

83601

**T.C.**  
**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DİJİTAL FOTOGRAMETRİDE ALANA DAYALI  
GÖRÜNTÜ EŞLEME METOTLARIYLA YARI  
OTOMATİK HAVAI NİRENGİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Murat UYSAL**

**Danışman : Doç.Dr. Zekai Cevdet CAN**

**HAZİRAN 1999**

**DİJİTAL FOTOGRA METRİDE ALANA DAYALI GÖRÜNTÜ EŞLEME  
METOTLARIYLA YARI OTOMATİK HAVAI NİRENGİ**

**Murat UYSAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeodezi ve Fotogrametri Ana Bilim Dalı**

**Danışman : Doç. Dr. Zekai Cevdet CAN**

**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM BAKANLIĞI  
TEZ YAKLAŞIM VE YERLEŞİM BAKANLIĞI**

**Afyon**

**Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Haziran 1999**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	-ii
ABSTRACT .....	iii
TEZ JÜRİSİ VE ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ ONAYI .....	iv
ÖNSÖZ .....	v
ÖZGEÇMİŞ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii



## BİRİNCİ BÖLÜM

### DİJİTAL FOTOGRAMETRİDE GÖRÜNTÜ EŞLEME

<b>I.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>A ) ALANA DAYALI GÖRÜNTÜ EŞLEME YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>3</b>
<b>1 . Çapraz İlişki Görüntü Eşleme Yöntemi</b> .....	<b>4</b>
<b>2. En Küçük Kareler Görüntü Eşleme Yöntemi</b> .....	<b>6</b>

## İKİNCİ BÖLÜM

### HAVAİ NİRENGİ VE DEMET DENGELEME

<b>I . HAVAİ NİRENGİ (FOTOGRAMETRİK NİRENGİ)</b> .....	<b>11</b>
<b>A ) IŞIN DEMETLERİ İLE DENGELEME</b> .....	<b>15</b>
<b>1. Görüntü ve Yer Koordinatları Arasındaki Matematiksel İlişki</b> .....	<b>16</b>
<b>2. Diferansiyel İlişkiler</b> .....	<b>18</b>
<b>3. Bir Blok Fotoğraf İçin Gözlem Ve Normal Denklemler</b> .....	<b>20</b>
<b>4. Normal Denklemlerin Çözümü</b> .....	<b>23</b>
<b>5. Demet Dengelemesinde Kullanılan Veriler</b> .....	<b>26</b>
<b>6. Demet Dengeleme Algoritması</b> .....	<b>27</b>

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### YAZILIMIN BÖLÜMLERİ VE SAYISAL UYGULAMA

<b>I. YAZILIM VE UYGULAMA .....</b>	<b>31</b>
<b>A) YAZILIMIN BÖLÜMLERİ .....</b>	<b>31</b>
<b>1. Giriş Verileri .....</b>	<b>32</b>
<b>2. Resim Dosyalarının Hazırlanması .....</b>	<b>33</b>
<b>3. Resim Çiftleri Arasındaki Affin Dönüşüm Parametrelerinin Hesaplanması .....</b>	<b>34</b>
<b>4. Görüntü Piramitlerinin Oluşturulması .....</b>	<b>37</b>
<b>5. Nokta Transferi Ve Nokta Dosyasının Hazırlanması .....</b>	<b>38</b>
<b>6. Resim Orta Noktasının Ölçülmesi .....</b>	<b>40</b>
<b>7. Bilinen Noktaların Girilmesi .....</b>	<b>42</b>
<b>8. Bağlantı Noktalarının Ve Dış Yönelme Parametrelerinin Yaklaşık Değerlerinin Hesaplanması .....</b>	<b>43</b>
<b>9. Demet Dengeleme .....</b>	<b>45</b>
<b>10. Yönelme Bilinmeyenleri .....</b>	<b>46</b>
<b>11. DTM (Digital Terrain Model) .....</b>	<b>46</b>
<b>12. Perspektif Görünüş .....</b>	<b>47</b>

<b>13. Ortofoto .....</b>	<b>48</b>
<b>14. Yükseklik Eğrileri .....</b>	<b>50</b>
<b>B ) SAYISAL UYGULAMA .....</b>	<b>51</b>

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### SONUÇLAR

<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>66</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>



**ÖZET****DİJİTAL FOTOGRAMETRİDE ALANA DAYALI GÖRÜNTÜ EŞLEME  
METOTLARIYLA YARI OTOMATİK HAVAI NİRENGİ****Murat UYSAL****Jeodezi ve Fotogrametri Ana Bilim Dalı****Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü****Haziran 1999****Danışman : Doç. Dr. Zekai Cevdet CAN**

Dijital Fotogrametride, iş istasyonlarında yapılan uygulamalar bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle PC ortamında yapılmaya başlandı. Bu tezin kapsamında PC ortamında çalışan Dijital Fotogrametri yazılımı üretildi. Tezin uygulama kısmında, geliştirilen yazılımın kullanılması ile ilgili bilgiler verilmiştir. Havai Nirenginin (Fotogrametrik Nirengi) en önemli verilerini bağlantı ve yer kontrol noktalarının transferi ve ölçümü kapsar. Bu işlemlerin yapılmasında Alana Dayalı Görüntü Eşleme yöntemleri kullanıldı. Yazılımın Havai Nirengi kısmında ışın demetleriyle blok dengeleme yapıldı. Bağlantı ve yer kontrol noktaları arasındaki ilişki doğrusallık şartı ile doğrudan hesaplanabilir. Tez kapsamında geliştirilen yazılımın Havai Nirengi bölümünü test etmek amacı ile yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçlar standartlara uygundur. Sonuç bölümünde Fotogrametrik Nirengi işlemlerinin otomatikleştirilmesi ve GPS teknolojisinin kullanımı ile ilgili düşünceler sunulmuştur.

**ABSTRACT****SEMI AUTOMATIC AERIAL TRIANGULATION WITH AREA BASED  
MATCHING TECHNIQUES IN DIGITAL PHOTOGRAMMETRY****Murat UYSAL****Photogrammetry Programme****Afyon Kocatepe University Institute of National Science****Jun 1999****Assoc.Prof.Dr. Zekai Cevdet CAN**

The photogrammetric application workstations begin to be done in personal computers with the help of developing computer technology in digital photogrammetry. In this study, the digital photogrammetry software is produced in the PC working area. Some informations are given about the usage of developing software in this study. The most important data of aerial triangulation are obtained by the tie points and ground control points. In this procedure, area based image matching techniques are used. The aerial triangulation part of the software is made through bundle block adjustment. The relation between the tie points and ground control points can be calculated by the collinearity condition of the aerial triangulation. The test results obtained with this software are the same as the international standards. In the conclusion part, the ideas of automatic photogrammetric triangulation and the usage of GPS technology are discussed.

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Zekai Cevdet CAN

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ferruh YILDIZ

Yrd. Doç. Dr. Özşen ÇORUMLUOĞLU

Imza  
.....  
.....  
.....

Murat UYSAL'ın DİJİTAL FOTOGRAMETRİDE ALANA DAYALI GÖRÜNTÜ EŞLEME METOTLARIYLA YARI OTOMATİK HAVAI NİRENGİ başlıklı tezi 23.07. / 2021 tarihinde, yukarıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim dalında, Yüksek Lisans tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 22/09 / 1999 tarih ve 99-2/41 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rıza ASIKOĞLU  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam, Doç.Dr. Zekai Cevdet CAN, çalışmam esnasında bana destek olan Neriman Gül ALBAY, Abdullah VARLIK ve Fikret KARALAR'a teşekkür. Ayrıca çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü Fotogrametri Dairesi Şube Müdürü Dr. Orhan ERCAN ve Fotogrametri Dairesi personeline teşekkür ederim.



Murat UYSAL

## ÖZGEÇMİŞ

Murat Uysal

Jeodezi ve Fotogrametri Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans

Eğitim

Lisans : 1995 Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Lise : 1990 Akşehir Selçuklu Lisesi

İş/İstihdam

1995 Ağustos – Serbest Mühendis . Hitit Harita İnş. Tic. Ltd. Şti

1995 Aralık-1996 Temmuz – Askerlik

1996 Ağustos – Serbest Mühendis . Yağmur İnş. Tic. Ltd. Şti

1997 Temmuz – Araştırma Görevlisi . Afyon Kocatepe Üniversitesi Uşak Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri

1995- Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

Yayınlar

“ The First Turkish Dijital Fotogrammetry Software ” Third Turkish – German Joint Geodetic Days , 1-4, Haziran, 1999

Kişisel Bilgiler

Doğum yeri ve yılı : Akşehir 31 Ocak 1974

Cinsiyet : Erkek

Yabancı dil : İngilizce

## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 1 : Gözlem Denklemleri Katsayıları .....	22
Tablo 2 : Bilinen Nokta Grupları .....	52
Tablo 3 : Bilinen A için 6 Bağlantı Noktası İle Yapılan Dengeleme Sonuçları .....	54
Tablo 4 : Bilinen A için 12 Bağlantı Noktası İle Yapılan Dengeleme Sonuçları .....	54
Tablo 5 : Bilinen B için 6 Bağlantı Noktası İle Yapılan Dengeleme Sonuçları .....	55
Tablo 6 : Bilinen B için 12 Bağlantı Noktası İle Yapılan Dengeleme Sonuçları .....	55
Tablo 7 : Bilinen C için 6 Bağlantı Noktası İle Yapılan Dengeleme Sonuçları .....	56
Tablo 8 : Bilinen C için 12 Bağlantı Noktası İle Yapılan Dengeleme Sonuçları .....	56
Tablo 9 : Bilinen D için 6 Bağlantı Noktası İle Yapılan Dengeleme Sonuçları .....	57
Tablo 10 : Bilinen D için 12 Bağlantı Noktası İle Yapılan Dengeleme Sonuçları .....	57
Tablo 11 : Bilinen Nokta Gruplarına ve Bağlantı Noktalarının Sayısına Göre Kontrol Noktalarının Ortalama Hata Miktarı .....	58
Tablo 12 : 134 Numaralı Fotoğrafın Dış Yönelme Parametrelerinin Hassasiyeti .....	60
Tablo 13 : 135 Numaralı Fotoğrafın Dış Yönelme Parametrelerinin Hassasiyeti .....	61
Tablo 14 : 136 Numaralı Fotoğrafın Dış Yönelme Parametrelerinin Hassasiyeti .....	62
Tablo 15 : 137 Numaralı Fotoğrafın Dış Yönelme Parametrelerinin Hassasiyeti .....	63
Tablo 16 : Otomatik Havai Nirengi OEEPE FORSSA BLOKLARI .....	64

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1 : 11x11 Model Penceresi ve 51x51 Araştırma Penceresi Örneği .....	5
Şekil 2 : Havai Nirengi .....	12
Şekil 3 : Demet Dengelemesinin Temel Prensipleri .....	15
Şekil 4 : Doğrusallık Şartı .....	16
Şekil 5 : Bilinmeyenler ve Gözlemler Arasındaki İlişki .....	21
Şekil 6 : N Matrisi ve Alt Matrisleri .....	25
Şekil 7 : Tez Kapsamında Geliştirilen Yazılımın Ana Sayfası .....	32
Şekil 8 : Seçenekler Bölümü .....	33
Şekil 9 : Resim Yükle Formu .....	34
Şekil 10 : Görüntü Eşleme Form Alanı .....	35
Şekil 11 : Dönüşüm Parametreleri Form Alanı .....	36
Şekil 12 : Resim Yükle Form Alanındaki Affin Dönüşüm Parametreleri .....	36
Şekil 13 : Görüntü Piramidi Form Alanı .....	37
Şekil 14 : Görüntü Piramidi Üzerine Bindirme Çizgilerinin Çizilmesi .....	39
Şekil 15 : Nokta Kaydet Form Alanı .....	40
Şekil 16 : Resim Orta Noktalarının Koordinatlarının Ölçülmesi .....	41
Şekil 17 : Resim Orta Noktası Koordinatlarının Dosyalandığı Form Alanı .....	41
Şekil 18 : Koordinatı Bilinen Noktalarının Koordinat Giriş Form Alanı .....	42
Şekil 19 : Bağlantı Noktalarının Seçildiği Form Alanı .....	43
Şekil 20 : Yaklaşık Dış Yönelme Parametreleri ve Bağlantı Noktalarının Hesaplandığı Form Alanı .....	44
Şekil 21 : Demet Dengeleme Form Alanı .....	45
Şekil 22 : Yönelme Bilinmeyenlerinin Yüklendiği Form Alanı .....	46
Şekil 23 : DTM Form Alanı .....	47
Şekil 24 : Perspektif Görünüşün Elde Edildiği Form Alanı .....	48
Şekil 25 : Üzerine Kare Ağı Çizilmiş Ortofoto .....	49
Şekil 26 : Üzerine Yükseklik Eğrileri Çizilmiş Ortofoto .....	49
Şekil 27 : Yükseklik Eğrileri Form Alanı .....	50

Şekil 28 : Uygulamada Kullanılan Bağlantı Noktalarının Durumu .....	52
Şekil 29 : Uygulamada Kullanılan Bilinen Noktalarının Dağılımı .....	53
Şekil 30 : Bilinen A İçin 6 ve 12 Bağlantı Noktası İle Kontrol Noktalarında Hata Miktarı .....	54
Şekil 31 : Bilinen B İçin 6 ve 12 Bağlantı Noktası İle Kontrol Noktalarında Hata Miktarı .....	55
Şekil 32 : Bilinen C İçin 6 ve 12 Bağlantı Noktası İle Kontrol Noktalarında Hata Miktarı .....	56
Şekil 33 : Bilinen D İçin 6 ve 12 Bağlantı Noktası İle Kontrol Noktalarında Hata Miktarı .....	57
Şekil 34 : Bilinen Nokta Gruplarına ve Bağlantı Noktalarının Sayısına göre Kontrol Noktalarının Ortalama Hata Miktarları .....	59
Şekil 35 : 134 Numaralı Fotoğrafın Dış Yönelme Parametrelerinin Hassasiyeti .....	60
Şekil 36 : 135 Numaralı Fotoğrafın Dış Yönelme Parametrelerinin Hassasiyeti .....	61
Şekil 37 : 136 Numaralı Fotoğrafın Dış Yönelme Parametrelerinin Hassasiyeti .....	62
Şekil 38 : 137 Numaralı Fotoğrafın Dış Yönelme Parametrelerinin Hassasiyeti .....	63

## BİRİNCİ BÖLÜM

### DİJİTAL FOTOGRAMETRİDE GÖRÜNTÜ EŞLEME

#### 1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisinde son yıllarda yaşanan gelişmeler, Digital Fotogrametri uygulamalarında yüksek kapasiteli bilgisayarlarla yapılan işlemleri PC ortamında yapma imkanı vermiştir. Bu tezin yapılmasındaki temel düşünce, Digital Fotogrametride önemli bir yeri olan Havai Nirengi (Fotogrametrik Nirengi) işlemlerini PC tabanlı bilgisayarlarla yapmaktır. Bu amaçla PC ortamında çalışan bir Digital Fotogrametri yazılımı geliştirildi. Bu yazılımla ve sonuçlarıyla ilgili bilgiler Üçüncü Bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

Dijital Fotogrametride, Analog ve Analitik Fotogrametride üzerine görüntü aktarılan film veya emisyonlu kâğıtlar yerine, elektronik aletler yardımı ile dijital bir ortamda saklanan görüntüler kullanılır. Bunun sonucu olarak Dijital Fotogrametride görüntü optik olarak değil dijital olarak işlenir. Analog ve Analitik Fotogrametride kullanılan resimler yüksek ayırma gücüne sahip tarayıcılar yardımı ile dijital bir ortamda depolanacağı gibi dijital kameralar ile de doğrudan depolanabilir. Dijital Fotogrametrinin en önemli özelliği verilerin tamamen dijital ortamda saklanması ve işlenmesidir.

Dijital görüntünün tamamı elemanları  $f[u,v]$  olan iki boyutlu bir  $F$  matrisinden oluşur. Her bir elemana piksel adı verilir. Her bir pikselin, arazide (veya fotoğrafta) karşılık gelen radyometrik değerleri vardır. Bu radyometrik değerler pikselin belirli renklerdeki

sayısal gri değerleridir. Bu tezde kullanılan fotoğraflar, siyah-beyaz olup gri değerleri 0-255 arasında sayısallaştırıldı.

Digital Fotogrametride iç ve dış yöneltme Analitik Fotogrametri ilkelerine göre yapılır. Analog ve analitik aletlerle yapılan, resim koordinatları ve resim orta noktasının ölçülmesi gibi işlemler Digital Fotogrametri için de önemlidir. Dış yöneltmenin otomatik olarak yapılabilmesi için bir stereo modelde aynı cisme karşılık gelen noktalar otomatik olarak bulunmalıdır. Bu işlemin yapılabilmesi için bir resimdeki görüntü parçasının diğer resimdeki yerinin araştırılması gerekir. Yapılan bu araştırma işlemine Görüntü Eşleme (Image Matching) denir. Görüntü Eşleme yöntemleri aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir.

- Alana Dayalı Görüntü Eşleme Yöntemi (Area Based Image Matching)
- Şekle Dayalı Görüntü Eşleme Yöntemi (Feature Based Image Matching)
- İlişkisel Görüntü Eşleme Yöntemi (Relational Image Matching)

En Küçük Karesel Eşleme (Least Squares Matching) ve Karşılıklı İlişki (Cross Correlation), Alana Dayalı Görüntü Eşleme yöntemlerindedir. Eşleme yöntemlerinde ilk olarak, sol resimdeki bir noktanın sağ resimdeki yaklaşık konumunun bulunması gereklidir. Bunun için en iyi çözüm Affin dönüşümü dür. İki resimdeki ortak noktalar yardımı ile Affin dönüşümü yapılarak resimlerin birbirlerine göre durumları, yani iki resim arasındaki Affin dönüşüm parametreleri belirlenir. Bu işlem için en az 3 nokta yeterlidir. Daha fazla nokta kullanıldığında, parametreler En Küçük Kareler dengelemesiyle bulunabilir. Bu işlem bindirmeli her resim çifti için yapılır. Bunun sonucunda, sol resimde seçilen bir noktanın sağ resimdeki yaklaşık koordinatları Affin dönüşüm parametreleri yardımıyla hesaplanabilir. Yapılan Affin dönüşümünün hassasiyetini dengeleme sonunda bulduğumuz Karesel Ortalama Hatası ( $m_0$ ) gösterir. Sol ve sağ resimde noktaların hassas ölçülmesi ve noktaların model alanı üzerindeki dağılımı hassasiyeti etkiler.

Alana Dayalı Görüntü Eşleme yöntemleri, piksellerin gri değerlerinden yararlanılarak yapılır. Örneğin Karşılıklı İlişki yönteminde, resim çiftlerinin çekim sırasına göre önce olan sol resim üzerinde operatör noktanın yerini belirler. Bu noktanın sağ resim üzerindeki yerinin bulunmasında, sol resimde seçilen noktanın etrafındaki piksellerle sağ resimdeki yaklaşık yerinin etrafındaki piksellerin gri değerleri arasındaki farklarından faydalanılarak sağ resim üzerindeki noktanın yeri bulunur. En Küçük Karesel Eşlemede ise, sol resimde işaretlenen noktanın etrafındaki piksellerle bu noktaya karşılık gelen sağ resimdeki yaklaşık yerinin etrafındaki piksellerin gri değer farkları minimum olacak şekilde eşleme yapılır.

Tezin kapsamı içinde geliştirilen yazılımda Alana Dayalı Görüntü Eşleme yöntemleri kullanıldı. Bu yazılımın Havai Nirengi kısmında, Işın Demetleri ile blok dengeleme yapıldı. Işın Demetleri ile yapılan dengelemede, karşılıklı ve mutlak yöneltme beraber yapılır. Işın Demetleri ile dengelemede için ilk verileri, bağlantı ve yer kontrol noktalarının resim koordinatları oluşturur. Geliştirilen yazılımın test edilmesi amacıyla sayısal uygulama yapılmıştır. Bu uygulamalarda Yer Kontrol Noktalarının dağılımı ve Bağlantı Noktalarının sayısı araştırılmıştır.

## A ) ALANA DAYALI GÖRÜNTÜ EŞLEME YÖNTEMLERİ

Digital Fotogrametrik Nirengi (Havai Nirengi) için noktaların bir resimden başka bir resme transferi önemlidir. Bu işlem, Görüntü Eşleme yöntemleriyle yapılır. Karşılıklı İlişki ve En Küçük Karesel Eşleme yöntemleri Digital Fotogrametride, Alana Dayalı Görüntü Eşleme yöntemleri olarak adlandırılır.

## 1. Karşılıklı İlişki Görüntü Eşleme Yöntemi (Cross Correlation Image Matching)

Karşılıklı İlişki, klasik Görüntü Eşleme tekniklerinin en basitidir. Resim çiftlerinin birinde seçilen küçük bir parçanın (5x5 pikselden küçük olmayan bir dörtgen görüntünün) diğer resimdeki karşılığı bir araştırma penceresi içinde piksel piksel araştırılarak bulunur<sup>1</sup>. Yüksek ayırma gücüne sahip resimlerde araştırma işlemlerini hızlandırması amacıyla Görüntü Piramidi kullanılır. Görüntü Piramidi ilk görüntünün sıkıştırılmasıyla elde edilen daha küçük görüntüdür. Görüntü Piramidinin ayırma gücü, ilk görüntüye göre 2, 4, 8, 16 ... kat daha düşüktür.

Tez kapsamı içinde geliştirilen yazılımında, Görüntü Eşleme işlemleri yarı otomatik olarak yapıldı. Yarı otomatik işlemlerde, operatör sol resmin Görüntü Piramidi üzerinde bir noktayı yaklaşık olarak seçer. Görüntü Piramidi üzerinde seçilen noktanın koordinatlarından basit bir dönüşümle aranan noktanın ilk görüntüdeki yeri belirlenir (x,y). İlk görüntüde işaretlenen nokta merkez olmak üzere  $(2n+1) \times (2n+1)$  piksellik bir ilişkilendirme penceresi çizilir. İki resim için bulunan Affin dönüşüm parametreleri yardımı ile noktanın sağ resimdeki yeri yaklaşık olarak hesaplanır. Sağ resimde hesaplanan nokta merkez alınarak  $(2m+1) \times (2m+1)$  piksellik bir araştırma penceresi elde edilir (Şekil 1). Sol resimde seçilen noktayı merkez alan dörtgen içindeki gri değerler ile sağ resimde araştırma penceresi içindeki her bir pikseli  $(x',y')$  merkez alan  $(2m+1) \times (2m+1)$  piksellik araştırma penceresi içindeki gri değerler arasında (1) eşitliğiyle Karşılıklı İlişki katsayıları hesaplanır. Araştırma penceresi içinde, sol resimdeki ilişkilendirme penceresine en uygun sağ resimdeki ilişkilendirme penceresi Karşılıklı İlişki katsayılarının ( $\rho$ ) incelenmesiyle bulunur. Sağ resimdeki en yüksek Karşılıklı İlişkiye sahip piksel, sol resimdeki noktanın en uygun karşılığı olarak kabul edilir. Karşılıklı İlişki katsayısının ( $\rho$ ) formülü aşağıda verilmiştir<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Armin GRUEN, DTM Generation and Visualization (Symposium on Digital Photogrammetry, 21-22 May 1998), pp. 4-6

$$\rho(u,v) = \frac{\sum_{u=-n}^n \sum_{v=-n}^n (f_1[X_1+u, Y_1+v] - \bar{f}_1) * (f_2[X_2+u, Y_2+v] - \bar{f}_2)}{\sqrt{\sum_{u=-n}^n \sum_{v=-n}^n (f_1[X_1+u, Y_1+v] - \bar{f}_1)^2 * \sum_{u=-n}^n \sum_{v=-n}^n (f_2[X_2+u, Y_2+v] - \bar{f}_2)^2}} \quad (1)$$

$2n+1$  sol resimdeki ilişkilendirme penceresi boyutları

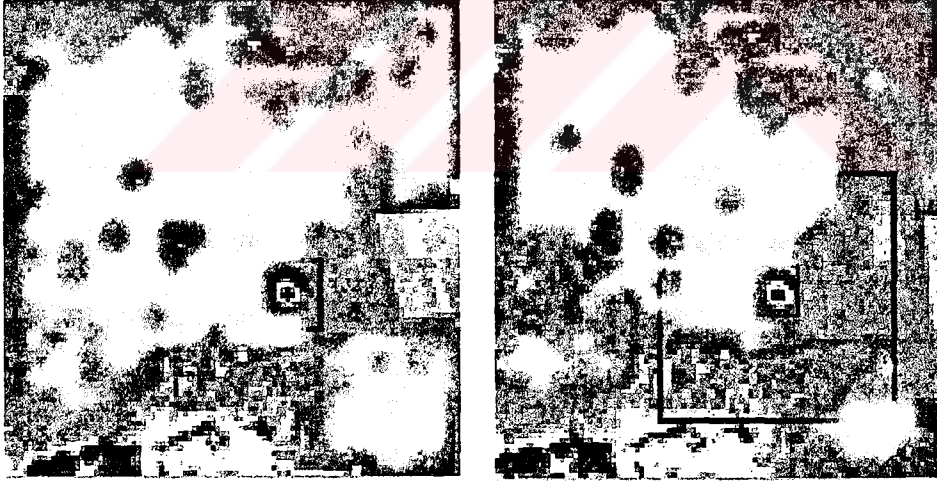
$2m+1$  sağ resimdeki araştırma penceresi boyutları

$f_1, f_2$  : sol ve sağ görüntüdeki piksellerin gri değerleri

$\bar{f}_1, \bar{f}_2$  : sol ve sağ görüntülerdeki piksellerin gri değerlerinin ortalaması

$X_1, Y_1, X_2, Y_2$  : sol ve sağ görüntülerdeki ilişki penceresi merkezinin piksel koordinatları

$u, v$  : sol ve sağ görüntüde ilişki penceresi koordinatları.



Şekil 1. 11x11 ilişkilendirme penceresi ve 51x51 araştırma penceresi örneği

Karşılıklı İlişki katsayısı  $\rho$ ,  $[-1,1]$  aralığındadır. Eğer hesaplanan katsayı  $\rho = -1$  ise iki dörtgen arasında hiçbir ilişki olmadığı anlaşılır. Hesaplanan katsayı  $\rho = 1$  ise dörtgenler arasında tam bir ilişki vardır.  $\rho$  değerinin büyük olması her zaman sol ve sağ

ilişkilendirme pencereleri arasında iyi bir eşleme olduğu anlamına gelmez. Örneğin, sol ve sağ resimde gri değer değişiminin dörtgen içinde fazla olmaması durumunda eşleme iyi sonuç vermeyebilir.

Karşılıklı İlişki kavramsal olarak basit, gerçekleşmesi kolay ve hesaplanması hızlıdır. Bu yöntemle sol ve sağ resim arasındaki dönüklükler, ölçek değişimi ve diğer deformasyonlar hesaba katılmaz. Ortalama olarak piksel hassasiyetiyle Görüntü Eşleme yapılır.

## **2. En Küçük Kareler Görüntü Eşleme Yöntemi (Least Squares Image Matching)**

En Küçük Kareler Görüntü Eşleme, seksenli yılların başında geliştirilmiştir ve bir çok Digital Fotogrametrik sistemlerde görüntü eşleme işlemlerinde kullanılmaktadır. Esneklik ve hassasiyeti yönünden görüntü eşleme yöntemleri arasında önemli bir yeri vardır.

En Küçük Kareler Eşlemede, Karşılıklı İlişki yönteminde olduğu gibi sol ve sağ resimdeki dörtgenlerin gri değerini kullanır. Yöntem En Küçük Kareler algoritmasını kullanarak gri değerler yardımıyla görüntü eşleme işlemini gerçekleştirir. En Küçük Karesel Eşlemede, sol ve sağ resimdeki gri değer farkları minimum olacak şekilde deforme edilir. Bu deformasyon bir Affin dönüşümü ile modellenir. Böylece sağ resimdeki dörtgen sol resimdeki dörtgene en iyi eşlenecek şekilde sağ resimdeki dörtgen deforme edilir. Bunun için sol resimdeki dörtgenin sağ resimdeki yaklaşık yeri bilinmelidir. İlk dengelemeden elde edilen kesin değerler bir sonraki dengelemede yaklaşık değer olarak kabul edilebilir. Dengelemeye düzeltmeler belli bir inceliğe erişinceye kadar devam edilir<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Zekai Cevdet CAN ve diğerleri, The First Turkish Digital Photogrametry Software (Third Turkish-German Joint Geodetic Days)

Teorik olarak, sol resimde  $f_1(x, y)$  gri değerlerine sahip dörtgen ile sağ resimde buna karşılık gelen  $f_2(x, y)$  gri değerli dörtgenin aynı görüntü parçası olduğu kabul edilirse, her iki dörtgendeki gri değerler her zaman birbirine eşit olur (Eşitlik 2);

$$f_1(x, y) = f_2(x, y) \quad (2)$$

Radyometrik ve geometrik değişimlerin etkilerini dikkate aldığımızda (2) eşitliği geçerliliğini kaybeder. Çünkü sol ve sağ görüntü farklı zamanlarda ve farklı yerlerden çekilmiştir. Yani sol görüntünün içinde bulunduğu radyometrik ve geometrik koşullarla sağ görüntünün içinde bulunduğu radyometrik ve geometrik koşullar aynı değildir. Bundan dolayı sol ve sağ dörtgen arasındaki ilişki aşağıdaki (3) eşitliği ile ifade edebilir. En küçük karesel görüntü eşleme yaklaşımında, (3) eşitliği lineer hale getirilse (4) eşitliği elde edilir.

$$f_1(x, y) - f_2(x, y) = e(x, y) \quad (3)$$

$$f_1(x, y) - e(x, y) = f_2^0(x, y) + \frac{\partial f_2^0(x, y)}{\partial x} dx + \frac{\partial f_2^0(x, y)}{\partial y} dy \quad (4)$$

$x, y$  : dörtgen koordinat sistemi

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

$f_1(x, y)$  : sol görüntüdeki dörtgenin gri değerleri

$f_2^0(x, y)$  : sağ görüntüdeki dörtgenin gri değerleri

$\frac{\partial f_2^0(x, y)}{\partial x}$  : sağ görüntüdeki dörtgenin gri değerlerinin x e göre 1. türevi

$\frac{\partial f_2^0(x, y)}{\partial y}$  : sağ görüntüdeki dörtgenin gri değerlerinin y ye göre 1. türevi

Sol ve sağ görüntüdeki dörtgenlerin birbirlerine göre konumlarını belirlemede kullanılan Affin dönüşümü genel denklemleri aşağıda (5) eşitlikleri ile gösterilmiştir. Affin dönüşümünü denklemlerinin türevini alırsak aşağıda (6) eşitlikleri ile ifade edilen dx ve dy ifadelerini elde ederiz.

$$\begin{aligned} X_1 &= a_{11} + a_{12} X_2^0 + a_{13} Y_2^0 \\ Y_1 &= b_{11} + b_{12} X_2^0 + b_{13} Y_2^0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} dX &= da_{11} + da_{12} X_2^0 + da_{13} Y_2^0 \\ dY &= db_{11} + db_{12} X_2^0 + db_{13} Y_2^0 \end{aligned} \quad (6)$$

Burada  $X_1, Y_1$  sol resimde bir pikselin koordinatları,  $X_2, Y_2$  sağ resimde bir pikselin koordinatları ve  $a_{11}, a_{12}, a_{13}, b_{11}, b_{12}, b_{13}$  ise affin dönüşüm parametreleridir. Sağ resimdeki dörtgenin gri değerlerinin x ve y ye göre 1. türevlerini  $f_2^x$  ve  $f_2^y$  şeklinde gösterip basitleştirerek bunları (4) eşitliğinde yerlerine koyup birde radyometrik parametre eklediğimizde (7) eşitliğini elde ederiz.

$$f_2^x = \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial x} \quad f_2^y = \frac{\partial f_2(x, y)}{\partial y}$$

$$\begin{aligned} f(x, y) - e(x, y) &= f_2^0(x, y) + f_2^x da_{11} + f_2^x X_2^0 da_{12} + f_2^x Y_2^0 da_{13} \\ &+ f_2^y db_{11} + f_2^y X_2^0 db_{12} + f_2^y Y_2^0 db_{13} + r \end{aligned} \quad (7)$$

(7) denkleminde x bilinmeyen vektörü;

$$\mathbf{x}^T = [ da_{11}, da_{12}, da_{13}, db_{11}, db_{12}, db_{13}, r ] \quad (8)$$

eşitliği şeklinde temsil edilir.

(7) eşitliğinin katsayıları **A** matrisinin sütunlarını oluşturur. Her piksel için **A** matrisine bir satır ilave edilir (Eşitlik 9).

$$A_i^T = [f_2^x, f_2^x \cdot X_2^0, f_2^x \cdot Y_2^0, f_2^y, f_2^y \cdot X_2^0, f_2^y \cdot Y_2^0, 1] \quad (9)$$

**L** vektörü;

$$L_i = f_1(x, y) - f_2^0(x, y) \quad (10)$$

eşitliği ile bulunur.

Gözlem denklemleri matris gösterimiyle aşağıdaki (11) eşitliği gibi ifade edilir.

$$L - e = Ax \quad (11)$$

Beklenen değer, **E** ve dengeleme modeli Gauss-Markow modelidir (Eşitlik 12).

$$E(e) = 0, E(ee^T) = \sigma_0^2 \cdot P^{-1} \quad (12)$$

Burada **P=I** olarak alınır. Bilinmeyenler (**x** vektörü) en küçük kareler yöntemiyle;

$$x = (A^t \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^t \cdot P \cdot L \quad (13)$$

eşitliğiyle çözülür. Dengelemenin hassasiyeti  $m_0$  (birim ağırlığın ortalama hatası) (14)

eşitliğiyle elde edilir.

Burada fazla ölçü sayısı = dörtgendeki piksel sayısı – 7 ( $r = n-u$ ) olarak belirlenir.

$$m_0 = \sqrt{(V^T P V)/r} \quad (14)$$

Dengeleme sonucu elde edilen  $m_0$  değeri radyometrik değerlere bağlı olduğu için eşlemenin geometrik hassasiyeti hakkında bilgi vermez. X vektörüyle elde edilen bilinmeyenlerle, (6) eşitliğiyle ifade edilen dX, dY değerleri elde edilir ve sol görüntüdeki bir noktanın sağ görüntüdeki karşılığı (15) eşitlikleriyle bulunur<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} X_2 &= X_2^0 + dX \\ Y_2 &= Y_2^0 + dY \end{aligned} \quad (15)$$

<sup>3</sup> Armin GRUEN and Emanuel BALTASAVÍAS, Adaptive Least Squares Correlation With Geometrical Constraints, (Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, No. 5, 1998), pp.633-641

## İKİNCİ BÖLÜM

### HAVAI NİRENGİ VE DEMET DENGELEME

#### I. HAVAI NİRENGİ ( FOTOGRAMETRİK NİRENGİ)

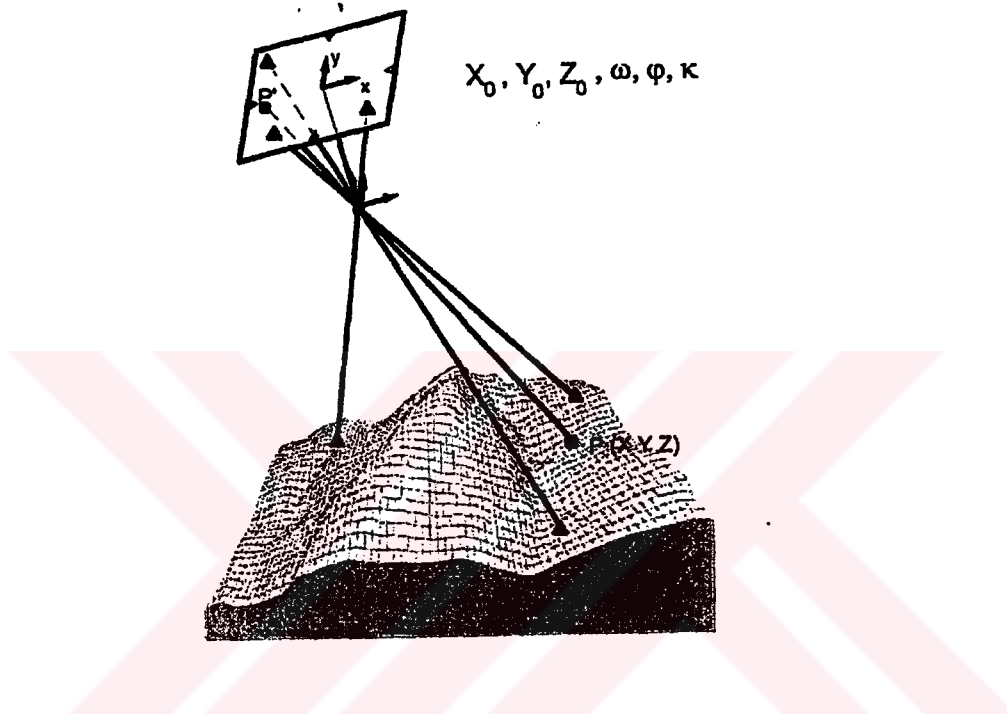
Arazide yapılan çalışmalar, harita yapımında toplam maliyetin yarısına yakın kısmını oluşturur. Fotogrametrinin amaçlarından birisi de büro çalışmalarına göre pahalı olan arazi çalışmalarını azaltmaktır. Resimlerin veya modellerin değerlendirilmesi için gerekli olan noktaların koordinatları fotogrametrik yöntemle elde edilebilir. Bu noktaların koordinatlarını fotogrametrik olarak elde edilmesine “**Havai Nirengi**” veya “**Fotogrametrik Nirengi**” denir. Bu yöntemle noktaların koordinatlarını elde edebilmek için resimleri çekilen alanda jeodezik yöntemlerle koordinatı elde edilmiş noktalara ihtiyaç vardır. Bu noktalara “**Yer Kontrol Noktaları (Ground Control Points)**” denir<sup>4</sup>.

Digital Fotogrametrik Nirengi, analog görüntülerin taranmasıyla veya doğrudan digital olarak elde edilen görüntülerin tamamen digital bir ortamda fotogrametrik üretimi başlatmak için bilgisayar belleğine yüklenmesiyle başlayan bir işlemdir. Yer kontrol noktaları ve bağlantı noktalarının resim koordinatları ölçüldükten sonra doğrusallık şartına dayalı Demet Blok Dengelemesi yapılır. Bu dengelemede yer kontrol noktalarının yer koordinatları kullanılır. Bu sayede resim koordinatları ile yer koordinatları arasındaki dönüşüm elde edilir. Havai nirengide demet dengelemeden sonra dış yöneltme elemanlarını, yani projeksiyon merkezinin koordinatları  $X_0, Y_0, Z_0$  ile her resmin dönüklüğü  $\omega, \varphi, \chi$  açıları elde ederiz (Şekil 2).

Analitik fotogrametrik nirengide asıl gelişme, geçen 30 yılda hesaplama tekniklerinin gelişmesi ile fotogrametrik nirenginin demet dengelemesi bölümünde olmuştur.

<sup>4</sup> Ahmet YAŞAYAN, Fotogrametri Ders Notları, (K.T.Ü. Trabzon, 1974),

Şimdilerde yaşanan gelişme ise, digital hale getirilmiş görüntülerin ekrana aktarılması ve görüntü işleme algoritmaları ile nokta transferi (bindirmeli resimlerde bir noktanın diğer resimdeki yerinin bulunması) işlemlerinin otomatikleştirilmesidir. Digital Fotogrametrik nirengiden beklenen, geleneksel fotogrametrik nirengiden daha düşük maliyetle, dengelenen blokların hassasiyetini ve dengeleme hızını artırmaktır<sup>5</sup>.



Şekil 2 : Havai nirengi

Fotogrametrik Nirengi, elde edilen görüntülerin fotogrametrik üretim ve ölçü amaçları ile hazırlanmasından sonra başlayan karmaşık bir işlemdir. Digital Fotogrametrik Nirengide yapılan geleneksel işlemler, bağlantı ve yer kontrol noktalarının (ground control points) görüntü üzerindeki yerinin belirlenmesi, birbirine benzer görüntü parçaları ve nokta transferi ile resim koordinatlarının ölçülmesidir<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Fritz ACKERMANN and Vasilias TSINGAS, Automatic Digital Aerial Triangulation, (Institute for Photogrammetry University of Stuttgart, Stuttgart), pp.1 (Photogrammetric Record. 15(89), Arpil 1997), pp.645

<sup>6</sup> Dieter FRITSCH, Introduction into Digital Aerotriangulation, (Photogrammetric Week'95, Stuttgart, 1995), pp. 165

Digital Fotogrametrik Nirengide demet dengelemesi dahil bütün Fotogrametrik Nirengi işlemleri digital görüntüler (veya digital hale getirilmiş Analog görüntülere) kullanılarak yapılır. Görüntü Eşleme yöntemleriyle, bağlantı ve yer kontrol noktalarının resim koordinatlarının ölçümü ve transferi gerçekleştirilir. Belirlenen bağlantı ve yer kontrol noktalarının ışın demetleriyle dengelemesi yapılarak resim koordinatlarına gerekli düzeltmeler getirilir. Bunun sonucu olarak Digital Fotogrametrik Nirengi ile resim koordinatları bilinen noktaların doğrusalık denklemleriyle yer koordinatları belirlenmiş olur. Bu sayede, bütün görüntülerin dış yöneltme parametreleri ve onların oluşturduğu bir blok sistemi üreterek, proje alanının Sayısal Yükseklik Modeli, yükseklik eğrisi, Digital Ortofoto ve perspektif görünüşü elde edilir.

Digital Fotogrametrik Nirengide noktaların fotoğraftan fotoğrafa transferi daha kolay yapıldığı için noktaların krokilerinin yapılması veya diyapozitifler üzerine işaretlerinin yapılması ortadan kalkmaktadır. Bundan dolayı Fotogrametrik Nirengide çok az bir hazırlık işlemi gerekmektedir. Digital Fotogrametrik Nirengide Demet Dengelemesinin yapılabilmesi için noktaların resim koordinatları gereklidir. Bundan dolayı Digital Fotogrametrik Nirengi işlemlerinde nokta transferi önemli bir konudur. Sol resimde, resim koordinatları ölçülen bir noktanın sağ resimdeki yerinin bulunması ve resim koordinatının ölçülmesi gereklidir. Bir noktanın diğer resimdeki koordinatlarını ölçmek için Görüntü Eşleme yöntemlerinden yararlanılır. Noktalarının transferi iki aşamada yapılır. İlk aşama bağlantı noktalarının 1.resimdeki (sol resim) resim koordinatlarının ölçülmesini diğeri ise bu noktaların diğer görüntüye transferi işlemlerini içerir<sup>7</sup>. Analitik Fotogrametrik Nirengide bu işlemlerin her ikisi de operatör tarafından elle yapılır. Digital Fotogrametrik Nirengide bağlantı noktalarının seçimi ve transferi analitik fotogrametrik nirengiye göre hız, hassasiyet ve kolaylık bakımından daha iyidir.

Kullanılan Görüntü Eşleme yöntemine göre nokta transfer işlemleri elle, yarı otomatik ve otomatik olarak yapılabilir<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Fritz ACKERMANN and Peter KRZYSZEK, Complete Automation of Digital Aerial Triangulation, (Photogrammetric Record. 15(89), Arpil 1997), pp.645

<sup>8</sup> Dieter FRITSCH, Digital Aerial Triangulation, (Symposium on Digital Photogrammetry, 21-22 May, İstanbul, 1998),pp. IV-1

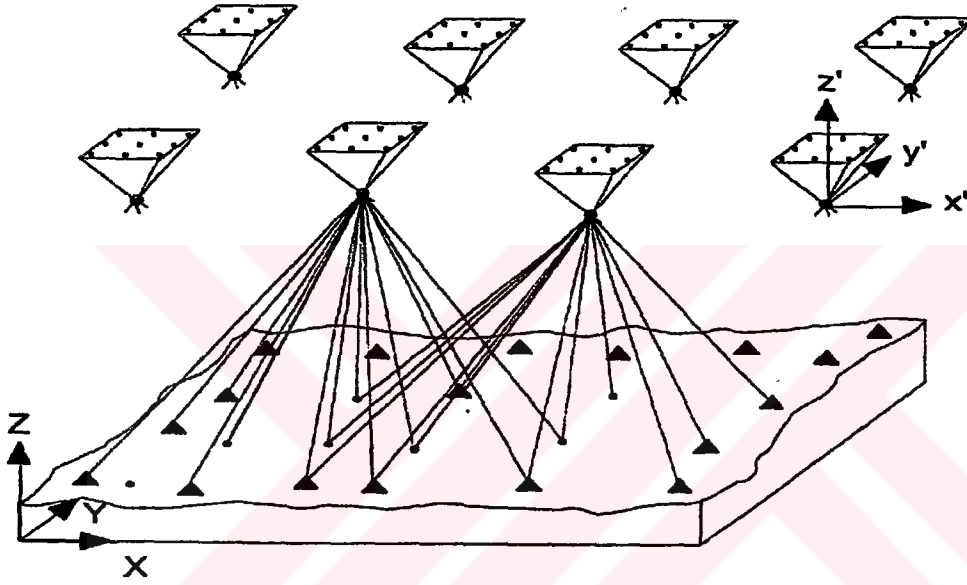
- Elle : Operatör, ekran üzerinde sol ve sağ resimdeki noktaların koordinatlarını kendisi belirler.
- Yarı Otomatik : Operatör, ekran üzerinde transfer edilecek noktayı sol resim üzerinden seçer. Noktanın sağ resimdeki karşılığının koordinatları Görüntü Eşlemesiyle bulunur.
- Otomatik : Görüntü alanının 9 standart parçası içinde otomatik olarak seçilen noktalar otomatik olarak diğer resme transfer edilir ve resim koordinatları ölçülür.

Tez kapsamı içinde geliştirilen digital fotogrametri yazılımında, yarı otomatik yöntem esas alınmıştır. Yarı otomatik yöntemlerde kullanıcı işleme her zaman müdahale edebilme imkanı vardır. Örneğin operatör yanlış eşlenmiş bir noktayı tespit edip işlemi yeniden yapabilir veya kendisi noktanın yerini seçebilir. Ayrıca yarı otomatik sistemler otomatik sisteme geçiş için basamak oluşturur. Çift resim değerlendirmesinde, dış yöneltme resim çifti için ortak belirlenir. Bu işlem 12 bilinmeyen çözülmesi demektir. Bunlar iki resme ait projeksiyon merkezinin koordinatları ve dönüklük elemanlarıdır. Dış yöneltme elemanlarının bilinmesi durumunda resim çiftinin oluşturduğu uzaysal model, konum ve yükseklik bakımından ölçülebilir durumdadır. Değerlendirme işlerinin yapılması için dış yöneltme elemanlarını hesaplamamız gereklidir. Dış yöneltme işlemi karşılıklı ve mutlak yöneltmeden oluşur. Karşılıklı yöneltme işleminde, her iki resimden elde edilen ışın demetleri resimleri çekim anındaki konumlarına getirmek için kullanılırlar, yani birbirlerine karşı gelen ve aynı cisim noktasına ait olan ışınların kesişmeleri sağlanır. Sonuç olarak ölçeği, uzaydaki konumu ve yöneltmesi belirsiz bir uzay modeli ortaya çıkar. Bu model üzerinde ölçme yapılabilmesi için modelin belirli bir ölçeğe sahip olması, döndürülerek ve ötelenerek üç boyutlu koordinatlarının istenilen model ölçeğine indirgenmiş cisim koordinatları ile eşitlenmesi gerekir. Bu işlem ise, dış yöneltmenin ikinci adımı olan mutlak yöneltmedir.

Yukarda bahsedildiği gibi Işın Demetleri ile dengelemede mutlak ve karşılıklı yöneltme beraber yapılır. Dış yöneltmenin bilinmeyenleri dengeleme sonucunda elde edilerek resimlerin çekim anındaki durumları belirlenir.

## A ) IŞIN DEMETLERİ İLE DEMET DENGELEME

Blok veya şeritlerin, yer koordinatları ve görüntü koordinatları arasındaki ilişki model koordinatlarını ortaya çıkarmadan doğrudan hesaplanabilir. Bunun için fotoğraflar demet dengelenmesi için başlangıç ünitelerdir.



Şekil 3 : Demet dengelenmesinin temel prensibi<sup>9</sup>

Demet dengelenmesinin temel prensibi Şekil 3 de gösterilmiştir. Görüntü koordinatları ve fotoğrafın projeksiyon merkezi, ışınların konumsal demetleriyle tanımlanır. Başlangıçta, blok içerisindeki demetlerin dış yönelmesi bütün fotoğraflar için benzer şekilde hesaplanır. İlk veriler, kontrol noktalarının obje koordinatlarından, görüntü koordinatlarından ve bağlantı noktalarının görüntü koordinatlarından meydana gelir<sup>10</sup>.

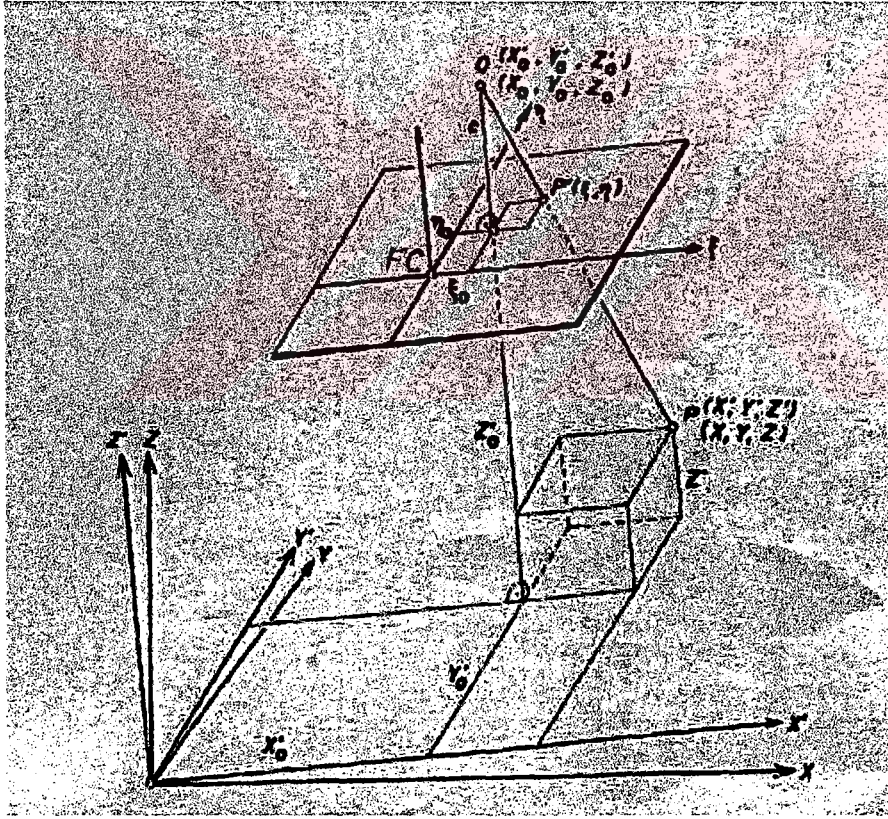
İlk önce dengelemeye çalıştığımız yer koordinatları ve görüntü koordinatları arasındaki matematiksel ilişkiyi göz önünde bulundurmamız gereklidir.

<sup>9</sup> Norbert HAALA, GPS/INS Integration (Tutorial Phowo'97, IFP, Stuttgart, September 1997), pp.18

<sup>10</sup> Karl KRAUS, Photogrammetry (Volume 1, Dümmler/Bonn, 1992), pp.276

## 1. Görüntü Ve Yer Koordinatları Arasındaki Matematiksel İlişki

Fotoğrafın pozlanması anında P obje noktası, P' görüntü noktası ve O projeksiyon merkezi düz bir çizgi üzerindedir. Yani P, P' ve O noktaları aynı doğru üzerindedir. Fotogrametrik izdüşümün tanımı gereği P, P' ve O noktaları aynı doğru üzerinde olmalıdır. Objeye noktası, görüntü noktası ve projeksiyon merkezinin bir doğru üzerinde olma durumuna Kolinearite (Doğrusallık) şartı denir. Görüntü koordinat sistemiyle  $(\xi, \eta, \zeta)$  paralel olan yer koordinat sisteminin  $(X, Y, Z)$  uzaydaki dönüklüğünden yararlanarak yer koordinat sistemindeki  $X', Y', Z'$  değerlerini buluruz. Doğrusallık şartının genel prensibi Şekil 4 de gösterilmiştir<sup>11</sup>.



Şekil 4 : Doğrusallık Şartı.

<sup>11</sup> KRAUS, a.g.e., pp.277

Doğrusallık şartından faydalanarak  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$  sistemiyle  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  sistemi arasındaki ilişkiyi (16) eşitliği ile ifade edebiliriz

$$\frac{\xi - \xi_0}{c} = \frac{X' - X'_0}{Z' - Z'_0} \quad (16)$$

$$\frac{\eta - \eta_0}{c} = \frac{Y' - Y'_0}{Z' - Z'_0}$$

(16) eşitliği bilinmeyenler olarak alınan görüntü koordinatlarına göre yeniden düzenlendiğinde eşitliği elde edilir.

$$\xi = \xi_0 - c \frac{X' - X'_0}{Z' - Z'_0} \quad (17)$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{Y' - Y'_0}{Z' - Z'_0}$$

Projeksiyon merkezinin  $X'_0$  ve obje noktasının  $X'$  koordinatları orijinal yer koordinat sisteminin  $X_0$  ve  $X'_i$  ile yer değiştirebilir.  $X'Y'Z'$  sistemi  $XYZ$  sistemine bağlı olarak döndürüldüğünde (18) eşitliği ile ifade edilen  $R$  dönüklük matrisi elde edilir<sup>12</sup>.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{bmatrix} \cos\varphi\cos\kappa & -\cos\varphi\sin\kappa & \sin\varphi \\ \cos\omega\sin\kappa + \sin\omega\sin\varphi\cos\kappa & \cos\omega\cos\kappa - \sin\omega\sin\varphi\sin\kappa & -\sin\omega\cos\varphi \\ \sin\omega\sin\kappa - \cos\omega\sin\varphi\cos\kappa & \sin\omega\cos\kappa + \cos\omega\sin\varphi\sin\kappa & \cos\omega\cos\varphi \end{bmatrix} \quad (18)$$

<sup>12</sup> KRAUS, a.g.e., pp.278

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Eşitlik 17, Eşitlik 19'da yerine konursa Eşitlik 20'de ifade edilen, yer ve görüntü koordinatları arasındaki istenen ilişki elde edilir.

$$\xi = \xi_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = \xi_0 - c \frac{Z_x}{N} \quad (20)$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = \eta_0 - c \frac{Z_y}{N}$$

Diferansiyel ilişkilerde işlemleri basitleştirmek için pay için  $Z_x$  ve  $Z_y$ , payda için ise  $N$  kısaltmaları kullanılır.

## 2. Diferansiyel İlişkiler

En Küçük Karesel çözüm için, lineer olmayan (19) Eşitliğinin lineer hale getirilmesi gereklidir. Bunun için görüntü koordinatları  $\xi$  ve  $\eta$  yı ifade eden fonksiyonun (Eşitlik 20 ) bilinmeyenlere göre kısmi türevleri alınır.  $R$  matrisinin elemanları Eşitlik (18) e uygun olarak  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  açılarının bir fonksiyonudur<sup>13</sup>.

$$\xi_i = f(\xi_0, c, X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa, X_i, Y_i, Z_i)$$

$$\eta_i = f(\eta_0, c, X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa, X_i, Y_i, Z_i)$$

<sup>13</sup> KRAUS, a.g.e., pp.279

$$\frac{\partial \xi}{\partial X_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{13}Z_x - r_{11}N) = a_2$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial X_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{13}Z_y - r_{12}N) = b_2$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial Y_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{23}Z_x - r_{21}N) = a_3$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial Y_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{23}Z_y - r_{22}N) = b_3$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial Z_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{33}Z_x - r_{31}N) = a_4$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial Z_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{33}Z_y - r_{32}N) = b_4$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial \omega} = -\frac{c}{N} \left\{ ((Y - Y_0)r_{33} - (Z - Z_0)r_{23}) \frac{Z_x}{N} - (Y - Y_0)r_{31} + (Z - Z_0)r_{21} \right\} = a_5$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \omega} = -\frac{c}{N} \left\{ ((Y - Y_0)r_{33} - (Z - Z_0)r_{23}) \frac{Z_y}{N} - (Y - Y_0)r_{32} + (Z - Z_0)r_{22} \right\} = b_5$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial \phi} = \frac{c}{N} \left\{ (Z_x \cos \kappa - Z_y \sin \kappa) \frac{Z_x}{N} + N \cos \kappa \right\} = a_6$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \phi} = \frac{c}{N} \left\{ (Z_x \cos \kappa - Z_y \sin \kappa) \frac{Z_y}{N} - N \sin \kappa \right\} = b_6$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial \kappa} = -\frac{c}{N} Z_y = a_7$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \kappa} = \frac{c}{N} Z_x = b_7$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial X} = -\frac{c}{N^2}(Nr_{11} - Z_x r_{13}) = a_8$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial X} = -\frac{c}{N^2}(Nr_{12} - Z_y r_{13}) = b_8$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \xi}{\partial Y} &= -\frac{c}{N^2}(Nr_{21} - Z_x r_{23}) = a_9 & \frac{\partial \eta}{\partial Y} &= -\frac{c}{N^2}(Nr_{22} - Z_y r_{23}) = b_9 \\ \frac{\partial \xi}{\partial Z} &= -\frac{c}{N^2}(Nr_{31} - Z_x r_{33}) = a_{10} & \frac{\partial \eta}{\partial Z} &= -\frac{c}{N^2}(Nr_{32} - Z_y r_{33}) = b_{10}\end{aligned}\quad (21)$$

### 3. Bir Blok Fotoğraf İçin Gözlem Ve Normal Denklemler

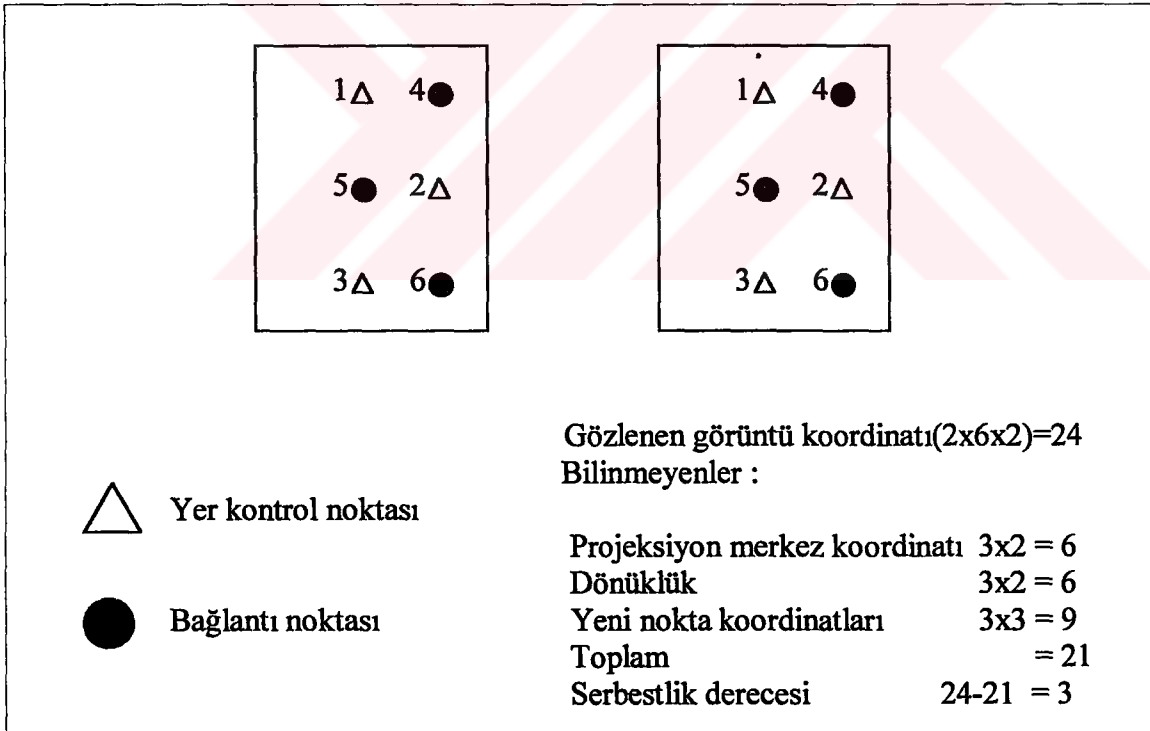
Dolaylı gözlemlerle en küçük kareler dengelemesinin doğrusallaştırılmış gözlem denklemlerini yazmak için yukarıdaki ifadeleri kullanabiliriz. Aşağıda verilen diferansiyel formüllerde  $i$  indisi nokta,  $j$  indisi ise resim numarasını göstermektedir. Her ölçülen resim noktasının iki koordinatı iki gözlem denklemi (Eşitlik 22) yapılandırır<sup>14</sup>.

$$\begin{aligned}v_{\xi ij} &= \left(\frac{\partial \xi}{\partial X_{0j}}\right)^0 dX_{0j} + \left(\frac{\partial \xi}{\partial Y_{0j}}\right)^0 dY_{0j} + \left(\frac{\partial \xi}{\partial Z_{0j}}\right)^0 dZ_{0j} \\ &+ \left(\frac{\partial \xi}{\partial \omega_j}\right)^0 d\omega_j + \left(\frac{\partial \xi}{\partial \varphi_j}\right)^0 d\varphi_j + \left(\frac{\partial \xi}{\partial \kappa_j}\right)^0 d\kappa_j \\ &+ \left(\frac{\partial \xi}{\partial X_i}\right)^0 dX_i + \left(\frac{\partial \xi}{\partial Y_i}\right)^0 dY_i + \left(\frac{\partial \xi}{\partial Z_i}\right)^0 dZ_i - (\bar{\xi}_{ij} - \xi_{ij}^0) \\ v_{\eta ij} &= \left(\frac{\partial \eta}{\partial X_{0j}}\right)^0 dX_{0j} + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Y_{0j}}\right)^0 dY_{0j} + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z_{0j}}\right)^0 dZ_{0j} \\ &+ \left(\frac{\partial \eta}{\partial \omega_j}\right)^0 d\omega_j + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \varphi_j}\right)^0 d\varphi_j + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \kappa_j}\right)^0 d\kappa_j \\ &+ \left(\frac{\partial \eta}{\partial X_i}\right)^0 dX_i + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Y_i}\right)^0 dY_i + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z_i}\right)^0 dZ_i - (\bar{\eta}_{ij} - \eta_{ij}^0)\end{aligned}\quad (22)$$

<sup>14</sup> KRAUS, a.g.e., pp.280

Bu denklemlerde bilinmeyenler ,  $P_i$  noktasının 3 yer koordinatı ve her fotoğrafın dış yönelme parametrelerinin 6 elemanıdır.

(21) eşitlikleri yardımı ile ( $[ ]^0$ ) bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri hesaplanır. Ayrıca  $\xi_{ij}^0$  ve  $\eta_{ij}^0$  bilinmeyenlerinin yaklaşık değerleri (20) eşitlikleri ile hesaplanır.  $\xi_{ij}$  ve  $\eta_{ij}$  resim koordinatları ölçüldüğüne göre gerekli bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri farklı yollardan hesaplanabilir. Örnek olarak düşey fotoğraflar için  $\omega^0 = \varphi^0 = 0$  alınır.  $\kappa^0$  ise uçuş planından belirlenir. Bağımsız modeller yardımıyla bir blok dengelemesi, yeni noktanın  $X^0$  ,  $Y^0$  ,  $Z^0$  koordinatlarını ve projeksiyon merkezinin  $X^0_0$  ,  $Y^0_0$  ,  $Z^0_0$  koordinatlarını verir. 2 fotoğraflık şematik bir örnek (Şekil 5), işlemi açıklamak için yardımcı olacaktır. Örneğimizde, her resimde 3 yer kontrol noktası ve 3 bağlantı noktası vardır. Bilinmeyenler ve gözlemler arasındaki ilişki Şekil 5 te görülmektedir.



Şekil 5 : Bilinmeyenler ve Gözlemler arasındaki ilişki

Tablo 1 : Gözlem denklemleri katsayıları

	1. Resim							2. Resim							L								
	X <sub>01</sub>	Y <sub>01</sub>	Z <sub>01</sub>	φ <sub>1</sub>	φ <sub>1</sub>	κ <sub>1</sub>	X <sub>02</sub>	Y <sub>02</sub>	Z <sub>02</sub>	ω <sub>2</sub>	φ <sub>2</sub>	κ <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>		Z <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub>	Z <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub>	Z <sub>6</sub>	
Vξ <sub>11</sub>	a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>						.											ξ <sub>11</sub>
Vη <sub>11</sub>	b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>																	η <sub>11</sub>
Vξ <sub>12</sub>							a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>											ξ <sub>21</sub>
Vη <sub>12</sub>							b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>											η <sub>21</sub>
Vξ <sub>21</sub>	a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>																	ξ <sub>12</sub>
Vη <sub>21</sub>	b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>																	η <sub>12</sub>
Vξ <sub>22</sub>							a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>											ξ <sub>22</sub>
Vη <sub>22</sub>							b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>											η <sub>22</sub>
Vξ <sub>31</sub>	a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>																	ξ <sub>13</sub>
Vη <sub>31</sub>	b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>																	η <sub>13</sub>
Vξ <sub>32</sub>							a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>											ξ <sub>23</sub>
Vη <sub>32</sub>							b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>											η <sub>23</sub>
Vξ <sub>41</sub>	a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>							a <sup>0</sup> <sub>8</sub>	a <sup>0</sup> <sub>9</sub>	a <sup>0</sup> <sub>10</sub>								ξ <sub>14</sub>
Vη <sub>41</sub>	b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>							b <sup>0</sup> <sub>8</sub>	b <sup>0</sup> <sub>9</sub>	b <sup>0</sup> <sub>10</sub>								η <sub>14</sub>
Vξ <sub>42</sub>							a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>											ξ <sub>24</sub>
Vη <sub>42</sub>							b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>											η <sub>24</sub>
Vξ <sub>51</sub>	a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>							a <sup>0</sup> <sub>8</sub>	a <sup>0</sup> <sub>9</sub>	a <sup>0</sup> <sub>10</sub>								ξ <sub>15</sub>
Vη <sub>51</sub>	b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>							b <sup>0</sup> <sub>8</sub>	b <sup>0</sup> <sub>9</sub>	b <sup>0</sup> <sub>10</sub>								η <sub>15</sub>
Vξ <sub>52</sub>							a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>											ξ <sub>25</sub>
Vη <sub>52</sub>							b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>											η <sub>25</sub>
Vξ <sub>61</sub>	a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>														a <sup>0</sup> <sub>8</sub>	a <sup>0</sup> <sub>9</sub>	a <sup>0</sup> <sub>10</sub>	ξ <sub>16</sub>
Vη <sub>61</sub>	b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>														b <sup>0</sup> <sub>8</sub>	b <sup>0</sup> <sub>9</sub>	b <sup>0</sup> <sub>10</sub>	η <sub>16</sub>
Vξ <sub>62</sub>							a <sup>0</sup> <sub>2</sub>	a <sup>0</sup> <sub>3</sub>	a <sup>0</sup> <sub>4</sub>	a <sup>0</sup> <sub>5</sub>	a <sup>0</sup> <sub>6</sub>	a <sup>0</sup> <sub>7</sub>								a <sup>0</sup> <sub>8</sub>	a <sup>0</sup> <sub>9</sub>	a <sup>0</sup> <sub>10</sub>	ξ <sub>26</sub>
Vη <sub>62</sub>							b <sup>0</sup> <sub>2</sub>	b <sup>0</sup> <sub>3</sub>	b <sup>0</sup> <sub>4</sub>	b <sup>0</sup> <sub>5</sub>	b <sup>0</sup> <sub>6</sub>	b <sup>0</sup> <sub>7</sub>								b <sup>0</sup> <sub>8</sub>	b <sup>0</sup> <sub>9</sub>	b <sup>0</sup> <sub>10</sub>	η <sub>26</sub>

Yukarıdaki verilere göre gözlem denklemlerinin katsayıları  $A$  matrisini oluşturmaktadır ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Dengeleme işlemlerinde gerekli elemanların hesaplanması Eşitlik (23) ve Eşitlik (24) yardımı ile yapılır. Bu işlemler bir blok için düşünülürse matrisin boyutları artacağından hesabının yapılması zor olacaktır. Hesap külfetinden kurtulmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan birisi  $N$  matrisini parçalara ayırarak hesabın yapılmasıdır. Bununla ilgili bilgi normal denklemlerin çözümünde verilecektir. Bu tabloda düzeltmeler  $v_{ij}$  biçiminde yazılmışlardır.

Düzeltilmeler vektörü;  $v = A x - I$  (23)  
dir. Buradan

Normal denklemler ise  $A^T A x = A^T I$  (24)  
eşitliği ile verilir.

$A^T A$  yerine  $N$  ve  $A^T I$  yerinde  $n$  (24) koyarsak normal denklem eşitliği Eşitlik 25 teki şekli alır.

$$N x = n \quad (25)$$

#### 4. Normal Denklemlerin Çözümü

$N$  matrisi (Eşitlik 26) dört alt matristen oluşur (Şekil 6). Sol üst matris  $N_{11}$ ,  $[6*j,6*j]$  elemandan oluşan ( $j$  fotoğraf sayısı olmak üzere) bir hiperdiagonal matristir.  $N_{11}$  matrisini oluşturan  $[6,6]$  lık alt matrislerin her biri bir resme ait dış yöneltme elemanlarının katsayılarından oluşur.

$$\begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{12}^T & N_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (26)$$

Sağ alttaki  $N_{22}$  alt matrisi, toplam  $[3*i,3*i]$  adet elemana sahip olmak üzere (i bağlantı noktalarının sayısıdır.)  $[3,3]$  elemanlı alt matrislerden oluşur.  $[3,3]$  elemanlı alt matrislerin her biri bağlantı noktalarının arazi koordinatlarının katsayılarından meydana gelir.  $N_{12}$  ve  $N_{12}^T$  dolu matrislerdir.

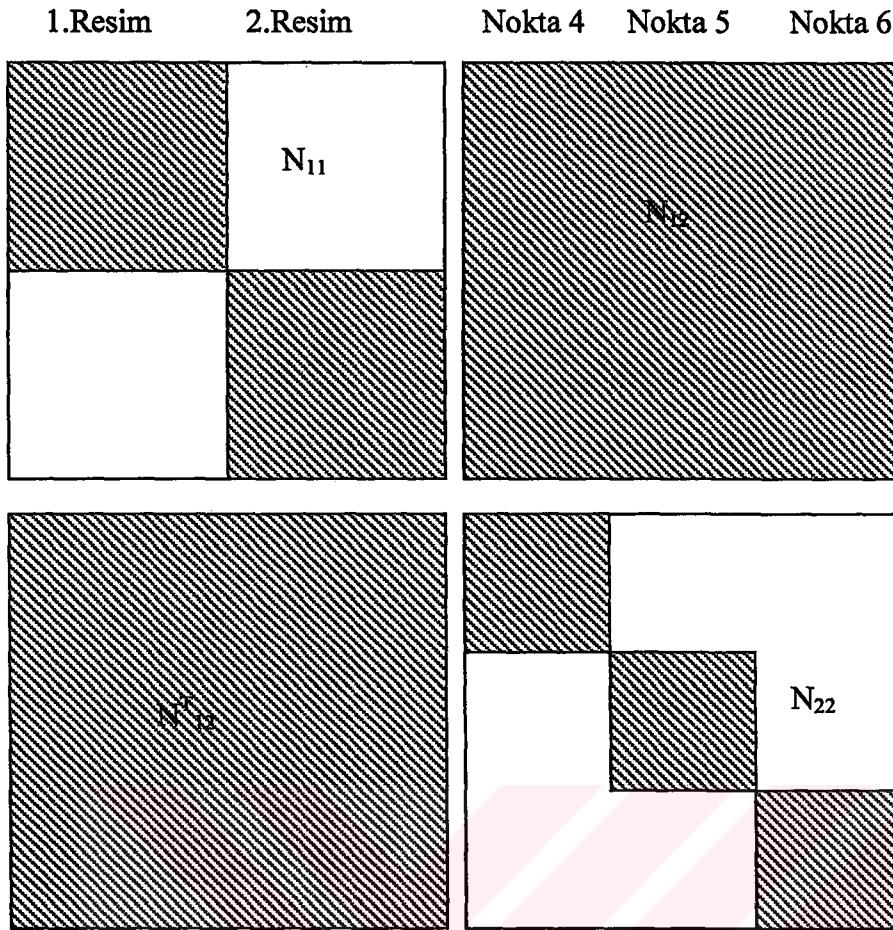
$N$  matrisinin parçalarına göre  $X$  bilinmeyenler vektörünü tanımlayacak olursak iki parçaya ayırmak mümkündür.  $X_1$  alt vektörü her resme ait bilinmeyen dış yöneltme parametrelerini,  $X_2$  alt vektörü ise yeni noktaların bilinmeyen arazi koordinatlarını içermektedir.  $X_1$ ,  $X_2$  alt vektörleri normal denklem sisteminin eliminasyonu ile hesaplama külfetine gerek kalmaksızın Eşitlik (27) ile hesaplanabilir. Buna göre  $X_1$  ve  $X_2$  alt vektörlerinin içeriği ise Eşitlik (28) de görülmektedir<sup>15</sup>.

$$(N_{11} - N_{12}N_{22}^{-1}N_{12}^T)x_1 = n_1 - N_{12}^{-1}N_{12}n_2 \quad (27)$$

Demet dengelemesi ile bağlantı noktalarının yaklaşık koordinatlarını ve her bir fotoğrafın dış yöneltme elemanlarının yaklaşık değerlerinin düzeltilmeleri elde edilir. Yaklaşımlar kaba ise, düzeltilmiş değerler yeni dengeleme için yeni yaklaşım gibi işlemde geçirilebilmelidir. Bu işlemler blok dengelemesinin bilinmeyenlerinde önemsiz değişimler bulununcaya kadar tekrarlanır.

$$X_1 = \begin{bmatrix} X_1^0 \\ Y_1^0 \\ Z_1^0 \\ \omega_1 \\ \phi_1 \\ \kappa_1 \\ X_2^0 \\ Y_2^0 \\ Z_2^0 \\ \omega_2 \\ \phi_2 \\ \kappa_2 \end{bmatrix} \quad X_2 = \begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \\ X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \\ X_5 \\ Y_5 \\ Z_5 \end{bmatrix} \quad (28)$$

<sup>15</sup>.KRAUS,a.g.e.,pp.282



Şekil 6 : N matrisi ve alt matrisleri

Dijital Fotogrametrik Nirengide sonucun incelenmesinde iki parametre kullanılır. Bunlardan birincisi, resim koordinatlarının yani ağırlığı bir olan ölçümlerin dengeleme sonucunda bulunan ve  $(\sigma_0)$  ile gösterilen hassasiyetidir. İkincisi ise, dengelenmiş bir fotogrametrik bloğun mutlak doğruluğu (Eşitlik 29) olup, ölçümlerin hassasiyeti  $(\sigma_0)$  ve bloğun geometrisine (yer kontrol noktalarının sayısı ve dağılımı, resim bindirme oranları, bağlantı noktalarının sayısı ve dağılımına) bağlıdır. Dijital Fotogrametrik Nirenginin duyarlık düzeyi, uygulanan Görüntü Eşleme yöntemine ve dijital ortama aktarılmış görüntülerin piksel boyutuna bağlıdır<sup>16</sup>.

$$\sigma_i = \sigma_0 \sqrt{Q_{ii}} \quad (Q_{ii} = N^{-1}) \quad (29)$$

<sup>16</sup> ACKERMAN, KRZYSTEK, a.g.e., pp.652

## 5. Demet Dengelemede Kullanılan Veriler

Yukarıda diferansiyel ilişkiler bölümünde ifade edilen  $\xi$  ve  $\eta$  resim koordinatları için oluşturulan fonksiyonlarda görülen resim orta noktasının koordinatları ve kamera sabiti  $c$  nin değerleri dengelemeden önce bilinmektedir. Buna karşılık dönüklük elemanları  $\omega$ ,  $\phi$  ve  $\kappa$  değerleri ile projeksiyon merkezinin ve bağlantı noktalarının yer sistemindeki yaklaşık koordinatları bilinmemektedir. Bu değerler dengeleme yapabilmemiz için gereklidir. Dengeleme işlemlerinde bu değerler yukarıda ifade edildiği gibi bilinmeyen olarak alınmıştır. Normal denklemlerin katsayılarının hesabında bunların yaklaşık değerlerinden yararlanır.

Düşey resimler için dönüklük elemanları,  $\omega_0=\phi_0=0$  alınır ve  $\kappa_0$  değerinin uçuş planlarından belirlendiğini daha önce belirtilmişti. Projeksiyon merkezinin ve bağlantı noktalarının yer sisteminde yaklaşık koordinatlarının hesaplanması gerekir. Bu işlemi tez kapsamı içinde geliştirilen Dijital Fotogrametri yazılımında yapabilmek için her resimde görüntü koordinatı ve yaklaşık yer koordinatı bilinen iki nokta gereklidir. Görüntü ve yer koordinat sistemleri arasındaki ilişki Helmert dönüşümü ile sağlanır. Böylece görüntü koordinatları bilinen noktaların yaklaşık yer koordinatları belirlenmiş olur.

Demet dengelemesi için gerekli olan bir başka veri ise bilinen noktaların koordinatlarıdır. Bilinen noktaların koordinatları tez kapsamında geliştirilen yazılım içinde hazırlanan bir dosya ile demet dengeleme işlemlerinde kullanılır. Bundan başka ölçülen görüntü koordinatları tez kapsamında geliştirilen yazılım içinde hazırlanan dosyalarla demet dengeleme kısmında kullanılır.

Yaklaşık değerler kullanarak dengeleme işlemi sonunda bunların kesin değerleri hesaplanır. Bu işlemlerin yazılım tarafından nasıl yapıldığı hakkında Dördüncü Bölümde daha detaylı bilgi verilecektir.

## 6. Demet Dengeleme Algoritması

Tez kapsamında geliştirilen Dijital Fotogrametri yazılımının demet dengelemesi kısmına ait matematiksel işlemlerin nasıl yapıldığı ve sırası program algoritması içinde verilmiştir. İşlemlerin her biri sırası ve matematiksel ifadesiyle yer almaktadır. Yazılımın kullanımıyla ilgili bilgi, Bölüm 5 de örnekleriyle birlikte sunulacaktır.

***Bağlantı noktalarının koordinatları ve resimlerin dış yöneltme elemanlarının yaklaşık değerlerinin elde edilmesi:***

{Resim numaraları dosyasını oku

Her resimdeki iki noktanın yer ve resim koordinatlarını içeren dosyayı oku

Bağlantı ve yer kontrol noktalarının resim koordinatları dosyasını oku

Kamera sabiti  $c$  ve resim boyutlarını tanımla.

Her resim için aşağıdakileri yap:

{Resim ve yer koordinatları bilinen iki nokta yardımıyla yer ve resim koordinat sistemi arasında Helmert dönüşümü yap.

Bağlantı noktalarının X,Y yer koordinatlarını resim koordinatları ve Helmert dönüşüm parametreleri yardımıyla hesapla.

Bağlantı noktalarının Z koordinatını bilinen iki noktanın yüksekliği yardımıyla hesapla

Helmert dönüşüm parametreleri, resim orta noktasının koordinatları, kamera sabiti  $c$  ve resim ölçeği yardımıyla projeksiyon merkezinin koordinatlarını hesapla.

$\omega_0=0$  ve  $\phi_0=0$  olarak tanımla ve  $\kappa_0$  değerini Helmert dönüşüm parametrelerinden hesapla

Bağlantı noktalarının yaklaşık koordinatlarını ve resim dış yöneltme elemanlarının yaklaşık değerlerini ayrı dosyala

}

}.}

### **Demet Dengelemesinin algoritması**

{Demet dengelenmesi için bir pikselin uzunluğu ve kamera sabiti c tanımlanır.

Resim numaraları dosyasını oku.

Bilinen noktaların yer koordinatlarını oku.

Bağlantı noktalarının yaklaşık koordinat dosyasını oku.

Resimlerin dış yöneltme elemanlarının yaklaşık değerlerinin dosyasını oku.

Resim orta noktaları koordinatları dosyasını oku.

Her bir resim için aşağıdaki işlemleri yap:

{ Resim numaralarını ilgili dosyadan oku

Resimlerin yaklaşık dış yöneltme elemanlarını  $X_0^i, Y_0^i, Z_0^i, \omega_0^i, \varphi_0^i, \kappa_0^i$  ilgili dosyadan oku. *(Burada i resim nosunu göstermektedir.)*

Resim orta noktalarının resim koordinatlarını  $\xi_0^i, \eta_0^i$  ilgili dosyadan oku

Bağlantı noktalarının yaklaşık yer koordinatlarını  $X_i, Y_i, Z_i$  ilgili dosyadan oku.

Bilinen noktaların yer koordinatlarını  $X_i, Y_i, Z_i$  ilgili dosyadan oku.

Dönüklük matrisinin R elemanlarını bul:

$$\begin{aligned} \{ & r_{11} = \cos(\varphi_0^i) * \cos(\kappa_0^i) \\ & r_{12} = -\cos(\varphi_0^i) * \sin(\kappa_0^i) \\ & r_{13} = \sin(\varphi_0^i) \\ & r_{21} = \cos(\omega_0^i) * \sin(\kappa_0^i) + \sin(\omega_0^i) * \sin(\varphi_0^i) * \cos(\kappa_0^i) \\ & r_{22} = \cos(\omega_0^i) * \cos(\kappa_0^i) - \sin(\omega_0^i) * \sin(\varphi_0^i) * \sin(\kappa_0^i) \\ & r_{23} = -\sin(\omega_0^i) * \cos(\varphi_0^i) \\ & r_{31} = \sin(\omega_0^i) * \sin(\kappa_0^i) - \cos(\omega_0^i) * \sin(\varphi_0^i) * \cos(\kappa_0^i) \\ & r_{32} = \sin(\omega_0^i) * \cos(\kappa_0^i) + \cos(\omega_0^i) * \sin(\varphi_0^i) * \sin(\kappa_0^i) \\ & r_{33} = \cos(\omega_0^i) * \cos(\varphi_0^i) \\ & \} \end{aligned}$$

Görüntü koordinatı ölçülen her nokta için aşağıdaki işlemleri yap:

{Noktaların görüntü koordinatlarını  $\xi_{ij}, \eta_{ij}$  ilgili dosyadan oku.

Lineer hale getirilmiş doğrusallık denkleminin katsayılarını hesapla:

$$\begin{aligned} \{ & a(1) = -c * (r_{13} * Z_x - r_{11} * Z_n) / Z_n^2 \\ & a(2) = -c * (r_{23} * Z_x - r_{21} * Z_n) / Z_n^2 \\ & a(3) = -c * (r_{33} * Z_x - r_{31} * Z_n) / Z_n^2 \end{aligned}$$

$$a(4) = -c * [(r_{33} * (Y_j - Y_0) - r_{23} * (Z_j - Z_0)) * Z_x / Z_n - r_{31} * (Y_j - Y_0) - r_{21} * (Z_j - Z_0)] / Z_n^2$$

$$a(5) = c * [(Z_x * \cos(\kappa_0) - Z_y * \sin(\kappa_0)) * Z_x / Z_n + Z_n * \cos(\kappa_0)] / Z_n$$

$$a(6) = -c * Z_y / Z_n$$

$$b(1) = -c * (r_{13} * Z_y - r_{12} * Z_n) / Z_n^2$$

$$b(2) = -c * (r_{23} * Z_y - r_{22} * Z_n) / Z_n^2$$

$$b(3) = -c * (r_{33} * Z_y - r_{32} * Z_n) / Z_n^2$$

$$b(4) = -c * [(r_{33} * (Y_j - Y_0) - r_{23} * (Z_j - Z_0)) * Z_y / Z_n - r_{32} * (Y_j - Y_0) - r_{22} * (Z_j - Z_0)] / Z_n^2$$

$$b(5) = c * [(Z_x * \cos(\kappa_0) - Z_y * \sin(\kappa_0)) * Z_y / Z_n + Z_n * \sin(\kappa_0)] / Z_n$$

$$b(6) = -c * Z_x / Z_n$$

$$a(7) = -c * (Z_n * r_{11} - Z_x * r_{13}) / Z_n^2$$

$$a(8) = -c * (Z_n * r_{21} - Z_x * r_{23}) / Z_n^2$$

$$a(9) = -c * (Z_n * r_{31} - Z_x * r_{33}) / Z_n^2$$

$$b(7) = -c * (Z_n * r_{12} - Z_y * r_{13}) / Z_n^2$$

$$b(8) = -c * (Z_n * r_{22} - Z_y * r_{23}) / Z_n^2$$

$$b(9) = -c * (Z_n * r_{32} - Z_y * r_{33}) / Z_n^2$$

Burada;

$$zx = r_{11}(X_j - X_0^i) + r_{21}(Y_j - Y_0^i) + r_{31}(Z_j - Z_0^i)$$

$$zy = r_{12}(X_j - X_0^i) + r_{22}(Y_j - Y_0^i) + r_{32}(Z_j - Z_0^i)$$

$$zn = r_{13}(X_j - X_0^i) + r_{23}(Y_j - Y_0^i) + r_{33}(Z_j - Z_0^i)$$

}

Resim koordinatlarının yaklaşık değerlerini hesapla.  $\overline{\xi_{ij}}$ ,  $\overline{\eta_{ij}}$

Bu noktanın yaklaşık yer koordinatları yardımıyla A matrisinin ve I vektörünün bir satırını hesapla:

Fotoğraf elemanlarına ait katsayıların A matrisinin ve I vektörünün ilgili satırları yaz:

$$\{A [2*j+1, i*6+l] = a(l)$$

$$A [2*j+2, i*6+l] = b(l)$$

$$I [2*j+1] = \xi_0^i * bb - (X_0 * bb - c * Z_x / Z_n)$$

$$I [2*j+2] = \eta_0^i * bb - (Y_0 * bb - c * Z_y / Z_n)$$

(bb = m cinsinden piksel uzunluğu)

}

Bağlantı noktalarına ait katsayıların  $A$  matrisinin ve  $l$  vektörünün ilgili satırları yaz:

$$l [2*j+1] = \xi_0^i * bb - (X_0 * bb - c * Z_x / Z_n)$$

$$l [2*j+2] = \eta_0^i * bb - (Y_0 * bb - c * Z_y / Z_n)$$

$$A [2*j+1, i*6+j*3+1] = a(7)$$

$$A [2*j+1, i*6+j*3+2] = a(8)$$

$$A [2*j+1, i*6+j*3+3] = a(9)$$

$$A [2*j+1, i*6+j*3+1] = b(7)$$

$$A [2*j+1, i*6+j*3+2] = b(8)$$

$$A [2*j+1, i*6+j*3+3] = b(9)$$

}

}

En küçük kareler dengelemesi yap ve  $x$  vektörünü hesapla:

{Bu denklemlerin  $N = A^T A$ ,  $n = A^T l$ ,  $N^{-1}$ ,  $dX = N^{-1} n$ ,  $v = AX - l$  matrislerini ve karesel ortalama hatasını hesapla.

Dış yöneltme elemanlarını kesin değerlerini ve bağlantı noktalarının kesin koordinatlarını hesapla

$$X_0^i = X_0^i + dX_{i*6+1}$$

$$Y_0^i = Y_0^i + dX_{i*6+2}$$

$$Z_0^i = Z_0^i + dX_{i*6+3}$$

$$\omega_i = \omega_0^i + dX_{i*6+4}$$

$$\varphi_i = \varphi_0^i + dX_{i*6+5}$$

$$\kappa_i = \kappa_0^i + dX_{i*6+6}$$

$$X = X' + dX [i*6+j*3+1]$$

$$Y = Y' + dX [i*6+j*3+2]$$

$$Z = Z' + dX [i*6+j*3+3]$$

}

$x$  vektörünün bütün elemanları yeterli incelikte ise dengelemeyi bitir aksi halde bağlantı noktalarının yaklaşık koordinatları ve resim dış yöneltme elemanlarını düzelt ve yeniden başa git.

}

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### YAZILIMIN BÖLÜMLERİ VE SAYISAL UYGULAMA

#### I. YAZILIM VE UYGULAMA

Tez kapsamında geliştirilen yazılımın, kullandığı programlama dili, bölümlerindeki işlem sırası ve yazılımın test edilmesi amacıyla yapılan uygulamalar alt bölümlerde ayrıntılarıyla anlatılmıştır.

#### A) YAZILIM

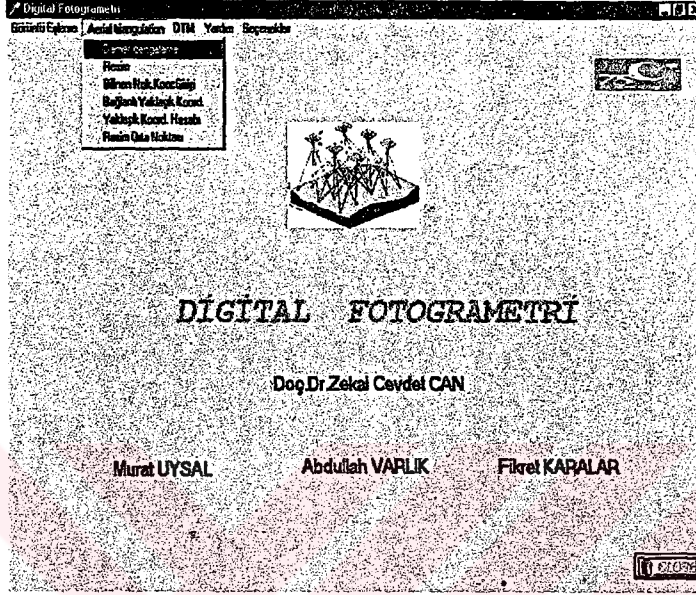
Dijital Fotogrametrik uygulamaların yapılması için Delphi ortamında bir yazılım geliştirildi. Delphi, görsel uygulamaları geliştirme ortamı, 32 bit derleyici, nesneye yönelik amaçlı pascal programlama dili olması, ölçeklenebilir veri tabanı erişimini, bileşen teknolojisini sunması, Windows API fonksiyonlarını kullanabilmesi ve hızlı uygulama geliştirebilmesi gibi özellikleri sayesinde güçlü bir uygulama geliştirme aracıdır. Delphi ile geliştirilecek uygulamaların hemen hepsi C++ ile geliştirilen uygulamalarla aynı performansa sahiptir<sup>17</sup>.

Bu yazılım Doç. Dr. Zekai Cevdet CAN, Murat UYSAL, Abdullah VARLIK ve Fikret KARALAR tarafından geliştirilmiştir. Yazılımın test edilmesinde PII-300 işlemci ve 384 MB ram belleği olan bir PC kullanılmıştır. Yapılan bu testlerin Havai Nirengiyle olan kısımları sayısal uygulama bölümünde sunulacaktır.

Görüntü Eşleme, Havai Nirengi ve DTM (Digital Terrain Model) kısımları bir program altında toplanmıştır. Bu işlemlere ana modül üzerinden ulaşılmaktadır. Programın ana

<sup>17</sup> Ruhver BARENGİ, Delphi 3'e Bakış, (1.Baskı, Seçkin Yayınevi, Haziran 1998), s.9

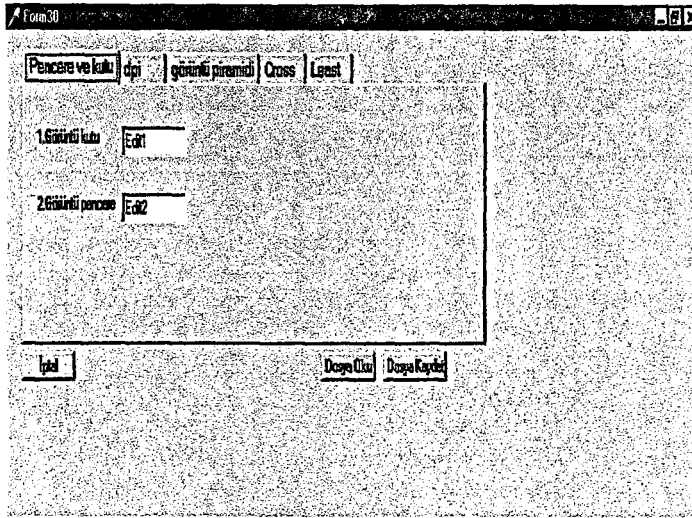
giriş sayfası Şekil 7 de görülmektedir. Programın ana sayfasındaki işlemlerin alt işlemleri kendi ismi altında toplanmıştır. Bu işlemlerin yapılmasında hangi adımların takip edildiği ve nasıl yapılacağı aşağıda sırasıyla anlatılacaktır.



Şekil 7. Tez kapsamında geliştirilen yazılımın ana giriş sayfası

## 1. Giriş Verileri

Çalışma sırasında kullanacağımız parametrelerin programa tanıtıldığı kısımdır. Bu form alanına ana form alanındaki *Seçenekler* bölümünden ulaşılmaktadır (Şekil 8). Bu bölümde, görüntü eşleme işlemlerinde sol ve sağ resim üzerine çizilecek dörtgen boyutları, çalışacağımız resmin çözünürlüğü, görüntü piramidinin seviyesi ile Cross ve Least'te kullanılacak parça boyutları projeye başlanmadan tanımlanır. Bu bölümde tanımlanan parametreleri dosya olarak saklayıp daha sonraki uygulamalar doğrudan kullanabiliriz. Bu bölümdeki ilgili parametreleri tanımladıktan sonra resimleri çalışma ortamına yükleme işlemine geçeriz.



Şekil 8. Seçenekler Bölümü

## 2. Resim Dosyalarının Hazırlanması

Programın bu kısmı fotogrametrik değerlendirme yapılacak bölgenin fotoğraf dosyalarının bilgisayara sırasıyla yüklenmesini kapsar. Bu fotoğraflar daha öncede belirtildiği gibi dijital ortamda saklanan fotoğraflar olmaları gerektiği gibi programda kullanılacak fotoğraf dosyalarının . bmp formatında olmasında gereklidir. Çünkü Delphi BMP görüntü formatını tanımaktadır. Program başka türdeki görüntü formatlarını kullanamaz. Diğer formatların .bmp formatına çevrilmesi gerekir.

Programda *Fotogrametrik Nirengi (Aerial Triangulation)* menüsü altındaki *Resim* seçilerek Resim Yükle form alanına geçilir. Resim Yükle formunda (Şekil 9) resim dosyalarının isimleri ve numaraları ilgili kutulardan girilerek proje alanındaki fotoğraflar için geçerli bir Resim dosyası hazırlanır. Bu dosyanın hazırlanmasında *Kaydet* ve *Resim Adı Kaydet* düğmelerini kullanırız. Hazırlanan resim dosyası kullanılarak, ilgili resimler resim numaralarına göre seçilir ve (sol veya sağ resim durumuna göre) sırayla resim çiftleri çalışma ortamına yüklenir.

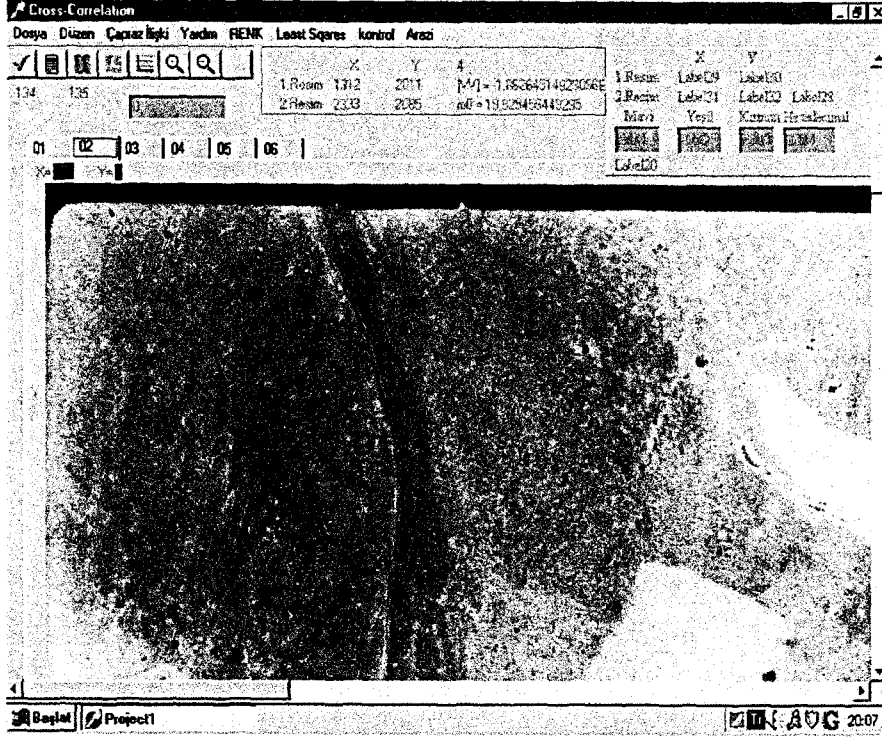
Resim dosyaları hazırlandıktan sonra uygulamada kullanmak için *Oku* düğmesine basılarak resim numaraları form alanına yüklenir. Yüklenen resim numaraları form üzerindeki açılan liste kutusu içinde bulunur. Resimler, çalışma ortamına açılan liste

kutusu içindeki numaraları seçilerek sol veya sağ resim olma durumuna göre **Sol Resim Yükle** ve **Sağ Resim Yükle** düğmeleri ile aktarılır.

Şekil 9. Resim yükle formu

### 3. Resim Çiftleri Arasındaki Affin Dönüşüm Parametrelerinin Hesaplanması

Proje alanındaki resim çiftleri arasında dönüşüm yapılarak resimlerin birbirlerine göre durumları belirlenir. Bunun için, resim dosyalarının yüklenmesinden sonra **Görüntü Eşleme** menüsü altındaki **Cross Corelation** seçeneği seçildiğinde resim çiftlerinin bulunduğu form alanına geçilir (Şekil 10). Burada 01. sayfada sol resim, 02. sayfada ise sağ resim yüklüdür. 04 ve 05. sayfalarda ise sırasıyla sol ve sağ resmin görüntü piramitlerinin yüklendiği form bulunmaktadır. Görüntü Piramidi üzerinde yaklaşık olarak noktanın üzerine tıklama yapıldığında program otomatik olarak asıl görüntüye geçmekte ve böylece noktanın daha hassas olarak seçebilmesi sağlanmış olmaktadır.



Şekil 10. Görüntü Eşleme form alanı

Görüntü piramidinden faydalanarak her iki resim çiftinde belirgin bir şekilde görülen uygun dağılımda en az 4 ortak nokta seçilir. Bu işlem sırasında sol görüntüdeki nokta seçilir, sağ resme geçip aynı nokta seçildikten sonra **Nokta** düğmesine basılarak yapılan ölçüm işlemi onaylanır. Ayrıca bu seçim ile her iki resimde okunan noktanın koordinatları ve seçilen nokta sayısı ekranın üst kısmındaki metin kutusunda görülebilir. Yeterli sayıdaki nokta seçim işlemi tamamlandıktan sonra nokta düğmesinin yanındaki **Affin Dönüşümü** düğmesi seçilerek Affin Dönüşümü yapılır. Affin dönüşümündeki fazla ölçüden dolayı yapılan dengeleme işleminin  $[vv]$  toplamı ve  $m_0$  değeri aynı metin kutusu içinde görülebilir. Affin dönüşüm parametrelerini görmek için **Düzen** menüsü altındaki **Dönüşüm Parametreleri** seçildiğinde ilgili form alanına geçilir (Şekil 11). Aynı zamanda Affin parametreleri **Fotogrametrik Nirengi** altındaki **Resim** menüsünde de görülebilir. Ayrıca bu parametreleri dosya olarak saklayabiliriz (Şekil 12).

Form8

**AFFİN DÖNÜŞÜM PARAMETRELERİ**

**FORMÜLLER**

$$Y = a_0 + a_1x + a_2z \quad X = b_0 + b_1x + b_2z$$

**BİRTAK NOKTALAR**

1. RESİM      2. RESİM

$$U_1 = x - y \quad U_2 = x - y$$

1	236	881	1383	898
2	3116	702	2180	743
3	301	205	1388	208
4	1312	2011	2333	208

**-KATSANILAR-**

$a_0 = 1076,88621025115$	$b_0 = 32,758378468832$
$a_1 = 0,0380014235947$	$b_1 = 0,0540381275395309$
$a_2 = 0,098250477829562$	$b_2 = 1,01811091368773$

Şekil 11. Dönüşüm parametreleri form alanı

Resim Yükle

Proje Adı:

Resim Adı:

Resim No:

**Affin Dönüşüm Parametreleri**

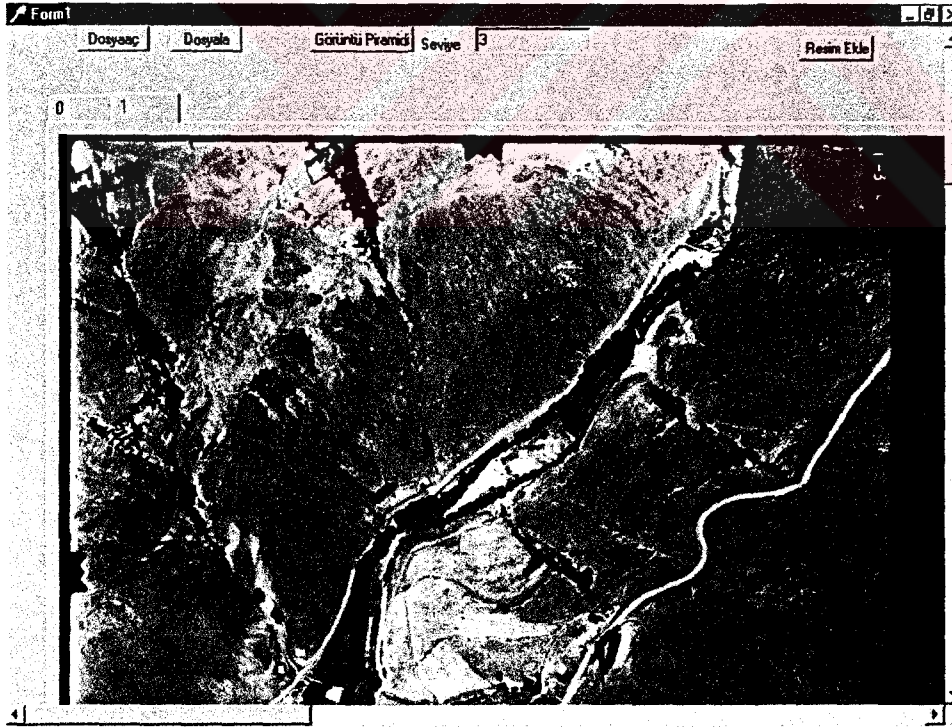
<input type="text" value="1076,88621025115"/>	<input type="text" value="0,0380014235947"/>	<input type="text" value="0,098250477829562"/>
<input type="text" value="32,758378468832"/>	<input type="text" value="0,0540381275395309"/>	<input type="text" value="1,01811091368773"/>

Şekil 12. Resim Yükle Form alanındaki Affin dönüşüm parametreleri

#### 4. Görüntü Primitlerinin Oluşturulması

Görüntü piramitlerini kullanmak işlem hızını artırmaktadır. Görüntü piramidinin kullandığı yerlerde nasıl kullanılacağı hakkında bilgi verildi. Şimdi ise bu piramitlerin nasıl hazırlandığı konusunda bilgi verilecektir.

Programın ana menüsündeki *görüntü eşeleme* altındaki *cross correlation* alt menüsündeki *görüntü piramidi* seçildiği zaman ilgili forma (Şekil 13) geçilir. Bu formda bulunan *Dosya* menüsü altındaki *görüntü piramidi* ni seçtiğimizde görüntü piramitlerinin oluşturulduğu form alanına geçilir. Görüntü piramidi oluşturulacak resim, *resim Yükle* düğmesi yardımı ile form alanına yüklenir. Hangi seviyede görüntü piramidi oluşturulmak isteniyorsa belirlenir ve *Görüntü Piramidi Oluştur* düğmesi ile istenilen seviyede görüntü piramidi oluşturulur. Daha sonra görüntü piramidi oluşturulan resim Görüntü Eşleme işlemlerinde kullanılmak üzere dosyalanır.



Şekil 13 : Görüntü Piramidi form alanı

## 5. Nokta Transferi ve Nokta Dosyasının Hazırlanması

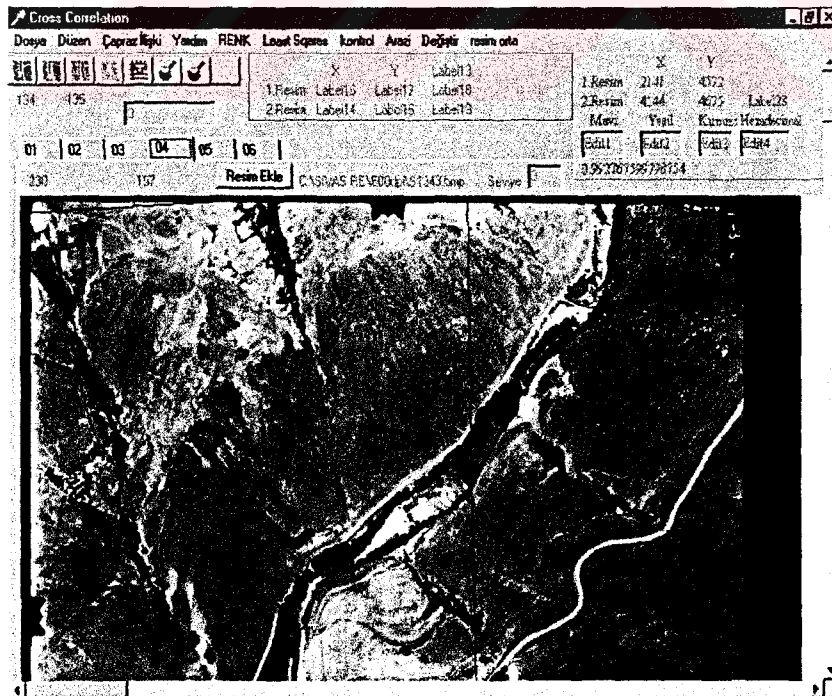
Resimleri yükleyip, resimler arasında affın dönüşümü yapıp ilgili görüntülerin görüntü piramitleri yükledikten sonra fotogrametrik nirenginin asıl görevi olan nokta transferi işlemine geçilir. Daha öncede belirtildiği gibi yazılımın ana hedefi yarı otomasyonun sağlanmasıdır. Tezin kapsamı içinde geliştirilen yazılımda nokta transfer işlemleri yarı otomatik olarak yapılır.

Ana form alanı üzerinden **Görüntü Eşleme** menüsünden **Cross Corelation** seçilerek resimlerin yüklü olduğu form alanına (Şekil 10) geçilir. Bu form üzerinde 04 ve 05 numaralı sayfalara sırasıyla sol ve sağ resmin görüntü piramitleri, ilgili resim çiftleri arasındaki affın dönüşüm parametreleri yüklenir ve ortak noktaların belirlenmesinde yardımcı olması amacı ile bindirme çizgileri çizilir. Bu bindirme çizgileri, **Dosya** menüsü altındaki **Bindirme Çizgileri** seçeneğinin seçilmesi ile görüntü piramidinin üstüne çizilir (Şekil 14).

Programın bu kısmında yapılan işlem, bağlantı ve yer kontrol noktalarının sol ve sağ resimdeki resim koordinatlarının ölçülmesidir. Bu işlem noktanın yaklaşık yerinin görüntü piramidi üzerinde seçilmesiyle başlar. Görüntü piramidi üzerinde nokta seçildiği zaman noktanın orijinal seviyedeki görüntüsüne geçilir. Orijinal seviyedeki sol görüntü üzerinde seçilen piksel merkez olmak üzere, sol görüntü üzerine daha önceden **Seçenekler** bölümünde tanımlanan dörtgen boyutlarında ilişki penceresi olarak isimlendirdiğimiz pencere açılır. Daha sonra **Dönüşüm** düğmesine basılarak bu pencerenin sağ görüntüdeki karşılığının yeri bulunarak tanımlanan boyutlarda sağ görüntü üzerine ikinci bir dörtgen çizilir. Eğer seçilen nokta dörtgenin dışında kalıyorsa noktayı sağ görüntü üzerinden tekrar seçebiliriz. Bu işlemler sonra **Dosya** menüsü altındaki **Nokta Kaydet** seçeneği ile Görüntü Eşleme işlemlerinin yapıldığı form alanına geçilir (Şekil 15). Form üzerinde bulunan **Büyütme** düğmesine basılarak sol ve sağ görüntüde çizilen dörtgenlerin olduğu bölgeler buraya aktarılır. Büyütme düğmelerinin yanındaki metin kutularına büyütme miktarı girilerek istenilen oranda dörtgen parçalar büyütülebilir. İstenildiği takdirde bu görüntü parçaları üzerinde noktaların yerleri yeniden seçilebilir. Yapılacak eşlemeye ait düğmeye (**Cross** veya **Least**) basılarak

eşleme işlemi başlatılır. Sol görüntüde bulunan noktanın sağ görüntüdeki karşılığı, sağ görüntü üzerine çizilen kutu alanı içinde araştırılır. Araştırma sonucunda en uygun nokta eşlenir ve eşlenen nokta merkez olmak üzere sağ görüntü üzerine tanımlanan boyutlarda dörtgen çizilir. Eşlenen noktanın sol ve sağ görüntü üzerindeki koordinatları form üzerinde bulunan metin kutuları içine yazılır. Eşleme işlemi sonucunda elde edilen koordinatlar form üzerindeki **Dosya Kaydet** düğmesi ile Demet Dengeleme işlemlerinde kullanılmak üzere kaydedilir. Bütün seçilen noktalar için aynı işlem yapılır.

**Cross** ve **Least** yöntemiyle bulunan koordinatlar farklı düğmeler yardımı ile kaydedilir. **Cross** için ilk olarak, kaydedilecek dosya adı verilir. Daha sonra eşleme yapılan noktanın nokta numarası girilir. Koordinatı bilinen noktaların, nokta numarası bütün resimler için aynı girilmelidir. Nokta numarası yazıldıktan sonra **2 nokta kaydet** düğmesi ile yanında bulunan metin kutusuna noktanın sol ve sağ resimdeki koordinatları aktarılır ve dosyasına kaydedilir. Yanlış kaydedilen bir nokta varsa silinip yeniden kaydedilebilir. **Least** de ise işlemler **Cross** dakine benzer şekilde yapılır. Fakat koordinatların metin kutusuna aktarılması **least kaydet** düğmesi ile yapılır.



Şekil 14 : Görüntü Piramidi üzerine bindirme çizgilerinin çizilmesi

Form18 C:\SNAS REV600\pa#600

1.Resim X 134 Dosya Adı 2 Nokta Kaydet Sag Cross Kaydet

1.Resim Y 4573 Sol Resim Kaydet Sag Leasi Kaydet

135 Cross Least

2.Resim X 4148 4148.7357482314

2.Resim Y 4575 4575.5261316373

Nokta No 0 Cross Least

den.saym=0

vj=-0.000200907910766546

m0=-15.831431580038

Dosya Oku Dosya Kaydet Sİ

Büyük 2 İşaretle Büyük 2 İşaretle Least Nokta

2175.5 4573 4168 4546

2141

4573

4148.7357482314

4575.5261316373

Kaydet

4144 4575

2141 4573

Sol Resim Gir Sag Resim Gir

134 1002 1707 2895

135 1002 3738 2937

134 1002 1707 3333333395 2895

135 1002 3738 41507258639 2936 44422418

134 1004 232 4319

135 1004 2130 4319

134 1004 232 66866666744 4319 66866666

135 1004 2130 79896079473 4316 11711804

134 1005 2141 4572

135 1005 4149 4574

Şekil 15 : Nokta Kaydet form alanı

## 6. Resim Orta Noktasının Ölçülmesi

Resim orta noktalarının ölçülmesi, orijinal resimleri yüklediğimiz form alanında bulunan **Resim Orta** menüsü kullanılarak yapılır (Şekil 16). Resim orta noktalarının ölçülmesi resimlerin bu form alanına yüklenmesiyle başlar. Bu işlemi Affin dönüşümü sırasında veya nokta transfer işlemleri sırasında yapabiliriz. Bu bölümde yapılan işlem resim orta bulucularının operatör tarafından seçilerek resim orta noktalarının hesaplanması ve resim orta noktasının koordinatlarının dosyalanması işlemlerini kapsar.

İşlemin yapılmasında operatör resmin sol kenarındaki orta bulucudan seçme işlemine başlar. Sırasıyla işleme saat ibresi dönüş yönünde devam eder. Her nokta seçiminden sonra **Resim Orta** bölümü altında bulunan **1, 2, 3 ve 4** kısımlarından ilgili olanların seçildiğini onaylar. Bu işlemden sonra **Havai Nirengi** bölümü altındaki **Resim Orta Bulucusundan** resim orta noktasının koordinatlarını dosyaya kaydeder (Şekil 17).



Şekil 16 : Resim Orta Noktalarının koordinatlarının ölçülmesi

Resim No	X	Y
137		

134 5621.45707055925 5578.95
135 5536.44539238513 5573.00
136 5589.96046534181 5610.45
127 5600.45027723908 5602.00

Şekil 17. Resim Orta Noktası koordinatlarının dosyalandığı form alanı

## 7. Bilinen Noktaların Koordinatlarının Girilmesi

Programın bu kısmında, arazi koordinatları bilinen noktaların X, Y, Z koordinat değerleri demet dengelemesi için dosyalanır. Bu işlem bağlantı ve yer kontrol noktalarının resim koordinatları ölçüldükten sonra veya ölçülmeden önce yapılabilir.

Dosyanın oluşturulması için *Fotogrametrik Nirengi* menüsü altındaki *Bilinen Nokta Koordinat Girişi* seçilerek koordinatların girileceği form alanına geçilir (Şekil 18). İlk önce kaydedilecek dosyanın adı belirlenir. Daha sonra form üzerindeki ilgi metin kutularına noktanın numarası, X, Y ve Z değerleri girilir. Dosyanın kaydedilmesi ve yüklenmesi *Kaydet* ve *Oku* düğmeleri ile yapılır.

Bilinen Nokta Girişi

Nokta No: 1000

X: 40524.817

Y: 7996.043

Z: 1556.63

Kaydet

dosya adı

Dosya oku

```

1000 40524.8169999719 7996.0429999773 1556.630000000082
1003 40052.6949999328 7977.950000003298 1473.599999999363
1002 40408.7590000033 8705.38199999928 1473.41000000015
1005 40084.6280000091 8865.27400000393 1488.58000000007

```

Şekil 18 : Koordinatı bilinen noktalarının koordinat giriş form alanı

## 8. Bağlantı Noktalarının ve Dış Yönelme Parametrelerinin Yaklaşık Değerlerinin Hesaplanması

Demet dengelemesinin yapılabilmesi için bağlantı noktalarının yaklaşık arazi koordinatları ve dış yönelme parametrelerinin yaklaşık değerleri gereklidir. Programın bu kısmında bu gerekli yaklaşık değerlerin hesabı yapılır. Önceki bölümlerde bu işlemlerin yapılması için nasıl bir yol izleneceği belirtilmişti.

İlk önce her resimde yaklaşık arazi koordinatı bilinen iki nokta gereklidir. Bu noktalar tespit edildikten sonra, *Havai Nirengi* menüsü altındaki *Bağlantı Yaklaşık Koord.* seçeneğinden ilgili form alanına (Şekil 19) geçilir. Bu form alanının üzerinde görüntü koordinatlarının kaydedildiği dosyadan her resim için iki nokta seçilir. Daha sonra her seçilen nokta için X, Y, Z değerleri girilerek ayrı bir dosyaya kaydedilir.

The screenshot shows a software window titled "Yaklaşık Bağlantı Noktaları". The window contains a list of points on the left, a central form for entering coordinates, and a list of points on the right.

**Left List (Points):**

- 134 1002 3414 5788
- 135 1002 7478 5871
- 134 1005 4282 5145
- 135 1005 8298 5350
- 134 1004 465 8638
- 135 1004 4261 8631
- 134 1 985 960
- 135 1 5453 862
- 134 2 845 2828
- 135 2 488 7710

**Central Form:**

- Görüntü Koordinatı Al** (Button)
- Dosya Adı** (Text Field)
- Xo =**  **Kaydet** (Button)
- Yo =**
- Zo =**
- Dosya Oku** (Button)

**Right List (Points):**

- 134 1002 3414 5788 40408 8785 147
- 134 1005 4282 5145 40084 8885 146
- 135 1005 8298 5350 40084 8885 146
- 135 1004 4261 8631 40135 8479 146
- 136 1004 8508 7652 40135 8479 146
- 136 1001 8502 4458 40434 8475 156
- 137 1000 7318 3655 40524 7996 156
- 137 1003 7297 8910 40052 7977 147

Şekil 19 : Bağlantı noktalarının seçildiği form alanı

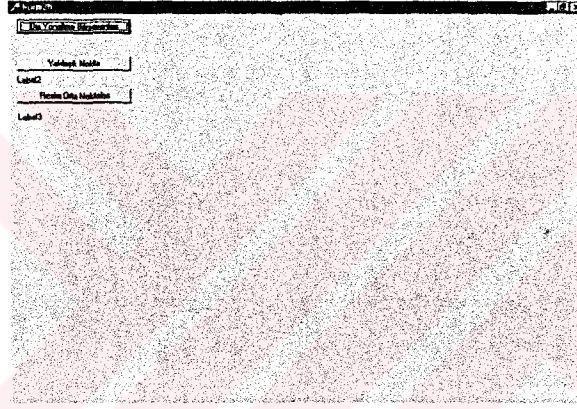




## 10. Yönelme Bilinmeyenleri

Demet dengelemeden elde edilen fotoğrafların dış yönelme bilinmeyenleri yazılımın DTM modülünde kullanılarak ortofoto, yükseklik eğrileri, sayısal arazi modeli ve üç boyutlu görünüm gibi ürünler elde edilir.

Yazılımın ana modülünden **DTM** menüsü altındaki **Yönelme Bilinmeyenleri** seçilir. Yönelme Bilinmeyenleri form alanından (Şekil 22), demet dengelemesi sonucunda bulduğumuz fotoğrafların dış yönelme bilinmeyenleri ve resim orta noktası dosyaları aynı isimdeki düğmeleri yardımı ile yüklenir.



Şekil 22. Yönelme bilinmeyenlerinin yüklendiği form alanı

## 11. DTM (Digital Terrain Model)

Yazılımın bu kısmına **DTM** menüsü altındaki **DTM** seçeneğinden ulaşılır. Bu kısımda operatör tarafından belirlenecek çalışma alanına kare ağı çizdirilerek bu kare ağının köşe noktalarının koordinatları hesaplanır.

Şekil 23 de görülen form alanında operatör başlangıç noktası kısmına kare çizilecek bölgenin sol alt köşe koordinatları, bitiş noktası kısmına ise sağ üst köşe noktasının koordinatlarını girer. Kare ağı çizilecek bölgedeki x ve y yönündeki kare sayısı ve yaklaşık Z değerini tanımladıktan sonra **DTM** düğmesine basar. Bu işlemden sonra

kare ağındaki noktaların koordinat değerleri hesaplanarak DTM düğmesi altındaki metin kutusunda görüntülenir. Operatör hesaplanan bu değerleri dosyalayarak yazılımın perspektif görünüş, ortofoto ve eş yükseklik eğrileri kısmında kullanır.

Form26

Başlangıç Noktası X [Edr1] X yönünde kare sayısı: [Edr5]  
 Y [Edr2] Y yönünde kare sayısı: [Edr6]

Bitiş Noktası X [Edr3]  
 Y [Edr4] Pencere [Edr10] Yaklaşık [Edr11] Adım [Edr12]

Başlangıç yaklaşık Z [Edr7] Açıklık [Edr9]

DTM [DTSyola] [DTSyavakU]

40613 8759.6000000894 1551.50002758019  
 40613 8768.80000001192 1547.20015403256  
 40613 8778.0000000149 1544.40003691427  
 40616.6000000238 8732 1559.50004073419  
 40616.6000000238 8741.20000000238 1557.90010787547  
 40616.6000000238 8750.40000000596 1554.49999327357  
 40616.6000000238 8759.6000000894 1551.39994973131  
 40616.6000000238 8768.80000001192 1547.10001043603  
 40616.6000000238 8778.000000149 1545.20001957752

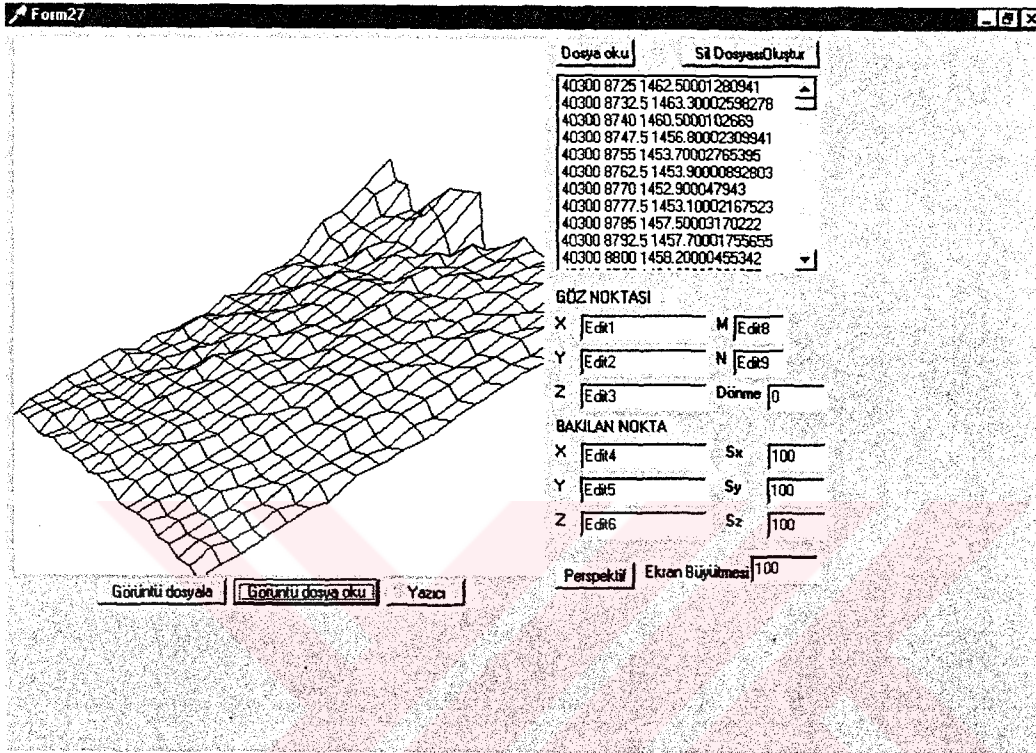
[Buton5]  
 [Yazıcı]

Şekil 23 : DTM form alanı

## 12. Perspektif Görünüş

Yazılımın bu kısmında DTM kısmında elde edilen kareler ağının koordinat değerleri yardımı ile çalışma alanının istenilen bir noktadan üç boyutlu görüntüsü elde edilir. Ana form alanındaki **DTM** menüsü altındaki **3D** seçeneğinden Şekil 24 deki form alanına geçilir. Form alanında operatör tarafından çalışma alanına bakılacak noktanın konumuyla ilgili bilgiler tanımlanır. Görüntünün aktarılması için \*.BMP görüntü formatında boş bir dosya oluşturulur. Bu dosya **Sil Dosyası** düğmesine

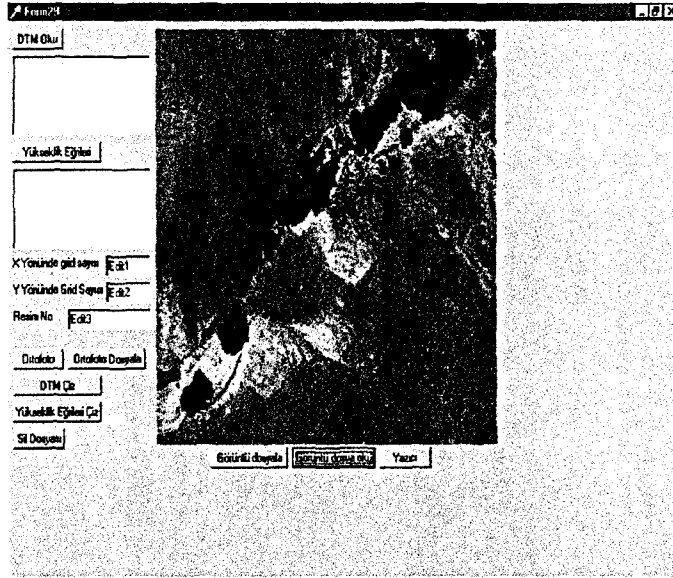
yapılır. **Perspektif** düğmesine basılarak çalışma alanının üç boyutlu görüntüsü elde edilir. Dosyalama işlemleri ilgili düğmeler yardımı ile yapılır.



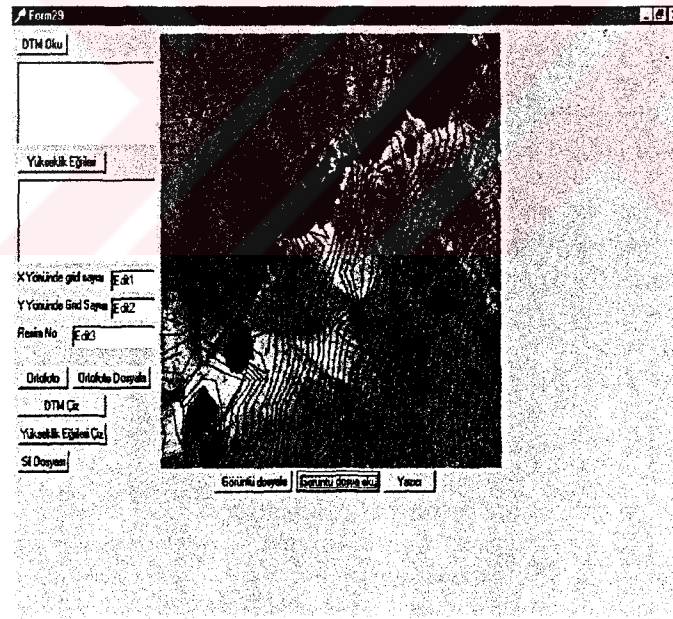
Şekil 24. Perspektif görünüşün elde edildiği form alanı

### 13. Ortofoto

Yazılımın Ortofoto kısmına **DTM** menüsü altındaki **Ortofoto** seçeneğinden ulaşılır. Şekil 25 de görülen Ortofoto form alanında model alanının Ortofotosunu elde ederiz. Bu işlem için **DTM Oku** düğmesi ile çalışma alanının daha önceden hesaplanan DTM dosyası okutulur. Daha sonra ortofotosu yapılacak resmin numarası tanımlanır ve **Ortofoto** düğmesi yardımı ile ilgili resmin ortofotosu elde edilir. **Ortofoto Dosyala** düğmesi ile elde edilen bu Ortofoto dosyaları. Bu ortofoto üzerine kare ağı (Şekil 25) ve yükseklik eğrisi (Şekil 26) ilgili düğmeler yardımı ile çizdirilebilir



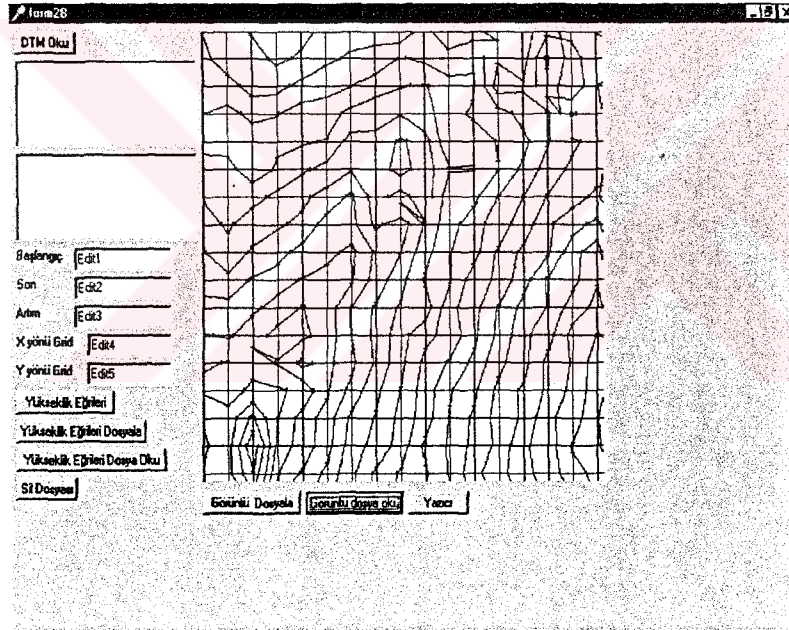
Şekil 25. Üzerine kare ağı çizilmiş Ortofoto



Şekil 26. Üzerine Yükseklik Eğrileri çizilmiş Ortofoto

## 14. Yükseklik Eğrileri

Yükseklik eğrilerinin çizimi için, *DTM* menüsü altındaki *Yükseklik Eğrileri* seçeneği ile ilgili form alanına geçilir. Şekil 27 de görülen form üzerinde çalışma alanına ait daha önce hesaplanan DTM dosyası okutulur. *Sil Dosyası* düğmesi ile \*.BMP formatında boş bir görüntü dosyası oluşturulur. Eş yükseklik eğrilerinin başlangıç ve bitiş yükseklik değerleri ile artım miktarı yani kaç metrede geçeceği tanımlanır. Çalışma alanındaki x ve y yönündeki kare sayısı tanımlandıktan sonra *Yükseklik Eğrileri* Düğmesine basılarak işlem başlatılır. Yükseklik eğrilerinin çizimi form üzerinde görüntülenir. Bu görüntünün Kaydedilmesi ve yüklenmesi sırasıyla *Yükseklik Eğrileri Dosyala* ve *Yükseklik Eğrileri Dosya Oku* düğmeleri yardımı ile yapılır.



Şekil 27. Yükseklik Eğrileri form alanı

## B ) SAYISAL UYGULAMA

Tezin kapsamı içinde geliştirilen yazılımının test edilmesi amacı ile bir sayısal uygulama yapıldı. Bu uygulama için Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünün, odak uzaklığı 305 mm olan ZEİSS RMK A 30/23 hava kamerası ile çekilen, Sivas iline ait 134, 135, 136 ve 137 numaralı hava fotoğrafları kullanıldı. Uygulamada kullanılan hava fotoğrafları 3 modellik bir şerit oluşturmaktadır. Bu alan içinde arazi koordinatı bilinen 7 nokta mevcuttur. Her resimde arazi koordinatı bilinen en az 2 nokta bulunmaktadır. Film üzerine çekilen hava fotoğraflarının dijital ortama aktarılmasında ZEİSS SCAI tarayıcısı kullanıldı. Hava fotoğrafları film üzerinden taranarak 21µm piksel boyutunda sayısal ortama aktarıldı. Sayısal ortamda kullanılan görüntünün çözünürlüğü 1200 DPI (Dot Per Inch) dir.

Uygulamanın amacı, oluşturulan yazılımın demet dengelemesi kısmını test etmek ve bu dengeleme sonuçlarının, bağlantı noktalarının sayısı ve arazi koordinatı bilinen noktaların dağılımıyla ilişkisini araştırmaktır. Yani dengelenmiş fotogrametrik bloğun mutlak doğruluğunun yer kontrol noktalarının dağılımı, bağlantı noktalarının sayısı ve dağılımıyla olan ilişkisini araştırmaktır. Blok içinde yer koordinatları bilinen 7 nokta vardır. Bunlardan 4 tanesi yer kontrol noktası (Ground Control Points) kalan 3 tanesi test noktası (Check Points) olarak alınmıştır. Bunun için uygulamada farklı dağılımda koordinatı bilinen 4 nokta alındı. Bu şartlar altında farklı dağılıma sahip koordinatı bilinen noktalardan dört grup oluşturuldu ve Tablo 2’de görüldüğü gibi Bilinen A, B, C ve D grupları oluşturuldu.

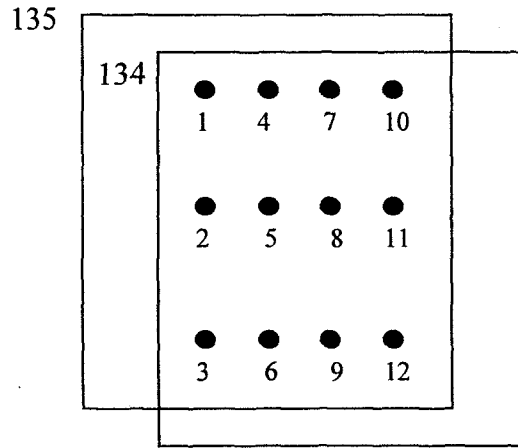
Bağlantı noktalarının sayısı ve dağılımının bloğun mutlak doğruluğuna etkisini incelemek için, ilk olarak her resimde 12 tane bağlantı noktası ölçüldü. Bağlantı noktalarının sayısının bloğun mutlak doğruluğuna etkisini tespit etmek amacı ile her resim için 12 bağlantı noktası ölçüldü ve bunun içinden 6 tanesi alınarak ayrı bir grup oluşturuldu. Dengeleme işlemleri 6 ve 12 tane bağlantı noktası için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca 6 ve 12 tane bağlantı noktasının koordinatı bilinen noktaların durumuna göre dengelemesi yapılmıştır.

Bağlantı noktalarının yerlerinin seçiminde, mümkün olduğunca eşit aralıklarla, model alanını kapsayacak şekilde, iki resimde net görünen, sabit noktalar olmalarına dikkat edildi. Bağlantı noktalarının model alanı üzerindeki genel dağılımı Şekil 28 de görülmektedir. Bağlantı nokta sayısı 6 olan grup 1, 2, 3, 10, 11 ve 12 numaralı noktalardan oluşmaktadır. Bilinen noktaların dağılımı ise Şekil 29 da görülmektedir.

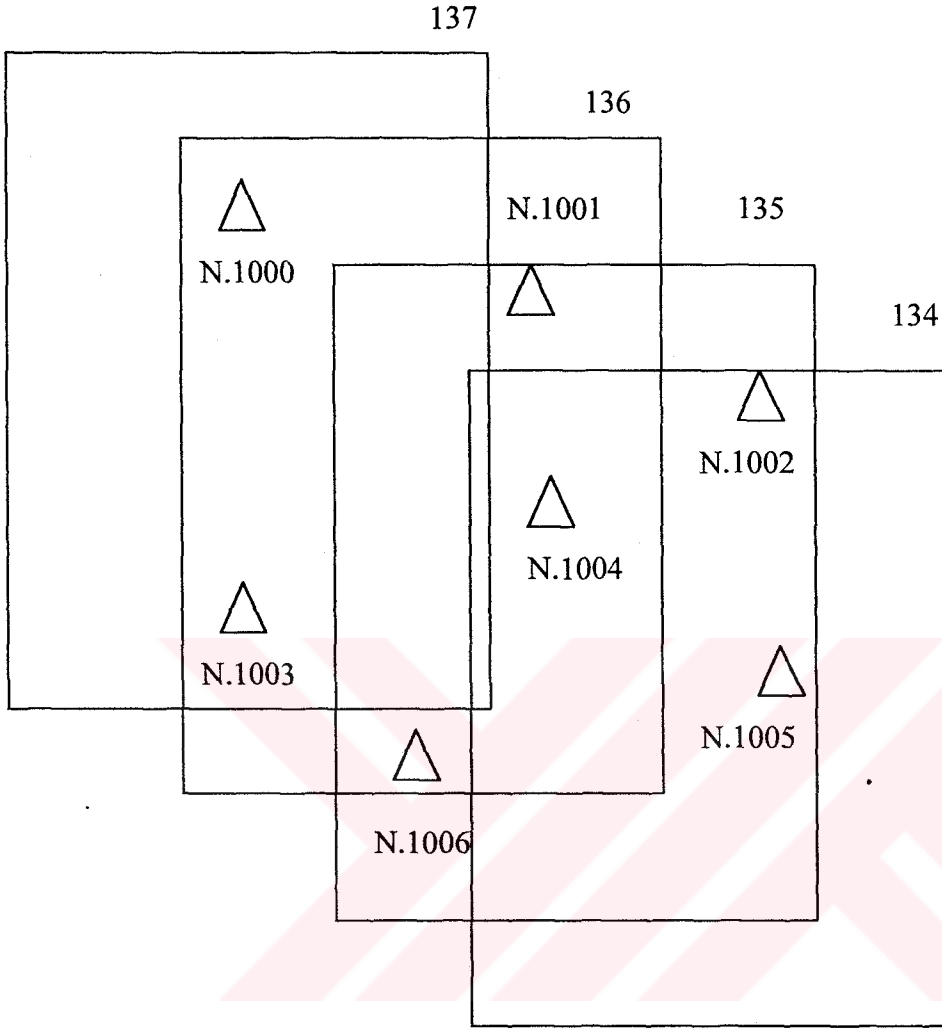
Bağlantı noktalarının ölçümünde, Alana Dayalı Görüntü Eşleme yöntemlerinden olan En Küçük Karesel Eşleme yöntemi kullanıldı. Yapılan uygulamaların hassasiyeti Üçüncü Bölüm de verilen Denklem (29) yardımı ile hesaplandı. Bu formüle bağlı olarak kontrol noktaları için bulunan standart sapma miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 2. Bilinen nokta grupları

Bilinen A	Bilinen B	Bilinen C	Bilinen D
N.1000	N.1000	N.1000	N.1001
N.1002	N.1003	N.1001	N.1002
N.1003	N.1004	N.1003	N.1003
N.1005	N.1005	N.1005	N.1005



Şekil 28. Uygulamada kullanılan bağlantı noktalarının durumu



Şekil 29. Uygulamada kullanılan bilinen noktaların dağılımı

Yapılan uygulamaların sonuçlarının incelenmesini kolaylaştırmak amacıyla koordinatı bilinen noktaların durumuna göre 6 ve 12 bağlantı noktalı sonuçlar ayrı ayrı tablolar halinde verilmiştir. Bilinen A dağılımı için 6 bağlantı noktası ile yapılan dengelemede kontrol noktalarının hata miktarları Tablo 3 te, grafik gösterimi Şekil (30) da verildi.

Tablo 3. Bilinen A dağılımı için 6 bağlantı noktası ile yapılan dengeleme sonuçları

$n = 104, u = 87, m_0 = \sigma_0 = 0.00000850 \text{ m} = 0.40 \text{ piksel}$

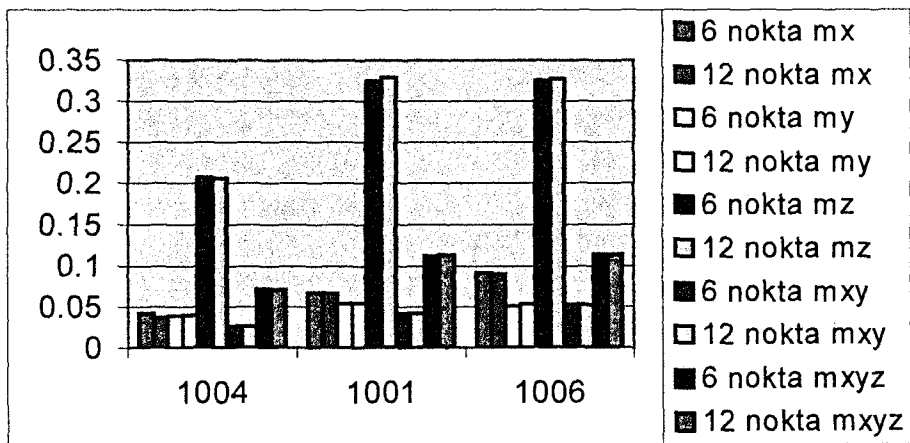
N. No	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)	$\sigma_{xy}$ (m)	$\sigma_{xyz}$ (m)
1004	0.043	0.039	0.208	0.027	0.072
1001	0.067	0.054	0.324	0.043	0.112
1006	0.091	0.051	0.325	0.052	0.114

Bilinen A dağılımı için 12 bağlantı noktası ile yapılan dengelemede kontrol noktalarının hata miktarları Tablo 4 te , grafik gösterimi Şekil 30 de verildi.

Tablo 4. Bilinen A dağılımı için 12 bağlantı noktası ile yapılan dengeleme sonuçları

$n = 176, u = 141, m_0 = \sigma_0 = 0.00000917 \text{ m} (0.44 \text{ piksel})$

N.No	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)	$\sigma_{xy}$ (m)	$\sigma_{xyz}$ (m)
1004	0.037	0.040	0.207	0.027	0.071
1001	0.066	0.055	0.329	0.043	0.113
1006	0.090	0.053	0.327	0.052	0.114



Şekil 30. Bilinen A için 6 ve 12 bağlantı noktası ile kontrol noktalarında hata miktarı

Bilinen B dağılımı için 6 bağlantı noktası ile yapılan dengelemede kontrol noktalarının hata miktarları Tablo 5 te, grafik gösterimi Şekil 31 da verildi.

Tablo 5. Bilinen B dağılımı için 6 bağlantı noktası ile yapılan dengeleme sonuçları

$n = 104, u = 87, m_0 = \sigma_0 = 0.00000843 \text{ m (0.40 piksel)}$

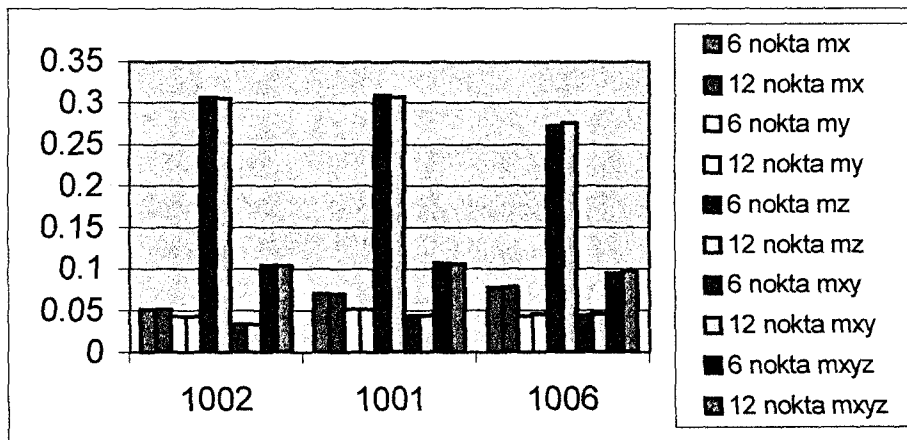
N.No	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)	$\sigma_{xy}$ (m)	$\sigma_{xyz}$ (m)
1002	0.052	0.043	0.307	0.034	0.105
1001	0.070	0.052	0.310	0.044	0.107
1006	0.078	0.043	0.272	0.044	0.095

Bilinen B dağılımı için 12 bağlantı noktası ile yapılan dengelemede kontrol noktalarının hata miktarları Tablo 6 te, grafik gösterimi Şekil 31 da verildi.

Tablo 6. Bilinen B dağılımı için 12 bağlantı noktası ile yapılan dengeleme sonuçları

$n = 176, u = 141, m_0 = \sigma_0 = 0.00000884 \text{ m (0.42 piksel)}$

N.No	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)	$\sigma_{xy}$ (m)	$\sigma_{xyz}$ (m)
1002	0.052	0.043	0.306	0.034	0.104
1001	0.070	0.052	0.307	0.044	0.106
1006	0.079	0.045	0.276	0.046	0.097



Şekil 31. Bilinen B için 6 ve 12 bağlantı noktası ile kontrol noktalarında hata miktarı

Bilinen C dağılımı için 6 bağlantı noktası ile yapılan dengelemede kontrol noktalarının hata miktarları Tablo 7 de, grafik gösterimi Şekil 32 da verildi.

Tablo 7. Bilinen C dağılımı için 6 bağlantı noktası ile yapılan dengeleme sonuçları

$n = 104, u = 87, m_0 = \sigma_0 = 0.00000845 \text{ m (0.40 piksel)}$

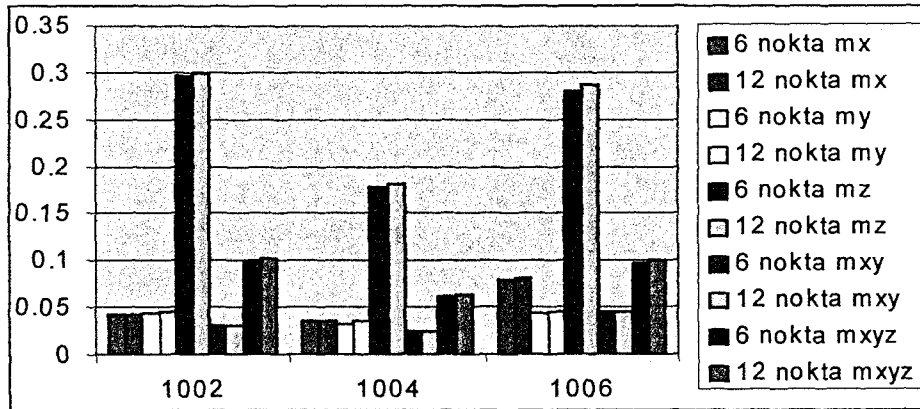
N.No	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)	$\sigma_{xy}$ (m)	$\sigma_{xyz}$ (m)
1002	0.042	0.043	0.296	0.030	0.101
1004	0.035	0.033	0.179	0.024	0.062
1006	0.080	0.044	0.280	0.046	0.098

Bilinen C için 12 bağlantı noktası ile yapılan dengelemede kontrol noktalarının hata miktarları Tablo 8 de, grafik gösterimi Şekil 32 da verildi.

Tablo 8. Bilinen C dağılımı için 12 bağlantı noktası ile yapılan dengeleme sonuçları

$n = 176, u = 141, m_0 = \sigma_0 = 0.00000894 \text{ m (0.43 piksel)}$

N.No	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)	$\sigma_{xy}$ (m)	$\sigma_{xyz}$ (m)
1002	0.042	0.045	0.300	0.031	0.102
1004	0.036	0.035	0.182	0.025	0.063
1006	0.081	0.046	0.287	0.046	0.101



Şekil 32. Bilinen C için 6 ve 12 bağlantı noktası ile kontrol noktalarında hata miktarı

Bilinen D dağılımı için 6 bağlantı noktası ile yapılan dengelemede kontrol noktalarının hata miktarları Tablo 9 da, grafik gösterimi Şekil 33 de verildi.

Tablo 9. Bilinen D dağılımı için 6 bağlantı noktası ile yapılan dengeleme sonuçları

$n = 106, u = 87, m_0 = \sigma_0 = 0.00000674 \text{ m (0.32 piksel)}$

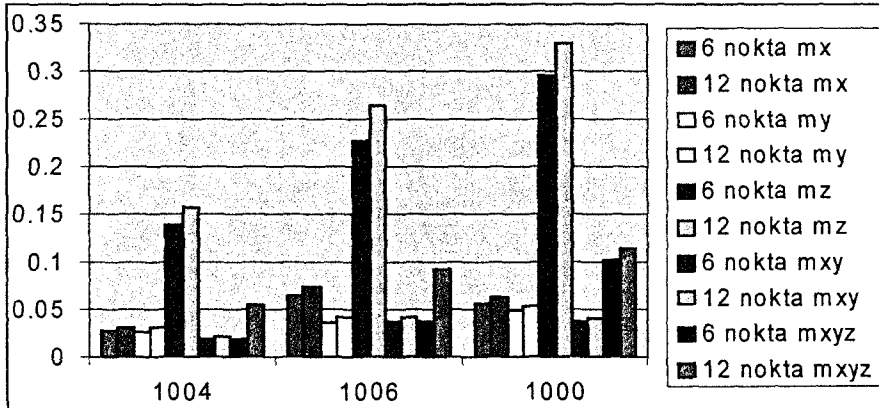
N.No	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)	$\sigma_{xy}$ (m)	$\sigma_{xyz}$ (m)
1004	0.028	0.026	0.139	0.019	0.048
1006	0.064	0.036	0.226	0.037	0.079
1000	0.057	0.048	0.295	0.037	0.101

Bilinen D için 12 bağlantı noktası ile yapılan dengelemede kontrol noktalarının hata miktarları Tablo 10 da, grafik gösterimi Şekil 33 de verildi.

Tablo 10. Bilinen D dağılımı için 12 bağlantı noktası ile yapılan dengeleme sonuçları

$n = 176, u = 141, m_0 = \sigma_0 = 0.00000894 \text{ m (0.43 piksel)}$

N.No	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)	$\sigma_{xy}$ (m)	$\sigma_{xyz}$ (m)
1004	0.031	0.031	0.158	0.022	0.055
1006	0.073	0.042	0.264	0.042	0.092
1000	0.063	0.053	0.330	0.041	0.114



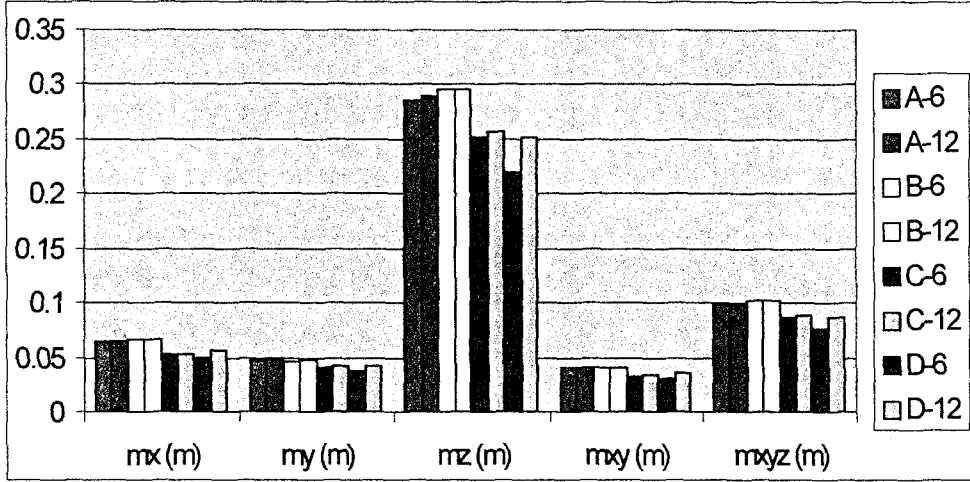
Şekil 33. Bilinen D için 6 ve 12 bağlantı noktası ile kontrol noktalarında hata miktarı

Yukarıda verilen uygulama sonuçlarına göre, 6 bağlantı noktası ile 12 bağlantı noktası alınarak yapılan uygulamalarda kontrol noktalarının konum hatalarının mm seviyesinde değişim gösterdiği bilinen gruplarına ait tablolardaki değerlerden görülmektedir. Tabloları tamamlayıcı olması bakımından her bilinen grubunun altında 6 ve 12 tane bağlantı noktası alınarak yapılan uygulamalar grafik üzerinde gösterildi. Grafiklere bakıldığında 6 ve 12 bağlantı noktası ile elde edilen sonuçlarda kontrol noktalarının konum hatalarındaki değişimin çok az olduğu görülür. Yapılan uygulamalarda kontrol noktalarının X ekseninde hata miktarları 3 cm ile 9 cm, Y ekseninde 3 cm ile 6 cm, Z ekseninde ise 16 cm ile 33 cm arasında değişmektedir. Düşey eksenindeki konum hatasının fazla olduğu görülmektedir. 6 bağlantı noktasının seçimi 12 bağlantı noktasının seçiminin yarısı kadarlık bir süre zarfında yapılmaktadır. İşlemler yarı otomatik yapıldığından dolayı operatörün deneyimi bu konuda önemlidir. 6 bağlantı noktası ile yapılan işlemlerde zamandan yarı yarıya tasarruf edilmiştir. Yapılan uygulamalarda zaman faktörünün maliyeti artırdığı göz önüne alınmalıdır. Bu sonuçlara göre, hassasiyetin mm düzeyinde değişimi dikkate alınarak Gruber noktaları civarında alınan 6 bağlantı noktası ile demet dengelemesinin yapılması yeterli olmaktadır.

Bilinen noktaların dağılımını incelemek için kontrol noktalarının  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  standart sapmaları hesaplanarak, kontrol noktalarının bu standart sapma miktarları aşağıdaki Tablo 11 de, grafik gösterimleride Şekil 34 de verildi.

Tablo 11. Bilinen nokta gruplarına ve bağlantı noktalarının sayısına göre kontrol noktalarının ortalama hata miktarları

Standart sapma	Bilinen A		Bilinen B		Bilinen C		Bilinen D	
	6	12	6	12	6	12	6	12
$\sigma_x$ (m)	0.065	0.064	0.067	0.067	0.052	0.053	0.050	0.056
$\sigma_y$ (m)	0.048	0.049	0.046	0.047	0.040	0.042	0.037	0.042
$\sigma_z$ (m)	0.286	0.288	0.296	0.296	0.252	0.256	0.220	0.251
$\sigma_{xy}$ (m)	0.041	0.041	0.041	0.041	0.033	0.034	0.031	0.035
$\sigma_{xyz}$ (m)	0.099	0.099	0.102	0.102	0.087	0.089	0.076	0.087



Şekil 34. Bilinen nokta gruplarına ve bağlantı noktalarının sayısına göre kontrol noktalarının ortalama hata miktarları

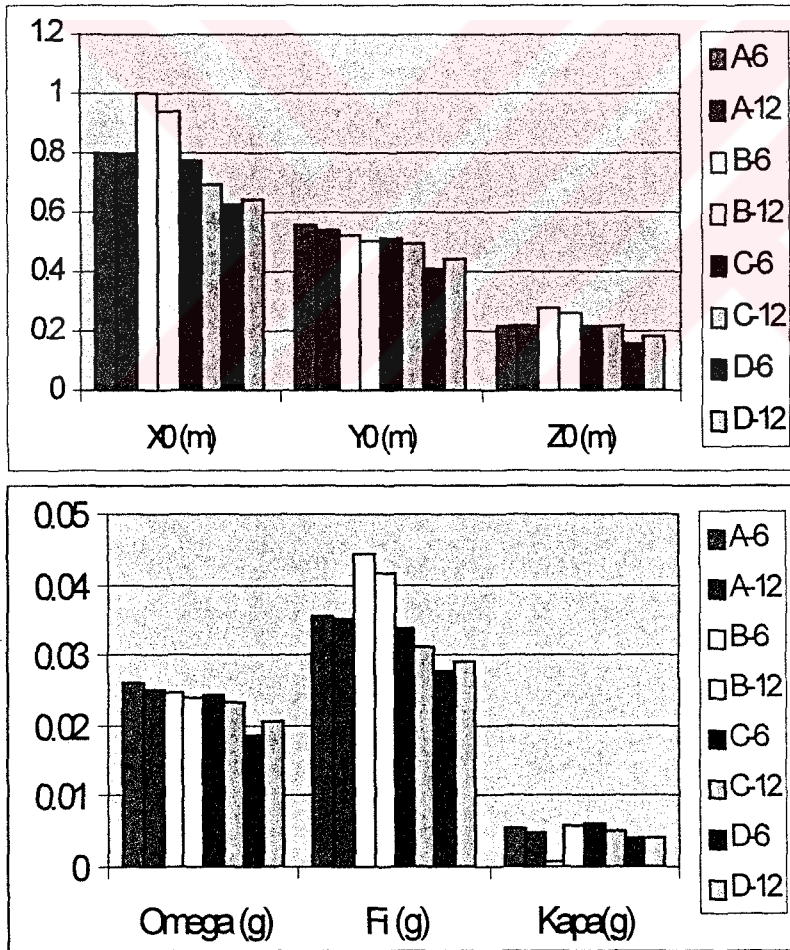
Tablo 11 de görüldüğü gibi 6 ve 12 bağlantı noktasıyla yapılan demet dengelemenin hassasiyeti mm seviyesinde değişmektedir. Bu tablodaki diğer bir sonuç ise, yer kontrol noktalarının dağılımıdır. Bilinen nokta durumlarına göre Bilinen D grubundaki sonuçlar diğerlerine göre daha hassas bulunmuştur. Bu grupta bulunan bilinen noktaların değerlendirilen bölgede daha uygun dağılımda olduğu görülmektedir.

Tablo 11 deki verilerden elde edilen Şekil 34 deki grafikte noktaların yatay konum hatalarının 10 cm nin altında kaldığı görülmektedir. Düşey konum hataları ise koordinatı bilinen noktaların dağılımına göre 22 cm ile 30 cm arasında değişmektedir. Yapılan uygulamalarda koordinatı bilinen noktaların oluşturduğu gruplar arasında Bilinen C ve Bilinen D grubunda diğerlerine göre hassas sonuçlar elde edildi. En iyi sonuç Bilinen D grubu ile 6 bağlantı noktası alınarak yapılan dengelemede elde edildi.

Yapılan uygulamada resimlerin dış yöneltme parametrelerinin hata miktarlarındaki değişim koordinatı bilinen nokta grupları ve bağlantı noktalarının sayısına göre araştırıldı. Dış yöneltme parametrelerindeki hataların koordinatı bilinen noktaların dağılımı ve bağlantı noktalarının sayısı ile değişimi, her resim için ayrı tablolarda gösterildi. Tabloda projeksiyon merkezinin hataları metre (m), dönüklük elemanlarının hataları ise grad (g) biriminde verildi.

Tablo 12. 134 numaralı fotoğrafın dış yöneltme parametrelerinin hassasiyeti

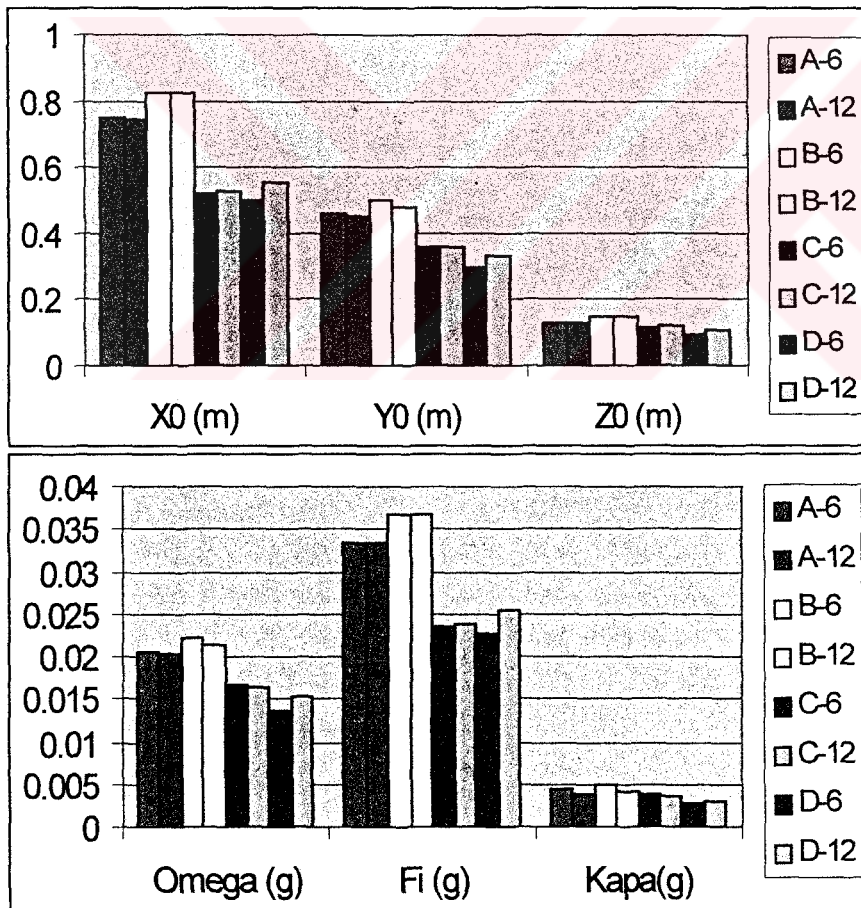
Foto No.	Bilinen A		Bilinen B		Bilinen C		Bilinen D	
	6	12	6	12	6	12	6	12
134	6	12	6	12	6	12	6	12
$X_0$ (m)	0.802	0.787	1.001	0.943	0.774	0.695	0.624	0.647
$Y_0$ (m)	0.558	0.541	0.524	0.505	0.516	0.497	0.405	0.444
$Z_0$ (m)	0.220	0.220	0.278	0.265	0.219	0.216	0.157	0.179
$\omega_{134}$ (g)	0.02586	0.02515	0.02475	0.02388	0.02429	0.02339	0.01870	0.02054
$\phi_{134}$ (g)	0.03550	0.03498	0.04417	0.04170	0.03393	0.03103	0.02768	0.02893
$\kappa_{134}$ (g)	0.00546	0.00479	0.00067	0.00563	0.00611	0.00517	0.00410	0.00414



Şekil 35. 134 numaralı fotoğrafın dış yöneltme parametrelerinin hassasiyeti

Tablo 13. 135 numaralı fotoğrafın dış yöneltme parametrelerinin hassasiyeti

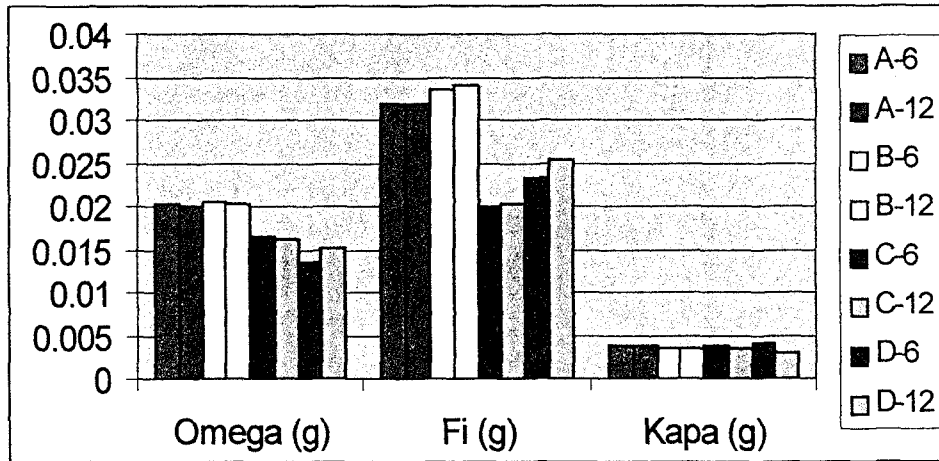
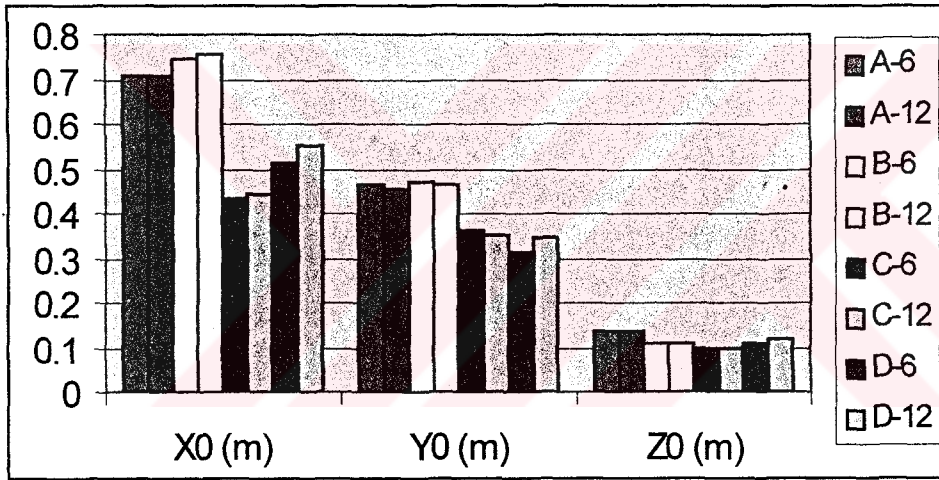
Foto No.	Bilinen A		Bilinen B		Bilinen C		Bilinen D	
	6	12	6	12	6	12	6	12
135								
$X_0$ (m)	0.750	0.745	0.826	0.821	0.519	0.525	0.501	0.556
$Y_0$ (m)	0.459	0.454	0.500	0.483	0.361	0.358	0.299	0.334
$Z_0$ (m)	0.128	0.131	0.151	0.149	0.115	0.119	0.094	0.109
$\omega_{135}$ (g)	0.02062	0.02039	0.02215	0.02148	0.01661	0.01648	0.01363	0.01524
$\phi_{135}$ (g)	0.03356	0.03339	0.03680	0.03658	0.02363	0.02393	0.02287	0.02537
$\kappa_{135}$ (g)	0.00430	0.00375	0.00499	0.00424	0.00386	0.00354	0.00287	0.00310



Şekil 36. 135 numaralı fotoğrafın dış yöneltme parametrelerinin hassasiyeti

Tablo 14. 136 numaralı fotoğrafın dış yöneltme parametrelerinin hassasiyeti

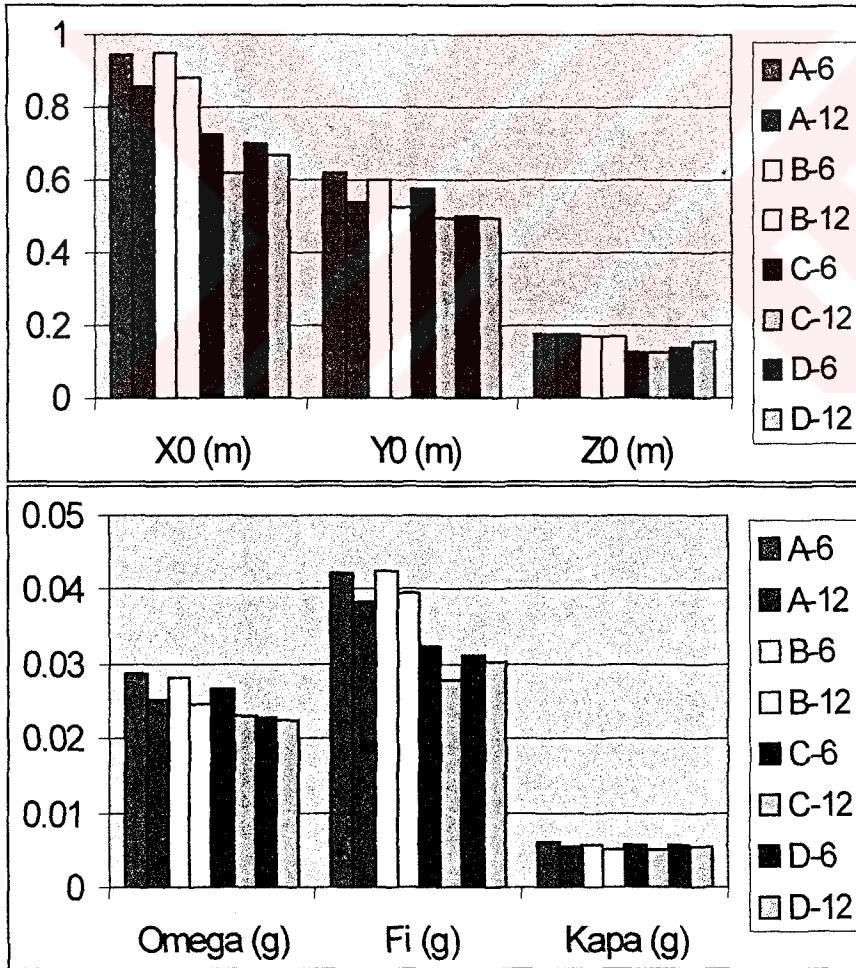
Foto No.	Bilinen A		Bilinen B		Bilinen C		Bilinen D	
	6	12	6	12	6	12	6	12
136								
$X_0$ (m)	0.708	0.710	0.748	0.757	0.433	0.442	0.514	0.551
$Y_0$ (m)	0.465	0.456	0.472	0.466	0.364	0.353	0.311	0.344
$Z_0$ (m)	0.134	0.134	0.107	0.109	0.098	0.099	0.110	0.121
$\omega_{136}$ (g)	0.02034	0.01990	0.02065	0.02039	0.01658	0.01609	0.01347	0.01524
$\phi_{136}$ (g)	0.03181	0.03190	0.03354	0.03394	0.01972	0.02014	0.02335	0.02537
$\kappa_{136}$ (g)	0.00391	0.00366	0.00353	0.00347	0.00386	0.00364	0.00393	0.00310



Şekil 37. 136 numaralı fotoğrafın dış yöneltme parametrelerinin hassasiyeti

Tablo 15. 137 numaralı fotoğrafın dış yöneltme parametrelerinin hassasiyeti

Foto No.	Bilinen A		Bilinen B		Bilinen C		Bilinen D	
	6	12	6	12	6	12	6	12
137								
$X_0$ (m)	0.943	0.856	0.952	0.880	0.725	0.617	0.699	0.671
$Y_0$ (m)	0.616	0.537	0.600	0.524	0.573	0.492	0.499	0.493
$Z_0$ (m)	0.177	0.178	0.167	0.167	0.123	0.122	0.139	0.156
$\omega_{137}$ (g)	0.02884	0.02521	0.02810	0.02462	0.02670	0.02300	0.02280	0.02242
$\varphi_{137}$ (g)	0.04220	0.03840	0.04260	0.03951	0.03241	0.02773	0.03119	0.03020
$\kappa_{137}$ (g)	0.00608	0.00535	0.00568	0.00504	0.00573	0.00513	0.00555	0.00528



Şekil 38. 137 numaralı fotoğrafın dış yöneltme parametrelerinin hassasiyeti

Uygulamada kullanılan resimlerin dış yöneltme parametreleri olan projeksiyon merkezinin koordinatlarının ve dönüklük elemanlarının hataları tablonun altında ayrı ayrı grafiklerde gösterildi. Projeksiyon merkezinin koordinatlarındaki hataların test noktalarının hatalarına göre daha büyük olduğu görülmektedir. X eksenindeki hata miktarı 0.43 m ile 1 m, Y ekseninde 0.30 m ile 0.62 m, Z ekseninde ise 0.09 m ile 0.28 m arasındadır.

Tablo 16 . Otomatik Havai Nirengi OEEPE FORSSA BLOKLARI

Piksel Boyutu		15 $\mu\text{m}^0$		30 $\mu\text{m}^1$		30 $\mu\text{m}^2$	
Görüntü Noktalarının Sayısı		7643		6641		3686	
Arazi Noktalarının Sayısı		3403		2991		1526	
Yer Kontrol Noktalarının Sayısı		14XY 14Z	4XY 8Z	14XY 14Z	4XY 8Z	14XY 14Z	4XY 8Z
$\sigma_0$	[ $\mu\text{m}$ ]	6.2	6.2	11.8	11.7	10.7	10.7
	[Piksel]	0.41	0.41	0.39	0.39	0.36	0.36
Test Noktalarının Sayısı		81XY 71Z	90XY 76Z	81XY 71Z	90XY 76Z	81XY 71Z	90XY 76Z
RMS	$\mu_x$ [cm]	3.6	4.2	5.0	6.5	4.3	5.7
	$\mu_y$ [cm]	3.9	5.1	5.5	8.0	5.1	7.3
	$\mu_z$ [cm]	5.3	7.1	9.4	11.5	8.1	9.2
Blok Noktalarının	$\sigma_x$ [cm]	2.5	3.0	4.6	5.5	4.2	5.2
RMS	$\sigma_y$ [cm]	2.7	3.4	4.9	6.3	4.4	5.9
	$\sigma_z$ [cm]	5.9	6.3	10.8	11.5	9.9	10.7
Yöneltme Parametreleri	$\sigma_x$ [cm]	3.3	4.0	6.6	8.2	6.6	8.1
RMS	$\sigma_x$ [cm]	2.7	2.8	5.4	5.7	5.7	6.1
	$\sigma_x$ [cm]	1.0	1.3	2.0	2.5	2.1	2.6
	$\sigma_x$ [cm]	3.0	3.6	5.9	7.0	6.2	7.3
	$\sigma_x$ [cm]	3.7	5.3	7.4	10.6	7.3	10.5
	$\sigma_x$ [cm]	2.5	3.0	4.6	5.7	4.4	5.6
	$\sigma_x$ [cm]						
<sup>0</sup> ) Her bir bindirmeli bölge için 6 parça, her parça için 10 en iyi nokta <sup>1</sup> ) Her bir bindirmeli bölge için 1 parça, parçanın bütün noktaları <sup>2</sup> ) Her bir bindirmeli bölge için 1 parça, her parça için 20 en iyi nokta							

Geliştirilen yazılımda elde edilen sonuçların karşılaştırılması amacı ile Stuttgart Üniversitesi Fotogrametri Enstitüsünün katılımı ve Finlandiya Jeodezi Enstitüsü idaresi altındaki OEEPE'nin Otomatik Digital Havai Nirengi sonuçları Tablo 16 da gösterilmiştir<sup>18</sup>.



---

<sup>18</sup> Dieter FRITSCH, Digital Aerial Triangulation, (Symposium on Digital Photogrammetry, 21-22 May, İstanbul, 1998),pp. IV-1

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### SONUÇLAR

#### SONUÇ VE ÖNERİLER

Dijital Fotogrametri teknolojide yaşanan gelişmelerden etkilenmektedir. Dijital Fotogrametrik Nirengide ise gelişen bilgisayar teknolojisine bağlı olarak yüksek çözünürlükteki resimleri işleyebilme imkanı doğmuştur. Demet dengelemesi kısmında ise hesaplama külfeti azaltılmıştır.

Dijital Fotogrametrik Nirengide bağlantı ve yer kontrol noktalarının resim koordinatlarının ölçülmesi ve diğer resimdeki karşılığının bulunması önemlidir. Tez kapsamında geliştirilen yazılımda bu işlemlerin yarı otomatik olarak yapıldığı belirtilmiştir. Bu işlemlerin otomatik olarak yapılması fotogrametri uygulamalarında büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. İşlemlerin otomatik olarak yapılması Görüntü Eşleme algoritmalarının geliştirilmesi ile mümkündür.

Otomatik sistemlerde kullanıcının işleme müdahalesi yoktur. İşlemler tamamen yazılım tarafından yapılır. Resim başına 200 veya 300 kadar bağlantı noktası otomatik olarak seçilip diğer resimdeki karşılıklar bulunur. Bu noktaların resim koordinatları dengeleme sonunda uyumsuz ölçüler testine tabi tutularak hatalı olan noktalar ayıklanır. Otomatik sistemlerde, yer kontrol noktaları zeminde bulunan işaretleri yardımcı ile otomatik olarak tespit edilebilmektedir.

Tez kapsamında geliştirilen yazılımda yapılan uygulamalarda elde edilen bazı pratik sonuçlar şunlardır ;

- a) Bağlantı noktalarının seçiminde ilk olarak sol ve sağ resimde bu noktanın bindirmeli bölgede bulunup bulunmadığı tespit edilmelidir.
- b) Bağlatı noktaları Gruber noktalarının civarında seçilmelidir. Ve Gruber nokta adeti kadar bağlantı noktası istenen ve en iyi doğruluğa ulaşmada yeterli sayı olarak karşımıza çıkmaktadır.
- c) Sol resimde seçilen bir nokta sağ resimde net olarak görülebilmelidir.
- d) Arazide bulunan bir objenin (ağaç, bina, kaya vb. ) oluşturduğu gölge içinde nokta seçilmemelidir.
- e) Sol resimde seçilen noktanın etrafına çizilen dörtgen içinde gri değer değişimleri olmalıdır. Yani dörtgen içi tam siyah veya beyaz bir bölge olmamalıdır.
- f) Arazide bulunan hareketli objeler ( insan araç, hayvan vb.) bağlantı noktası olarak seçilmemelerine dikkat edilmelidir. Böyle bir noktanın seçilmesi durumunda sol resimde seçilen noktanın sağ resimdeki konumu farklı olacaktır.
- g) Fotoğraf üzerinde belirgin, sabit , doğal veya yapay tesisler seçilmelidir.
- h) Noktaların resim koordinatlarının ölçümü hassas olarak yapılmalıdır.

Bu sonuçların dışında, yer kontrol noktalarının işaretleri zeminde düzgün yapılmalı ve resim çekim anına kadar bozulmamasına dikkat edilmelidir. Çekilen fotoğrafların yüksek ayırma gücüne sahip olması değerlendirme işlemlerinin daha hassas yapılmasını sağlar.

Çoklu nokta eşleme işlemleri dijital fotogrametrik nirengi içinde yapılabilir. Seçilen bir nokta birden fazla resimde bulunabilir. Bu noktanın sağ resimdeki karşılığının yerinin belirlenmesi tez kapsamında geliştirilen yazılım içinde yapıldı. Dijital Fotogrametride GPS kullanılması ile projeksiyon merkezinin koordinatları bulunmaktadır<sup>19</sup>. Böylece dış yöneltme parametrelerinde sadece dönüklük elemanları bilinmeyen olarak kalmaktadır.

<sup>19</sup> Özsen ÇORUMLUOĞLU, GPS-Aerotriangulation in observation space, Ph.D Thesis University of Newcastle, Newcastle U.K. 1998

Tez kapsamında yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçlar tatmin edicidir. Şu an piyasada bulunan ticari yazılımlardan farkı bu yazılım araştırma amaçlı geliştirilmiş olmasıdır. Tez kapsamında yapılan yazılımın işlemleri otomatik olarak yapması üzerine yürütülecek bir çalışma bundan sonraki hedefler arasındadır. Ayrıca yazılımda çoklu nokta eşleminin ve GPS ölçülerinin kullanımlarında bu hedefler arasında yer almaktadır.

Bu gelişmeler dikkate alındığında Dijital Fotogrametrinin önümüzdeki yıllarda daha iyi bir seviyede olacağı görülmektedir. Dijital Fotogrametrinin sağladığı bu imkanlar çerçevesinde fotogrametrik değerlendirme işlemleri daha hızlı ve hassas olarak yapılmaktadır.



## KAYNAKLAR

ACKERMAN, Fritz and TSIGNAS, Vasiliias, Automatic Digital Aerial Triangulation, Institute for Photogrammetry Universty of Stuttgart, Stuttgart

ACKERMAN, Fritz and KRZYSTEK, Peter, “Complete Automation of Digital Aerial Triangulation”, Photometric Record. 15(89), April 1997, pp.645

BARENGİ, Ruhver, Delphi 3’e Bakış, Birinci Baskı, Seçkin Yayınevi, Haziran 1998, s.9

CAN , Z. C., ve F. KARALAR , M. UYSAL , A. VARLIK “ The First Turkish Digital Photogrammetry Software”, The First Turkish – German Joint Geodetic Days , İstanbul , 1999

ÇORUMLUOĞLU Özşen, “ GPS-Aerotriangulation in observation space”, Ph.D Thesis, Newcastle U.K., University of Newcastle, 1998

FRITSCH, Dieter, “Digital Aerial Triangulation”, Syposium on Digital Photogrammetry, 21 – 22 May , İstanbul , 1998, pp.IV-1

—— . “Introduction into Digital Aerotriangulation”, Photogrammetric Week’95, Stuttgart, 1995, pp.165

GRUEN , Armin, “ DTM Generation and Visualization “ , Syposium on Digital Photogrammetry , 21 – 22 May , İstanbul , 1998

GRUEN , Armin, and Emanuel BALTSAVIAS , “ Adaptive Least Squares Correlation with Geometrical Constraints “, Proc. SPIE , Vol. 595 , pp. 72 – 82 Cannes , France , 1985

KRAUS, Karl, with contributions by P., WALDHAUSL, Photogrammetry ,  
Volume 1 , Dümmler / Bonn , 1992, pp.276-282

YAŞAYAN, Ahmet, Fotogrametri Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi,  
Trabzon, 1974, 3.Bölüm, s.2



TC  
DOKÜMANİSTEN