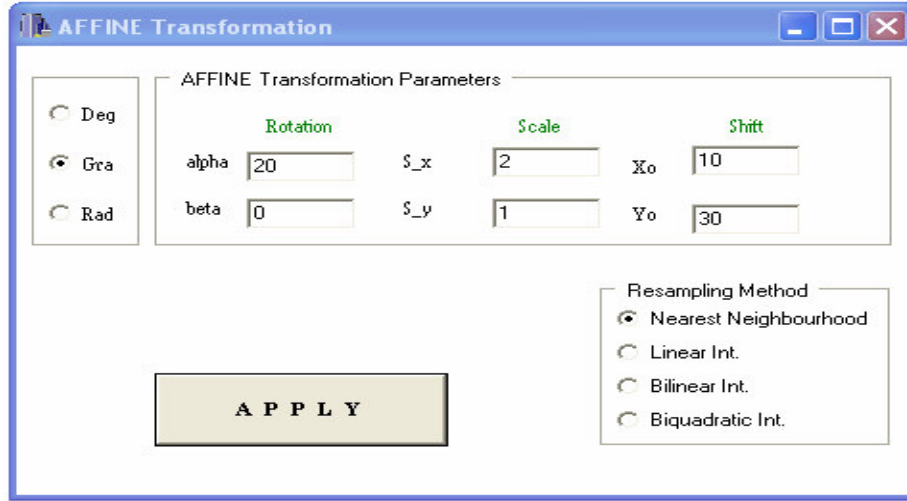
Şekil 5.19. Eşleştirme Ayarları grafik arayüzü

5.2.6. Transformations (Dönüşümler) Menüsü

Görüntü işleme uygulamalarının temelini oluşturan geometrik dönüşümler bu menüde sadece afin dönüşümü uygulanarak ele alınmıştır. İleriki uygulamalarda diğer geometrik dönüşümler yazılıma eklenecektir.

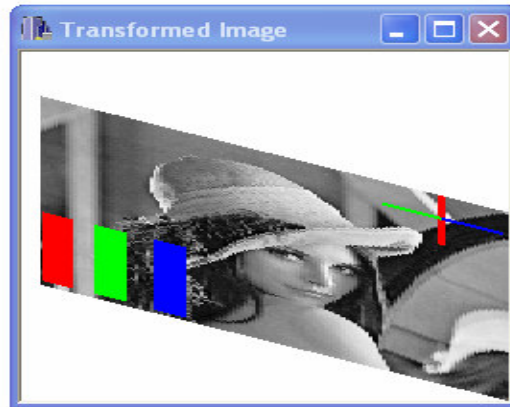


Şekil 5.20. Transformations Menüsü



(b)

(a)

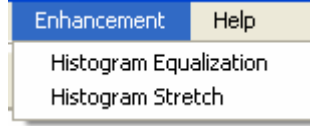


(c)

Şekil 5.21. a.) Afin Dönüşümü grafik arayüzü, b.) Orjinal görüntü, c.) Dönüştürülmüş görüntü

5.2.7. Enhancement Menüsü

Bu menüde ileriki uygulamalar için kullanılacak histogram analiz tekniklerinden “Histogram Equalization” ve “Histogram Stretch” seçeneklerinde yer verilmiştir. Histogram Equalization (Histogram Eşitleme) ile orijinal görüntünün histogramı eşitlenerek görüntünün parlaklığı değiştirilir. Histogram Stretch (Histogram Germe) ise,orijinal görüntüde belli bir aralıkta toplanmış histogramdaki gri düzey değerlerinin arası açılarak parlaklık değeri değiştirilir.



Şekil 5.22. Enhancement Menüsü



Şekil 5.23. Histogramı eşitlenmiş görüntü



Şekil 5.24. Histogramı gerilmiş görüntü

5.3. Uygulama

Bu bölümde önceki bölümlerde anlatılan konuların tez kapsamında geliştirilen yazılım yardımıyla bir uygulaması yapılmıştır.

5.3.1. Uygulamanın Amacı

Bu uygulamada temel amaç, DTM oluşturmak için fotoğraflardan ölçülmesi gereken noktaların koordinatlarının yarı otomatik olarak ölçülmesini sağlamaktır.

Ancak elimizde imkansızlıklardan dolayı stereo hava fotoğrafı çifti bulunmamaktadır. Bulunduğu takdirde geliştirilen yazılım bu işi yapacak niteliktedir.

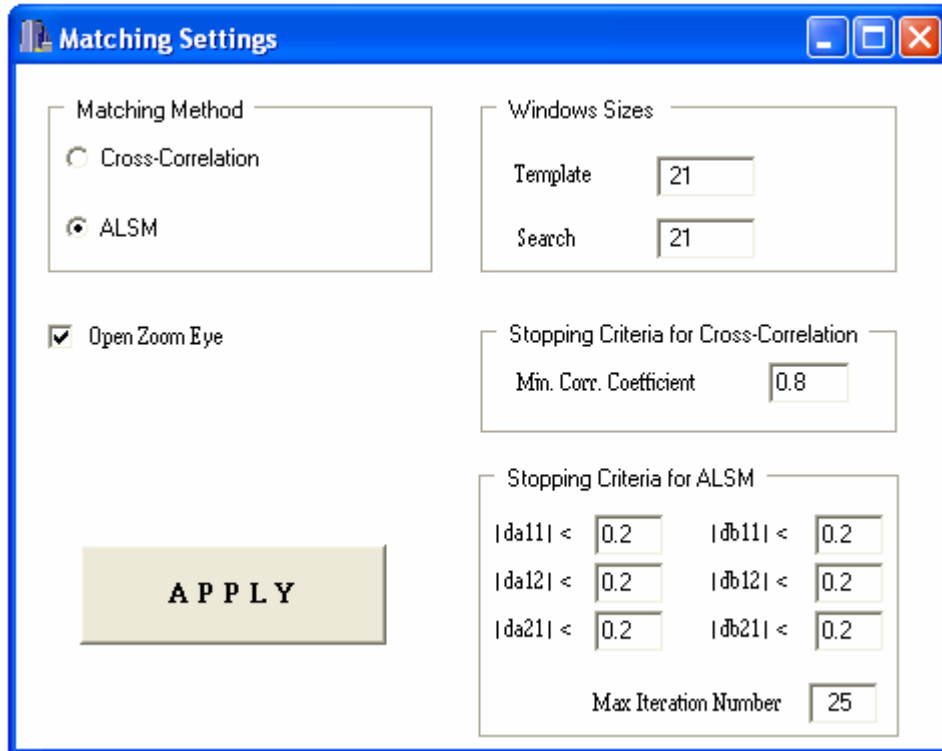
Kullanılacak görüntüler, ETH, Zürih Jeodezi ve Fotogrametri Enstitüsünden elde edilmiştir. Sony DSC-F505 Cybershot Dijital kamera ile elde edilmiştir. Çekilen görüntüler ETH' da bir test alanının stereo görüntüsüdür. Test alanı üzerinde 41 adet kontrol noktası bulunmaktadır.

5.3.2. Görüntüler Üzerinden Koordinatların Ölçülmesi

Görüntüler aynı manzarayı tanımlayan iki resim olarak (Master Image, Slave Image) File (Open) menüsünden açılır.

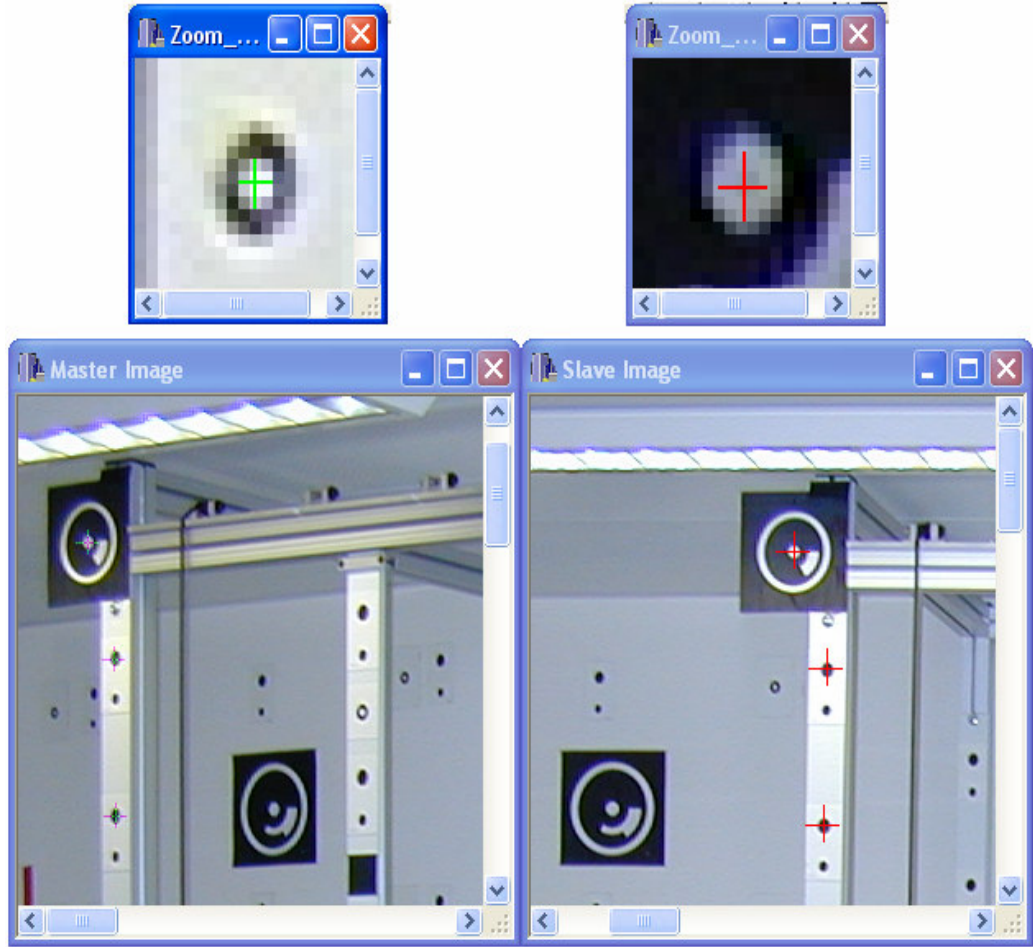
Görüntüler açıldıktan sonra koordinat ölçümünü yapabilmek için ilk önce "Matching" menüsü, "Matching Settings" seçeneğinden eşleştirme yöntemlerinden birini seçmemiz gerekir.

Şekil 5.25.'deki ekranda Alana Dayalı Eşleştirme Yöntemlerinden Cross-Correlation ve ALSM mevcuttur. Cross-Correlation' u seçtiğimiz takdirde durdurma kriteri olan minimum korelasyon katsayı değerini belirtmemiz gerekiyor. Eğer ALSM' yi seçersek durdurma kriteri olarak iki farklı seçenek mevcut. Bunlardan ilki ALSM' deki fonksiyonel modelin ilk parçası olan geometrik eşitlikteki bilinmeyen parametrelerin minimum büyüklüğü, ikincisi ise dengelemedeki maksimum iterasyon sayısıdır.



Şekil 5.25. Eşleştirme ayarları ekranı

Görüntü üzerinden koordinat ölçmek görüntünün büyüklüğü yüzünden kolay olmayabilir. Bu yüzden görüntünün belirli bir parçasını başka bir ekranda görebileceğimiz bir seçenek dahil edilmiştir. Bunun için Şekil 5.25. deki Open Zoom Eye kutucuğunun işaretli olması gerekir.



Şekil 5.26. Zoom Eye seçeneği ile koordinat ölçümü

Sonrasında koordinatını ölçmek istediğimiz noktayı birinci görüntüden mouse yardımıyla işaretleriz. Yine aynı noktayı bu sefer ikinci görüntüde

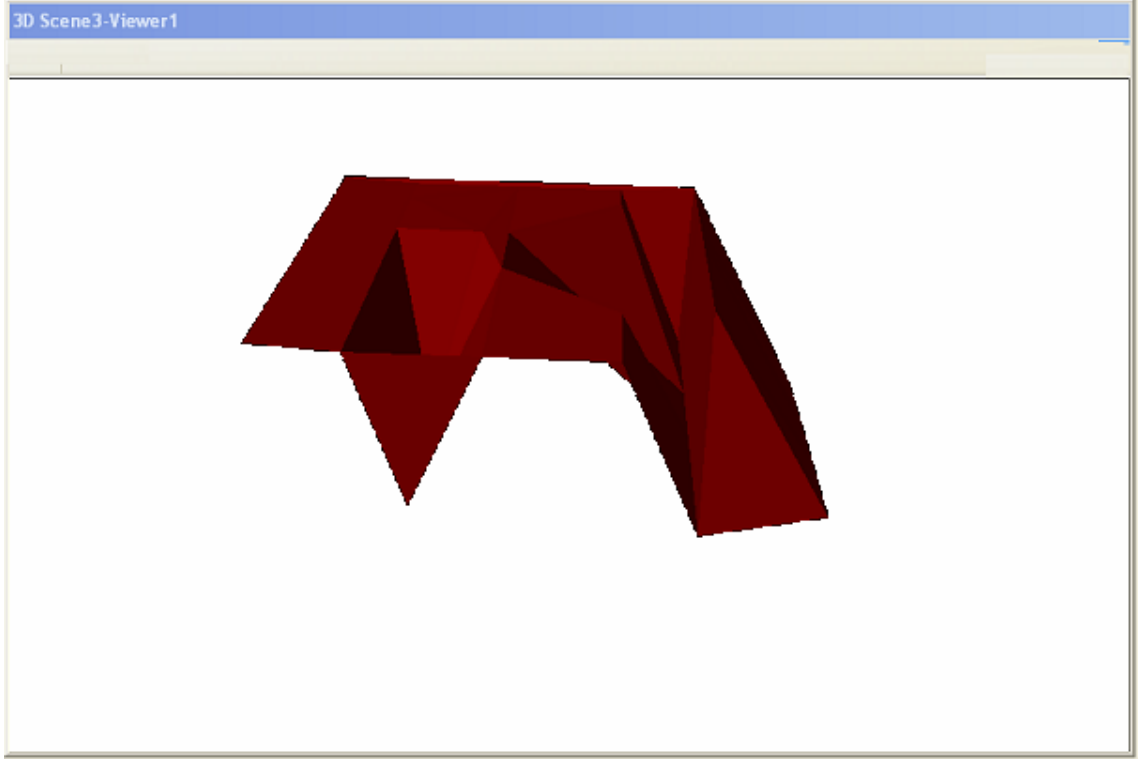
yaklaşık olarak işaretleriz. Karşımıza nokta koordinatlarını veren aşağıdaki ekran çıkar. Nokta koordinatlarını ayrıca bir dosyaya saklamak için “Save” seçeneği mevcuttur.



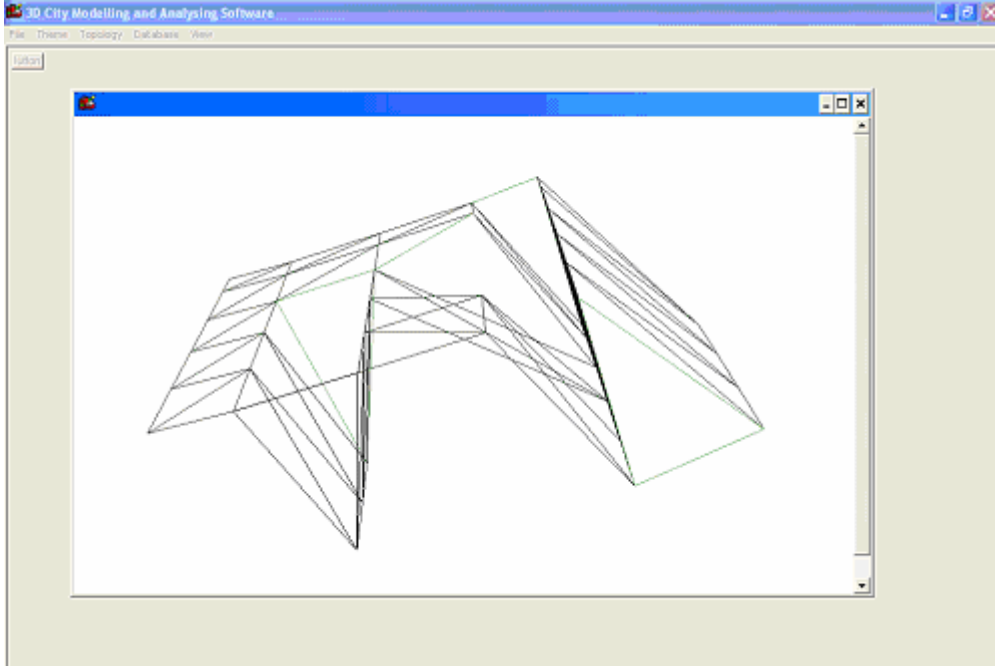
Şekil 5.27. Koordinat ölçüm ekranı

5.3.3. SAM Modelinin 3 Boyutlu Gösterimi

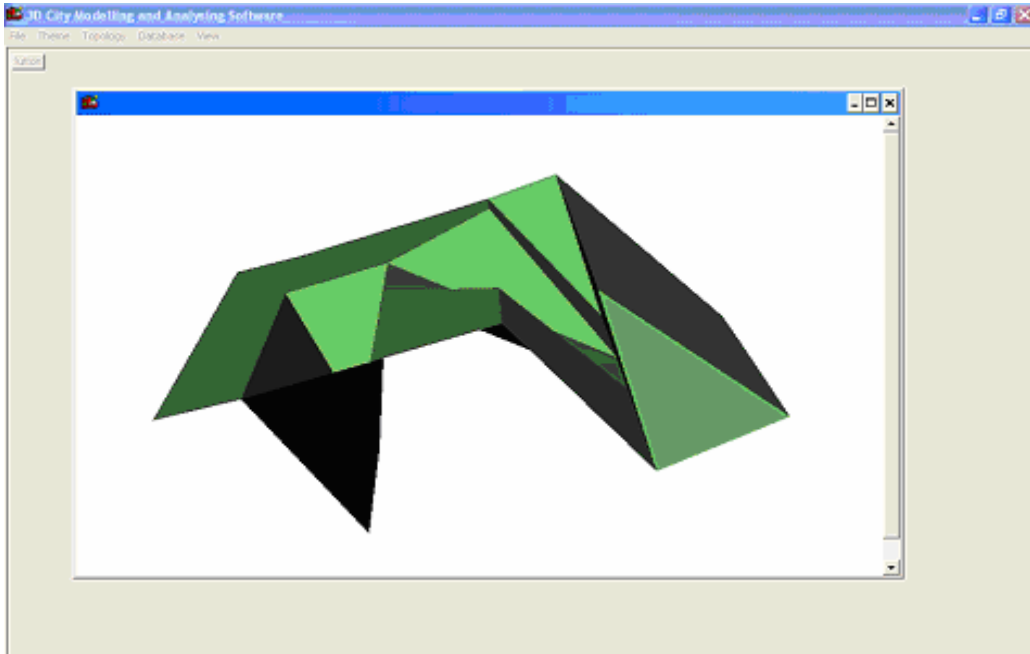
Elde edilen  boyutlu nesne koordinatlarından ArcView 3D ve 3D CITY VAQS (Dogan, Dogan, Altan, 2004) programlar yardımıyla oluşturulan 3 boyutlu modeller Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’ da karşılaştırılabilir.



Şekil 5.28. ArcView 3D ile oluşturulan model



Şekil 5.29. 3D CITY VAQS Wireframe (Dogan, Dogan, Altan, 2004) tarafından geliştirilen sistemle oluşturulmuştur.



Şekil 5.30. 3D CITY VAQS ile oluşturulan Solid (katı) model

5.3.4. İstatistiki Sonuçlar

Görüntü eşleştirme ve DTM üretiminde 3 ana kriter kullanılır. Duyarlık, doğruluk ve güvenilirlik.

Duyarlık, en küçük kareler dengelemesiyle hesaplanan parametrelerin istatistiksel değişkenliğini tanımlar. Nesne koordinatlarının standart sapması, $q_{X_i X_i}$, $q_{Y_i Y_i}$ ve $q_{Z_i Z_i}$, normal denklemler matrisinin tersinde (N^{-1}) bilinmeyenlere karşılık gelen köşegen elemanları olmak üzere;

$$\sigma_{X_i} = \sigma_0 \cdot \sqrt{q_{X_i X_i}} \quad , \quad \sigma_{Y_i} = \sigma_0 \cdot \sqrt{q_{Y_i Y_i}} \quad , \quad \sigma_{Z_i} = \sigma_0 \cdot \sqrt{q_{Z_i Z_i}} \quad (32)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir (Beyer, 1991).

Q bilinmeyenlerin, Q_{II} dengeli ölçülerin ve Q_{VV} düzeltmelerin ters ağırlık matrisleri şu şekilde hesaplanır, (Bektaş, 2002) ;

$$Q = N^{-1} = (A^T P A)^{-1}$$

$$Q_{\text{II}} = A Q A^T \quad (33)$$

$$Q_{\text{VV}} = Q_{\text{II}} - Q_{\text{II}}$$

Burada $Q_{\text{II}} = P^{-1}$ olmak üzere ters ağırlık matrisidir. (32) eşitliklerine bağlı olarak bilinmeyenlerin, dengeli ölçülerin ve düzeltmelerin ortalama hataları şu şekilde hesaplanır (Kraus, 1997);

x_i bilinmeyeninin ortalama hatası, Q_{XX} 'den;

$$\sigma_{x_i} = \sigma_0 \sqrt{q_{x_i x_i}}$$

\tilde{I}_i dengeli ölçüsünün ortalama hatası, Q_{II} 'den;

$$\sigma_{\tilde{I}_i} = \sigma_0 \sqrt{q_{\tilde{I}_i \tilde{I}_i}} \quad (34)$$

V_i düzeltmesinin ortalama hatası, Q_{VV} 'den;

$$\sigma_{v_i} = \sigma_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}$$

Point	[Qxx]	mo	mxi = mo*[qxx]1/2
1	1.35165285791159	34.4947528555116	40.103808814282
	9.17650567117721E-6		0.104494084744742
	1.15122237027898E-6		0.0370111558106832
	0.528738326024004		25.0826508931261
	6.91801114744638E-7		0.0286908666168138
	1.61555318809677E-5		0.138648018766335
	1.30728166216082E-6		0.0394400650249421
	0.0806401695713423		9.79554837870996
2	0.263784904021193	18.7159933316825	9.61253315519588
	1.51819087201476E-6		0.0230608902940952
	7.80098371564317E-7		0.0165305600450781
	0.438103309029283		12.3879986258776
	5.05790427785867E-7		0.013310616924742
	3.36887381092981E-6		0.0343522552180339
	1.18579977995165E-6		0.0203806750432549
	0.0576087052413528		4.4921778185281
3	2.81393693049661	24.4418186720197	41.0006458133216

Şekil 5.31. Bilinmeyenlere ait İstatistiki sonuçlar

Doğruluk, hesaplanan parametrelerin gerçek değerlerine ne kadar yakın olduğunu tanımlar. Kalibrasyondan önce, kontrol noktalarından başka “check-point” olarak adlandırılan noktaların nesne koordinatları da ölçülür. Resim koordinatlarından tekrar hesaplanan “check-point” ler gerçek değerleriyle karşılaştırılabilir. Nesne uzayındaki deneysel doğruluk;

$$\mu_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i^r - X_i)^2}{n_{rX}}}, \quad \mu_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i^r - Y_i)^2}{n_{rY}}}, \quad \mu_Z = \sqrt{\frac{\sum (Z_i^r - Z_i)^2}{n_{rZ}}}$$

$$\mu_{XY} = \sqrt{\frac{\mu_X^2 + \mu_Y^2}{2}} \quad (35)$$

olarak hesaplanır. Burada X_i^r , Y_i^r , Z_i^r “check-point” lerin referans koordinatları, X_i , Y_i , Z_i “check-point” lerin hesapla bulunan koordinat değerleri ve n_{rX} , n_{rY} , n_{rZ} , kullanılan “check-point” sayılarıdır .

5.3.5. Model Hatalarının Testi

Model hatalarının testinde yaygın olarak kullanılan tekniklerden birisi “Data Snooping” dir. Kelime anlamı bakımından “veri gözetlemek-yakalamak” anlamına gelmektedir. Ancak veri incelemesi demek daha uygun düşmektedir.

Bu teknik fotogrametri ve jeodezide, dengelemedeki kaba hatalı ölçülerin ayıklanmasında kullanılmaktadır. Veri inceleme, dengelemedeki düzeltmelerin büyüklüğünün istatistiksel testine dayanmaktadır (Rosenholm, 1987).

İteratif (yinelemeli) olarak kullanılan bir tekniktir. Ölçülerde sadece bir tane kaba hatalı ölçü olduğunu varsayar ve her iterasyonda hatalı bir ölçüyü ayıklar (Kraus, 1997).

Bilgisayar programlamaya en uygun tekniktir ve son yıllarda geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Özellikle görüntü eşleştirme tekniklerinde kaba hatalı ölçülerin ayıklanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Normalleştirilmiş düzeltmeler;

$$w_i = \frac{v_i}{\sigma_0 \sqrt{q_{vv}}} \quad (36)$$

şeklinde hesaplanır. Burada w_i normalleştirilmiş düzeltmeler, q_{vv} ise düzeltmelerin ters ağırlık matrisidir. Bir ölçü, normalleştirilmiş düzeltmesi, seçilen kritik bir değeri aştığı zaman dışarı atılır (Rosenholm, 1987).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda Dijital Fotogrametri uygulamalarda büyük önem kazanmaktadır. Bilgisayar dünyasındaki gelişmelere de bağlı olarak uygulamalarda duyulan endişeler ortadan kalkmaktadır. Gelecekte Dijital Fotogrametri bilim ve teknoloji alanında büyük rol oynayacaktır.

Dijital Fotogrametrinin görüntüler üzerinden eşleştirme teknikleri yardımıyla DTM oluşturmaya olanak tanınması büyük bir avantajdır. Ancak; DTM' i oluşturmak için klasik yöntemlerle insan müdahalesine dayanan yüzlerce hatta binlerce noktanın uzun zamanlarda ölçülmesi gerekmektedir. Görüntü Eşleştirme yöntemleri ile bu dezavantaj kısa zamanda ve en az insan müdahalesine dayanan ölçümler ile bir avantaja dönüşmektedir

Tez kapsamı içerisinde geliştirilen yazılımda Görüntü Eşleştirme Teknikleri yardımıyla yarı otomatik olarak DTM oluşturmak amaçlanmıştır. Elimizde imkansızlıklardan dolayı stereo resim çifti bulunamadığından programı test etmek amaçlı yapay görüntüler kullanılmıştır.

Görüntü Eşleştirme; araştırmaya ve geliştirmeye açık bir konudur. Şimdiye kadar tam anlamıyla güvenilir, doğru ve kabul gören teknikler geliştirilememiştir. Çapraz Korelasyon yönteminde; kendi yöntemi gereği hatalar mevcuttur. Bu yöntem her zaman tam ve doğru eşleştirmeyi yapamamaktadır. Gri değer farklılıklarının birbirine çok benzediği veya aynı olduğu durumlarda hatalı eşleştirme yapmaktadır. Doğru bir eşleştirmenin yapılabilmesi için görüntüye, tez kapsamı içerisinde geliştirilen yazılımda mevcut olan ön işleme (süzgeçleme vb.) uygulanabilir. ALSM yöntemi oldukça hassas ve etkili bir yöntemdir ve halen bir çok dijital fotogrametrik eşleştirme görevinde kullanılmaktadır. Ancak ALSM yönteminin de dezavantajı bilinmeyenler için yaklaşık değer hesabı gerektirmesidir. Bunun için çeşitli teknikler mevcuttur.

Tez kapsamında geliştirilen yazılımdan elde edilen sonuçlar tatmin edicidir. Elimizde test görüntüsü olduğu takdirde yazılımın niteliği ortaya çıkacaktır. Yazılımın daha da geliştirilmesi ile daha hassas ve güvenilir sonuçlar elde edilecektir.

KAYNAKLAR

- /1/ **Acharya B. & Chaturverdi A.**, DTM: Elevation Extraction and Accuracy Assessment, Journal of Surveying Engineering, May 1997, v123, n2, pp.71-76
- /2/ **Açıkgöz, R., Doğan, S. ve Banger, G.**, Raster Görüntülerinin Yapısı, Görüntüleme Tekniklerinin Temelleri Ve Bitmap Formatı, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Yayın Organı (Sayı: 86), (1999)
- /3/ **Aydemir, S.**, Sayısal Arazi Modelleri, TUFUAB, s.1-11, (1983)
- /4/ **Bektaş, S.**, Dengeleme Hesabı, Kamer Matbaası, Samsun, (2002)
- /5/ **Cooper, P.R., Friedman D.E., Wood S.A.**, The Automatic Generation of Digital Terrain Models From Satellite Images By Stereo, Acta Astronautica, Vol.15, No.3, pp.171-180.(1986)
- /6/ **Castleman, K.R.**, Digital Image Processing, Prentice-Hall, USA, (1996)
- /7/ **Doğan, S.**, Sayısal Görüntü İşleme Teknikleri (Temel Yaklaşımlar), Yayımlanmadı.
- /8/ **Doyle, F.D.**, Digital Terrain Models, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.44, No.12, pp. 1481-1485. (1978)
- /9/ **Gruen, A.**, Dtm Generation and Visualization, Symposium on Digital Photogrammetry, May 21-22, İstanbul, (1998)
- /10/ **Gruen, A.**, Adaptive Least Squares Correlation: A Powerful Image Matching Technique, South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing & Cartography, Vol.14, No.3, pp. 175-187. (1985)
- /11/ **Gruen A. & Baltsavias E.**, Geometrically Constrained Multiphoto Matching, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.54, No.5, pp. 633-641. (1988)

- /12/ **Hacısalihoğlu, H.H.**, İki ve Üç Boyutlu Uzaylarda Dönüşümler ve Geometrilere, Ertem Matbaa, Ankara, (1998)
- /13/ **Jacobsen, K.**, Geometric Potential of Ikonos and QuickBird Images, Photogrammetric Weeks '03, pp 101-110, (2003)
- /14/ **Jahne, B.**, Image Processing For Scientific Applications, CRC Press, USA, (1997)
- /15/ **Karagülle, İ. & Pala, Z.**, C++ Builder 6, Türkmen Kitabevi, İstanbul, (2002)
- /16/ **Low, A.**, Introductory Computer Vision and Image Processing, McGRAW-Hill Book Company, UK, (1991)
- /17/ **Petrie, G. & Kennie, T.J.M.**, Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering, Whittless Publishing, Caithness, Scotland, (1990)
- /18/ **Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R.**, Image Processing Analysis and Machine Vision, Chapman&Hall Computing Series, UK, (1993)
- /19/ **Subramanian, S., Singh, A., Sudhakar, M.**, (2003). Evaluation of Digital Elevation Models Created From Different Satellite Images, Map India, <http://www.gisdevelopment.net/technology/rs/mi03079.htm>(Sonerişim:30/12/05)
- /20/ **Suga Y., Owega H., Sugimura T.**, Generation of DTM and Image Interpretation by Using EROS-A1 Stereo Pair Images Observed from Multiple Directions, Advances in Space Research, v32, n11, pp.2247-2252, (2003)
- /21/ **Temiz, M.S.**, Geometrik ve Radyometrik Olarak Bozulmuş Sayısal Görüntülerin Onarılması, Doğruluğunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 82s., (2004)
- /22/ **Tienstra, J.M.**, Normal Yayılmış Gözlemlerde Dengeleme Teorisi, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, (1974)

- /23/ **Tokunaga M.**, DTM Accuracy derived from Interferometry SAR, University of Tokyo, Institute of Industrial Science, ACRS 1997, www.gisdevelopment.com (Son erişim: 30/12/2005)
- /24/ **Tokunaga M.**, DEM Generation Using JERS-1 SAR Interferometry, vol.32/4 ISPRS Commission IV Symposium On GIS, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/commlV/toku124new.pdf>, (Son erişim: 30/12/2005)
- /25/ **Türker, E.S. & Can, E.**, Bilgisayar Uygulamalı Sayısal Analiz Yöntemleri, Değişim Yayınları, Adapazarı
- /26/ **Ünver, Ö.**, Uygulamalı İstatistik Yöntemler, Siyasal Kitabevi, Ankara, (1995)
- /27/ **Yanalak, M.**, Yüzey Modellemede Üçgenleme Yöntemleri, Harita Dergisi, (Sayı: 126), (2001)
- /28/ **Yurtsever, N.**, Deneysel İstatistik Yöntemler, T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizm. Gn.Md. Yayınları, Ankara, (1984)

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Çorum Sungurlu'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli' de yaptı.1997-2001 yılları arasında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2002 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.

EK.A. Kontrol Noktalarının SAĞ Resim Piksel Koordinatları

No	Point Num.	pixel_X	pixel_Y	mx (mm) my (mm)	m0
1	1101	374.6460	150.0992	0.1753196485305860 0.1270271968870590	34.0268867537281
2	1105	369.4507	324.1250	0.0442717928130927 0.0367168721570070	19.1979916908793
3	1109	367.1231	497.3473	0.0438333403476598 0.0389101842575887	15.6865385975449
4	1113	365.5518	666.8384	0.0661931968111894 0.0562465908284921	19.9016233833682
5	1117	365.9703	832.8903	0.0662870716325471 0.0483857412511944	17.861519857695
6	1119	367.6302	913.5555	0.1208397288451160 0.0824464035706076	34.3428935173453
7	1201	557.4931	142.1536	0.1755394596303680 0.0967876820925412	23.306187522818
8	1205	552.8770	315.8767	0.0717983765833983 0.0534398462090977	15.9881014512223
9	1217	543.7451	824.1072	0.0624254444661949 0.0515062667246278	15.1817907968818
10	1219	544.6166	907.7950	0.1105872070319920 0.0973308960208883	23.6960044940138
11	1301	814.9822	148.3607	0.1069405630243560 0.0465374781068875	15.0146567851077
12	1305	808.6627	323.0120	0.1224188417484940 0.0774719359454661	17.00906481388
13	1309	805.2793	498.0861	0.1053598175307650 0.0843157596228384	15.339837768337
14	1313	800.5098	666.3861	0.0751459027920537 0.0650527518059961	12.9853444067402
15	1317	797.2173	835.1522	0.0680617409095523 0.0589025857569938	14.3075920812705

No	Point Num.	pixel_X	pixel_Y	mx (mm) my (mm)	m0
16	1319	795.8110	917.3279	0.0606362071574135 0.0487129651111207	15.2372329053881
17	1401	1078.6181	155.8056	0.1882744991297330 0.0772493009223970	13.5576178398922
18	1405	1072.6334	331.7252	0.1201551335158210 0.0691535993067945	15.4695291087014
19	1409	1064.8636	505.7424	0.1674174222244550 0.1181416602245730	19.2547548333703
20	1413	1057.2415	675.9065	0.1282226085907020 0.1019614098023660	13.9926022679232
21	1417	1051.1884	839.7255	0.1102358381996340 0.0939231099262347	16.259759366367
22	1419	1047.2851	921.3832	0.0938228893894086 0.0840974043305257	15.5041832404624
23	1501	1266.6760	172.3717	0.2818494061985200 0.1161406027355540	17.0142282403373
24	1505	1258.6149	347.1519	0.1190241902488910 0.0620093959556554	19.3553554853284
25	1509	1249.2524	520.0603	0.2203400908738200 0.1492591852697050	27.716772053756
26	1513	1240.6325	690.2149	0.1567917689939300 0.1255052601494920	22.8000345629787
27	1517	1231.7920	855.7628	0.0874496255278975 0.0816857731783942	17.9345730668349
28	1519	1222.2493	938.8878	0.0594775444959661 0.0688145952237787	23.2521865006876
29	2101	462.7169	202.1420	0.1008945197059310 0.0610508997270146	34.290257742774
30	2105	460.1722	342.0457	0.1000573499088350 0.0663856711322322	31.5598692745398

No	Point Num.	pixel_X	pixel_Y	mx (mm) my (mm)	m0
31	2109	458.3091	478.1700	0.1125838602261720 0.0863636909930501	35.7791656447003
32	2113	456.4587	617.7237	0.0838870863515316 0.0580134058146108	39.5210643586526
33	2117	454.6600	754.3624	0.0795464097611142 0.0477377530348710	33.1171847870864
34	2119	455.2946	817.2533	0.0853374940398492 0.0558823065425925	33.3860373267223
35	3006	231.7696	285.0271	0.0416180794789435 0.0301138442097711	12.6583803225433
36	3010	231.3532	426.4847	0.0405780226188657 0.0291779263010434	11.4373100974946
37	3014	233.6082	556.4320	0.0588582898157988 0.0418370455099557	12.4974354420754
38	3018	235.8674	686.4090	0.0688084650383189 0.0452676914224489	13.631508122052
39	4023	979.4699	301.0255	0.2306214386299040 0.1413093911500940	40.2304043849918
40	4039	975.1891	439.1272	0.5810822243038590 0.3862928411325230	42.1544003719038
41	4055	970.3774	575.9484	0.5905218080064360 0.4447849061605780	42.2977727568914

$$^1 \pm m0 = (vTPv/(n-u))^{1/2}, \pm m(x)_i = m0.(Q(x)_i(x)_i)^{1/2}$$

Piksel Boyutu : 0.00449 mm

EK. B. Kontrol Noktalarının Resim Koordinatları

No	x y	Vx Vy	P	Qvv	mv
1	-3.3248	-0.0021	2.25	0.16	0.0009
	1.8611	-0.0005	2.25	0.29	0.0011
2	-1.9182	-0.0013	2.25	0.36	0.0013
	2.0113	-0.0003	2.25	0.36	0.0013
3	-3.3248	0.0008	2.25	0.38	0.0013
	1.0754	-0.0014	2.25	0.39	0.0013
4	-1.9370	0.0010	2.25	0.38	0.0013
	1.2349	-0.0019	2.25	0.39	0.0013
5	-3.3114	-0.0006	2.25	0.39	0.0013
	0.2896	0.0024	2.25	0.41	0.0014
6	-1.9458	-0.0004	2.25	0.39	0.0013
	0.4571	0.0022	2.25	0.40	0.0013
7	-3.2889	-0.0013	2.25	0.39	0.0013
	-0.4782	-0.0001	2.25	0.40	0.0013
8	-19.470	-0.0023	2.25	0.39	0.0013
	-0.3011	-0.0011	2.25	0.40	0.0013
9	-3.2620	0.0026	2.25	0.37	0.0013
	-1.2325	-0.0001	2.25	0.38	0.0013
10	-1.9497	0.0034	2.25	0.38	0.0013
	-1.0468	0.0000	2.25	0.39	0.0013
11	-3.2395	-0.0005	2.25	0.32	0.0012
	-1.6052	0.0030	2.25	0.34	0.0012
12	-1.9407	-0.0002	2.25	0.37	0.0013
	-1.4146	0.0037	2.25	0.41	0.0014
13	-2.6513	0.0017	2.25	0.39	0.0013
	1.9734	0.0009	2.25	0.38	0.0013

No	x y	Vx Vy	P	Qvv	mv
14	-1.0972	0.0019	2.25	0.38	0.0013
	2.0562	0.0007	2.25	0.41	0.0014
15	-2.6513	0.0008	2.25	0.41	0.0014
	1.1517	0.0011	2.25	0.40	0.0013
16	-1.1153	0.0010	2.25	0.40	0.0013
	1.2748	0.0009	2.25	0.42	0.0014
17	-2.5975	-0.0022	2.25	0.42	0.0014
	-1.2594	-0.0009	2.25	0.42	0.0014
18	-1.1427	-0.0035	2.25	0.42	0.0014
	-1.0167	-0.0011	2.25	0.40	0.0013
19	-2.5840	0.0005	2.25	0.41	0.0014
	-1.6456	-0.0007	2.25	0.41	0.0014
20	-1.1475	0.0003	2.25	0.41	0.0014
	-1.3835	-0.0012	2.25	0.46	0.0014
21	-1.6142	0.0019	2.25	0.44	0.0014
	2.0587	0.0007	2.25	0.45	0.0014
22	0.0629	0.0014	2.25	0.45	0.0014
	2.0328	0.0014	2.25	0.46	0.0014
23	-1.6142	0.0003	2.25	0.45	0.0014
	1.1831	-0.0015	2.25	0.45	0.0014
24	0.0450	-0.0004	2.25	0.44	0.0014
	1.2498	-0.0014	2.25	0.44	0.0014
25	-1.6097	0.0002	2.25	0.43	0.0014
	0.3076	-0.0010	2.25	0.43	0.0014
26	0.0246	0.0000	2.25	0.44	0.0014
	0.4673	-0.0010	2.25	0.44	0.0014
27	-1.5962	-0.0017	2.25	0.43	0.0014
	-0.5545	-0.0002	2.25	0.43	0.0014
28	0.0084	-0.0019	2.25	0.44	0.0014
	-0.3037	-0.0002	2.25	0.43	0.0014
29	-1.5827	0.0020	2.25	0.43	0.0014
	-1.3941	-0.0006	2.25	0.43	0.0014

No	x y	Vx Vy	P	Qvv	mv
30	-0.0134	0.0019	2.25	0.43	0.0014
	-1.0569	-0.0001	2.25	0.43	0.0014
31	-1.5693	0.0013	2.25	0.43	0.0014
	-1.8027	-0.0015	2.25	0.43	0.0014
32	-0.0183	0.0005	2.25	0.45	0.0014
	-1.4240	-0.0009	2.25	0.44	0.0014
33	-0.3974	-0.0008	2.25	0.45	0.0014
	2.1440	-0.0013	2.25	0.45	0.0014
34	1.2470	0.0001	2.25	0.46	0.0014
	1.9959	-0.0009	2.25	0.45	0.0014
35	-0.4063	-0.0009	2.25	0.45	0.0014
	1.2056	-0.0002	2.25	0.46	0.0014
36	1.2210	0.0000	2.25	0.45	0.0014
	1.2109	-0.0004	2.25	0.44	0.0014
37	-0.4108	-0.0015	2.25	0.44	0.0014
	0.2716	0.0008	2.25	0.44	0.0014
38	1.1938	-0.0010	2.25	0.45	0.0014
	0.4306	0.0006	2.25	0.44	0.0014
39	-0.4153	-0.0008	2.25	0.44	0.0014
	-0.6488	0.0023	2.25	0.44	0.0014
40	1.1609	-0.0003	2.25	0.44	0.0014
	0.3398	0.0018	2.25	0.45	0.0014
41	-0.4198	0.0024	2.25	0.44	0.0014
	-1.5378	-0.0016	2.25	0.44	0.0014
42	1.1241	0.0019	2.25	0.44	0.0014
	-1.0889	-0.0010	2.25	0.45	0.0014
43	-0.4153	-0.0014	2.25	0.44	0.0014
	-1.9734	0.0002	2.25	0.44	0.0014
44	1.1094	-0.0009	2.25	0.43	0.0014
	-1.4577	0.0001	2.25	0.44	0.0014
45	0.5545	-0.0010	2.25	0.44	0.0014
	2.1530	0.0002	2.25	0.45	0.0014

No	x y	Vx Vy	P	Qvv	mv
46	2.0783	0.0002	2.25	0.45	0.0014
	1.9220	0.0012	2.25	0.45	0.0014
47	0.5410	0.0003	2.25	0.44	0.0014
	1.1696	0.0008	2.25	0.45	0.0014
48	2.0487	0.0006	2.25	0.44	0.0014
	1.1400	0.0005	2.25	0.44	0.0014
49	0.5276	0.0012	2.25	0.45	0.0014
	0.1908	0.0010	2.25	0.45	0.0014
50	2.0135	0.0013	2.25	0.45	0.0014
	0.3620	0.0011	2.25	0.45	0.0014
51	0.5141	-0.0010	2.25	0.45	0.0014
	-0.7700	0.0002	2.25	0.44	0.0014
52	1.9767	-0.0020	2.25	0.45	0.0014
	-0.4024	-0.0010	2.25	0.45	0.0014
53	0.4961	-0.0005	2.25	0.45	0.0014
	-1.6995	-0.0020	2.25	0.44	0.0014
54	1.9309	-0.0009	2.25	0.45	0.0014
	-1.1514	-0.0020	2.25	0.46	0.0014
55	0.4872	0.0004	2.25	0.46	0.0014
	-2.1530	0.0002	2.25	0.45	0.0014
56	1.9078	-0.0007	2.25	0.46	0.0014
	-1.5198	0.0007	2.25	0.46	0.0014
57	-2.1260	0.0000	2.25	0.46	0.0014
	1.6635	-0.0009	2.25	0.45	0.0014
58	-1.5207	-0.0002	2.25	0.46	0.0014
	1.7876	-0.0007	2.25	0.43	0.0014
59	-2.1260	-0.0005	2.25	0.44	0.0014
	1.0170	0.0000	2.25	0.45	0.0014
60	-1.5336	-0.0007	2.25	0.44	0.0014
	1.1606	0.0001	2.25	0.46	0.0014
61	-2.1215	-0.0006	2.25	0.45	0.0014
	0.3749	-0.0003	2.25	0.45	0.0014

No	x y	Vx Vy	P	Qvv	mv
62	-1.5434	-0.0005	2.25	0.44	0.0014
	0.5383	-0.0001	2.25	0.45	0.0014
63	-2.1125	0.0000	2.25	0.44	0.0014
	-0.2627	0.0020	2.25	0.44	0.0014
64	-1.5504	0.0009	2.25	0.45	0.0014
	-0.0809	0.0037	2.25	0.44	0.0014
65	-2.0991	0.0009	2.25	0.44	0.0014
	-0.8868	0.0009	2.25	0.44	0.0014
66	-1.5530	0.0015	2.25	0.44	0.0014
	-0.6828	0.0001	2.25	0.44	0.0014
67	-2.0901	0.0019	2.25	0.44	0.0014
	-1.1921	-0.0014	2.25	0.46	0.0014
68	-1.5529	0.0031	2.25	0.44	0.0014
	-0.9793	-0.0010	2.25	0.45	0.0014
69	-2.9252	-0.0001	2.25	0.43	0.0014
	1.2325	0.0005	2.25	0.44	0.0014
70	-2.5505	-0.0002	2.25	0.46	0.0014
	1.4134	-0.0006	2.25	0.43	0.0014
71	-2.9163	0.0004	2.25	0.44	0.0014
	0.6129	-0.0018	2.25	0.43	0.0014
72	-2.5524	0.0007	2.25	0.44	0.0014
	0.7852	-0.0028	2.25	0.44	0.0014
73	-2.9028	-0.0013	2.25	0.45	0.0014
	0.0292	0.0007	2.25	0.44	0.0014
74	-2.5461	-0.0014	2.25	0.44	0.0014
	0.1929	0.0010	2.25	0.46	0.0014
75	-2.8803	-0.0016	2.25	0.46	0.0014
	-0.5500	0.0002	2.25	0.47	0.0014
76	-2.5307	-0.0028	2.25	0.44	0.0014
	-0.3908	-0.0011	2.25	0.46	0.0014
77	0.2043	0.0013	2.25	0.46	0.0014
	1.3313	-0.0021	2.25	0.46	0.0014

No	x y	Vx Vy	P	Qvv	mv
78	0.8045	0.0011	2.25	0.45	0.0014
	1.3496	-0.0007	2.25	0.46	0.0014
79	0.1998	-0.0005	2.25	0.45	0.0014
	0.5994	0.0014	2.25	0.46	0.0014
80	0.7882	-0.0011	2.25	0.44	0.0014
	0.7178	0.0008	2.25	0.44	0.0014
81	0.1908	-0.0002	2.25	0.44	0.0014
	-0.1010	0.0008	2.25	0.44	0.0014
82	0.7668	-0.0001	2.25	0.44	0.0014
	0.1113	0.0007	2.25	0.44	0.0014

EK .C. Kontrol noktalarının nesne uzayındaki koordinatları

No	Point Num	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	1101	680.4910	1835.4340	1129.6670
2	1105	676.9740	1434.6480	1126.0940
3	1109	673.8790	1034.0740	1122.4950
4	1113	671.5710	634.3270	1119.0090
5	1117	669.5480	234.3610	1115.5210
6	1119	669.8040	34.4480	1113.9980
7	1201	1106.5960	1862.9120	1121.5420
8	1205	1103.4370	1462.2620	1118.1770
9	1217	1096.8410	262.0450	1107.8280
10	1219	1096.5910	61.8370	1106.1780
11	1301	1700.5020	1859.6540	1128.9690
12	1305	1698.6680	1458.7730	1125.5940
13	1309	1696.9670	1058.1710	1122.2390
14	1313	1696.3090	658.3230	1119.2120
15	1317	1695.8200	258.4070	1116.1940
16	1319	1697.0350	58.6310	1114.8530
17	1401	2304.9390	1855.3880	1136.9290
18	1405	2301.3480	1454.2860	1134.8780
19	1409	2298.8510	1054.4320	1132.5710
20	1413	2296.3280	654.4940	1130.0030
21	1417	2294.2970	254.5710	1127.1340
22	1419	2293.7650	54.5790	1125.6800
23	1501	2733.0940	1831.8450	1155.7800
24	1505	2729.1030	1430.7950	1154.5510
25	1509	2726.0430	1030.7120	1151.8700
26	1513	2723.2020	630.7550	1150.0380
27	1517	2720.7160	230.8300	1147.7790
28	1519	2720.1890	30.9720	1146.7670
29	2101	694.2360	1846.3290	79.4500
30	2105	691.0720	1445.3550	76.2340

No	Point Num	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
31	2109	688.3910	1044.9540	72.7780
32	2113	686.4210	645.0570	69.2920
33	2117	685.0050	245.1480	65.6920
34	2119	685.4140	45.4200	63.8810
35	3006	-4.3110	1607.3690	0.4830
36	3010	-3.0660	1192.4680	-1.7230
37	3014	-0.0860	802.5460	0.0260
38	3018	6.1400	409.9280	-0.3010
39	4023	2193.9980	1599.9800	2.6260
40	4039	2192.3220	1191.8480	2.4450
41	4055	2190.1550	796.4050	3.6710

EK .D. Kontrol noktalarının nesne uzayındaki doğrulukları

No	Point Num	m_x (m)	m_y (m)	m_z (m)
1	1101	0.143	0.084	0.459
2	1105	0.046	0.231	0.467
3	1109	0.034	0.056	0.546
4	1113	0.089	0.150	0.453
5	1117	0.112	0.143	0.235
6	1119	0.143	0.191	0.123
7	1201	0.112	0.011	0.234
8	1205	0.133	0.234	0.121
9	1217	0.111	0.183	0.512
10	1219	0.005	0.222	0.111
11	1301	0.107	0.012	0.574
12	1305	0.180	0.181	0.182
13	1309	0.175	0.018	0.321
14	1313	0.176	0.019	0.322
15	1317	0.177	0.020	0.342
16	1319	0.212	0.108	0.354
17	1401	0.222	0.109	0.543
18	1405	0.254	0.110	0.243
19	1409	0.287	0.191	0.356
20	1413	0.271	0.181	0.241
21	1417	0.261	0.171	0.244
22	1419	0.156	0.161	0.345
23	1501	0.169	0.141	0.247
24	1505	0.198	0.192	0.248
25	1509	0.184	0.193	0.249
26	1513	0.153	0.194	0.513
27	1517	0.143	0.127	0.512
28	1519	0.182	0.201	0.611
29	2101	0.100	0.202	0.311
30	2105	0.270	0.023	0.350

No	Point Num	m_x (m)	m_y (m)	m_z (m)
31	2109	0.143	0.125	0.509
32	2113	0.209	0.212	0.709
33	2117	0.021	0.123	0.405
34	2119	0.187	0.064	0.406
35	3006	0.031	0.014	0.265
36	3010	0.014	0.276	0.165
37	3014	0.015	0.245	0.843
38	3018	0.205	0.248	0.453
39	4023	0.340	0.165	0.234
40	4039	0.214	0.079	0.243
41	4055	0.032	0.095	0.703

EK .E. Resim koordinatlarına ait Data Snooping test sonuçları

Point Num.	x	y	Wx	Wy	rx	ry
1	-3.3248	1.8611	-2.39	-0.46	0.37	0.66
2	-1.9182	2.0113	-1.05	-0.24	0.81	0.81
3	-3.3248	1.0754	0.65	-1.07	0.85	0.88
4	-1.9370	1.2349	0.77	-1.42	0.87	0.88
5	-3.3114	0.2896	-0.48	1.78	0.87	0.92
6	-1.9458	0.4571	-0.29	1.68	0.88	0.9
7	-3.2889	-0.4782	-0.97	-0.10	0.87	0.91
8	-1.9470	-0.3011	-1.72	-0.80	0.89	0.9
9	-3.2620	-1.2325	2.06	-0.10	0.82	0.85
10	-1.9497	-1.0468	2.56	-0.01	0.86	0.87
11	-3.2395	-1.6052	-0.45	2.41	0.71	0.77
12	-1.9407	-1.4146	-0.17	2.68	0.83	0.93
13	-2.6513	1.9734	1.26	0.68	0.87	0.86
14	-1.0972	2.0562	1.45	0.48	0.86	0.93
15	-2.6513	1.1517	0.61	0.83	0.92	0.91
16	-1.1153	1.2748	0.76	0.63	0.9	0.93
17	-2.5975	-1.2594	-1.62	-0.67	0.95	0.94
18	-1.1427	-1.0167	-2.57	-0.82	0.94	0.9
19	-2.5840	-1.6456	0.37	-0.53	0.92	0.92
20	-1.1475	-1.3835	0.22	-0.85	0.92	1.03
21	-1.6142	2.0587	1.37	0.46	0.99	1.01
22	0.0629	2.0328	1.00	0.94	1.01	1.04
23	-1.6142	1.1831	0.21	-1.06	1.00	1.01
24	0.0450	1.2498	-0.30	-1.03	1.00	0.99
25	-1.6097	0.3076	0.14	-0.74	0.97	0.96
26	0.0246	0.4673	0.04	-0.73	0.99	0.99
27	-1.5962	-0.5545	-1.21	-0.17	0.97	0.96

28	0.0084	-0.3037	-1.37	-0.17	1.00	0.98
29	-1.5827	-1.3941	1.43	-0.41	0.98	0.97
30	-0.0134	-1.0569	1.34	-0.05	0.97	0.96
31	-1.5693	-1.8027	0.93	-1.05	0.97	0.96
32	-0.0183	-1.4240	0.38	-0.66	1.01	0.98
33	-0.3974	2.1440	-0.55	-0.9	1.01	1.01
34	1.2470	1.9959	0.04	-0.64	1.02	1.02
35	-0.4063	1.2056	-0.61	-0.15	1.00	1.04
36	1.2210	1.2109	-0.03	-0.32	1.02	0.98
37	-0.4108	0.2716	-1.10	0.59	0.99	0.99
38	1.1938	0.4306	-0.71	0.39	1.01	0.99
39	-0.4153	-0.6488	-0.59	1.65	0.98	1.00
40	1.1609	-0.3398	-0.18	1.26	1.00	1.01
41	-0.4198	-1.5378	1.70	-1.12	1.00	0.99
42	1.1241	-1.0889	1.37	-0.74	0.99	1.00
43	-0.4153	-1.9734	-0.96	0.17	1.00	0.99
44	1.1094	-1.4577	-0.66	0.11	0.97	0.98
45	0.5545	2.1530	-0.70	0.17	0.99	1.00
46	2.0783	1.9220	0.12	0.83	1.00	1.01
47	0.5410	1.1696	0.22	0.57	0.98	1.02
48	2.0487	1.1400	0.42	0.37	1.00	1.00
49	0.5276	0.1908	0.86	0.73	1.02	1.01
50	2.0135	0.3620	0.92	0.79	1.01	1.00
51	0.5141	-0.7700	-0.74	0.15	1.00	1.00
52	1.9767	-0.4024	-1.32	-0.80	1.01	1.02
53	0.4961	-1.6995	-0.32	-1.44	1.00	0.99
54	1.9309	-1.1514	-0.67	-1.03	1.00	1.03
55	0.4872	-2.1530	0.30	0.13	1.03	1.01
56	1.9078	-1.5198	-0.50	0.49	1.03	1.02
57	-2.1260	1.6635	0.03	-0.63	1.04	1.01
58	-1.5207	1.7876	-0.15	-0.54	1.03	0.96
59	-2.1260	1.0170	-0.39	-0.02	1.00	1.01

60	-1.5336	1.1606	-0.49	0.10	0.99	1.03
61	-2.1215	0.3749	-0.40	-0.24	1.00	1.01
62	-1.5434	0.5383	-0.37	-0.10	1.00	1.02
63	-2.1125	-0.2627	0.01	1.41	1.00	1.00
64	-1.5504	-0.0809	0.61	2.62	1.00	1.00
65	-2.0991	-0.8868	0.66	0.64	0.98	0.98
66	-1.5530	-0.6828	1.08	0.11	0.99	0.98
67	-2.0901	-1.1921	1.33	-0.96	1.00	1.03
68	-1.5529	-0.9793	2.23	-0.73	1.00	1.01
69	-2.9252	1.2325	-0.05	0.35	0.98	0.99
70	-2.5505	1.4134	-0.11	-0.40	1.04	0.98
71	-2.9163	0.6129	0.29	-1.29	0.99	0.97
72	-2.5524	0.7852	0.53	-2.01	0.99	0.99
73	-2.9028	0.0292	-0.95	0.47	1.00	0.99
74	-2.5461	0.1929	-1.02	0.71	0.99	1.03
75	-2.8803	-0.5500	-1.13	0.16	1.03	1.05
76	-2.5307	-0.3908	-2.00	-0.78	1.00	1.03
77	0.2043	1.3313	0.91	-1.46	1.03	1.04
78	0.8045	1.3496	0.80	-0.49	1.01	1.03
79	0.1998	0.5994	-0.34	0.99	1.01	1.04
80	0.7882	0.7178	-0.80	0.57	1.00	1.00
81	0.1908	-0.1010	-0.13	0.55	1.00	1.00
82	0.7668	0.1113	-0.05	0.49	1.00	1.00

x, y : Orijinal resim ölçüleri, $r = (Q_{vv}.P)_{ii}$: Kısmi artık değerler
 $w = |v_i| / (m \cdot 0.9999^{1/2})$: Data Snooping değerleri