

**İÇ ve DIŞ YÖNELTME ELEMANLARININ BİLİNMESİ
DURUMUNDA UZAYSAL KESTİRME PROBLEMLERİNİN
ÇÖZÜMÜ ve YERSEL FOTOGRAMETRİDE UYGULAMA
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

(DOKTORA TEZİ)

Yük. Müh. Hüseyin Gazi BAŞ

Tezin Fen Bilimleri Ens. Verildiği Tarih : 26 Aralık 1984

Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Mayıs 1985

Doktorayı Yöneten Öğretim Üyesi

: Prof. Mustafa AYTAÇ

Diğer Jüri Üyeleri

: Doç. Dr. Cankut ÖRMECİ

: Doç. Dr. M. Orhan ALTAN

T. C.

**Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SAKARYA MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MATBAASI - 1985**

İ Ç İ N D E K İ L E R

ÖZET

SUMMARY

SİMGELER

BÖLÜM I

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI	1
--	---

BÖLÜM II

2. ANALOG VE ANALİTİK FOTOGRAMETRİNİN KARŞILAŞ- TIRILMASI	5
2.1. Analitik Fotogrametride Matematik Model . . .	7
2.1.1. Doğrusallık Koşulu	9
2.1.2. Eşdüzlemslik Koşulu	13
2.2. Analitik Yersel Fotogrametride Verilerin Elde Edilmesi ve Kullanılır Duruma Getirilmesi	17
2.2.1. Verilerin Elde Edilmesi	17
2.2.2. Resim Koordinat Sistemine Dönüş- türme ve Film Distorsiyon Düzeltmesi	19
2.2.3. Mercek Distorsiyon Düzeltmesi . . .	20
2.2.4. Yer Eğriliği ve Işın Kırılması için Düzeltme	22
2.3. Yersel Fotogrametride Doğruluğa Etkiyen Temel Faktörler	25
2.3.1. Fotogrametrik Sistemin Fiziksel Özellikleri	26
2.3.2. Fotogrametrik Sistemin Geometrik Özellikleri	28

II

2.3.3. Gözlemlerin Fazlalığı	29
2.3.4. Uygulanan Hesap Yönteminin Etkisi	29

BÖLÜM III

3. MATEMATİK MODELİN YERSEL FOTOGRAMETRİ	
PROBLEMLERİNE UYGULANMASI	30
3.1. Dış Yöneltilme Elemanlarının Belirlenmesi	30
3.2. Uzay Önden Kestirme ve Matematik Modelin Uygulanmasında Değişik Yöntemler	33
3.2.1. Vektör Yöntemi	34
3.2.2. DLT (Doğrudan Lineer Dönüşüm) ve 11 Parametre Çözümleri	37

BÖLÜM IV

4. UZAYSAL KESTİRME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE DOĞRUSALLIK KOŞUL EŞİTLİKLERİNİN DOĞRUDAN LİNEER BİÇİMDE KULLANILMASI.	41
4.1. Yöntemin Uzay Önden Kestirmeye Uygulanması ile Nokta Cisim Uzay Koordinatlarının Hesabı	46
4.2. Düzeltme Denklemlerine Verilecek Ağırlık Katsayılarının Belirlenmesi	49

BÖLÜM V

5. FOTOGRAMETRİK ARAŞTIRMALARDA SİMÜLASYON TEKNİĞİ	53
5.1. Matematik Test Alanının Hazırlanması	54

III

5.2. Resim Çekme Makinesinin Yeğlenmesi	56
5.3. Resim Çekme Makinesi Distorsiyon	
Katsayılarının Hesabı	58
5.4. Resim Çekme Makinesi Duraklarının	
Geometrik Düzeni	62
5.5. Simülasyon Deneylerinin Çalıştırılması .	63
5.6. Simülasyon Deney Sonuçlarının Analizi . .	71
5.7. Uygulanan Yaklaşımın Diğer Yöntemlerle	
Karşılaştırılması	76
5.8. Gerçek Bir Probleme Uygulama	77

BÖLÜM VI

6. SONUÇLAR	81
EKLER	
KAYNAKLAR	
TEŞEKKÜR	
ÖZGEÇMİŞ	

Ö Z E T

Fotogrametride matematik modeli oluşturan en uygun koşul doğrusallık koşuludur. Bu koşul matematik olarak de-yimlendiği zaman lineer olmayan denklem sistemleriyle karşı-laşılmaktadır. Cisim uzay koordinatlarının önden kestirmeyle hesaplanması durumunda bu eşitlikler kullanılacağından, çö-zümden önce lineerleştirilmeleri gerekir. Bugüne kadar bu eşitlikler klasik seriye açma yöntemiyle lineerleştirilmiş olup, genellikle de Taylor seri açılımı yeğlenmiştir.

Bu çalışmada, uzaysal kestirme problemleri iç ve dış yöneltme elemanlarının bilinmesi ve hatasız varsayıl-ması durumunda kendiliğinden lineer olan doğrusallık ko-şul eşitlikleri kullanılarak çözümlenmiş, ayrıca resim koordinat hataları ve fotogrametrik yöntemin içerdiği de-ğişik parametrelerin (yakınsaklık açısı vb.) nokta uzay koordinatlarının doğruluğu üzerindeki etkileri araştırıl-mıştır.

Birinci bölümde çalışmanın amacı anlatılmıştır.

İkinci bölümde analog ve analitik fotogrametrinin karşılaştırılmasından sonra analitik fotogrametride matema-tik model kavramı açıklanmış ve fotogrametride verilerin elde edilmesi ve kullanılır duruma getirilmeleri ve yersel fotogrametride doğruluğa etkiyen temel faktörler yer almıştır.

Üçüncü bölümde matematik modelin değişik fotogra-metri problemlerine uygulanmasındaki bazı yöntemler açık-lanmıştır.

Dördüncü bölümde, doğrusallık koşul eşitliklerinin, iç ve dış yöneltme elemanlarının bilindiği ve hatasız varsayıldığı, doğrudan lineer biçimi kullanılarak cisim uzay koordinatlarının nasıl hesaplanacağı açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, uygulanan hesap yönteminin doğruluk düzeyi simülasyon deneyleriyle ve bir test alanından elde edilen verilerin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlara göre test edilerek hata analizleri yapılmıştır. Ayrıca "Vektör Yöntemi" ile de çözümler yapılarak iki yöntem karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde ise elde edilen sonuçlara göre uygulanan yaklaşımın özellikleri belirtilmiş ve test sonuçlarının analizi özetlenmiştir. Buna göre:

- Uygulanan yaklaşım iterasyonsuzdur.
- Yaklaşım hem uzay önden kestirmeye, hem de geriden kestirmeye uygulanabilir.
- Çözümler esnasında ara işlemler en aza inmektedir.
- Yüksek incelik gerektirmeyen uygulamalarda uzaysal kestirme problemlerine uygulanması uygun olmasına rağmen, çok incelikli analitik çözümler için diğer hesap yöntemlerinin, örneğin "demet dengelemesi" yönteminin kullanılması daha uygundur.

VI

THE INVESTIGATION OF THE SOLUTION OF SPATIAL
INTERSECTION PROBLEMS AND THE APPLICATION
POSSIBILITIES ON TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRY
IN THE CASE OF INTERIOR AND EXTERIOR ORIENTATION
PARAMETERS ARE KNOWN

S U M M A R Y

The first of two fundamental steps of the aerial and terrestrial photogrammetry is the space resection. By carrying out this process, the object space coordinates of the camera perspective center (exposure station) and the rotation of photographic coordinate system according to the object (geodesic) coordinate system are determined. The second step is the photographic space intersection. By performing this step, the object space coordinates of the points, which correspond to the same object point imaged in two or more photographs, are computed.

In the analogue restitution (instrumental) both of processes are carried out on the analogue plotting instruments via some optical and mechanical treatments, namely the result of relative and absolute orientation. However, in the analytical photogrammetry the all of the restitution is performed numerically.

In the both resection and intersection, the analytical process can be carried out by employing various mathematical methods which are based on the principles of projective or solid analytical geometry.

The optimum solution is the collinearity condition is that a certain object point, its image on the photographs and the perspective center of the camera (the frontal point of the camera lens) lie along the same straight line. The non-linear equation systems are faced when the collinearity condition is expressed by means of the mathematical equations.

Up to the recent studies these condition equations have been commonly linearized using the serial expansion, and often Taylor's theorem has been preferred. For computing the object space coordinates of any ground point the collinearity equations are employed after serial expansion in space intersection.

In this study, the spatial intersection problems were solved by using the direct linear collinearity condition equations when the parameters of the interior and the exterior orientation were known and assumed errorless. Furthermore the applied approach was tested by simulation experiments and by the data obtained from a testfield.

In the first section, the aim of this study is briefly explained.

In the second section, the analogue method is compared with the analytical method. After explaining the mathematical model in the analytical photogrammetry; data acquisition, the coordinates reduction and the correction for film distortion, correction for lens distortion and the earth's curvature and the atmospheric refraction are explained. Then, the principles parameters influencing accuracy of photogrammetric system are given as physical characteristics of the photogrammetric system, the geometrical characteristics of the photogrammetric system, the redundancy of the measurements and the used computational method.

In the third section, the application of the mathematical model to the various photogrammetric problems which are space resection and space intersection, the vector method and DLT and the 11 Parameter solutions are explained.

In the forth section, the collinearity condition equations which are directly linear, when the parameters of the interior and the exterior orientation were known and assumed errorless, were applied to the spatial intersection problems.

IX

The final equations are following:

$$\begin{bmatrix} v_{x_{ij}} \\ v_{y_{ij}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1_{ij}} & a_{2_{ij}} & a_{3_{ij}} \\ b_{1_{ij}} & b_{2_{ij}} & b_{3_{ij}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{1_{ij}} & a_{2_{ij}} & a_{3_{ij}} \\ b_{1_{ij}} & b_{2_{ij}} & b_{3_{ij}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} a_{1_{ij}} &= fa_1 - xc_1 & b_{1_{ij}} &= fb_1 - yc_1 \\ a_{2_{ij}} &= fa_2 - xc_2 & b_{2_{ij}} &= fb_2 - yc_2 \\ a_{3_{ij}} &= fa_3 - xc_3 & b_{3_{ij}} &= fb_3 - yc_3 \end{aligned} \quad (4.7)$$

In the fifth section, in order to assess the accuracy and the appropriate of the applied model, it is tested via the simulation method. Several simulation experiments are performed to find the optimum geometric configuration and the number of plates which effect the accuracy of the results. For this aim, a mathematical test area is determined and

a terrestrial camera is chosen. Then the lens distortion coefficients of the respective camera are computed, by means of a computer program. Then the fictitious photographic coordinates are generated by using directly the collinearity equations. After this step, the object space coordinates which are in the test field, are computed using the applied model. Furthermore, the applied model is compared with the vector method.

In the sixth section, the results are given. According to the obtained result, the chosen geometric configuration namely parallax angle and the object distance, and the used station number affect the accuracy of the computed object space coordinates. According to the results of the simulation study the parallax angle has the maximum effect on the accuracy.

The applied approach has the following properties:

- 1) The number of intermediate steps are minimised during the performance.
- 2) Applicability in the programming of mathematical expressions is straightforward and the solution time is short.
- 3) This model does not require any iteration.

S İ M G E L E R

$\mathbf{r}$	Bir noktanın resim vektörü
$\mathbf{R}$	Bir cisim noktasının yer koordinat sistemindeki vektörel deyimini
X, Y, Z	Bir noktanın cisim uzay koordinatları
x_o, y_o, z_o	Resim makinesi perspektif merkezinin cisim uzay koordinatları
$\mathbf{D}$	Ortogonal dönme matrisi
a_i, b_i, c_i	Ortogonal dönme matrisi elemanları
x, y, z	Resim koordinat sistemindeki nokta koordinatları
x_o, y_o	Ana nokta koordinatları
f	Ayar edilmiş resim makinesi odak uzunluğu
$\mathbf{B}$	Baz vektörü
r	Işınsal uzaklık (ana noktadan itibaren)
Δr	Mercek distorsiyon hatası
$\emptyset$	Yakınsaklık açısı
δ	Paralaktik açı
λ	Ölçek katsayısı
v_x, v_y	Resim koordinat ölçmelerine getirilecek düzeltme büyüklükleri
a_{ij}, b_{ij}	Bilinmeyenlerin katsayıları
$\mathbf{N}$	Normal denklem matrisi
m_o	Birim ağırlığın karesel ortalama hatası
m_X	Bilinmeyenlerin karesel ortalama hataları
$\mathbf{P}$	Ağırlık katsayılar matrisi

XII

Y	Cisim uzaklığı (resim çekme bazına dik uzaklık)
θ	Resim çiftlerinin birbirini örtme açısı
k_i	Mercek distorsiyon katsayıları
V_{Xi}, V_{Yi}, V_{Zi}	Gerçek arazi koordinatları ile fotogrametrik olarak hesaplanan uzay koordinatları arasındaki koordinat farkları
M_X, M_Y, M_Z	Koordinat farklarının karesel ortalama değeri
M_p	Nokta konum hatası
n	Gözlemelerin ve noktaların sayısı
R	Fazla ölçme sayısı
u	Bilinmeyenlerin sayısı
DLT	(Direct Linear Transformation) Doğrudan Lineer Dönüşüm
L_i	DLT katsayıları

B Ö L Ü M I

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Fotogrametri, fotoğrafik görüntülerin ve yayılan elektromanyetik enerjinin şekillerinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu fiziksel cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgiler ortaya koyan, akustik enerji şekilleri ile manyetik olayların analizini de yapan bir bilim dalıdır (1).

Fotogrametri 20. yüzyıl başlarında sadece klasik haritacılık amaçlarına uygun çalışmalar yaparken, geçen zaman, gelişen teknoloji ve değişen insan gereksinimleri doğrultusunda o da kendisini sürekli yenilemiş ve kendisine çok değişik uygulama alanları bulmuştur. Özellikle "elektronik hesap teknikleri" nin gelişmesiyle mühendisliğin hemen her dalında, mimaride, tıp alanında, tarımda, ormancılıkta, trafikte, arkeolojide, oşinografi vb. daha birçok konuda yeni yeni uygulama alanları bulmuştur (1), (2).

Fotogrametrinin bu kadar değişik alanda yaygın olarak kullanılmasının nedenleri arasında; ölçmelerin cisimler üzerinde değil, cisimlerin fotoğrafik izdüşümlerinden dolayı olarak yapılması, işlemlerindeki hız, doğruluk ve ekonomiklik (1), (3), (4), (5) ve özellikle fotogrametrinin uygulandığı alanlara klasik yöntemlerin girememesi sayılabilir.

Değişik problemlerin fotogrametrik yöntemle çözümünde ardışık iki temel adımın yerine getirilmesi gerekmektedir. Bunlardan birincisi uzay geriden kestirme olup bu temel ödevin yerine getirilmesiyle; resim çekme makinesi perspektif merkezinin cisim uzay koordinatlarını ve resim koordinat sisteminin cisim koordinat sistemine göre, ω , ϕ , κ açıları yardımıyla eğikliğini belirleme olanağı bulunmaktadır. Uygulanması gereken ikinci temel adım, uzay önden kestirme olup, bunun uygulanması ile de; en az iki resmin ortak bölgesinde görüntülenen noktaların cisim uzay koordinatları (kıyas koordinat sistemindeki jeodezik koordinatları) hesaplanabilir. Adı geçen her iki işlem de düzlemdeki geriden ve önden kestirmenin birer benzeri olduğundan "uzay geriden" ve "uzay önden" kestirme deyimiyle anılmaktadır.

Analog fotogrametride her iki adım da bir takım optik ve mekanik düzenleme ve işlemler (karşılıklı ve mutlak yöneltme) sonucu yerine getirilirken, analitik yöntemde bu iki adım tamamen sayısal olarak yapılmaktadır.

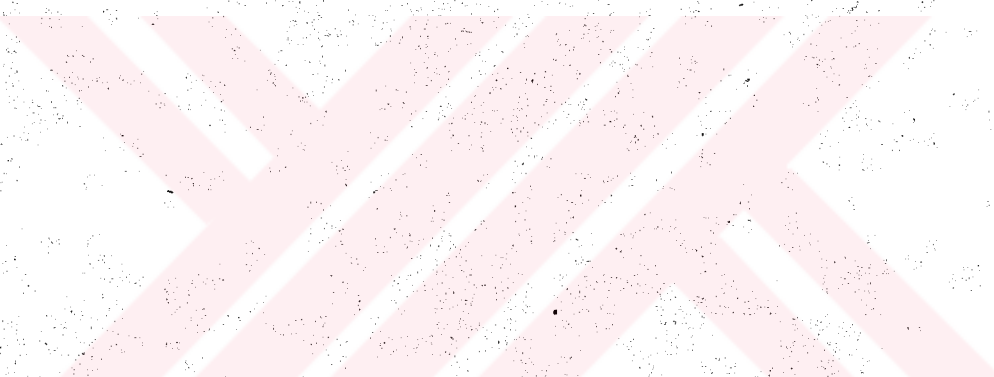
Uzay geriden ve önden kestirmenin her ikisinde de işlemler, izdüşüm ve uzay analitik geometri ilkelerine dayanan çeşitli matematik yöntemler kullanılarak ortaya konurlar. En uygun çözüm (6) ise, belirli bir cisim noktası, onun resim üzerindeki izdüşüm görüntüsü ve resim çekme makinesi perspektif merkezinin aynı bir doğru üzerinde olması durumunu deyimleyen doğrusalılık koşuludur (2), (7). Doğrusalılık koşulu matematiksel olarak deyim-

lendiği zaman lineer olmayan denklem sistemleri ile karşılaşılmaktadır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, bu bağıntıların lineerleştirilmesinde genellikle seriye açma yöntemi kullanılmış olup, çoğu kez de Taylor yöntemi yeğlenmiştir. Uzay geriden kestirmenin değişik fotogrametri problemlerine uygulanması amacıyla doğrudan lineer çalışmalar (8), (9), (10), yapılmış olmasına rağmen, cisim uzay koordinatlarının hesabında (uzay önden kestirmede) doğrusallık eşitlikleri seriye açınım yapılarak kullanılmıştır. Veress ise bu amaçla "vektör" yöntemini kullanmıştır (6), (11). DLT (12), (13) ve 11 Parametre çözümleri (14) lineer olmayan doğrusallık koşul denklemlerinin lineer çözümü olup, ayrıca adı geçen çalışmalar uygulamada metrik olmayan resim makinelerinin kullanılmasını amaçlamaktadırlar. Bundan başka her iki yaklaşım da cisim uzay koordinatlarının hesabında 11 dönüşüm parametresini esas alırlar.

Bu çalışmada, uzaysal kestirme problemleri iç ve dış yöneltme elemanlarının bilinmesi ve hatasız var-sayılması durumunda kendiliğinden lineer olan doğrusallık koşul eşitlikleri kullanılarak çözümlendi, ayrıca resim koordinat hataları ve fotogrametrik yöntemin içerdiği değişik parametrelerin (yakınsaklık açısı vb.) nokta uzay koordinatlarının doğruluğu üzerindeki etkileri araştırıldı.

Çalışmada tamamen ve doğrudan doğrusallık koşul eşitlikleri esas alınmış olup, bir metrik resim çekme makinesi ile çalışıldığı ve iç ve dış yöneltme elemanlarının tümünün bilindiği ve hatasız olduğu varsayılmıştır. Pratikte resim çekme makinesi dış yöneltme elemanları lineer veya lineer olmayan hesap yöntemleri (9), (11), kullanılarak elde edileceği gibi, tümü arazide ölçülerek (15) veya bir kısmı arazide ölçülüp bir kısmı da hesaplanarak (11), (16), (17), (18) elde edilebilir.



B Ö L Ü M II

2. ANALOG VE ANALİTİK FOTOGRAMETRİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fotogrametrik amaçla elde edilen bir resim veya resim çiftinin değerlendirilmesinde değişik iki yaklaşım söz konusudur. Birincisi çizgisel değerlendirmeyi esas alan "Analog" yöntem, ikincisi nokta nokta değerlendirme-yi esas alan "Analitik" veya "Sayısal" yöntemdir.

Analog yöntem, analog çizim aletleri olarak adlandırılan ve izdüşüm denklemlerini optik veya optik-mekanik biçimde uygulayan aletleri kullanır (19). Stereomodel içindeki noktalara ait cisim uzay koordinatları da aynı koşullar altında belirlenir.

Var olan analog aletler esas olarak hava fotogrametrisi için tasarlanmış olmasına rağmen (Wild A-40, Zeiss-Terragrafi, Zeiss(Jena) küçük Autografı gibi yer-sel uygulama amaçları için geliştirilmiş olan birkaçı dışında) yakın geçmişe kadar tüm fotogrametrik problemlerin çözümünde (20), (21), (22), (23), bunlar kullanılmışlardır.

Bu aletler optik ve mekanik parçalardan oluştuklarından, bu durum analog yöntem için doğruluğu azaltıcı bir faktör olmaktadır. Örneğin hava fotogrametrisinde, birinci

dereceden aletler için doğruluk, uçuş yüksekliğinin 1/10000 i olarak belirlenmiştir (2), (17). Birtakım optik ve mekanik sınırlamaları içermeleri (24) yöntemin fileksibilitesini de azaltmaktadır. Örneğin iletişim dışlılarındaki oransal büyültme ve küçültmenin sınırlılığı (bu oran genellikle 1:8'i geçemez (17)) çizim ölçeğini de kısıtlamaktadır. Veya birinci dereceden aletlerde bile resim taşıyıcılarına verilecek eğiklik değerlerinin küçüklüğü ve kamera odak uzunluğunun değişik uygulamadakilere (balistik kameralarla veya geniş açılı kameralarla çalışıldığı durumlarda) uyum sağlayamaması örnek olarak verilebilir.

Yukarıda sayılan nedenlerle, özellikle çok incelikli sonuçların gerektiği mühendislik ölçmelerinde ve yakın resim fotogrametrisi uygulamalarında (mimarlık fotogrametrisi dışında) analog yöntemin kullanılması yeterli olmamakta veya sınırlı kalmaktadır. Bununla beraber yöntemde esas olan çizgisel ve sürekli değerlendirme olduğundan, topografik harita yapımı gibi modeldeki tüm bilgilerin aktarılması gerektiği durumlarda yeğlenmektedir.

Fotogrametrinin uygulanmaya başladığı ilk çağlarda bile çoğu analitik problemler çözülmüş, uzay geriden kestirmenin esası daha 1759 da J.H.Lambert tarafından ortaya konulmuş, S.Finsterwalder ise 1899-1932 yılları arasında analitik fotogrametri için çok kuvvetli bir baz kurmuştur (25). Ancak işlemlerindeki karışıklık, uzunluk ve yoruculuk yöntemin o çağlarda kullanımına olanak vermemiştir. Hızlı elektronik bilgi işlem sistemlerinin devreye

girmesiyle birlikte, fotogrametrici için doğru, hızlı ve ekonomik bir yaklaşım olan analitik değerlendirme de uygulamada yerini almıştır.

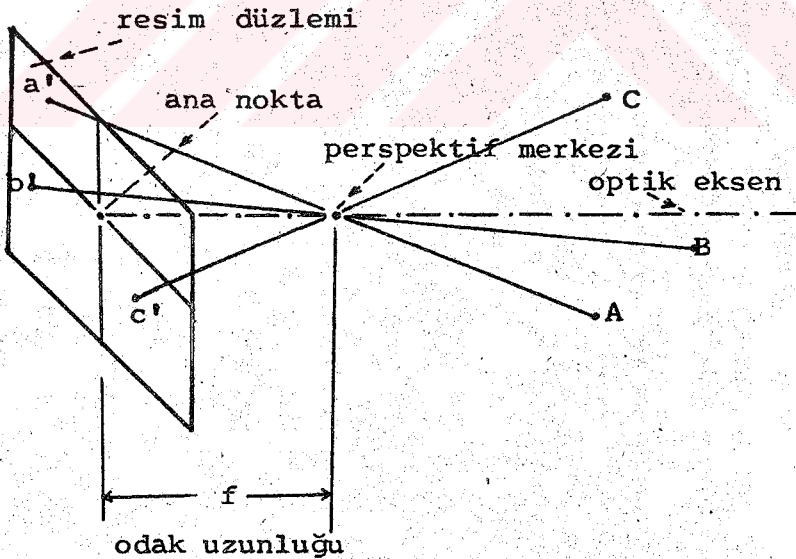
Giriş verileri olarak doğrudan resim koordinatları kullanıldığından ve tüm işlemler sayısal olarak yapıldığından, yukarıda analog yöntem için sayılan optik ve mekanik sınırlamaların hiç birisi bu yöntem için sözkonusu değildir. Tek sınırlama komparatörlerde ölçülen resim boyutları olmaktadır (26). Bu özellik, günümüzde fotogrametriye çok yeni uygulama alanları kazandırmış, hiçbir ölçme yönteminin giremediği yeni ve çok karışık problemlerin çözümüne olanak tanımıştır.

Bu yöntemde herhangi bir özellikte resim çekme makinesi, istenilen bir yöneltmeyle kullanılabilir. Ölçme işlemlerinde doğal olarak varolan düzenli hatalar değerlendirme adımıdan önce sayısal olarak giderilebilir. Yöntemin tek dezavantajı sürekli çizgisel değerlendirmenin yapılamaması iken günümüzde bu eksiklik te giderilmiş olup, analitik stereo değerlendirme aletleri yardımıyla operatör kullanmaksızın ölçme göstergesinin modeldeki araziye uyumu sağlanmış ve tam otomatik çizgisel değerlendirmeye geçilmiştir. Böylece analitik yöntemin geniş uyumluluğu ile analog yöntemin sürekli çizgisel değerlendirme özelliği birleştirilmiş olmaktadır (27).

2.1. ANALİTİK FOTOGRAMETRİDE MATEMATİK MODEL

Matematik model, birtakım fiziksel olaylar serisi-

ni açıklayan teorik bir sistem veya soyut bir kavram (28), başka bir deyimle gerçek bir fiziksel olayı matematik yolla tanımlayan tüm yöntemlerdir (29). Fotogrametri için matematik model, farklı sistemlerde bulunan fiziksel büyüklükler arasındaki ilişkilerin matematik yolla deyimlendirilmesidir. Yani resim ve yer, resim ve model, veya model ve yer sistemlerinde bulunan ve birbirine karşılık gelen fiziksel büyüklükler arasındaki ilişkilerin matematiksel deyimidir. Bu model kısaca "merkezzel izdüşüm" olayı ile açıklanır. Bu da cisim uzayındaki noktaların bir izdüşüm merkezinden yani resim çekme makinesi perspektif merkezinden resim düzlemine yani negatif üzerine izdüşürülmesidir. Kısa deyimle ışık ışınları demetinin yeniden oluşturulmasıdır, (Şekil 2.1).



Şekil: 2.1. Fotogrametride matematik model
(perspektif izdüşüm)

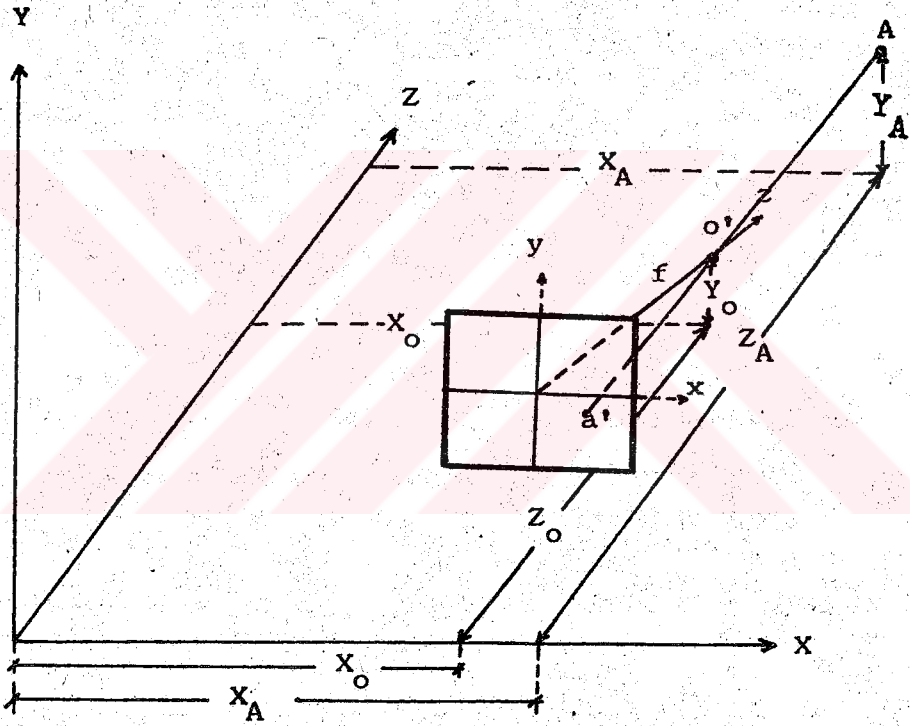
Şekilde A, B, C; O' perspektif merkezinden izdüşürülen cisim noktaları, a', b', c' de resim düzleminde oluşan resim noktalarıdır. Cisim uzayındaki fiziksel noktalar ile görüntü düzleminde bunlara karşılık gelen görüntü noktaları arasındaki bu ilişki değişik koşul eşitlikleriyle deyimlenmektedir. Fotogrametrik problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan iki tanesi, doğrusallık ve eşdüzlemsellik koşulları gelecek bölümlerde açıklanacaktır.

2.1.1. Doğrusallık Koşulu

Fotogrametrik modelin elemanları arasındaki karşılıklı ilişkiyi deyimleyen bu koşulun temel ilkesi, (Şekil 2.2) de gösterilen sistemlere göre, A obje noktası, o' izdüşüm merkezi ve A cisim noktasına karşılık gelen a' resim noktasının, ışık ışını distorsiyonu ve atmosferik ışın kırılmasının yok sayıldığı zaman, aynı bir doğru üzerinde bulunmalarını gerektirir, Benzer ilişki görüntülenen her cisim noktası ve bu cisim noktasının görüntülendiği her resim için sözkonusudur. Bu koşul matematik olarak aşağıdaki biçimde türetilabilir; Şekil 2.2 de a' noktasının resim koordinat sistemindeki konumunun vektörel deyişi:

$$\underline{r}' = \begin{bmatrix} x_a - x_o \\ y_a - y_o \\ f \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

olur. Burada x_a , y_a ilgili a' noktasının görüntü koordinatları; x_o , y_o aynı sistemde ana nokta koordinatları, f ise



Şekil: 2.2. Doğrusallık Koşulu

ayar edilmiş resim çekme makinesi odak uzunluğudur. Benzer biçimde A cisim noktasının yer koordinat sistemindeki vektörel gösterimi de:

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} X_A - X_O \\ Y_A - Y_O \\ Z_A - Z_O \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

olur (25). Burada

X_A, Y_A, Z_A = A noktasının cisim uzay koordinatları,

X_O, Y_O, Z_O = perspektif merkezinin cisim uzay koordinatlarıdır.

Resmin dış yöneltmesi seçilen eksen sistemine göre doğru yapıldığında, iki vektörün kolinear olması gerekir. Vektörler sadece belirli bir ölçeğe göre, mutlak değerce birbirinden farklıdır. Bu da ölçek faktörü denilen λ yı verir, yani

$$\lambda = \frac{|\underline{r}|}{|\underline{R}|} \quad (2.3)$$

olur. Bu durumda, vektörlerin birbirine göre uzaysal yöneltme açıları ω, ϕ, κ , nın fonksiyonları olan ortogonal dönme matrisi $\underline{D}$ de gözönüne alındığında:

$$\underline{r}' = \begin{bmatrix} x_a - x_o \\ y_a - y_o \\ f \end{bmatrix} = \lambda \underline{D} \begin{bmatrix} X_A - X_O \\ Y_A - Y_O \\ Z_A - Z_O \end{bmatrix} = \lambda \underline{D} \cdot \underline{R} \quad (2.4)$$

yazılabilir. Veya ters bir işlemle

$$\underline{R} = \frac{1}{\lambda} \underline{D}^T \underline{r}, \quad (2.4a)$$

olur. Burada

$$\underline{D} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} = \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} \cos\phi \cos\kappa & \cos\omega \sin\kappa + \sin\omega \sin\phi \cos\kappa & \sin\omega \sin\kappa - \cos\omega \sin\phi \cos\kappa \\ -\cos\phi \sin\kappa & \cos\omega \cos\kappa - \sin\omega \sin\phi \sin\kappa & \sin\omega \cos\kappa + \cos\omega \sin\phi \sin\kappa \\ \sin\phi & -\sin\omega \cos\phi & \cos\omega \cos\phi \end{bmatrix} \quad (2.5a)$$

Ortogonal dönme matrisi $\underline{D}$ nin oluşturulmasıyla ilgili ayrıntılı bilgi değişik kaynaklardan (2), (7), (25), (30) elde edilebilir.

(2.5) matrisi (2.4) eşitliğinde yerine konulup sağ yanın matris çarpımı yapıldıktan sonra birinci ve ikinci satırlar ayrı ayrı üçüncü satıra bölündüğünde:

$$\frac{x_a - x_o}{f} = \frac{a_1 (X_A - X_o) + a_2 (Y_A - Y_o) + a_3 (Z_A - Z_o)}{c_1 (X_A - X_o) + c_2 (Y_A - Y_o) + c_3 (Z_A - Z_o)} \quad (2.6)$$

$$\frac{y_a - y_o}{f} = \frac{b_1 (X_A - X_o) + b_2 (Y_A - Y_o) + b_3 (Z_A - Z_o)}{c_1 (X_A - X_o) + c_2 (Y_A - Y_o) + c_3 (Z_A - Z_o)}$$

eşitlikleri yazılır. Son olarak $x_a - x_o$ ve $y_a - y_o$ yerine ana nokta koordinat sistemine indirgenmiş resim koordinatları yazılır, f de sağ yana geçirilirse (2.6) eşitlikleri

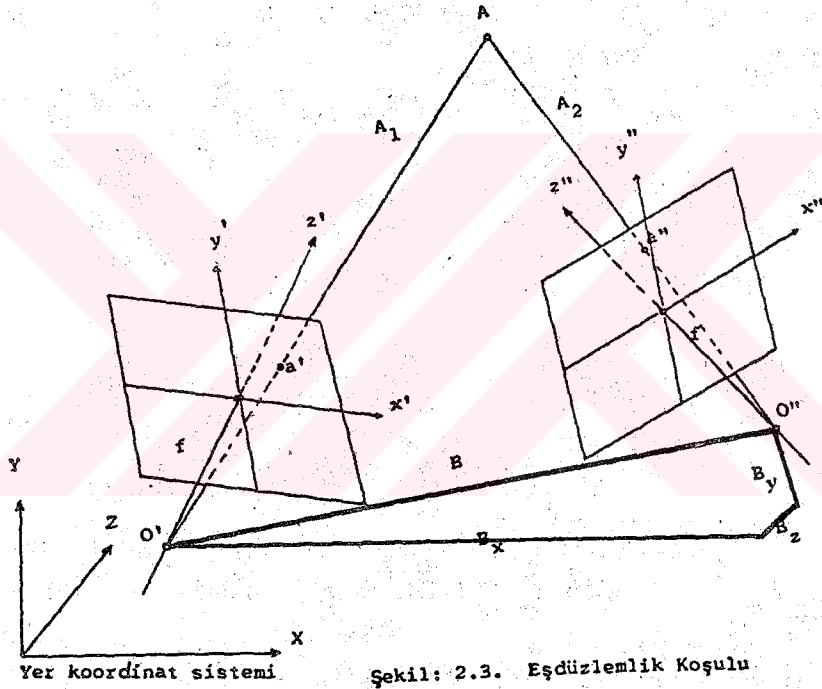
$$x = f \frac{a_1(X_A - X_O) + a_2(Y_A - Y_O) + a_3(Z_A - Z_O)}{c_1(X_A - X_O) + c_2(Y_A - Y_O) + c_3(Z_A - Z_O)} \quad (2.7)$$

$$y = f \frac{b_1(X_A - X_O) + b_2(Y_A - Y_O) + b_3(Z_A - Z_O)}{c_1(X_A - X_O) + c_2(Y_A - Y_O) + c_3(Z_A - Z_O)}$$

olur. Yukarıdaki sonuç eşitlikler A cisim noktası, onun a' görüntüsü ve o' perspektif merkezinin aynı bir doğru üzerinde olması durumunu teorik olarak varsayan doğrusallık eşitlikleridir; ancak mercek distorsiyonu, film deformasyonu, atmosferik kırılma vb. bazı etkenler fiziksel olarak bu durumun kusursuz gerçekleşmesine engel olurlar. Eğer bu düzenli hataların etkileyici büyüklüğü daha önceden belirlenebilirse, verilere yani resim koordinatlarına gerekli düzeltmeler getirildikten sonra doğrusallık eşitliklerinde kullanılırlar.

2.1.2. Eşdüzlemlik Koşulu

Eşdüzlemlik koşulu; iki izdüşüm merkezi (O' ve O''), herhangi bir cisim noktası (A) ve bu noktanın her iki izdüşüm düzlemindeki karşılık gelen görüntüleri (a' ve a'') nin ortak bir düzlemde olması durumunu deyimler, (Şekil 2.3). Bu koşul aynı zamanda analitik karşılıklı yöneltmenin de esasıdır. Karşılıklı yöneltmenin amacı



Şekil: 2.3. Eşdüzlemlik Koşulu

birbirine karşılık gelen ışınların kesişmeleri olduğundan bu durum gerçekleştiğinde cisim noktasına ait iki yer vektörü $\underline{A}_1$ ve $\underline{A}_2$ ile her iki resmin $\underline{B}$ baz vektörünün oluşturduğu üç yüzünün V hacmi sıfır olacaktır. Bu durumun vektörel deyimi:

$$\underline{V} = \underline{B} \cdot \underline{A}_1 \times \underline{A}_2 = 0 \quad (2.8)$$

dir. Yukarıdaki vektörlere ait bileşenler:

$$\begin{aligned} \underline{B} &= (B_x, B_y, B_z) \\ \underline{A}_1 &= (X', Y', Z') \\ \underline{A}_2 &= (X'', Y'', Z'') \end{aligned} \quad (2.9)$$

oldüğundan, (2.8) vektörel çarpımında deyimler yerlerine konulursa V hacmi:

$$\underline{V} = \begin{vmatrix} B_x & B_y & B_z \\ X' & Y' & Z' \\ X'' & Y'' & Z'' \end{vmatrix} = 0 \quad (2.10)$$

olarak yazılabilir. Vektörel bileşenlerin matematiksel deyimleri, bir önceki bölümden de anımsanacağı gibi,

$$\underline{A}_1 = \begin{vmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{vmatrix} = \lambda_1 \underline{D}_1^T \begin{vmatrix} x' \\ y' \\ f \end{vmatrix} ; \quad \underline{A}_2 = \begin{vmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{vmatrix} = \lambda_2 \underline{D}_2^T \begin{vmatrix} x'' \\ y'' \\ f \end{vmatrix} \quad (2.11)$$

ile gösterilirler. Eşdüzlemlik koşulunun yerine getirilmesiyle karşılıklı yöneltmenin en basit yolu bağımlı model yöntemidir. Buna göre stereoçiftte görüntülenen tüm noktalar için ölçek faktörü 1 e eşit varsayılır, sol

resmin izdüşüm merkezi de model koordinat sisteminin orijini olarak alınır; $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ ve $\omega_1 = \phi_1 = \theta_1 = b_1 = b_2 = 0$ olur. Bu değerler gözönüne alınarak (2.11) eşitliği

$$A_1 = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ f \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi \cos\kappa & -\cos\phi \sin\kappa & \sin\phi \\ \cos\omega \sin\kappa + \sin\omega \sin\phi \cos\kappa & \cos\omega \cos\kappa - \sin\omega \sin\phi \sin\kappa & -\sin\omega \cos\phi \\ \sin\omega \sin\kappa - \cos\omega \sin\phi \cos\kappa & \sin\omega \cos\kappa + \cos\omega \sin\phi \sin\kappa & \cos\omega \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ f \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

biçimini alır. (2.12) ve (2.13) eşitlikleri (2.10) eşitliğinde yerlerine konulduğunda, (2.14) eşitliği elde edilir. Böylece eşdüzlemslik koşulunu deyimleyen matematik model (2.14) eşitliğidir.

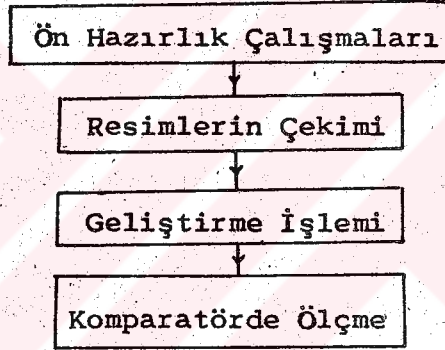
$$\begin{aligned} B_x [y' (a_2 x'' + b_2 y'' + c_2 f) - f (a_3 x'' + b_3 y'' + c_3 f)] - \\ B_y [x' (a_3 x'' + b_3 y'' + c_3 f) - f (a_1 x'' + b_1 y'' + c_1 f)] + \\ B_z [x' (a_2 x'' + b_2 y'' + c_2 f) - y' (a_1 x'' + b_1 y'' + c_1 f)] = 0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Her cisim noktası için bu biçimde bir eşitlik yazılabileceğinden çözüm için yeterli denklem sayısı 5 tir. Eşdüzlemslik koşulunun bir özelliği de, cisim uzay koordinatlarını bulundurmadiğundan çözümün doğrudan resim koordinatlarına dayanmasıdır.

2.2. ANALİTİK YERSEL FOTOGRAMETRİDE VERİLERİN ELDE EDİLMESİ VE KULLANILIR DURUMA GETİRİLMESİ

2.2.1. Verilerin Elde Edilmesi

Analitik yöntemde, matematik modellerde kullanılan temel veriyi resim koordinatları oluşturur. Başlangıçta "ham veri" olarak adlandırılabilen bu koordinatlara aşağıdaki işlemler sonucu ulaşılır, (Şekil 2.4).



Şekil: 2.4. Verilerin Elde Edilme Aşamaları

Birinci adım, yapılacak çalışmanın özelliğine bağlı olarak bazı jeodezik çalışmaların yapıldığı ön hazırlık adımıdır. Özellikle endüstri fotogrametrisini ilgilendiren çalışmalarda (yapısal hareketlerin analizleri vb.) gerekli kontrolleri sağlamak için çalışma yapılacak alanı kapsayacak biçimde bir mikro üçgenleme genellikle söz konusudur (17), (31), (32), (33). Fotogrametrik yöntemin doğruluğunun korunmasında ve artırılmasında bu adım özel

bir önemi içerir. Çünkü yöntemin doğruluğuna etkiyen temel faktörlerin yeğlenmesi bu adımda gerçekleşir.

İkinci adım, resimlerin çekimidir. Yapısal hareketlerin analizi gibi, periyodik ölçme ve değerlendirmenin sözkonusu olduğu durumlarda, birinci işlemde alınacak resimler sonuçların karşılaştırılacağı baz resimleri oluşturacağından, resimlerin çekildiği bu adım da ayrı bir dikkat gerektirir.

Üçüncü adım, resimlerin geliştirilmesidir. Kullanılan gereç film veya cam plaka olabilir. Bu durum özellikle kullanılan resim çekme makinesinin bir fonksiyonudur. Cam plakalara çekim yapılması durumunda bunların taşınması ve korunması da ayrıca önemlidir. Görüntü niteliğinin, doğruluğuna etkiyen bir parametre olduğu bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla, aynı duraktan aynı iç ve dış yöneltmeyle birden fazla resim çekilerek geliştirme zamanı ve geliştirici gereçlerin dozu ayarlanabilir.

Son adım ise resim koordinatlarının ölçülmesidir. Bu adımda genellikle mono veya stereokomparatörler, bunların bulunmadığı ve inceliğinin yeterli olduğu durumlarda da komparatör olarak analog değerlendirme aletleri kullanılır. Komparatör ölçmeleri ana nokta bulucu koordinatlarının ölçülmesiyle başlar, sonra varsa kontrol noktaları ölçülür, daha sonra da resimde veya modelde ölçülmesi gereken tüm ayrıntı noktalarının koordinatları ölçülür. Bu ölçmelerle ilgili spesifikasyonlar değişik çalışmalarda

(16), (17), (31), ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Ayrıca Altan (29) tarafından bağımsız bir araştırma çalışması da yapılmıştır.

2.2.2. Resim Koordinat Sistemine Dönüştürme ve Film Distorsiyon Düzeltmesi

Matematik modellerde, merkezzel izdüşüm esasına dayanan resim koordinatları kullanılır. Hernekadar yakın resim fotogrametrisinde bu geleneksel durumun dışında çalışmalar (13), (14) yapılmışsa da, bu ilke yaygın biçimde geçerliliğini korumaktadır. Dolayısıyla komparatörlerde ölçülen resim koordinatlarının, başlangıç olarak resim ana noktasını kabul eden resim koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekir. Ana nokta bulucu koordinatlarının bilindiği durumlarda aşağıdaki eşitlikler uygulanarak, hem koordinat dönüşümü gerçekleştirilir, hem de bir takım düzenli hataların etkisi yok edilmiş olur (25).

$$\begin{aligned} x' &= x + a_1 + b_1x + c_1y + d_1xy \\ y' &= y + a_2 + b_2x + c_2y + d_2xy \end{aligned} \quad (2.15)$$

bu eşitliklerde,

x', y' = dönüştürülen ve düzeltilen resim koordinatlarını,

x, y = komparatörde ölçülen koordinatları,

$a, \dots d$ = değişik etkileri içeren katsayıları gösterir.

Bu katsayıların taşıdığı anlamlar ilgili kaynaklarda (6), (25) bulunabilir.

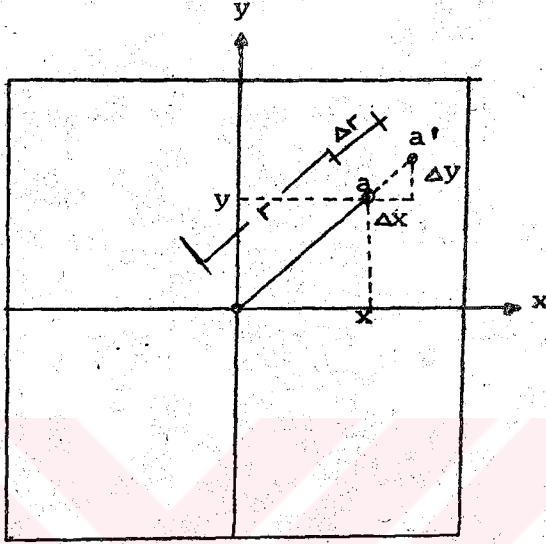
2.2.3. Mercek Distorsiyon düzeltilmesi

Mercek distorsiyonları, görüntülerin geometrik niteliğini (veya geometrisini) kötüleştiren etkenlerdir (2). Işınsal ve teğetsel olmak üzere iki kısma ayrılırlar. Işınsal distorsiyon, resim noktalarının ana noktadan ışınsal çizgiler boyunca yer değiştirmelerine neden olurken, teğetsel distorsiyon görüntüleri optik eksenden ışınsal çizgilere dik doğrultuda kaydırır. Şekil 2.5a ve 2.5b de a noktası bir cismin ötelenmemiş görüntüsünü simgelemektedir. a' ise ışınsal mercek distorsiyonu nedeniyle uygulamada görüntülendiği konumdur, (Şekil 2.5a). Aynı a noktası teğetsel distorsiyon etkisiyle a'' de görüntülenmektedir, (Şekil 2.5b).

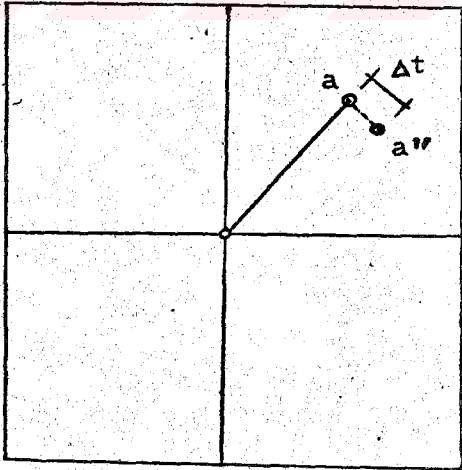
Işınsal distorsiyonda, ana noktadan dışa doğru ötelenmeler pozitif, ana noktaya doğru olanlar ise negatif etkiyi gösterir. Teğetsel veya başka bir deyimle merkez-dışı distorsiyon çok küçük bir etkiye neden olduğundan genellikle gözönüne alınmaz (2), (25).

Simetrik ışınsal distorsiyon etkisi aşağıdaki yollardan birisi ile yok edilir:

- 1) Düzeltme değerleri, yapımcı firmanın verdiği distorsiyon eğrisinden interpolasyonla okunabilir.
- 2) Bu amaçla hazırlanmış çizelgelerden alınabilir.
- 3) Veya çoğu analitik uygulamalarda olduğu gibi ışınsal distorsiyon eğrisine aşağıdaki gibi bir polinomla yaklaşılabılır.



Şekil: 2.5a. ışınal mercek distorsiyonu (6)



Şekil: 2.5b. Teğetsel mercek distorsiyonu

$$\Delta r = k_1 r + k_2 r^3 + k_3 r^5 + k_4 r^7 + \dots \quad (2.16)$$

Bu eşitlikte k_i ler resim çekme makinesi ayar işlemi yardımıyla belirlenebilen katsayılar olup distorsiyon eğrisinin biçimini belirlerler. Δr ise ötelenme büyüklüğü olup (Şekil 2.5a) da görüldüğü gibi x ve y eksenleri doğrultusunda Δx ve Δy bileşenlerine ayrılabilirler. Şekildeki benzer üçgenler yardımıyla aralarında

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta y}{y} \quad (2.17)$$

ilişkisi kurulursa, şu sonuç elde edilir:

$$\Delta x = \frac{x}{r} \Delta r \quad \Delta y = \frac{y}{r} \Delta r \quad (2.17a)$$

burada $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ dir. (2.16) ve (2.17a) eşitliklerinin birleştirilmesiyle, düzeltilmiş resim koordinatları:

$$\begin{aligned} x' &= x - \Delta x = x(1 - k_1 - k_2 r^2 - k_3 r^4 - \dots) \\ y' &= y - \Delta y = y(1 - k_1 - k_2 r^2 - k_3 r^4 - \dots) \end{aligned} \quad (2.18)$$

eşitlikleriyle elde edilir.

2.2.4. Yer Eğriliği ve Işın Kırılması İçin Düzeltme

Atmosferik ışın kırılması merkezzel izdüşümün ideal doğrular yerine hafifçe eğrilmiş ışınlarla elde edilmesine neden olur. Yersel fotogrametride bu nedenle oluşacak ışın kırılması hataları trigonometrik nivelman-

daki ışın kırılması hatalarına özdeştir (7). Yer küreselliğinden doğan hata ise matematik modelden gerçekten bir sapma olmayıp resmi alınan cismin bir özelliğinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bu son etki, yersel fotogrametri uygulamaları için, kıyas düzlemi olarak çekim duraklarından birine teğet bir yatay düzlem kıyas düzlemi olarak kullanılarak yok edilebilir. Atmosferik ışın kırılmasından doğan etkinin her zaman söz konusu olduğu ve büyük ölçüde çekim zamanındaki meteorolojik koşullara bağlılığı bilinmektedir. Işın kırılmasının etkisi resim çekim uzaklığının karesi ile orantılı olup Fraser'in deyimlediği gibi normal meteorolojik koşullar altında, 1 km. lik çekim uzaklığında bulunan bir cisim noktasının konumu bu hatanın etkisiyle 2-3 cm. kadar hatalı olabilir (34).

Hava fotogrametrisinde atmosferik ışın kırılması görüntünün ışınsal yer değiştirmesine neden olduğu halde yersel fotogrametride durum daha farklı olup görüntü yer değiştirmesi düşey kırılma nedeniyledir, (Şekil 2.6). Bu durum resimde f dönüklüğünden bağımsız bir Δy hatası oluştururken, cisim uzay koordinatında bir ΔZ hatasına neden olur (34). Problemin çözümüne Fraser değişik bir yaklaşımda bulunmuştur. Buna göre resim koordinatları aşağıdaki formüllerle düzeltilir (34).

$$\begin{aligned}\Delta x &= -f \cdot \sec^2(\beta - \omega) \Delta\beta \cdot \sin\alpha \\ \Delta y &= -f \cdot \sec^2(\beta - \omega) \Delta\beta \cos\alpha\end{aligned}\tag{2.19}$$

burada $\Delta\beta = sk/2R$ olup,

R = ortalama yer yarıçapı,

k = kırılma katsayısı (ülkemizde bu değer 0.13 olarak bulunmuştur),

s = ışın yolu uzunluğudur.

2.3. YERSEL FOTOGRAMETRİDE DOĞRULUĞA ETKİYEN TEMEL FAKTÖRLER

Fotogrametrik yöntemin yaygınlaşmasındaki temel nedenler; ölçmelerin fotografik izdüşümlerden elde edilmesi, hızlılığı, ekonomikliği ve sonuçlarındaki doğruluk derecesidir. Bunlardan zaman ve ekonomiklik faktörü genel bir özellik olup değişik çalışmalarda (4), (5), (17) incelenerek değerlendirildiği görülmektedir. Buna karşılık yöntemin içerdiği parametrelerin çokluğu ve uygulamadan uygulamaya değişmesi nedeniyle belirli bir doğruluk kalıbı vermek olanaksızdır. Bu durumda her araştırmacının kendi çalışmasının gerektirdiği koşullar ve değişkenleri gözönüne alarak doğruluk analizleri yapması gerekmektedir. Buna rağmen özellikle yersel uygulamalar için doğrulukla ilgili olarak ta birtakım ayrıntılı çalışmalar (31), (35), (36), (37), (38) yapılmış olup, cisim uzay koordinatlarının hesaplanmasında doğruluğa etkiyen farklı parametreler ayrı ayrı incelenmiş ve bazılarında en uygun çözümler aranmıştır.

Genelde doğruluğa etkiyen parametreler (7), (39);

- 1) İç ve dış yöneltme elemanlarının inceliği,
- 2) Kontrol noktalarının düzeni ve sayısı,
- 3) Kontrol noktalarının belirlenmesindeki incelik,
- 4) Resim çekme makinesinin özellikleri,

- 5) Çekim uzaklığı,
- 6) Aydınlatmanın yeterliliği ve standartlığı,
- 7) Resim çekme duraklarının düzeni,
- 8) Resmi çekilen yüzeyin yapısı,
- 9) Fotografik gerecin niteliği,
- 10) Ölçme ve değerlendirme aletlerinin özellikleri,
- 11) İnsan faktörü,

olarak ayrı ayrı sayılmasına rağmen, aralarındaki ilişki ve bağımlılığı gözönüne alarak Hottier (31) ve Erez (17) bu parametreleri üç ana başlık altında incelemiştir. Kenefick (35) de Erez (17) gibi uygulanan hesap yöntemini de doğruluğa etkiyen faktörler arasında saymıştır.

2.3.1. Fotogrametrik Sistemin Fiziksel Özellikleri

Fiziksel özellikler arasında:

- 1) Resim çekme makinesi objektifinin niteliği ve mercek distorsiyonu,
- 2) Emülsiyon taşıyıcı gerecin (cam plaka veya film) niteliği,
- 3) Resmi çekilecek ve değerlendirilecek cismin yani doğal ayrıntıların ve hedeflerin belirliliği,
- 4) Komparatör ölçmelerinin doğruluğu,

sayılmaktadır. Hottier (31) tarafından fiziksel özellikler arasında sayılmamış olmasına rağmen, iç ve dış yöneltme elemanlarının belirlenmesindeki inceliği ve kontrol noktalarının düzen ve sayısını da yöntemin doğruluğuna etkiyen fiziksel özellikler arasında saymak gerekir.

Bu durum özellikle dış yöneltme elemanlarının doğrudan arazide ölçmeler yoluyla veya kontrol noktalarına dayalı olarak belirlendiği durumlarda sözkonusudur.

Yukarıda belirtilen fiziksel özelliklerden mercek distorsiyon ve emülsiyon taşıyıcısının düz olmamasından doğabilecek hataların en aza indirilmesi için ve daha başka üstünlükleri de gözönüne alınarak özellikle analitik değerlendirmelerde uzun odak uzaklıklı yani dar açılı resim çekme makinelerinin kullanılması önerilmektedir (17), (35), (40). Örneğin emülsiyon taşıyıcısının düz olmamasından doğan hata ile resim çekme makinesi odak uzunluğu arasında:

$$U_2 = n \cdot U_1$$

biçiminde bir ilişki kurulmuştur (35). Burada n iki farklı odak uzunluğu arasındaki (f_2/f_1) oranı; U_2 , U_1 de emülsiyonun düz olmama değerini göstermektedir.

Doğal ayrıntı ve hedeflerin büyüklük, şekil, yöneltme ve kontrastının belirlenmesinde bilimsel araştırmalarla elde edilen standartlara uyulmasının, ölçme adımı nokta belirlenmesini kolaylaştırdığından, doğruluğun artırılmasında büyük önemi vardır (29). Erez'in çalışmasında (17) nokta tanıma, emülsiyon hatası, komparatör hatası gibi kaynaklardan ileri gelen komparatör ölçme hatasının ± 2.1 mikron olduğu, pratikte ise bu büyüklüğün $\pm 2.5 - 5$ mikron arasında değiştiği belirtilmektedir.

Ayrıca yapılan başka bir araştırma çalışmasında (29) iki ayrı komparatörün (Wild STK 1 ve Space Optik) iç inceliğinin ± 1.5 ve ± 5 mikron olduğu ortaya konmuştur.

2.3.2. Fotogrametrik Sistemin Geometrik Özellikleri

Bu yöntemde geometrik özellikler esas olarak iki parametre ile karakterize edilir:

- 1) Resim çekme makinesi durakları arasındaki bazın cisim uzaklığına oranı, $r = B/Y$;
- 2) İki resim çekme makinesi optik ekseninin yakınsamasını deyimleyen paralaktik açısı, $\delta = 2\phi$

Aslında r değerinin büyük değerleri için r ve ϕ değişkenlerinin birbirinden bağımsız olmadığı ve var olan resim çekme makinelerinin açısal alanı gözönüne alındığında, ϕ açısının artması durumunda r değerinin büyüyeceği de açıktır.

Bu iki parametrenin doğruluk üzerindeki etkilerini inceleyenler (6), (31), (35), (40), (41) daha incelikli sonuçlara ulaşmak için büyük yakınsaklık açısının vazgeçilmez bir özellik olduğunu belirtmişlerdir. Nitekim bu çalışma kapsamında yapılan simülasyon deneyleri de aynı gerçeği vurgulamıştır. Bu durumda daha büyük yakınsama açısı, fotogrametrinin normal durumu için sözkonusu olan baz-uzaklık oranının korunması ilkesine yeğlenmesi gerektir. Değişik çalışmalar en büyük doğruluğun yakınsama açısının 50° a eşit olduğu durumlarda sağlanabildiğini de göstermiştir.

2.3.3. Gözlemelerin Fazlalığı

Gözlemelerin fazlalığı fotogrametride üç biçimde ele alınmaktadır:

- 1) Resimlerin içerdiği görüntülerin komparatörde birden fazla ölçülmesi,
- 2) Resim durak sayısının veya durakta çekilen plaka sayısının artırılması,
- 3) Resmi çekilen cismi belirleyen hedef sayısının artırılması.

Yukarıda sayılan gözleme fazlalıklarının, herbiri kendi içinde bağımsız olmak koşuluyla, birden fazla yapılması durumunda doğruluğu artırıcı bir faktör olduğu değişik çalışmalarda (17), (29), (31), (35) ortaya konulmuştur.

2.3.4. Uygulanan Hesap Yönteminin Etkisi

Hesaplanan uzay koordinatlarının doğruluğu üzerinde uygulanan hesap yöntemi de etkin olduğundan, son zamanlarda değişik ve daha kesin hesap teknikleri ve programları geliştirilmiştir. Örneğin daha önceleri hava fotogrametrisinde uygulanmakta olan "demet dengeleme yöntemi" yersel uygulamalarda da kullanılmaktadır (6). Bu yöntemde tüm dış yöneltme elemanları da bilinmiyen olarak hesaplara sokulmakta ve ayrıca bir model veya kümedeki tüm olası ışınları simgeleyen doğrusallık koşul denklemleri aynı anda çözümlenmektedir. Böylece hesaplanan uzay koordinatları üzerindeki bazı düzenli hataların etkisiyle beraber dış yöneltme elemanlarından taşınacak hatalar da uzaklaştırılmış olmaktadır.

B Ö L Ü M III

3. MATEMATİK MODELİN YERSEL FOTOGRAMETRİ PROBLEMLERİNE UYGULANMASI

Cisim noktası ile ona karşılık gelen resim görüntüsü arasındaki temel ilişki, görüntüleme olayının geometrisi kullanılarak kurulabilir. Karşılaşılan problemlerin çözümü durumdan duruma değişir. Çözüme esas olan parametreler doğrudan gözlemlerle (ölçme değerleri olarak) elde edileceği gibi, bazan da dolaylı yoldan, hesap yoluyla elde edilebilmektedir. Karşılıklı ilişkiyi matematiksel olarak deyimleyen koşul eşitlikleri, yukarıda anılan durumlar gözönüne alınarak kurulmaktadır. Çizelge 3.1 den de görüleceği gibi uygulamada çözüm için gerekli modeli bilinen ve bilinmeyen parametreler belirlemektedir.

3.1. DIŞ YÖNELTME ELEMANLARININ BELİRLENMESİ

Dış yöneltme elemanlarının belirlenmesi için uzay geriden kestirme yöntemi yaygın olarak kullanılan çözümdür. Genelde bilinmeyen parametre sayısı altı olup, üçü resim çekme makinesi perspektif merkezinin cisim uzay koordinatları X_0 , Y_0 , Z_0 ; diğer üçü de yeğlenen kıyas sistemine göre resim çekme makinesinin veya başka bir deyimle optik eksenin durumunu belirleyen ω , ϕ , κ açısal büyüklükleridir.

Çizelge 3.1. Değişik Problemler ve Çözüm Modeli (25)

Problem	Parametreler			Çözüm Mod.
	Ölçülenler	Bilinenler	Bilinmeyen.	
Uzay Gefi. kestirme	x', y'	$x_o, y_o, f, X_p, Y_p, Z_p$	$X_o, Y_o, Z_o, \omega, \phi, \alpha$	Doğrusallık ve Church yöntemi
Uzay Geri. kestirme	x', y'	$x_o, y_o, f, X_p, Y_p, Z_p, X_o, Y_o, Z_o$	Dönme Matr. elemanları veya ω, ϕ, α	Doğrusallık veya Vektör yöntemi
Uzay Önden kestirme	x', y', x'', y''	$x, y, f, X_o', Y_o', Z_o', X_o'', Y_o'', Z_o''$ ve yöneltme açıları	X_p, Y_p, Z_p	Doğrusallık veya Vektör yön.
Karşılıklı yöneltme (bağımlı)	x', y', x'', y''	x_o, y_o, f, b_x ve sol resmin yöneltme açıları	b_y, b_z ve sağ resmin yöneltme açıları	Doğrusallık veya Eşdüzlemlik
Karşılıklı yöneltme (bağımsız)	x', y', x'', y''	$x_o, y_o, f, b_x, b_y, b_z$ ve yöneltme açıları	Her iki resmin yöneltme açıları	Eşdüzlemlik

Doğrusallık eşitlikleri yardımıyla altı parametrenin belirlenebilmesi için en az üç kontrol noktasının X, Y, Z cisim uzay koordinatlarına gereksinme vardır. Bu durumda (2.7) eşitlikleri klasik seriye açma yoluyla lineerleştirilir. Bilinmeyenlere yaklaşık değerler veri-

lerek sonuca gidildiğinden iteratif bir çözüm sözkonusudur. Bu çözüm yolu hem hava, hem de yersel uygulamalarda izlenen genel bir yoldur. Bununla beraber hava fotogrametrisi uygulamalarında, dış yöneltme elemanlarının lineer yoldan çözümü için değişik çalışmalar (8), (9), (10) yapılmıştır. Yersel fotogrametri uygulamalarında, hava fotogrametrisinden farklı bir durum vardır; o da, hava fotogrametrisinde dış yöneltme elemanlarının hiç birisini istenen incelik içinde doğrudan belirleme olanağı yokken

(42), yersel uygulamalarda gerektiğinde dış yöneltme parametrelerinin tümü doğrudan belirlenebilir. Uygulamanın özelliğine bağlı olarak çalışma alanını kapsayan bir mikro-üçgenleme kontrol ağının kurulması gerektiğinden (17), (31), (43), (44), bu esnada dış yöneltme elemanlarından en azından resim makinesi durak noktası koordinatlarını istenen incelik içinde belirleme olanağı olup, arazide ek bir çalışmayı da gerektirmez. Ayrıca bu durumda durak noktası koordinatları yer kontrol noktalarından bağımsız olacaktır.

Erez, çalışmasında (17) resim makinesi perspektif merkezinin sadece X ve Y koordinatlarını doğrudan arazide ölçerek elde etmiş, diğer dört elemanı (Z , ω , ϕ , κ) ise gene doğrusallık eşitliklerini uygulayarak bulmuştur. (15) de ise tüm dış yöneltme elemanları doğrudan arazide ölçülerek elde edilmiştir. (11) de ise farklı bir yol olarak, durak noktası koordinatlarının elde edilmesinden sonra dönme matrisi elemanlarının belirlenmesinde Vektör yöntemi kullanılmıştır. Bopp ve Krauss da geliştirdikleri 11 parametre yaklaşımında (14) tüm dış yöneltme elemanlarını

bu parametrelere dayalı olarak ve lineer bir biçimde çözmüşlerdir.

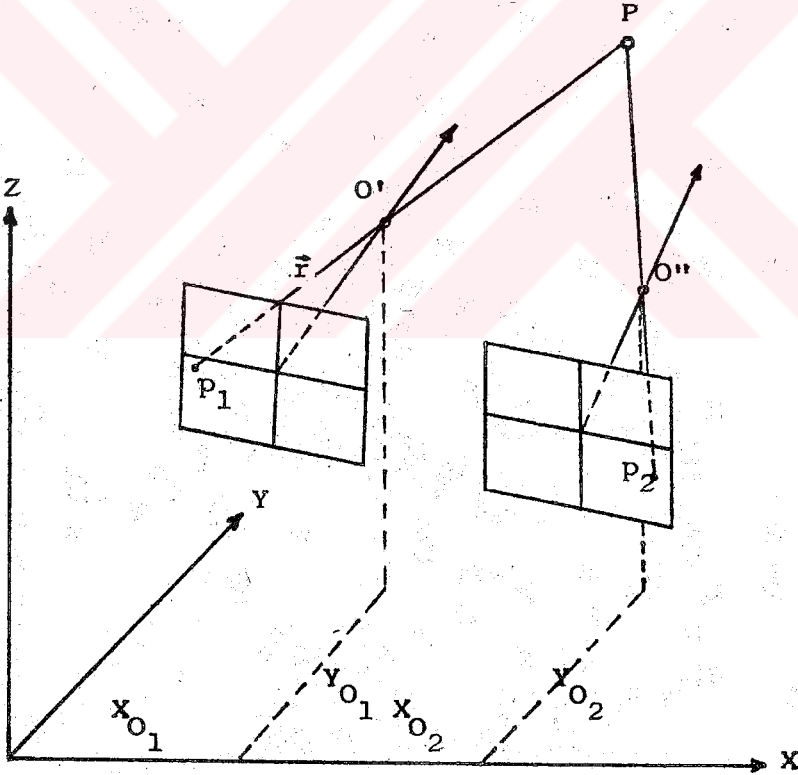
3.2. UZAY ÖNDEN KESTİRME VE MATEMATİK MODELİN UYGULANMASINDA DEĞİŞİK YÖNTEMLER

En az iki resimde görüntülenen bir noktanın cisim uzay koordinatlarının hesabı anlamını taşıyan uzay önden kestirmenin doğrusallık eşitlikleriyle çözümü, uzay geriden kestirmenin bir benzeridir. Bilinmiyen büyüklükler noktanın uzay koordinatları iken, bilinen büyüklükler tüm iç ve dış yöneltme elemanlarıdır. Gözlenen büyüklükler ise bir noktanın her iki veya daha fazla resimdeki resim koordinatlarıdır. Resim çekme makinesi dış yöneltme elemanları bir önceki açıklanan yöntemlerden herhangi birisi uygulanarak elde edilebilir. Bunun için bir sınırlama sözkonusu olmayıp uygulamanın özelliğine ve var olan olanaklara bağlıdır.

Yukarıda açıklanandan başka cisim uzay koordinatlarının hesabında iki değişik yaklaşım; Vektör yöntemi (11), (38) ve DLT (13) ile 11 Parametre (14) çözümleridir.

3.2.1. Vektör Yöntemi

Bu yöntemde, resimlerle cisim uzayı arasındaki vektörel bağıntıdan hareket ederek hem dönme matrisi elemanları, hem de en az iki resimde görüntülenenen noktaların cisim uzay koordinatları doğrudan hesaplanabilir. Şekil 3.1 e göre objektif merkezinden p resim noktasına giden $\vec{r}$ vektörü:



Şekil: 3.1. Genel geometri (16)

$$r_p = \begin{vmatrix} \frac{-x_p}{\sqrt{x_p^2 + y_p^2 + f^2}} \\ \frac{-y_p}{\sqrt{x_p^2 + y_p^2 + f^2}} \\ \frac{f}{\sqrt{x_p^2 + y_p^2 + f^2}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos x p o_i \\ \cos y p o_i \\ \cos z p o_i \end{vmatrix} \quad (3.1)$$

olarak yazılabilir. Objektif merkezinden P yer noktasına giden R vektörü ise, doğrultu kosinüsleri deyimiyle:

$$R_p = \begin{vmatrix} \frac{x_{O_i} - x_p}{O_i P} \\ \frac{y_{O_i} - y_p}{O_i P} \\ \frac{z_{O_i} - z_p}{O_i P} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos X P O_i \\ \cos Y P O_i \\ \cos Z P O_i \end{vmatrix} \quad (3.2)$$

biçimindedir. İki vektör arasındaki ilişki, fotogrametriden iyi bilinen

$$D \cdot r_p = R_p \quad (3.3)$$

ilişkisi olduğundan D dönme matrisinin a_i, b_i, c_i elemanları en az üç kontrol noktası yardımıyla klasik biçimde

çözülür (11). Bu adımın gerçekleştirilmesinden sonra cisim uzay koordinatlarının hesabı da gene vektörel ilişkiler yardımıyla tamamlanır. Bu amaçla, her durak noktası için (3.2) eşitliği yardımıyla:

$$\frac{X - X_{O_i}}{\cos XPO_i} = \frac{Y - Y_{O_i}}{\cos YPO_i} = \frac{Z - Z_{O_i}}{\cos ZPO_i} \quad (3.4)$$

yazılabilir. Daha önce dönme matrisi elemanları bulunmuş olduğundan, (3.3) eşitliğindeki karşılıklı ilişkiden doğrultu kosinüsleri aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$\begin{aligned} \cos XO_iP &= a_1 \left(\frac{-x_i}{O_iP} \right) + a_2 \left(\frac{-y_i}{O_iP} \right) + a_3 \left(\frac{f}{O_iP} \right) \\ \cos YO_iP &= b_1 \left(\frac{-x_i}{O_iP} \right) + b_2 \left(\frac{-y_i}{O_iP} \right) + b_3 \left(\frac{f}{O_iP} \right) \\ \cos ZO_iP &= c_1 \left(\frac{-x_i}{O_iP} \right) + c_2 \left(\frac{-y_i}{O_iP} \right) + c_3 \left(\frac{f}{O_iP} \right) \end{aligned} \quad (3.5)$$

burada $O_iP = \sqrt{x_p^2 + y_p^2 + f^2}$ dir. Bundan sonra, her resim çekme durak noktası için yazılabilen (3.4) eşitliği yardımıyla, hesaplanması gereken X, Y, Z cisim uzay koordinatları aşağıdaki biçimde bulunur (16),

$$Y = \frac{1}{\frac{\cos XO_iP}{\cos YO_jP} - \frac{\cos XO_jP}{\cos YO_iP}} (X_{oj} - X_{oi} + Y_{oi} \frac{\cos XO_iP}{\cos YO_iP} - Y_{oj} \frac{\cos XO_jP}{\cos YO_jP}) \quad (3.6)$$

$$X = (Y - Y_{oi}) \frac{\cos XO_i P}{\cos YO_i P} + X_{oi} \quad (3.7)$$

$$Z = (Y - Y_{oi}) \frac{\cos ZO_i P}{\cos YO_i P} + Z_{oi} \quad (3.8)$$

Yukarıdaki eşitliklerde oi simgesi sol durak noktasının, oj simgesi ise sağ durak noktasının uzay koordinatlarını göstermektedir.

3.2.2. DLT (Doğrudan Lineer Dönüşdürüm) ve 11 Parametre Çözümleri

Doğrudan Lineer Dönüşdürüm Çözümleri:

Bu yaklaşım 1971 de Abdel-Aziz ve Karara (12), (13), (45), (46) tarafından Illinois Üniversitesinde geliştirilmiş olup, ilke olarak noktaların resim koordinatları ile cisim uzay koordinatları arasında doğrudan lineer bir ilişki kurulmaktadır. Bu lineer yaklaşım aynı zamanda resim makinesi ayarı için resimler üzerinde ana nokta bulucularını da gerektirmemekte ve komparatörde ölçülen koordinatların cisim uzay koordinatlarına doğrudan dönüşümü yapılabilir, (47), (48). DLT yaklaşımının temel eşitlikleri:

$$x + \Delta x = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad (3.9)$$

$$y + \Delta y = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

olup burada x, y ölçülen komparatör Koordinatlarını, Δx

ve Δy koordinatlardaki düzenli hataları, L_i ler ise 11 dönüşüm parametresini simgeler. Bu parametrelerin karşılıkları değişik kaynaklarda (12), (13) ayrıntılı olarak görülebilir.

Bu yaklaşımda, birinci adımda yöntemin esasını oluşturan L_i dönüşüm parametreleri çözülür. Bunun için (3.9) eşitliklerinde taşınan bilinmeyen sayısına bağlı olarak, cisim uzay koordinatları bilinen 6-8 kontrol noktasına gereksinme vardır. Wong (48), DLT yaklaşımının iki ayrı çözüm yolu olduğunu göstermiştir.

Birinci yol için (3.9) eşitlikleri doğrudan kullanılır. Bu eşitliklerdeki düzenli hata katsayılarından sadece K_1 gözönüne alınırsa eşitlikler,

$$\begin{aligned} L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4 - xXL_9 - xYL_{10} - xZL_{11} - xK_1r^2A - x &= r_x \\ L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8 - yXL_9 - yYL_{10} - yZL_{11} - yK_1r^2A - y &= r_y \end{aligned} \quad (3.10)$$

olur. Burada $A = L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1$; r_x , r_y ise gözleme eşitliklerindeki hatalardır. (3.10) matris biçiminde yazıldığında:

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -X & -Y & -Z & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & xX & xY & xZ & xr^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -X & -Y & -Z & -1 & yX & yY & yZ & yr^2 \end{bmatrix} \cdot L + \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = 0 \quad (3.11)$$

olur. X, Y, Z uzay koordinatları bilinen her kontrol noktası (3.11) gibi iki eşitlik vereceğinden en az altı kontrol noktası yardımıyla 12 bilinmeyen çözülebilir.

(3.11) eşitliğinde $L = (L_1 \ L_2 \ L_3 \ \dots \ L_{11} \ K_1^T)^T$ ve $K_1^T = AK_1$ dir.

İkinci çözüm biçiminde ise, komparatör ölçmeleri-
nin küçük v_x, v_y düzensiz hatalarını da taşıyacağı gerçe-
ğinden hareketle, (3.9) eşitliklerinden aşağıdaki deyimler
türetilir:

$$\begin{aligned} v_x - (X/A)L_1 - (Y/A)L_2 - (Z/A)L_3 - (1/A)L_4 \\ + (xX/A)L_9 + (xY/A)L_{10} + (xZ/A)L_{11} + x r^2 K_1 + (x/A) = 0 \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} v_y - (X/A)L_5 - (Y/A)L_6 - (Z/A)L_7 - (1/A)L_8 \\ + (yX/A)L_9 + (yY/A)L_{10} + (yZ/A)L_{11} + y r^2 K_1 + (y/A) = 0 \end{aligned}$$

Bu eşitliklerde K_1 mercek distorsiyon katsayısındaki düzen-
siz hataların etkisi yok sayılmıştır. (3.12) eşitlikleri
lineer olmadıklarından önce lineerleştirilirler sonra ite-
ratif bir işlemle en küçük kareler çözümünün uygulanması
gerekir (47), (48).

Herbir resim için DLT katsayıları hesaplandıktan
sonra iki veya daha fazla resimde görüntülenen herhangi
bir cisim noktasının uzay koordinatları aşağıdaki biçimde
hesaplanır:

$$\begin{aligned} (\bar{x}L_9 - L_1)X + (\bar{x}L_{10} - L_2)Y + (\bar{x}L_{11} - L_3)Z + (\bar{x} - L_4) = 0 \\ (\bar{y}L_9 - L_5)X + (\bar{y}L_{10} - L_6)Y + (\bar{y}L_{11} - L_7)Z + (\bar{y} - L_8) = 0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

burada $\bar{x} = x + \Delta x$, $\bar{y} = y + \Delta y$ dir.

11 Parametre Çözümü:

DLT çözümü lineer olmayan bir problemin lineer çözümü olduğundan çözüm bazı yaklaşımlara dayandırılmış ve 11 dönüşüm parametresi bağımsız olarak düşünülmüştür. Bopp ve Krauss DLT için genel lineer dönüşüm esasına dayanan kesin bir çözüm (14) geliştirmişlerdir. Probleme yaklaşım biçimi, lineer gözleme eşitlikleri ile sıfır varyanslı ek gözleme eşitlikleri olarak kabul edilen ve lineer olmayan koşulları bereber kullanarak bir en küçük kareler dengelemesi yapmaktır (14). Bu çözüm biçiminde de 11 dönüşüm parametresinin belirlenmesinden sonra iç ve dış yöneltme elemanları lineer biçimde belirlenmekte, daha sonra da DLT yaklaşımında olduğu gibi, en az iki resimde görüntülenen cisim noktalarına ait uzay koordinatları benzer yolla elde edilmektedir.

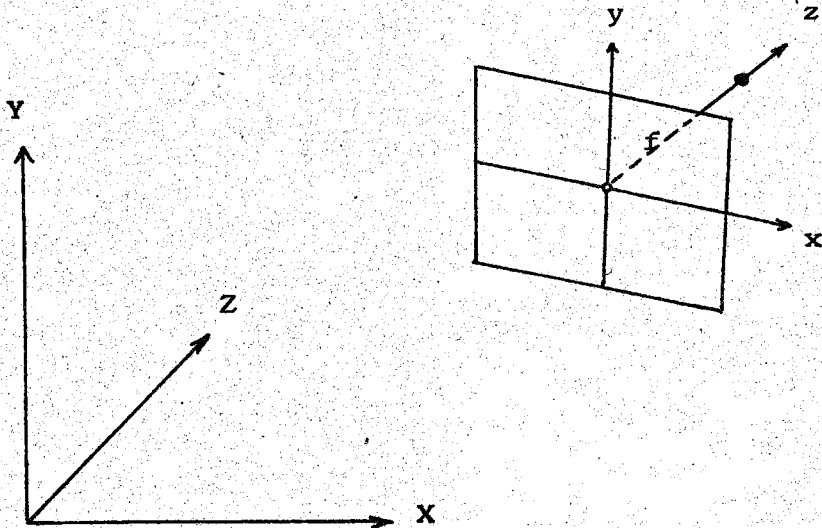
Yukarıda açıklanan her iki yöntem de, resim koordinat eksenlerinin belirlenmesi için ana nokta bulucularını içermeyen (metrik olmayan) resim çekme makineleri ile çalışılması durumunda özellikle yararlıdır. Ancak fotogrametrik verilerin elde edilmesi amacıyla metrik resim çekme makinelerinin kullanılması durumunda her iki yönteminde uygulanması için bir neden yoktur. Bununla beraber metrik resim çekme makinelerinin ayarlarının kontrolü amacıyla kullanılması yararlıdır.

B Ö L Ü M IV

4. UZAYSAL KESTİRME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE
DOĞRUSALLIK KOŞUL EŞİTLİKLERİNİN DOĞRUDAN
LİNEER BİÇİMDE KULLANILMASI

Doğrusallık koşul eşitlikleri analitik fotogrametride matematik modelin en uygun deyimi olup, lineer olmadıkları için genellikle seri açınımı yoluyla lineerleştirilirler. Ancak iç ve dış yöneltme elemanlarının bulunduğu ve hatasız varsayıldığı durumlarda söz konusu eşitlikler kendiliğinden lineer olup, uzaysal kestirme problemlerinin çözümünde bu biçimde kullanılmaları da olanaklıdır.

Şekil 4.1 de gösterilen koordinat sistemleri esas alınarak doğrusallık koşul eşitlikleri şu biçimde yazılabilir:



Şekil: 4.1. Yer ve resim koordinat sistemleri

$$x_{ij} = f_j \frac{a_1 (X-X_0) + a_2 (Y-Y_0) + a_3 (Z-Z_0)}{c_1 (X-X_0) + c_2 (Y-Y_0) + c_3 (Z-Z_0)} \quad (4.1a)$$

$$y_{ij} = f_j \frac{b_1 (X-X_0) + b_2 (Y-Y_0) + b_3 (Z-Z_0)}{c_1 (X-X_0) + c_2 (Y-Y_0) + c_3 (Z-Z_0)} \quad (4.1b)$$

bu eşitliklerde i simgesi birbirlerini örten iki resmin ortak bölgesinde görüntülenen bir yer noktasını, j simgesi ise herhangi bir resim çekme durağını gösterir. Ayrıca,

x, y= Düzenli hatalardan arındırılmış ve resim koordinat sistemine dönüştürülmüş resim koordinatlarını,*

a_i, b_i, c_i = resimlerin ω, ϕ, ρ dönüklük açıları-
nın bir fonksiyonu olan ortogonal dönme mat-
risi elemanlarını,

f = ayar edilmiş resim makinesi odak uzunluğunu,

X, Y, Z = herhangi bir noktanın cisim uzay koordinat-
larını,

X_0, Y_0, Z_0 = resim çekme makinesi perspektif merkezinin
cisim uzay koordinatlarını simgeler.

(4.1a) ve (4.1b) eşitliklerinde x_{ij} ve y_{ij} de
eşitliğin sağ tarafına geçirilerek gerekli işlemler ya-
pıldığında, eşitlikler:

* Arındırma ve dönüşüm işlemleri Böl.2.2. de anlatıldığı
biçimde yapılmaktadır.

$$f_j \left[a_1 (X-X_0) + a_2 (Y-Y_0) + a_3 (Z-Z_0) \right] - x_{ij} \left[c_1 (X-X_0) + c_2 (Y-Y_0) + c_3 (Z-Z_0) \right] = 0 \quad (4.2a)$$

$$f_j \left[b_1 (X-X_0) + b_2 (Y-Y_0) + b_3 (Z-Z_0) \right] - y_{ij} \left[c_1 (X-X_0) + c_2 (Y-Y_0) + c_3 (Z-Z_0) \right] = 0 \quad (4.2b)$$

biçimini alır.

(4.2a) ve (4.2b) eşitlikleri x ve y resim koordinatlarının tüm hatalardan (düzenli ve rastlantı) arınmış olduğu ideal durumu deyimleyen eşitliklerdir. Ancak bu durum uygulamada hiçbir zaman gerçekleşmez, dolayısıyla düzensiz hatalar nedeniyle ışınların olması gerekenden sapmasını deyimleyen ve ölçülen resim koordinatlarına verilecek v_x ve v_y düzeltmelerinin de gözönüne alınmasıyla aşağıdaki deyimler elde edilir:

$$f \cdot \underline{D}_1 X - x \cdot \underline{D}_3 X = v_x \quad (4.3a)$$

$$f \cdot \underline{D}_2 X - y \cdot \underline{D}_3 X = v_y \quad (4.3b)$$

burada

$$\underline{D}_1 = (a_1 \quad a_2 \quad a_3)$$

$$\underline{D}_2 = (b_1 \quad b_2 \quad b_3)$$

$$\underline{D}_3 = (c_1 \quad c_2 \quad c_3)$$

$$\underline{X} = (X-X_0 \quad Y-Y_0 \quad Z-Z_0)^T$$

değerlerini gösterir. Kısaltılmış simgelerin gösterdiği değerler yerlerine konur, parantezler açılırsa aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

$$v_x = fa_1X - fa_1X_o + fa_2Y - fa_2Y_o + fa_3Z - fa_3Z_o - xc_1X + xc_1X_o - xc_2Y + xc_2Y_o - xc_3Z + xc_3Z_o \quad (4.4a)$$

$$v_y = fb_1X - fb_1X_o + fb_2Y - fb_2Y_o + fb_3Z - fb_3Z_o - yc_1X + yc_1X_o - yc_2Y + yc_2Y_o - yc_3Z + yc_3Z_o \quad (4.4b)$$

(4.4a) ve (4.4b) eşitlikleri bilinen ve bilinmeyenlere* göre düzenlenirse:

$$v_x = X(fa_1 - xc_1) + Y(fa_2 - xc_2) + Z(fa_3 - xc_3) - X_o(fa_1 - xc_1) - Y_o(fa_2 - xc_2) - Z_o(fa_3 - xc_3) \quad (4.5a)$$

$$v_y = X(fb_1 - yc_1) + Y(fb_2 - yc_2) + Z(fb_3 - yc_3) - X_o(fb_1 - yc_1) - Y_o(fb_2 - yc_2) - Z_o(fb_3 - yc_3) \quad (4.5b)$$

biçimini alır.

* Bu çalışma kapsamında bilinenler tüm iç ve dış yöneltme elemanları, bilinmeyenler ise cisim noktalarına ait X, Y, Z uzay koordinatlarıdır.

(4.5a) ve (4.5b) eşitlikleri, j. resimdeki i. nokta için matris biçiminde yazılırsa:

$$\begin{bmatrix} v_{x_{ij}} \\ v_{y_{ij}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1_{ij}} & a_{2_{ij}} & a_{3_{ij}} \\ b_{1_{ij}} & b_{2_{ij}} & b_{3_{ij}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{1_{ij}} & a_{2_{ij}} & a_{3_{ij}} \\ b_{1_{ij}} & b_{2_{ij}} & b_{3_{ij}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

odur. Yukarıdaki matris eşitliğinde,

$$\begin{aligned} a_{1_{ij}} &= fa_{1_{ij}} - xc_1 & b_{1_{ij}} &= fb_{1_{ij}} - yc_1 \\ a_{2_{ij}} &= fa_{2_{ij}} - xc_2 & b_{2_{ij}} &= fb_{2_{ij}} - yc_2 \\ a_{3_{ij}} &= fa_{3_{ij}} - xc_3 & b_{3_{ij}} &= fb_{3_{ij}} - yc_3 \end{aligned} \quad (4.7)$$

büyükliklerini gösterir.

4.1. YÖNTEMİN UZAY ÖNDEN KESTİRMeye UYGULANMASI İLE NOKTA CİSİM UZAY KOORDİNATLARININ HESABI

(4.6) matris eşitliğinde bilinmeyenler olarak sadece yersel bir noktanın jeodezik koordinatları olan X , Y , Z içermektedir. Böyle üç bilinmeyenin çözülebilmesi için en az üç eşitliğe gereksinime vardır, dolayısıyla bir i noktasının görüntülediği ve birbirini belirli bir oranda örten en az iki resmin olması gerekir. Her resmin ortak bölgesindeki i noktası için (4.6) eşitliği gibi iki eşitlik yazılabileceğinden, çözümde kullanılmak üzere n tane resim varsa bilinmeyenlerin çözümü için $2n$ sayıda (4.6) eşitliği elde edilecektir. Gereğinden fazla gözleme sayısı ise $R=2n-3$ olacaktır. j . resimdeki i noktası için (4.6) eşitliği şu biçimde yazılabilir:

$$\underline{V}_{ij} = \underline{A}_{ij}\underline{X}_i - \underline{L}_{ij} \quad (4.8)$$

burada,

$$\underline{V} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}, \quad \underline{A} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}, \quad \underline{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad -\underline{L} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

$\underline{V}_{ij}$ = 2x1 lik resim koordinatlarına getirilecek düzeltmeler vektörü,

$\underline{A}_{ij}$ = 2x3 lük bilinmeyenlerin katsayılar matrisi,

$\underline{X}_i$ = 3x1 lik bilinmeyenler vektörü,

$\underline{L}_{ij}$ = 2x1 lik sabit terimler vektörünü gösterir.

Genel olarak n sayıda resim için yazılacak olursa, aşağı-

daki eşitlik elde edilir:

$$\underline{Y} = \underline{A} \cdot \underline{X}_i - \underline{L} \quad (4.9)$$

Gereğinden fazla düzeltme denklemi var olduğundan, bu durumda bir en küçük kareler çözümü söz konusudur. En küçük kareler kuralı gereğince:

$$\underline{V}^T \underline{P} \underline{V} = \underline{X}^T \underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \underline{X} - \underline{X}^T \underline{A}^T \underline{P} \underline{L} - \underline{L}^T \underline{P} \underline{A} \underline{X} + \underline{L}^T \underline{P} \underline{L} \quad (4.10)$$

olur. Bu eşitlikte P, düzeltme denklemlerine verilecek ağırlık katsayılarından oluşan matrisi göstermektedir. X bilinmiyenine göre (4.10) eşitliğinin kısmi türevi alınır:

$$\frac{\partial \underline{V}^T \underline{P} \underline{V}}{\partial \underline{X}} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \underline{X} - \underline{A}^T \underline{P} \underline{L} = 0 \quad (4.11)$$

olur. (4.11) eşitliğinden bilinmiyen büyüklükleri gösteren X çekildiğinde:

$$\begin{aligned} \underline{X} &= (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{P} \underline{L} \\ &= \underline{N}^{-1} \cdot \underline{n} \end{aligned} \quad (4.12)$$

olur. Bu eşitlikte $\underline{N} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{A}$ ve $\underline{n} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{L}$ dir.

Sonuç olarak (4.12) eşitliği bir noktanın cisim uzay koordinatları X, Y, Z i veren eşitliklerdir.

Düzeltilmelerin kareleri toplamını elde etmek için (4.11) eşitliği soldan $\underline{X}^T$ ile çarpılır ve (4.10) eşitliğinde yerine konulursa:

$$\underline{V}^T \underline{P} \underline{V} = \underline{L}^T \underline{P} \underline{L} - \underline{L}^T \underline{P} \underline{A} \underline{X} \quad (4.13)$$

olur. Birim ağırlığın karesel ortalama hatası da aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$m_o^2 = \frac{V^{TPV}}{2n-u}$$

$$m_o = \left(\frac{V^{TPV}}{R} \right)^{1/2} \quad (4.14)$$

burada n = çözümde kullanılan resim sayısı,
 u = bilinmeyenlerin sayısı,
 R = fazla ölçme sayısıdır.

Bilinmeyenlerin karesel ortalama hataları da,

$$m_X = m_o (N^{-1})^{1/2} \quad (4.15)$$

eşitliğinden bulunur.

4.2. DÜZELTME DENKLEMLERİNE VERİLECEK AĞIRLIK KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

Bir matematik modelde, modelin içerdiği büyüklüklerin belirlenmesinde, tümü için aynı derecede bir incelik gösterilemeyebilir, veya modelde içerilen tüm değişkenler model üzerinde aynı değerde bir etkiyi içermeyebilir. Bunlar gözönüne alındığında, modeli oluşturan her elemanın hesap içinde kendi etkisi büyüklüğünde fonksiyon görmesi gerekir ki, o zaman elde edilecek sonuçlar gerçek değere en yakın değeri verecektir. Böyle bir hesap biçimi ise ancak ağırlıklı ölçmeler dengelemesi ile ortaya konur.

Ağırlıklı ölçmeler dengelemesi sözkonusu olduğunda düzeltme denklemlerine verilecek ağırlıkların belirlenmesinde değişik yollar izlenmektedir. Bazı araştırmacılar (17), (18), aynı ışın üzerindeki cisim noktası ile resim çekme makinesi perspektif merkezi arasındaki uzaklığın tersini ağırlık olarak alırken (geometrik nivelmanda olduğu gibi); bazıları da ağırlık katsayılarının belirlenmesinde hataların artma yasasını kullanmaktadırlar (13). Bir kısım çalışmalarda (16) ise çalışmanın özelliğine bağlı olarak ağırlık katsayılarını gösteren matrisin birim matris olarak alındığı görülmektedir.

Marzan (36), fotogrametrik olarak hesaplanan cisim uzay koordinatlarının doğruluğunun, geometrik düzenin bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Marzan'a göre (36) geometrik düzen: 1) stereoçiftin çekim durakları arasın-

daki baz uzaklığı, 2) cisim uzayının merkezinden baza dik uzaklığı gösteren cisim uzaklığı, 3) iki resim çekme makinesinin optik eksenleri arasındaki yakınsaklık açısıdır. Bu çalışma kapsamında yapılan simülasyon test sonuçları da, aynı parametrelerin doğruluk üzerinde etkin olduğunu vurgulamıştır. Elde edilen bu bulgulara dayanarak, bu çalışma doğrultusunda ağırlık katsayılarının belirlenmesinde aşağıdaki yol izlenmiştir.

(4.6) matris eşitliğinin herbir satırına ayrı ayrı hataların artma yasası uygulanırsa:

$$F_x = a_1 m_X + a_2 m_Y + a_3 m_Z - a_1 m_{X_0} - a_2 m_{Y_0} - a_3 m_{Z_0} \quad (4.16)$$

$$F_y = b_1 m_X + b_2 m_Y + b_3 m_Z - b_1 m_{X_0} - b_2 m_{Y_0} - b_3 m_{Z_0}$$

sonra,

$$m_F^2 = a_1^2 m_X^2 + a_2^2 m_Y^2 + a_3^2 m_Z^2 + a_1^2 m_{X_0}^2 + a_2^2 m_{Y_0}^2 + a_3^2 m_{Z_0}^2 \quad (4.17)$$

$$m_F^2 = b_1^2 m_X^2 + b_2^2 m_Y^2 + b_3^2 m_Z^2 + b_1^2 m_{X_0}^2 + b_2^2 m_{Y_0}^2 + b_3^2 m_{Z_0}^2$$

olur. (4.18) eşitlikleri düzenlenirse:

$$m_F^2 = a_1^2 (m_X^2 + m_{X_0}^2) + a_2^2 (m_Y^2 + m_{Y_0}^2) + a_3^2 (m_Z^2 + m_{Z_0}^2) \quad (4.18)$$

$$m_F^2 = b_1^2 (m_X^2 + m_{X_0}^2) + b_2^2 (m_Y^2 + m_{Y_0}^2) + b_3^2 (m_Z^2 + m_{Z_0}^2)$$

olur. Bu eşitliklerde m_X^2 , m_Y^2 , m_Z^2 hesaplanacak uzay koordinatlarının varyansları olup, Marzan'ın formülleriyle (36) aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$m_X^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{D}{c} \frac{m}{(1 - 1/2 \tan \Theta \sin \phi) \cos \phi} \right)^2$$

$$m_Y^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{D}{c} m \right)^2 \quad (4.19)$$

$$m_Z^2 = \left(\sqrt{2} \frac{D}{c} \frac{m}{\tan \Theta \cos^2 \phi + 2 \sin \phi} \right)^2$$

Bu eşitliklerde D = cisim uzaklığı,

c = resim makinesi odak uzunluğu,

m = görüntü koordinat hatası,

ϕ = yakınsaklık açısı,

Θ = $(\tan \Theta = B/D)$ den hesaplanan resim çift-
lerinin birbirini örtme açısıdır.

(4.18) eşitliklerindeki m_X^2 , m_Y^2 , m_Z^2 ler ise durak noktası koordinatlarının belirlenmesindeki varyanslardır.

Sonuç olarak düzeltme denklemlerine verilecek ağırlık katsayılar matrisi:

$$P = \begin{vmatrix} P_{x_i} & 0 \\ 0 & P_{y_i} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1/m_F^2 & 0 \\ 0 & 1/m_F^2 \end{vmatrix} \quad (4.20)$$

olur. Böylece uzay koordinatların hesabında en büyük et-

kiyi içeren faktörler, bu denklemlere verilecek ağırlıklar içinde bulunmaktadır. Genellikle ağırlıklar karesel ortalama hataların karesiyle ters orantılı olduğundan (49), (50) yukarıdaki hesap biçimi uygulamayla da uyusmaktadır. Ağırlık katsayılarının hesabında, (4.7) matris eşitliğinde içerilen a_i ve b_i katsayılarının korelasyonsuz olduğu varsayılmıştır.

(4.19) ile verilen eşitlikler, Marzan (36) tarafından, pseudo-normal duruma indirgenmiş bir konvergent durum esas alınarak geliştirilmiştir.

B Ö L Ü M V

5. FOTOGRA METRİK ARAŞTIRMALARDA SİMÜLASYON TEKNİĞİ

Geliştirilen teorik bir çalışmanın veya değişik bir matematik modelin doğruluk ve uygunluğunun analizi için çeşitli yöntemler söz konusudur. Ayrıca bu tür modellerin uygulanmasında gerekli en uygun koşulların nasıl sağlanacağı- nın da belirlenmesi gerekir. Böyle bir durumda belki en iyi çözüm, testlerin gerçek örnekler üzerinde yapılması olabilir. Ancak, bu tür modellerin içerdiği parametrelerin çokluğu nedeniyle fazla sayıda örnekleme yapılması gerekeceğinden hem zaman, hem de maliyet açısından buna her zaman olanak bulunamamaktadır.

Uygulamada bu amaç için, bir fotogrametrik sistemin temel parametrelerinin içerildiği formüller ve diyagramlar kullanılmakta ise de, çoğu karışık durumlarda en iyi çözümü matematik modellerin sayısal deyimlenmesini içeren "digital simülasyon yöntemi"nin sağladığı belirtilmektedir (31).

Simülasyon, gerçek bir sistem hakkında bilgi elde etmek için model aracılığı ile deneme yaparak, istenilen bilgileri sağlamak biçiminde tanımlanmaktadır. Bu yöntemin fotogrametrik amaçlar doğrultusunda kullanılması aşağıdaki biçimde gerçekleşmektedir: Önce herbir cisim noktasının simülasyon resim koordinatları (4.1a) ve (4.1b) eşitlikleri yardımıyla elde edilir ve bu koordinatlar gene simülasyon yoluyla hatalandırılır. Hesaplamalardan sonra

elde edilen fotogrametrik cisim uzay koordinatları ile orijinal "gerçek" koordinatlar karşılaştırılır. Sonra elde edilen doğruluk derecesi pratik örneklerden elde edilenlerle karşılaştırılır (31).

Belirli fotogrametrik parametreler için (odak uzunlukları, durak sayıları vb.) böyle bir simülasyon model var olduğunda, bu model :

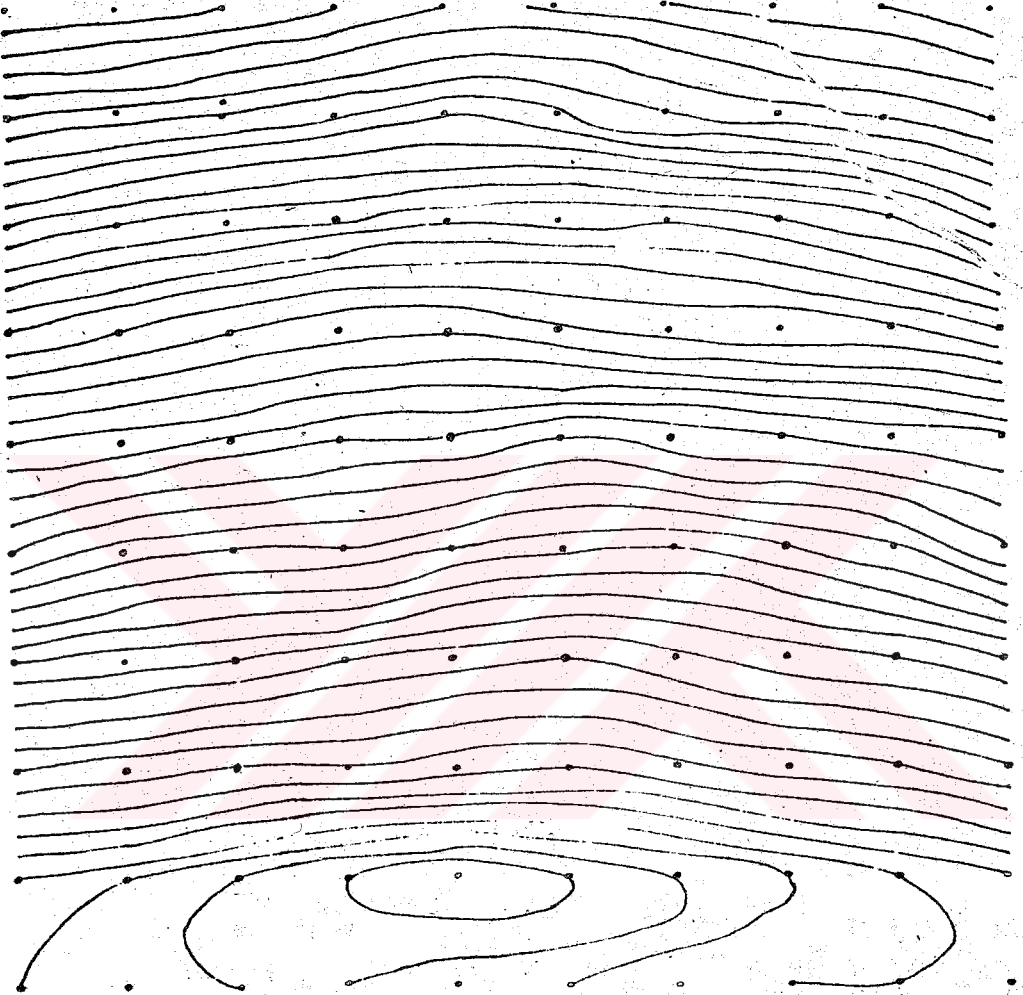
- 1) Yukarıdaki parametreler için en uygun geometrinin,
- 2) Belirlenen geometri için en uygun bir hesap yönteminin,
- 3) Bu parametreler için özel bir geometrinin mutlak doğruluğunun belirlenmesi amacıyla kullanılabilir (31).

Gerçekten simülasyon yönteminin değişik fotogrametrik çalışmalarda (6), (24), (31), (34), (35), (37) yukarıda sayılan amaçlar için kullanıldığı gözlenmektedir.

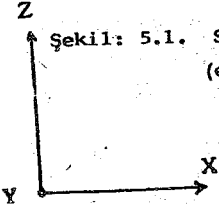
Bu çalışmada da, hesaplanan nokta uzay koordinatlarının doğruluk analizleri amacıyla simülasyon tekniği kullanılmıştır.

5.1. MATEMATİK TEST ALANININ HAZIRLANMASI

Simülasyon testi için model alan, genel bir arazi parçasını gösterecek biçimde seçildi. Şekil 5.1 de, hazırlanan matematik alanın 1 m. aralıklarla geçirilmiş eşyükselti eğrili haritası görülmektedir. Test alanı 90x90 m. boyutlarında olup, 10 m. lik aralıklarla yerleştirilmiş 100 tane yer noktası içermektedir. Noktaların, saptanan boyutlar içinde, test alanı-



Şekil: 5.1. Simülasyon test alanının topografik görünümü;
(eş yükselti eğri aralığı 1 m.).



nı düzenli bir biçimde kaplamasını sağlamak için test alanına yerleştirilmelerinde bir kareler ağı biçimi kullanılmıştır. Bu çalışma için seçilen lokal yer koordinat sisteminde Z eksen derinliği yani optik eksen doğrultusunu göstermektedir.

Test alanındaki tüm noktalar, bu seçilen yer koordinat sistemine göre koordinatlandırılmış olup, noktaların yükseklikleri belirlenirken, oluşacak yüzeyin genel bir yüzey olmasına dikkat edilmiştir. Bu özellikler de gözönüne alınarak verilen nokta koordinatları Çizelge 5.1 de gösterilmiştir.

5.2. RESİM ÇEKME MAKİNESİNİN YEĞLENMESİ

Günümüzde yerden çekilen resimlerle fotogrametri uygulamaları iki türde yapılmaktadır. Cisim uzaklığının yaklaşık 60 m. den daha küçük olduğu uygulamalar "Yakın Resim Fotogrametrisi" diye adlandırılırken, çekim uzaklığının 60 m. den daha büyük olduğu uygulamalara "Yersel Fotogrametri" denmektedir (15).

Resim çekme makinesini seçerken, bugüne kadar değişik çalışmalarda (4), (5), (51), (52) her iki amaç içinde kullanılmış olan Wild P32 yersel resim çekme makinesi yeğlenmiştir. Bu resim çekme makinesi ile 65x90 mm. boyutlarında siyah-beyaz veya renkli emülsiyon taşıyan cam plakalar kullanılabildiği gibi, roll film de kullanılabilmektedir. Resim çekme makinesi 64 mm. odak uzunluğudur.

Çizelge 5.1. Test noktalarının uzay koordinatları

Nokta no	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nokta no	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	1000.	170.	430.	36	1050.	153.	400.
2	1010.	169.5	430.	37	1060.	153.5	400.
3	1020.	169.	430.	38	1070.	153.5	400.
4	1030.	168.	430.	39	1080.	154.	400.
5	1040.	167.	430.	40	1090.	155.	400.
6	1050.	167.5	430.	41	1000.	150.	390.
7	1060.	168.	430.	42	1010.	149.5	390.
8	1070.	168.5	430.	43	1020.	149.	390.
9	1080.	169.	430.	44	1030.	148.	390.
10	1090.	170.	430.	45	1040.	148.	390.
11	1000.	165.	420.	46	1050.	147.	390.
12	1010.	164.5	420.	47	1060.	147.5	390.
13	1020.	164.	420.	48	1070.	148.	390.
14	1030.	163.	420.	49	1080.	148.5	390.
15	1040.	162.	420.	50	1090.	149.	390.
16	1050.	163.	420.	51	1000.	146.	380.
17	1060.	164.	420.	52	1010.	144.5	380.
18	1070.	164.5	420.	53	1020.	144.	380.
19	1080.	165.	420.	54	1030.	144.	380.
20	1090.	166.	420.	55	1040.	143.	380.
21	1000.	160.	410.	56	1050.	142.5	380.
22	1010.	159.	410.	57	1060.	142.	380.
23	1020.	158.5	410.	58	1070.	143.	380.
24	1030.	158.	410.	59	1080.	144.	380.
25	1040.	157.	410.	60	1090.	146.	380.
26	1050.	156.5	410.	61	1000.	140.	370.
27	1060.	157.	410.	62	1010.	139.5	370.
28	1070.	158.	410.	63	1020.	139.	370.
29	1080.	159.	410.	64	1030.	138.	370.
30	1090.	161.	410.	65	1040.	137.5	370.
31	1000.	155.	400.	66	1050.	137.	370.
32	1010.	154.	400.	67	1060.	138.	370.
33	1020.	153.	400.	68	1070.	138.5	370.
34	1030.	152.5	400.	69	1080.	139.	370.
35	1040.	152.	400.	70	1090.	140.	370.

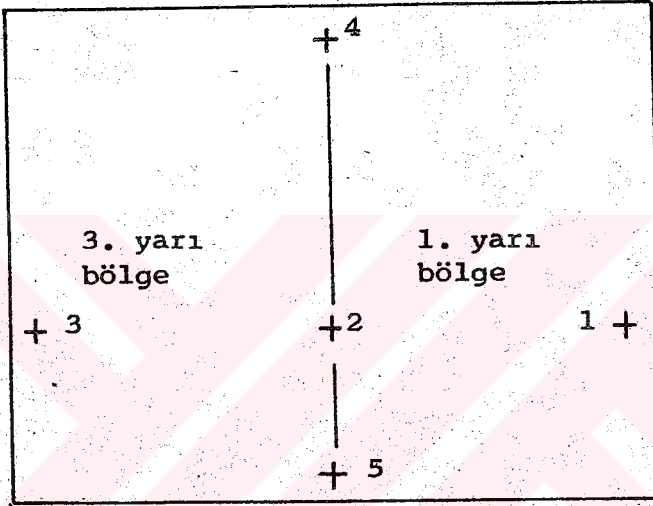
Çizelge 5.1. (Devam)

Nokta no	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nokta no	X (m)	Y (m)	Z (m)
71	1000.	135.	360.	86	1050.	127.	350.
72	1010.	134.5	360.	87	1060.	128.	350.
73	1020.	134.	360.	88	1070.	129.	350.
74	1030.	134.	360.	89	1080.	130.	350.
75	1040.	133.5	360.	90	1090.	131.	350.
76	1050.	133.	360.	91	1000.	129.	340.
77	1060.	134.	360.	92	1010.	128.	340.
78.	1070.	134.5	360.	93	1020.	128.	340.
79	1080.	135.	360.	94	1030.	128.	340.
80	1090.	136.	360.	95	1040.	128.5	340.
81	1000.	130.	350.	96	1050.	129.	340.
82	1010.	129.	350.	97	1060.	129.5	340.
83	1020.	128.	350.	98	1070.	130.	340.
84	1030.	127.	350.	99	1080.	130.	340.
85	1040.	126.	350.	100	1090.	131.	340.

5.3. RESİM ÇEKME MAKİNESİ DİSTORSİYON KATSAYILARININ HESABI

Resim koordinatlarının simetrik ışınsal mercek distorsiyonuna göre düzeltilmesinde üç ayrı yol izlenmekte olup (Böl.2.2.3), bu uygulama için, ışınsal distorsiyon eğrisine (2.16) polinom eşitliğiyle yaklaşım yolu yeğlenmiştir. Bu amaç için, İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Fotogrametri Laboratuvarında var olan, 2086 nolu Wild P32 yersel resim çekme makinesine ait yapımcı firmanın resim makinesi ayar kartı esas

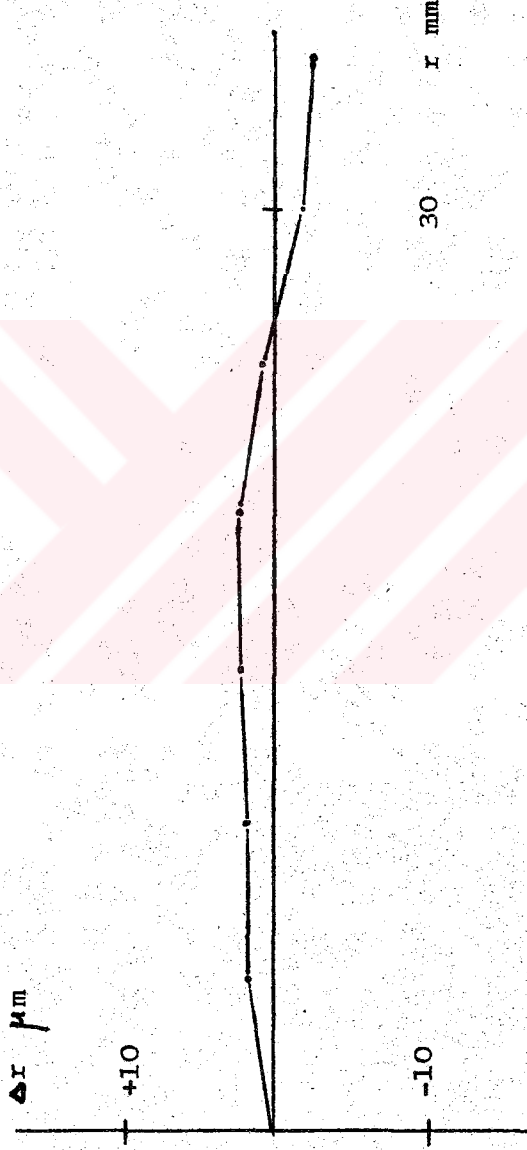
alındı. Bu resim çekme makinesinin réseau plakası Şekil 5.2 de, ortalama distorsiyon eğrisi ise Şekil 5.3 de gösterilmiştir. Çizelge 5.2 de ana nokta ve ana nokta bulueu



Şekil: 5.2. Wild P32 Resim Çekme Makinesi
Réseau plakası

koordinatları, Çizelge 5.3 de ise ana noktadan itibaren 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 mm. ışınsal uzaklıklarda, 1. ve 3. yarı bölgelerde oluşan ışınsal distorsiyon büyüklükleri ile aynı ışınsal uzaklıklar için ortalama ışınsal distorsiyon büyüklükleri verilmiştir.

Resim çekme makinesinin ışınsal distorsiyon katsayılarını hesaplamak amacıyla, Çizelge 5.3 den üç ayrı durum için alınan ilgili değerler (2.16) polinomunda yerlerine konarak her durum için yedişer tane denklem elde edil-



Şekil: 5.3. Ortalama mercek distorsiyon eğrisi (Wild P32)

Çizelge 5.2. Ana nokta ve Ana nokta bulucu koordinatları (Wild P32)

Nokta	x (mm)	y (mm)	
1	37.500	0.000	± 0.003
2	0.000	0.000	
3	-37.500	0.000	± 0.003
4	0.000	-37.500	± 0.003
5	0.000	17.500	± 0.003

Çizelge 5.3. Belirli noktalar için distorsiyon büyüklükleri (Wild P32)

Işınsal uzaklık r (mm)	1.yarı bölge için distor. Δr (μm)	3.yarı bölge için distor. Δr (μm)	ortala. distor. Δr (μm)
0	0	0	0
5	1	3	2
10	2	2	2
15	3	3	3
20	2	3	2
25	1	1	1
30	-2	-2	-2
35	-3	-3	-3

miştir. Belirlenmesi gereken değerler k_i ler olup sayıları gözleme denklemi sayısından az olduğu için, bu katsayılar en küçük kareler yöntemi kullanılarak bilgisayarda hesaplanmıştır. İlgili bilgisayar programı ve sonuçta elde edilen katsayılar Ek 1 de gösterilmiştir.

Düzeltilmesi gereken resim koordinatlarının doğruluğunda önemli bir artma olmayacağı için (47), distorsiyon katsayılarının hesabında k_4 katsayısı diğerleriyle beraber hesaplanmadı. Resim çekme makinesi merceğinin neden olduğu en önemli distorsiyon genellikle simetrik ışınsal distorsiyon olduğundan (2), (6), (7), (25) hesaplar için sadece o dikkate alındı. Çizelge 5.4 de hesaplanan ışınsal mercek distorsiyon katsayıları verilmektedir.

Çizelge 5.4. Hesaplanan Işınsal Mercek Distorsiyon katsayıları (Wild P32)

k_i	1. yarı bölge katsayıları	3. yarı bölge katsayıları	ortalama katsayılar
k_1	$0.29128300 \times 10^{-3}$	$0.32531571 \times 10^{-3}$	$0.31908724 \times 10^{-3}$
k_2	$-.55652933 \times 10^{-6}$	$-.62698261 \times 10^{-6}$	$-.63047551 \times 10^{-6}$
k_3	$0.19979360 \times 10^{-9}$	$0.23504009 \times 10^{-9}$	$0.24266095 \times 10^{-9}$

5.4. RESİM ÇEKME MAKİNESİ DURAKLARININ GEOMETRİK DÜZENİ

Yersel çekimlerde geometrik düzeni oluşturan temel faktörler baz, çekim uzaklığı ve yakınsaklık açısı olarak belirtilmişse de, daha önce belirtildiği gibi, bazın çekim uzaklığına oranını gösteren $r=B/Y$ oranı yakınsaklık açısından bağımsız olamamaktadır. Dolayısıyla geometrik düzenin ana elamanı yakınsaklık açısıdır. Değişik çalışmalar (31), (35), (40), (41), (53), (54) bu açının, bir noktanın

Önden kestirme ile hesaplanan uzay koordinatlarının doğru-
luđu üzerinde en etkin faktör olduđuunu göstermiştir. Bu
özellik gözönüne alınarak resim çekiminde yakınsak durum-
lar yeğlenmiştir.

Bu amaçla, resim çekme makinesi dış yöneltme ele-
manları her kezinde değıştirilerek 9 ayrı kombinasyon
denenmiş olup; 1, 2, 3 ve 4. kombinasyonların geometrik
düzenleri Şekil 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7 de ayrı ayrı gösteril-
miştir. Çizelge 5.5 de ise tüm kombinasyonlar için resim
çekme makinesi dış yöneltme elemanları verilmektedir.

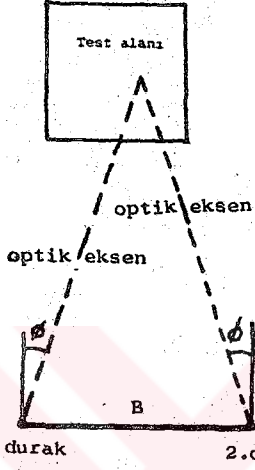
5.5. SİMÜLASYON DENEYLERİNİN ÇALIŞTIRILMASI

Simülasyon deneylerinin çalıştırılması için Fort-
ran IV dilinde iki ayrı bilgisayar programı yazılarak İTÜ
Hesap Bilimleri Merkezinde IBM 370 bilgisayarında hesap-
lanmışır. Bu programlar SİM ve LİN isimli iki ana prog-
ram ile Lin'in kullandığı MİNİV isimli bir alt
programdan oluşmaktadır. Sim'in temel fonksiyonu simülas-
yon tekniğıyle resim koordinatı üretmek; bu koordinatla-
rı resim plakası üzerinde bulundukları yarı bölgeyi göz-
önüne alarak ve ilgili mercek distorsiyon değerlerini de
kullanarak mercek distorsiyon hatasıyla hatalandırmak,
sonra da ortalama mercek distorsiyonuna göre mercek dis-
torsiyon hatasını düzeltmek, sonra da bu koordinatları,
rasgele sayılar üretme yöntemiyle üretilmiş, 0-6 mikron
arasındaki raslantı hatasıyla hatalandırmaktır. SİM
programının listesi Ek 2 de verilmiştir.

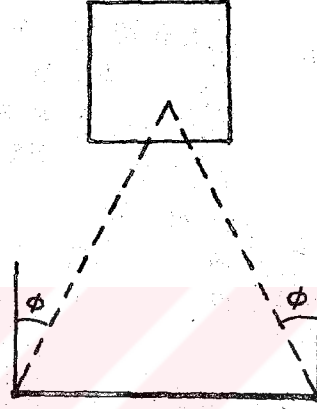
Sim'in giriş ve çıkış verileri:

Çizelge 5.5. Simülasyon deneyleri için kullanılan
resim çekme makinesi dış yöneltme
elemanları

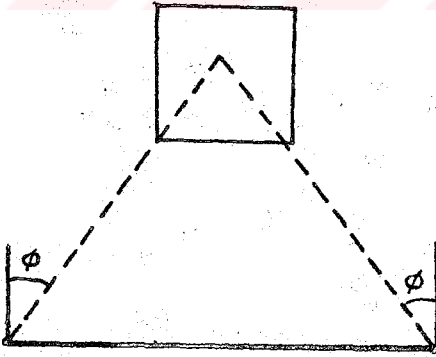
Kombin. no	Durak no	Dış Yöneltme Elemanları					
		X (m)	Y (m)	Z (m)	ω (g)	ϕ (g)	θ (g)
1	1	980	145	150	0	-20	0
	2	1130	145.5	152	0	+20	0
2	1	975	151	175	0	-30	0
	2	1150	152	176	0	+30	0
3	1	900	151	200	0	-40	0
	2	1180	152	201	0	+40	0
4	1	825	163	150	0	-50	0
	2	1250	164	152	0	+50	0
5	1	975	151	175	0	-30	0
	2	1150	152	176	0	+30	0
	3	970	145	225	0	-40	0
6	1	980	145	150	0	-20	0
	2	1130	145.5	152	0	+20	0
	3	900	151	200	0	-40	0
7	1	980	145	150	0	-30	0
	2	1130	145.5	152	0	+30	0
	3	900	151	200	0	-40	0
8		dış yöneltme elemanları hatalandırıl. 5. kombinasyon					
9		dış yöneltme elemanları hatalandırıl. 7. kombinasyon					



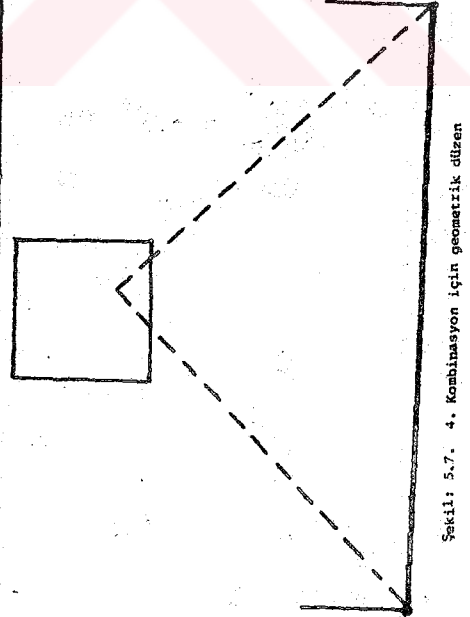
Şekil: 5.4. 1. Kombinasyon için geometrik düzen



Şekil: 5.5. 2. Kombinasyon için geometrik düzen



Şekil: 5.6. 3. Kombinasyon için geometrik düzen



Şekil: 5.7. 4. Kombinasyon için geometrik düzen

Giriş verileri:

- Çizelge 5.1 de verilen test noktalarının uzay koordinatları (X, Y, Z) ,
- Çizelge 5.5 de verilen dış yöneltme elemanları $(X_0, Y_0, Z_0, a_i, b_i, c_i)$,
- Resim çekme makinesi odak uzaklığı (f) ,
- Raslantı hataları (0-6 mikron arasında).

Sim'in çıkış verisi ise test noktalarının ortalama mercek distorsiyonuna göre düzeltilmiş resim koordinatlarıdır (Çizelge 5.6).

Lin'in giriş verileri:

- Çizelge 5.1 de verilen test noktalarının uzay koordinatları,
- Çizelge 5.5 de verilen dış yöneltme elemanları,
- Resim çekme makinesi odak uzaklığı,
- Sim programı ile üretilen ve mercek distorsiyon hatası için düzeltilmiş resim koordinatları.

Lin'in çıkış verileri ise:

- Test alanı içindeki tüm noktaların cisim uzay koordinatları, (Ek 3),
- V_{Xi}, V_{Yi}, V_{Zi} koordinat farkları,
- v_{xi}, v_{yi} resim koordinat düzeltmeleri,
- m_Y, m_X, m_Z bilinmeyenlerin karesel ortalama hataları,
- M_X, M_Y, M_Z farkların karesel ortalama değeri.

Bu durumda Lin'in temel fonksiyonu da test noktalarının uzay koordinatlarını uygulanan yaklaşımla hesaplayarak istatistiksel değerlendirmeleri (karesel ortalama değerler ve hatalar, düzeltme değerleri vb.) yapmaktır.

Çizelge 5.6. Simülasyon tekniğiyle hesaplanan
resim koordinatları

SIMLIN SONUC A

1 SIMULASYON GORUNTU KOORDINATLARI

1. ISTASYON 2. ISTASYON
X Y X Y

1.NOKTA	0.03858537	0.00665552	-.08209927	0.00831032
2.NOKTA	0.04174577	0.00664795	-.07721902	0.00794945
3.NOKTA	0.04503322	0.00664009	-.07256283	0.00760515
4.NOKTA	0.04844617	0.00649081	-.06811563	0.00711812
5.NOKTA	0.05200168	0.00633543	-.06386365	0.00665247
6.NOKTA	0.05570548	0.00661453	-.05979431	0.00666097
7.NOKTA	0.05956705	0.00690553	-.05589609	0.00666912
8.NOKTA	0.06359668	0.00720919	-.05215843	0.00667694
9.NOKTA	0.06780560	0.00752636	-.04857159	0.00668444
10.NOKTA	0.07220603	0.00801823	-.04512664	0.00683105
11.NOKTA	0.03891537	0.00552935	-.08455215	0.00694217
12.NOKTA	0.04210445	0.00549894	-.07937555	0.00659755
13.NOKTA	0.04552780	0.00546733	-.07444784	0.00626950
14.NOKTA	0.04909382	0.00528750	-.06975149	0.00579139
15.NOKTA	0.05281161	0.00510003	-.06527058	0.00533521
16.NOKTA	0.05669108	0.00551744	-.06099062	0.00553167
17.NOKTA	0.06074301	0.00505342	-.05689838	0.00571952
18.NOKTA	0.06492915	0.00624898	-.05298172	0.00574804
19.NOKTA	0.06941237	0.00655830	-.04922975	0.00577537
20.NOKTA	0.07405675	0.00705021	-.04563214	0.00594661

DUZELTILMIS SIMULASYON GORUNTU KOORDINATLARI

1. ISTASYON 2. ISTASYON
DX DY DX DY

1.NOKTA	0.03858429	0.00665533	-.08209927	0.00831037
2.NOKTA	0.04174460	0.00664777	-.07721949	0.00794950
3.NOKTA	0.04502896	0.00663991	-.07256328	0.00760519
4.NOKTA	0.04844482	0.00649063	-.06811605	0.00711816
5.NOKTA	0.05200023	0.00633525	-.06386404	0.00665251
6.NOKTA	0.05570393	0.00661435	-.05979468	0.00666101
7.NOKTA	0.05956539	0.00690534	-.05589644	0.00666917
8.NOKTA	0.06359491	0.00720899	-.05215875	0.00667698
9.NOKTA	0.06780371	0.00752615	-.04857189	0.00668448
10.NOKTA	0.07220402	0.00801811	-.04512692	0.00683109
11.NOKTA	0.03881429	0.00552920	-.08455267	0.00694221
12.NOKTA	0.04210327	0.00549881	-.07937604	0.00659759
13.NOKTA	0.04552653	0.00546718	-.07444830	0.00626954
14.NOKTA	0.04909245	0.00528736	-.06975192	0.00579114
15.NOKTA	0.05281014	0.00509988	-.06527098	0.00533524
16.NOKTA	0.05668950	0.00551729	-.06099099	0.00553171
17.NOKTA	0.06074131	0.00595325	-.05689873	0.00571956
18.NOKTA	0.06492734	0.00624881	-.05298211	0.00574808
19.NOKTA	0.06941044	0.00655811	-.04923006	0.00577540
20.NOKTA	0.07405468	0.00705001	-.04563242	0.00594664

Ayrıca cisim uzay koordinatlarını Vektör yöntemi ile çözmek için VEKTÖR isimli bir program daha yazıldı. Bu programın giriş ve çıkış verileri Lin ile aynıdır. Her iki programın listeleri sırasıyla Ek 4 ve Ek 5 te verilmiştir.

Simülasyon deneyleri, test noktalarına ait resim koordinatlarının matematik bir biçimde üretilmesiyle başlar. Bu amaç doğrultusunda (4.1a) ve (4.1b) eşitlikleri doğrudan kullanılmıştır.

Resim koordinatlarının üretilmesinden sonra, bu görüntü koordinatları resim plakasında bulundukları bölgenin mercek distorsiyon hatasıyla hatalandırılmış, sonra da ortalama mercek distorsiyon değerlerine göre düzeltilmiştir.

Düzeltilmiş resim koordinatları incelendiğinde bu koordinatların bir-iki mikrona ulaşan kalıcı düzenli hata artıkları içerdikleri görülmüştür. Bu adımda, kalıcı düzenli hataların hesaplanan uzay koordinatları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla değişik kombinasyonlar denenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.7 de özetlenmiştir.

Çizelge 5.7. Uzay koordinatları üzerindeki düzenli hata etkileri

Kombin. no	M_X (mm)	M_Y (mm)	M_Z (mm)
1	2.1	0.13	4.0
2	2.2	0.01	3.1
3	1.4	0.05	1.3

Buna göre kalıcı düzenli hata etkisiyle X uzay koordinatında oluşan fark 1.4 ile 2.2 mm. arasında değişirken Y koordinatında 0.05 mm. ye kadar düştüğü görülmektedir. En büyük fark 4.0 mm ile Z koordinatında oluşmaktadır. Bu durumda elde edilen en büyük göreceli doğruluk ise çekim uzaklığının 1/97 000 i olmaktadır.

Bundan sonraki adımda, üretilen resim koordinatları maksimum 6 mikronluk rastlantı hatalarıyla hatalandırıldı. Bu hata büyüklüğünün seçiminde bazı araştırma çalışmaları (16), (17), (29) elde edilen sonuçlar gözönünde bulunduruldu. Çünkü komparatör hatası, emülsiyon hatası, nokta belirleme hatası gibi kaynaklardan doğan ve komparatörlerde ölçülen koordinatların düzensiz hata büyüklüğünü belirleyen bu değer yaklaşık 6 mikron civarında varsayılmaktadır. Uygulamada hesaplar için normal olarak kaba ve düzenli hatalardan elden geldiğince arındırılmış resim koordinatlarının kullanılması gerektiği gözönüne alınırsa bu, doğru bir yaklaşım olmaktadır. Zaten dengelemede esas olanda düzensiz hataların etkilerinin elden geldiğince azaltılmasıdır (49). Çünkü kaba ve düzenli hatalardan sakınmak her iyi ölçmecinin görevidir.

Sonuç olarak tüm simülasyon deneylerinde bu biçimde hatalandırılmış resim koordinatları kullanılarak ve (4.6) eşitlikleri yardımıyla cisim uzay koordinatları hesaplandı. Bu hesaplar için sırasıyla 1, 2, 3 ve 4. kombinasyonlarda iki resim çekme durağı kullanıldı ve kombinasyonlar için sırasıyla 20, 30, 40 ve 50 gradlık yakınsaklık açıları alındı. Bundan sonra uzay koordinatların he-

sabı için üç durak noktasından çekilen resimler aynı anda kullanıldı, böylece test alanı içindeki noktalar üç duraktan aynı anda önden kestirilmiş oldular. Bu adım için 5, 6 ve 7. kombinasyonlar ve 30-40, 20-40 ve 30-40 gradlık yakınsaklık açıları kullanıldı. Böylece koordinat hesapları için yedi ayrı kombinasyon denendikten sonra başka bir hata etkisini denemek amacıyla, dış yöneltme elemanları belirli bir değerde hatalandırılarak hesaplar tekrarlandı. Dış yöneltme elemanlarının doğrudan arazide ölçülmesi durumunda, hernekadar dış yöneltme elemanları kontrol noktalarına dayandırılmadığı için arazinin topoğrafik yapısından bağımsız olursa da, bunların ölçülmesinde ulaşılan doğruluk derecesi önemli olmaktadır. Çünkü önden kestirmeyle bulunacak uzay koordinatları aynı zamanda iç ve dış yöneltmenin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bazı çalışmalarda bu elemanların doğrudan ölçülmesinde ulaşılmaması gereken doğruluk dereceleri için sınırlar belirlenmiştir. (16) da bu büyüklükler, baz ölçmeleri için ± 0.01 m. ve açısal ölçmeler için $\pm 5''$ olarak verilmiştir. Bu değerlerin üç katını aşan hataların kaba hata varsayılması gerektiği belirtilmiştir. Yersel amaçlı değişik çalışmalarda (11), (33) durak noktası ve yer nokta koordinatlarının doğrudan arazide ölçülen değerleri ± 2 mm. ile ± 7.5 mm. lik karesel ortalama hatalarla bulunmuştur. Yukarıda verilen açısal ölçme hatası T-2 tipi teodolitlerin incelik sınırı içinde kalmaktadır.

Dış yöneltme elemanlarının hatalandırılmalarında yuka-

rıda belirtilen değerlerin en üst sınırları alınarak, tüm durak noktası koordinatları düzensiz olarak ± 5 cm, tüm eğiklik açıları da $\pm 15^{\circ}$ büyüklüğünde hatalandırıldı. Bu amaçla da 8. ve 9. kombinasyonlar kullanıldı.

5.6. SİMÜLASYON DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

Fotogrametrik sistemin doğruluğunun analizi için değişik yollar söz konusudur. Test alanı içindeki tüm noktaların jeodezik koordinatları önceden belirlendiğinden hatasız varsayılarak gerçek koordinatlar olarak alınabilirler. Bu durumda jeodezik koordinatlar ile fotogrametrik olarak hesaplanan uzay koordinatları arasındaki farklar yardımıyla hesaplanan M_X , M_Y , M_Z karesel ortalama değerleri elde edilen inceliği, birim ağırlığın karesel ortalama hatasına göre daha iyi belirtirler (29).Sözü edilen bu değerler:

$$\begin{aligned} M_X &= \sqrt{\frac{V_{Xi} V_{Xi}}{n}} \\ M_Y &= \sqrt{\frac{V_{Yi} V_{Yi}}{n}} \\ M_Z &= \sqrt{\frac{V_{Zi} V_{Zi}}{n}} \end{aligned} \quad (5.1)$$

biçiminde hesaplanır. Bu eşitliklerde n, değerlendirmede kullanılan nokta sayısını; V_{Xi} , V_{Yi} , V_{Zi} de aşağıda deyimi verilen farkları göstermektedir.

$$V_{Xi} = X_s - X_p$$

$$V_{Yi} = Y_s - Y_p \quad (5.2)$$

$$V_{Zi} = Z_s - Z_p$$

Burada s simülasyon testi için belirlenen jeodezik koordinatları, p ise fotogrametrik olarak hesaplanan uzay koordinatları göstermektedir. M_p nokta konum hatası ise:

$$M_p = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2 + M_Z^2} \quad (5.3)$$

olarak hesaplanır.

Yukarıda tanımı verilen M_X , M_Y , M_Z ve M_p değerleri Hottier (31) tarafından ortaya konan RX, RY, RZ ve RXYZ büyüklükleri ile aynıdır. Simülasyon test sonuçlarından elde edilen bulguları göstermek üzere bu değerler Çizelge 5.8 de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Tüm kombinasyonlar için simülasyon testinden elde edilen son bulgular

Kombin. no	M_X (mm)	M_Y (mm)	M_Z (mm)	M_p (mm)	Açıklama
1	7.8	8.7	22.3	25.1	
2	5.4	6.4	11.3	14.1	
3	2.2	1.9	2.7	4.0	
4	0.7	1.8	1.1	2.2	
5	3.6	4.4	7.6	9.5	
6	5.7	5.8	8.3	11.6	
7	4.4	5.1	6.8	9.6	

Dış yöneltme elemanları hatalandırılarak hesaplanan 8 ve 9. kombinasyonlardan elde edilen sonuçlar da Çizelge 5.9 da özetlenmiştir.

Çizelge 5.9. Dış yöneltme elemanları hatalandırılarak hesaplanan kombinasyon sonuçları

Kombin. no	M_X (mm)	M_Y (mm)	M_Z (mm)	M_P (mm)
8	4.5	3.8	6.0	8.4
9	4.4	5.1	6.8	9.6

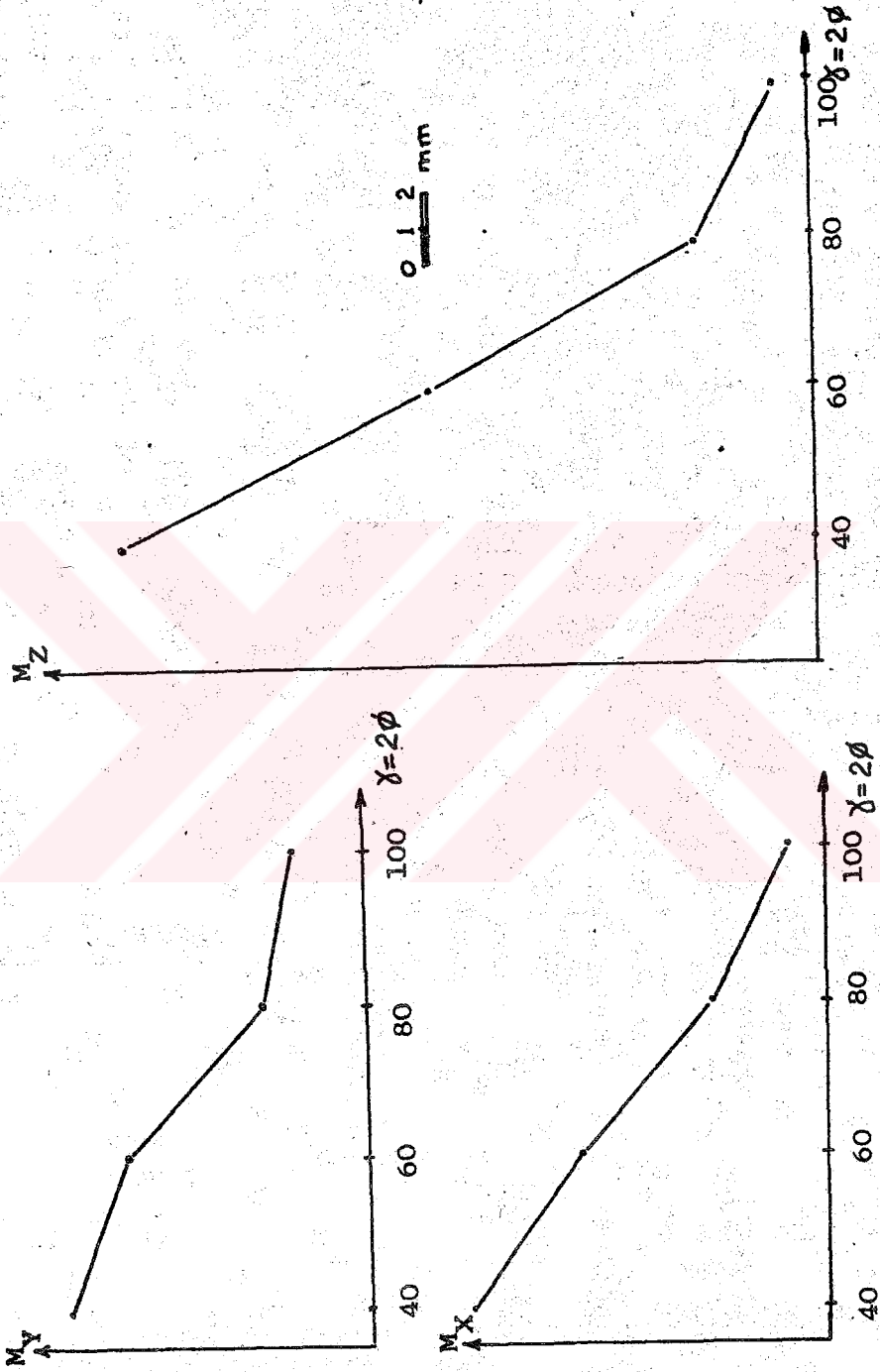
Çizelge 5.8 den de görüleceği gibi, test sonuçlarına göre en küçük nokta konum hatası 3. ve 4. kombinasyonlar tarafından sağlanmıştır. Bunun nedeni her iki kombinasyonda da daha büyük yakınsaklık açısının kullanılmış olmasıdır. Resim çekme makinesi optik ekseninin test alanının ortasında kesiştiği özel yakınsak durumda, en uygun geometrik düzen yakınsaklık açısının 50 grada eşit olmasıyla sağlandığından (36), simülasyondan elde edilen sonuçlar pratikle uyushmaktadır. Bununla beraber diğer kombinasyonlardan elde edilen sonuçlar da oldukça iyi olup, birbirlerine de kısmen yakın sayılabilir. Sadece 1. kombinasyonun sonucu diğerlerinden biraz daha farklı olup, o da yakınsaklık açısının küçüklüğünden kaynaklanmaktadır. Dış yöneltme elemanlarının hatalandırıldığı 8 ve 9. kombinasyonlardan elde edilen sonuçlar hatalandırmanın büyüklüğüne rağmen, diğer kombinasyonların sonuçları ile birbirine yakın olup, 4.4 mm ile 6.8 mm arasında değişme göstermektedir.

Diğer kombinasyonlardan elde edilen sonuçlara göre X eksenini doğrultusundaki koordinat farkı M_X 0.7 mm. ile 7.8 mm. arasında değişirken, M_Y değeri 1.8 mm. ile 8.7 mm. arasındadır. X koordinatlarındaki V_X farkı, test alanının ortalarından uzaklaşan noktalar için artarken, merkeze yakın noktalar için azalma göstermektedir. Bu da mercek distorsiyon hatası nedeniyle düzeltilmiş resim koordinatlarında var olan kalıcı düzenli hataların etkisinden ileri gelmektedir. X koordinatının doğruluğunu yakınsaklık ta etkilemekte olup, V_X farklarının büyüklüğü yakınsaklık açısının büyüklüğü ile ters orantılıdır (Şekil 5.9). Aynı biçimde yakınsaklık Y koordinatını da olumlu yönde etkilemektedir.

Z koordinatına gelince (bu çalışmada optik eksen doğrultusundaki koordinat), bu koordinatın doğruluğu diğer koordinatlara göre her kombinasyonda biraz daha düşüktür. Ancak bu durum yakınsaklığın değişmesiyle yani artırılmasıyla değişmekte, büyük yakınsak çekimlerde Z koordinatının farkı da önemli derecede azalmaktadır (Şekil 5.9).

Resim çekme durak noktası sayısı da koordinatlar üzerinde olumlu etiki yapmaktadır. Bu etki aynı zamanda tüm koordinat doğrultuları için de sözkonusudur.

Hernekadar cisim uzaklığı sonuçların doğruluğu



Şekil: 5.9. Yakınsaklık açısının uzay koordinatlar üzerindeki etkisi

üzerinde etki göstermekte ise de, yakınsaklık resim çekme uzaklığından daha büyük etkendir. Bu durum 1. ve 4. kombinasyonlara ait sonuçlar Çizelge 5.8 den incelendiğinde görülür. Çünkü her iki kombinasyonda da aynı resim çekme uzaklığı kullanıldığı halde, yakınsaklık açısının büyük olduğu 4. kombinasyonda sonuçlar daha doğrudur.

5.7. UYGULANAN YAKLAŞIMIN DİĞER YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 3.2 de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, fotogrametride noktaların cisim uzay koordinatlarının hesabında değişik yöntemler söz konusudur. Vektör yöntemi de bunlardan birisi olup değişik uygulamalarda (6), (11), (16), (38) bu amaçla kullanılmıştır. Uygulanan yaklaşıma bir karşılaştırma fırsatı doğması amacıyla, simülasyon testinde kullanılan verileri aynen Vektör yöntemiyle de kullanarak uzay koordinatları tekrar hesaplanmıştır. Bu hesaplar için, doğrudan mercek distorsiyon hatasıyla hatalandırılmış resim koordinatları kullanılmıştır. Bu hesaplardan elde edilen son bulgular Çizelge 5.10 da gösterilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi, iki yöntemin sonuçları arasında çok az bir fark oluşmaktadır.

Çizelge 5.10. Yöntemlerin Karşılaştırılması

Kombin. no	M_X (mm)	M_Y (mm)	M_Z (mm)	
1	9.0	3.8	126.7	Vektör yöntemi
2	12.4	4.6	88.6	
3	9.0	3.1	58.2	
4	5.0	0.6	16.0	
1	9.6	3.7	124.0	Uygula- nan yöntem
2	11.7	3.2	95.2	
3	10.1	3.1	55.6	
4	9.3	0.6	12.4	

5.8. GERÇEK BİR PROBLEME UYGULAMA

Bu çalışmada uygulanan lineer hesap yönteminin uygulanabilirliğini ve doğruluk düzeyini araştırmak amacıyla gerçek bir test alanındaki (55) noktaların uzay koordinatları, sözkonusu test alanından elde edilen veriler kullanılarak bu yöntemle hesaplandı.

Bu test alanı, fotogrametrik deformasyon ölçme tekniklerinin doğruluk incelemeleri amacıyla (55) kurulmuş olup, test alanının resimleri UMK 10/1318 metrik resim çekme makinesi ile çekilmiş, resim koordinat ölçmeleri ise PSK (Zeiss) stereokomparatörü ile yapılmıştır. Nokta uzay koordinatlarının hesabı için kullanılan, resim çekme makinesi iç ve dış yöneltme elemanları Çizelge 5.11 de verilmiştir. Hesaplar sonucu elde edilen doğruluk düzeyini göstermek amacıyla, elde edilen sonuçlar da Çizelge 5.12 de özetlenmiştir.

Çizelge 5.11 Resim Çekme Makinesi İç ve Dış
Yöneltme Elemanları

	X _{mm}	Y _{mm}	Z _{mm}	ω°	ϕ°	α°
1.Durak f=101.9285	1404.7252	-731.4603	121.9025	0	-27.4599	0
2.Durak f=101.9571	1402.5363	3478.4371	676.6280	0	32.9751	0

Çizelge 5.12. Hesap sonuçları

Nokta no	X _{mm}	Y _{mm}	Z _{mm}	V _X	V _Y	V _Z
56	603.3360 598.5850	1568.9487 1575.0504	2945.1280 2949.0630	4.8	-6.1	-3.9
13	58.3760 45.5736	-10.9025 -5.5950	2704.0302 2712.3533	12.8	5.3	-8.3
26	381.2500 371.4705	354.1395 359.2303	3002.0839 3009.4221	9.8	-5.1	-7.3
48	2763.7940 2757.4917	1212.9627 1208.8934	2957.0034 2953.4688	6.3	4.1	3.5
15	1452.6490 1443.9445	-12.0727 -10.8789	2680.8544 2683.1272	8.7	1.2	-2.3
17	2549.8620 2539.9202	-11.8005 -14.9693	2679.2570 2676.7986	9.9	-3.2	2.5
27	707.7550 698.9998	356.0014 360.5114	2978.2872 2982.2817	7.8	3.6	-4.0
28	1458.7000 1451.2794	355.8808 357.6008	2976.5068 2979.3408	7.4	-1.7	-2.8
29	2209.9170 2202.0059	355.9292 354.7110	2976.2149 2975.6414	7.9	1.2	0.6
38	709.9600 703.7463	956.5144 961.4232	3326.9672 3332.1409	6.2	-4.9	-5.2

$$M_X=8.44 \quad M_Y=4.01 \quad M_Z=4.61 \quad M_P=9.34 \quad E=\%01.5 \times H$$

Çizelge 5.12 de nokta numaralarının karşılardaki birinci satırlar jeodezik yöntemle elde edilen uzay koordinatlarını gösterirken, ikinci satırlar noktaların fotogrametrik yöntemle elde edilen uzay koordinatlarını göstermektedir.

Bu sonuçlara göre, seçilen koordinat sisteminde noktaların yüksekliğini gösteren X- eksenini doğrultusunda oluşan M_X karesel ortalama değeri 8.44 mm. iken, nokta koordinatları, baza paralel Y- eksenini doğrultusunda ve resim çekim yönünü gösteren Z- eksenini doğrultusunda sırasıyla 4.01 mm. ve 4.61 mm. lik karesel ortalama hatalar ile bulunmuştur. Bu değerlere göre M_P nokta konum hatası 9.34 mm. olup, resim çekim doğrultusunda oluşan M_Z karesel ortalama değerinin resim çekim uzaklığına oranının gösterdiği E oransal presizyon ise 0.0015 olmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, genellikle bugüne kadarki uygulamalardan farklı bir durumun ortaya çıktığı gözlenmektedir: o da, resim çekim eksenini doğrultusunda oluşan karesel ortalama değerler diğer eksen doğrultularındakilerden daima biraz daha büyük olurken, bu uygulamada resim çekim eksenini doğrultusundaki karesel ortalama değer, örneğin yüksekliği gösteren eksen doğrultusundaki karesel ortalama değer yarısı kadar, başka bir deyimle ondan %50 daha doğru bulunmuştur. En doğru sonuçlar ise baza paralel eksen yönünde elde edilmiştir.

Yukarıda açıklanan değerlerin elde edilmesinde tüm dış yöneltme elemanları önceden bir "demet dengelemesi" sonucu yüksek presizyonla bulunmuş (55) sonra çözümde kullanılmıştır. Örneğin çözümde kullanılan durak noktası koordinatlarından X_0 0.20 mm., Y_0 0.30 mm. ve Z_0 0.30 mm. lik karesel ortalama değerlerle elde edilmiştir.

Yukarıda anlatılanın dışında, dış yöneltme eleman-

larından sadece dönme açılarının resim çekimi sırasında ölçülerek bulunan değerleri kullanılarak da nokta koordinatları hesaplanmıştır. Buna göre de, nokta koordinatları X- eksenini doğrultusunda 20.33 mm., Y- eksenini doğrultusunda 91.37 mm. ve Z- eksenini doğrultusunda 79.43 mm. lik karesel ortalama değerlerle bulunmuştur. Görüldüğü gibi nokta koordinatları önceki hesaba göre, tüm eksen doğrultularında çok kaba sayılabilecek bir incelikte elde edilmiştir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus, dönme açılarının resim çekimi sırasında yeterli derecede incelikte ölçülüp ölçülmediğidir. Daha önce de belirtildiği gibi, hesaplanan nokta uzay koordinatları iç ve dış yöneltme elemanlarının bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre yöneltme açılarının oldukça kaba bir yaklaşıklıkla ölçüldüğü gözlenmektedir. Nokta koordinatlarının yeterli doğrulukla elde edilebilmesi için, bu açıların ölçülmesinde ulaşılması gereken incelik derecesi, örneğin omega ve fi açıları için $\pm 2-5^{\circ}$ olarak belirlenmiştir (15). Ayrıca, kappa açısı aletin yataylandırılması ile sifara ayarlandığından ve bu ayarlama düzeçler yardımıyla yapıldığından, nokta uzay koordinatlarının yeterli doğrulukla elde edilebilmesi için bu düzeçlerin $\pm 20^{\circ}$ duyarlılıklı olması gerekmektedir. Buna rağmen presizyonlu analitik çalışmalarda kappa açısının $\pm 5^{\circ}$ duyarlılıkla ölçümünü sağlayacak düzeçlerin gerektiği belirtilmiştir (15).

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan lineer hesap yöntemi, dış yöneltme elemanlarının yeterli incelikte belirlenmesi koşuluyla, üçboyutlu kestirme problemlerine uygulanabilir. Ancak çok incelikli sonuçların beklendiği analitik uygulamalarda diğer hesap yöntemlerinin, örneğin bilgisayar olanaklarının var ve yeterli olması durumunda "demet dengelemesi" yöntemi daha uygun olacaktır.

B Ö L Ü M VI

6. S O N U Ç L A R

Fotogrametrik matematik modeli oluşturan iki temel öge doğrusallık ve eşdüzlemlik koşuludur. Fotogrametrimin çoğu problemlerinin çözümünde bu iki koşul yeğlenmekte olup, doğrusallık koşulu ise en uygun (6) koşul özelliğini taşımaktadır. Cisim uzay koordinatlarının uzay önden kestirmeyle hesaplanması durumunda, doğrusallık koşulunu matematiksel olarak deyimleyen eşitlikler kullanılır. Ancak bu koşul eşitlikleri lineer olmadıklarından önce lineerleştirilirler, sonra çözümde kullanılırlar. Lineerleştirmede yaygın olarak seriye açma yöntemi yeğlenmekte olup, bu yöntemde bilinmeyen büyüklüklerin her birine yaklaşık değerler verilerek sonuca ulaşıldığından iterasyonu gerektirmektedir. Ayrıca iterasyon sayısı bilinmeyenlere verilen yaklaşık değerlerin uygunluğuna bağlı olarak değişmektedir (2), (29).

İç ve dış yöneltme elemanlarının bilindiği ve hâsız varsayıldığı durumlarda, doğrusallık koşul eşitlikleri kendiliğinden lineer olduğundan, bu çalışmada üçboyutlu kestirme problemlerinin çözümünde bu lineer yaklaşım kullanılmıştır. Ayrıca yaklaşımın uygulanabilirliği ve doğruluk düzeyi simülasyon deneyleri ve bir test alanından (55) elde edilen verilerle test edilmiştir.

Uygulanan bu yaklaşım aşağıdaki özellikleri içerir:

- 1) Uygulanan lineer yaklaşım hem uzay önden kestirmede, hem de geriden kestirmede kullanılabilir.
- 2) Yukarıdaki amaçlarla kullanıldığında ara işlemlerin sayısı en aza inmektedir.
- 3) Matematiksel deyimlerin programlaması kolaydır.
- 4) Yöntem herhangi bir iterasyon gerektirmemektedir.
- 5) Yöntemin uygulanmasıyla elde edilen cisim uzay koordinatlarının doğruluğu diğer bazı yöntemlerinki ile birbirine yakındır.

Ayrıca simülasyon test sonuçlarının analizinden şu sonuçlar elde edilmiştir: Fotogrametrik olarak hesaplanan cisim uzay koordinatlarının doğruluğu üzerinde seçilen geometrik düzen yani yakınsaklık açısı ve resim çekim uzaklığı etkindir. Resim çekiminde kullanılan durak nokta sayısı da doğruluk üzerinde etkilidir. Bunlardan yakınsaklık açısı doğruluk üzerinde en büyük etkiyi içerirken, resim çekme uzaklığı ve durak noktası sayısı daha az etki göstermektedir.

Gerçek test alanından elde edilen verilerin kullanılmasıyla yapılan çözümlerden de şu sonuca ulaşılmıştır: Burada kullanılan lineer hesap yöntemi, dış yöneltme elemanlarının yeterli incelikle belirlenmesi koşuluyla üçboyutlu kestirme problemlerine uygulanabilir. Çok incelikli sonuçların beklendiği analitik uygulamalarda ise diğer hesap yöntemlerinin, örneğin "demet dengelemesi" yönteminin kullanılması daha uygundur.

```

C C C
C70,1]dist.ftn
BU PROGRAM EN KUCUK KARELERIN MATRIS COZUMUYLA KAMERA
DISTORSIYON KATSAYILARINI HESAPLAR.

REAL*8 A(7,3),AT(3,7),ATA(3,3),TATA(3,3),ADK(7),ATDL(3),
*DK(3),DL(7),DLT(1,7),ARTOP,EMDK1,EMDK2,EMDK3,EMO2,DLTADK,D,
*VTU,TATEK(7)
DIMENSION L(3),M(3)
IN=1
OPEN(UNIT=1,NAME='INQ:C70,1]DISTOR.DAT',TYPE='OLD',READONLY)
DO 10 I=1,7
  A(I,1)=5.*1
  DO 10 J=1,3
    US=2.*J-1
10 A(I,J)=A(I,1)**US
  READ(1,13) (DL(I),I=1,7)
13 FORMAT (7F10,3)
  TYPE 13, (DL(I),I=1,7)
  DO 14 I=1,3
    DO 14 J=1,7
14 AT(I,J)=A(J,I)
  DO 15 I=1,3
    DO 16 K=1,3
      ATA(I,K)=0,
      DO 17 J=1,7
17 ATA(I,K)=ATA(I,K)+AT(I,J)*A(J,K)
16 CONTINUE
15 CONTINUE
  DO 151 I=1,3
    DO 151 J=1,3
151 TATA(I,J)=ATA(I,J)
  DO 152 I=1,3
    DO 152 J=1,3
      K=(I-1)*3+J
152 TATEK(K)=TATA(I,J)
  N=3
  CALL MINV(TATEK,N,D,L,M)
  DO 153 I=1,3
    DO 153 J=1,3
      K=(I-1)*3+J
153 TATA(I,J)=TATEK(K)
  DO 19 I=1,3
    ATDL(I)=0,
    DO 21 J=1,7
21 ATDL(I)=ATDL(I)+AT(I,J)*DL(J)
19 CONTINUE
  DO 23 I=1,3
    DK(I)=0,
    DO 25 J=1,3
25 DK(I)=DK(I)+TATA(I,J)*ATDL(J)
23 CONTINUE
  ARTOP=0,
  DO 28 I=1,7
28 ARTOP=ARTOP+DL(I)*DL(I)
  DO 29 I=1,7
    ADK(I)=0,
    DO 30 J=1,3
30 ADK(I)=ADK(I)+A(I,J)*DK(J)
29 CONTINUE
  DO 31 I=1,7
31 DLT(1,I)=DL(I)
  DLTADK=0,
  DO 32 I=1,7
32 DLTADK=DLTADK+DLT(1,I)*ADK(I)
  VTU=ARTOP-DLTADK
  EMO2=VTU/4,
  EMDK1=EMO2*TATA(1,1)
  EMDK2=EMO2*TATA(2,2)
  EMDK3=EMO2*TATA(3,3)
  WRITE(6,35) (DK(I),I=1,3),VTU,EMO2,EMDK1,EMDK2,EMDK3

35 FORMAT(40X,'KAMERA P32 ORTALAMA DISTORSIYON KATSAYILARI'/40X,43('
  DCL),
  *1)/45X,'DK1=',1X,E14.8/45X,'DK2=',1X,E14.8/45X,'DK3=',1X,E14.8/,
  *10X,'VTU=',E14.8,2X,'EMO2=',E14.8,2X,'EMDK1=',E14.8,2X,'EMDK2=',
  *E14.8,'EMDK3=',E14.8)

```


EK 1.

KAMERA P32 1.BOLGE DISTORSİYON KATSAYILARI

DK1= 0.29128300E-03

DK2= -1.5562933E-06

DK3= 0.19979360E-09

VTU=0.99509169E-06 EMD2=0.2462729E-06 EMDK1=0.14668461E-08 EMDK2=0.12594190E-13 EMDK3=0.52550735E-20

KAMERA P32 3.BOLGE DISTORSİYON KATSAYILARI

DK1= 0.32531571E-03

DK2= -6.2698261E-06

DK3= 0.23504009E-09

VTU=0.44417480E-05 EMD2=0.11104370E-05 EMDK1=0.66139639E-08 EMDK2=0.56786816E-13 EMDK3=0.23694965E-19

KAMERA P32 ORTALAMA DISTORSİYON KATSAYILARI

DK1= 0.31908724E-03

DK2= -6.3047551E-06

DK3= 0.24266095E-09

VTU=0.10802334E-05 EMD2=0.27005835E-06 EMDK1=0.16095164E-08 EMDK2=0.13810557E-13 EMDK3=0.57626168E-20

```

*****
SIM      FORTRAN A
*****
PROGRAM LAYAN: YUK.MULI. HUSEYIN GAZI BAS
*****
PU PROGRAM SIMULASYON YOLUYLA RESIM KOORDINATI URETIR VE ONLARI
MERCER DISTAKSIYONUNA GORE DUZELTIR SONRA DA RASTLANTI HATASIYLA
HATALANDIRIR.
*****
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
DIMENSION XI(100),YI(100),ZI(100),XJ(4),YJ(4),ZJ(4),DM1(14),
*DM2(4),DM3(4),DM21(4),DM22(4),DM31(4),DM32(4),DM33(4),
*X(100,4),Y(100,4),DX(100,4),DY(100,4),DDX(100,4),DDY(100,4),FJ(4)
*PX(100,6),DXI(100,4),DYI(100,4)
DO 10 I=1,100
10 READ(5,11) XI(I),YI(I),ZI(I)
DO 13 J=1,4
13 READ(5,11) XJ(J),YJ(J),ZJ(J)
DO 14 J=1,4
14 READ(5,15) DM1(J),DM2(J),DM3(J),DM21(J),DM22(J)
DO 16 J=1,4
16 READ(5,15) DM23(J),DM31(J),DM32(J),DM33(J),FJ(J)
DO 20 I=1,100
DO 20 J=1,6
READ(5,27) ((RX(I,J),J=1,6),I=1,100)
DO 17 I=1,100
D) 17 I=1,100
PAYX=DM1(I)*XI(I)-XJ(J)+DM2(J)*YI(I)-YJ(J)+
*DM13(J)*ZI(I)-ZJ(J)
PAYY=DM21(J)*XI(I)-XJ(J)+DM22(J)*YI(I)-YJ(J)+
*DM23(J)*ZI(I)-ZJ(J)
PAYDA=DM31(J)*XI(I)-XJ(J)+DM32(J)*YI(I)-YJ(J)+
*DM33(J)*ZI(I)-ZJ(J)
X(I,J)=FJ(J)*PAYX/PAYDA
Y(I,J)=FJ(J)*PAYY/PAYDA
WRITE(6,19)
DO 18 I=1,100
18 READ(5,2) I,X(I,1),Y(I,1),X(I,2),Y(I,2),X(I,3),Y(I,3),X(I,4),
*Y(I,4)
DK11=7.29120300E-03
DK21=-.55652933E-06
DK31=0.19979360E-09
DK13=0.32531571E-03
DK23=-.67698261E-06
DK33=0.23504009E-09
DK1=0.31908724E-03
DK2=-.63047551E-06
DK3=0.24266095E-09
DO 21 J=1,4
DO 21 I=1,100
RR=(X(I,J)+2*Y(I,J)**2)
IF(X(I,J)) 200,201,203
IF(Y(I,J)) 203,21,203
200 DX(I,J)=X(I,J)*(1.DO+DK13*DK23*RR+DK33*RR*RR)
DOY(I,J)=Y(I,J)*(1.DO+DK13*RR+DK33*RR*RR)
GO TO 204
203 DX(I,J)=X(I,J)*(1.DO+DK11*DK21*RR+DK31*RR*RR)
DOY(I,J)=Y(I,J)*(1.DO+DK11*DK21*RR+DK31*RR*RR)
204 DXI(I,J)=DX(I,J)*(1.DO-DK1-DK2*RR-DK3*RR*RR)
DYI(I,J)=DOY(I,J)*(1.DO-DK1-DK2*RR-DK3*RR*RR)
21 CONTINUE
DO 50 J=1,3
DO 50 I=1,100
DX(I,J)=DXI(I,J)/1000000.0001
DY(I,J)=DYI(I,J)/1000000.0001
50 CONTINUE
WRITE(6,22)
DO 101 I=1,100
101 WRITE(6,11) XI(I),YI(I),ZI(I)
DO 131 J=1,4
131 WRITE(6,11) XJ(J),YJ(J),ZJ(J)
DO 141 J=1,4
141 WRITE(6,15) DM1(J),DM2(J),DM3(J),DM21(J),DM22(J)
DO 161 J=1,4
161 WRITE(6,15) DM23(J),DM31(J),DM32(J),DM33(J),FJ(J)
DO 23 I=1,100
23 WRITE(6,24) DX(I,1),DY(I,1),DX(I,2),DY(I,2),DX(I,3),DY(I,3)
*DXI(I,4),DYI(I,4)
22 FORMAT(10X,'DUZELTILMIS SIMULASYON RESIM KOORDINATLARI',/
*1X,'1.'ISTASYON',12X,'2.'ISTASYON',12X,'3.'ISTASYON',/
*12X,'4.'ISTASYON',/16X,'1X',10X,'Y',11X,'X',10X,'Y',11X,'X',10X,
*DY',10X,'DX',8X,'DY')
11 FORMAT(3F10.1)
15 FORMAT(15F12.8)
19 FORMAT(11X,6X,'SIMULASYON RESIM KOORDINATLARI',1X,80(' '),/
*3X,13X,'1.'ISTASYON',12X,'2.'ISTASYON',12X,'3.'ISTASYON',12X,
*4X,'4.'ISTASYON',/16X,'1X',10X,'Y',11X,'X',10X,'Y',11X,'X',10X,
*Y',11X,'X',10X,'Y',//)
20 FORMAT(1X,13,'NOKTA',1X,8(F10.0,1X),)
24 FORMAT(6(F10.8,1X))
27 FORMAT(6(F4.1))
STOP
END

```

SK 3. LİN Programının çıkış verileri

NOKTALARIN KESİN UZAY KOORDİNLARI (M.)

87

	VX	X VY	Y VZ	Z	EMX	ENY	EMZ
1.NOKTA	999.99333	167.99846	429.99938		0.00000727	0.00001453	0.0000400
9	0.066670	0.001542	0.000615		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=0.00000402	VY1=
	0.00000071	VX2=-0.00000098	VY2=0.00000058			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
2.NOKTA	1010.00417	169.49686	430.02238		0.00001107	0.00001903	0.0000541
7	-0.004166	0.003143	-0.023378		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=-0.00000426	VY1=
	-0.00000018	VX2=0.00000107	VY2=-0.00000199			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
3.NOKTA	1019.99154	168.96982	430.00101		0.00023325	0.00032116	0.0009801
0	0.008465	0.030178	-0.01009		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=-0.00000663	VY1=
	-0.00001232	VX2=-0.00000024	VY2=-0.00001173			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
4.NOKTA	1029.99666	167.99986	430.00817		0.00003018	0.00003255	0.0001077
7	0.003344	0.000143	-0.008166		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=0.00000468	VY1=
	0.00000189	VX2=-0.00000176	VY2=-0.00000429			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
5.NOKTA	1040.00431	167.00205	430.01716		0.00005024	0.00004202	0.0001524
7	-0.004315	-0.002049	-0.017162		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=0.00000168	VY1=
	0.00000538	VX2=-0.00000049	VY2=0.00000404			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
6.NOKTA	1050.00048	167.50760	430.00763		0.00002351	0.00001529	0.0000610
2	-0.000478	-0.007602	-0.007633		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=0.00000101	VY1=
	-0.00000178	VX2=-0.00000056	VY2=-0.00000396			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
7.NOKTA	1059.98822	167.99533	429.99143		0.00000003	0.00000001	0.0000000
6	0.011780	0.004675	0.008570		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=-0.00000002	VY1=
	-0.00000014	VX2=0.00000001	VY2=-0.00000002			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
8.NOKTA	1069.98983	168.50424	429.98928		0.00004479	0.00001772	0.0000873
8	0.010167	-0.004240	0.010721		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=-0.00000100	VY1=
	-0.00000032	VX2=0.00000074	VY2=0.00000563			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
9.NOKTA	1080.01172	169.00251	430.01505		0.00011214	0.00003473	0.0001923
0	-0.011718	-0.002513	-0.015046		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=-0.00000137	VY1=
	0.00000670	VX2=0.00000039	VY2=-0.00000589			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
10.NOKTA	1090.01246	170.00479	430.01638		0.00002910	0.00006709	0.0000442
5	-0.012457	-0.004706	-0.016377		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=-0.00000026	VY1=
	0.00000140	VX2=0.00000030	VY2=0.00000369			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
88.NOKTA	1049.99827	129.00018	349.99927		0.00001232	0.00000112	0.0000096
1	0.001727	-0.000182	0.000130		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=0.00000123	VY1=
	-0.00000012	VX2=-0.00000073	VY2=0.00000006			VX3=0.00000000	VY3=
	0.00000000	VX4=0.00000000	VY4=0.00000000				
89.NOKTA	99.99797	130.00071	349.99887		-0.00003727	-0.00000180	-0.0000258
9	0.002000	-0.000207	0.001125		RES.KOOR.DUZELT.	VX1=0.00000136	VY1=
	-0.00000011	VX2=-0.00000090	VY2=0.00000005				

UX7=0.00000000 VY7=

```

RES.KOOR.DUZELT. VX1=0.00000142 VY1=
-0.00000009 VX2=-0.00000107 VY2=0.00000004
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
91.NOKTA 1000.00215 128.99704 340.00327 0.00000264 0.00000556 0.0000053
2 -0.002100 0.002963 -0.003267
RES.KOOR.DUZELT. VX1=0.00000402 VY1=
0.00000071 VX2=-0.00000075 VY2=-0.00000335
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
92.NOKTA 1009.99656 128.00029 339.99709 0.00000129 0.00000181 0.0000021
7 0.003441 -0.000290 0.002906
RES.KOOR.DUZELT. VX1=0.00000180 VY1=
0.00000186 VX2=-0.00000034 VY2=-0.00000214
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
93.NOKTA 1019.99998 127.99707 340.00151 0.00000317 0.00000281 0.0000044
3 0.000022 0.002926 -0.001508
RES.KOOR.DUZELT. VX1=0.00000226 VY1=
-0.0000038 VX2=-0.00000063 VY2=-0.00000343
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
94.NOKTA 1030.00079 128.00135 340.00324 0.00001109 0.00000606 0.0000130
0 -0.000788 -0.001349 -0.003243
RES.KOOR.DUZELT. VX1=-0.00000244 VY1=
-0.00000549 VX2=0.00000060 VY2=-0.00000399
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
95.NOKTA 1040.00057 128.49715 340.00200 0.00002023 0.00000658 0.0000204
0 -0.000567 0.002853 -0.002003
RES.KOOR.DUZELT. VX1=0.00000672 VY1=
0.00000258 VX2=-0.00000234 VY2=-0.00000525
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
96.NOKTA 1050.00042 128.99852 340.00128 0.00002621 0.00000487 0.0000229
2 -0.000417 0.001482 -0.001281
RES.KOOR.DUZELT. VX1=0.00000590 VY1=
-0.00000585 VX2=-0.00000286 VY2=0.00000341
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
97.NOKTA 1059.99874 129.50014 339.99964 0.00002669 0.00000267 0.0000204
6 0.001259 -0.000144 0.000357
RES.KOOR.DUZELT. VX1=0.00000235 VY1=
-0.00000513 VX2=-0.00000148 VY2=0.00000407
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
98.NOKTA 1069.99145 130.00171 339.99354 -0.00000310 -0.00000015 -0.0000021
1 0.008545 -0.001712 0.006458
RES.KOOR.DUZELT. VX1=0.00000427 VY1=
0.00000654 VX2=-0.00000212 VY2=0.00000434
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
99.NOKTA 1079.99638 130.00041 339.99745 0.02989113 0.00068972 0.0180828
9 0.003617 -0.000408 0.002552
RES.KOOR.DUZELT. VX1=-0.00000227 VY1=
0.00000496 VX2=0.00000188 VY2=-0.00000596
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
100.NOKTA 1089.99275 131.00064 339.99470
* 0.007248 -0.000641 0.005300
RES.KOOR.DUZELT. VX1=0.00000019 VY1=
-0.00000095 VX2=-0.00000022 VY2=-0.00000303
VX3=0.00000000 VY3=
0.00000000 VX4=0.00000000 VY4=0.00000000
FARKLARIN KARESEL ORTALAMA DEGERI..... SX=0.33641968D-02 SY=0.32979065D-02 SZ=0
.42541862D-02
R; T=0.53/2.67 17:01:40

```

```

***** ** BİTİ *** 04/12/84 *****
*****
LIN FORTAN A EK 4. 89
*****
PROGRAMLAYAN: YUK.MUH. MUSEYİN GAZİ BAS
HÜ PROGRAM, SIMULASYON YOLUYLA ÜRETİLİP AYNI YOLLA HATALANDIRILAN
RESİM KORDİNATLARINI KULLANARAK, FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLERİ
LİNER DENKLEMLER YARDIMIYLA NOKTA ÇİZİM UZAY KORDİNATLARINI
HESAP EDER
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
DIMENSION AL(4),A2(4),A3(4),ALX(4),H1(4),H2(4),B3(4),BLY(4),
*(3,3),AB(4,3),ABT(3,3),AL(8),ADTAB(3,3),TARTAB(3,3),
*ARTAL(3),TABTEK(9),UKI(3),ALT(1,8),ABUKI(8),
DM1(4),DM11(4),X(100),Y(100),Z(100),XJ(4),YJ(4),ZJ(4),DM11(4),
DM12(4),DM13(4),DM21(4),DM22(4),DM23(4),DM31(4),DM32(4),DM33(4),
*(100,4),Y(100,4),EMX(100),EMY(100),EMZ(100),VX(100),VY(100),
*VZ(100),VX(100,4),VY(100,4),DX(100,4),DY(100,4),M(3),FJ(4),
*XJ(4),YJ(4),ZJ(4),DM11(4),DM12(4),DM13(4),DM21(4),DM22(4),
*DM23(4),DM31(4),DM32(4),DM33(4),DDX(100,4),DDY(100,4)
DO 10 I=1,100
10 READ(5,1) X(I),Y(I),Z(I)
DO 11 J=1,4
11 READ(5,1) XJ(J),YJ(J),ZJ(J)
DO 12 J=1,4
12 READ(5,1) DM11(J),DM12(J),DM13(J),DM21(J),DM22(J)
DO 13 J=1,4
13 READ(5,1) DM23(J),DM31(J),DM32(J),DM33(J),FJ(J)
DO 14 I=1,100
14 READ(5,1) DX(I,1),DY(I,1),DX(I,2),DY(I,2),DX(I,3),DY(I,3)
WRITE(6,42)
TOPVY=0.00
TOPVZ=0.00
TOPVZ=0.00
DO 30 I=1,100
DO 31 J=1,3
AL(J)=(FJ(J)*DM11(J)-DX(I,J)*DM31(J))
A2(J)=(FJ(J)*DM12(J)-DX(I,J)*DM32(J))
A3(J)=(FJ(J)*DM13(J)-DX(I,J)*DM33(J))
ALX(J)=A1(J)*XJ(J)+A2(J)*YJ(J)+A3(J)*ZJ(J)
R1(J)=(FJ(J)*DM21(J)-DY(I,J)*DM31(J))
R2(J)=(FJ(J)*DM22(J)-DY(I,J)*DM32(J))
R3(J)=(FJ(J)*DM23(J)-DY(I,J)*DM33(J))
BLY(J)=B1(J)*XJ(J)+B2(J)*YJ(J)+B3(J)*ZJ(J)
31 CONTINUE
AL(1)=ALX(1)
AL(2)=BLY(1)
AL(3)=ALX(2)
AL(4)=BLY(2)
AL(5)=ALX(3)
AL(6)=BLY(3)
AL(7)=ALX(4)
AL(8)=BLY(4)
AB(1,1)=AL(1)
AB(1,2)=A2(1)
AB(1,3)=A3(1)
AB(2,1)=A1(2)
AB(2,2)=A2(2)
AB(2,3)=A3(2)
AB(3,1)=A1(3)
AB(3,2)=A2(3)
AB(3,3)=A3(3)
AB(4,1)=A1(4)
AB(4,2)=A2(4)
AB(4,3)=A3(4)
AB(5,1)=A1(5)
AB(5,2)=A2(5)
AB(5,3)=A3(5)
AB(6,1)=A1(6)
AB(6,2)=A2(6)
AB(6,3)=A3(6)
AB(7,1)=A1(7)
AB(7,2)=A2(7)
AB(7,3)=A3(7)
AB(8,1)=A1(8)
AB(8,2)=A2(8)
AB(8,3)=A3(8)
DO 33 I=1,100
DO 34 J=1,3
33 ART(LI,J)=AB(J,I)
DO 35 K=1,3
34 ABTAB(LI,K)=0.00
DO 36 J=1,6
36 ABTAB(LI,K)=ABTAB(LI,K)+ABT(LI,J)*AB(J,K)
35 CONTINUE
34 CONTINUE
DO 150 LI=1,3
DO 151 JI=1,3
150 TABTAB(LI,JI)=ABTAB(LI,JI)
DO 151 LI=1,3
DO 151 JI=1,3
K=(LI-1)*3+JI
151 TABTEK(K)=TABTAB(LI,JI)

```



```

N=3
CALL MINV (TABTEK,N,D,L,M)
DO 152 LI=1,3
DO 37 JI=1,3
K=(LI-1)*3+JI
152 TABTAB(LI,JI)=TABTEK(K)
DO 37 LI=1,3
ABTAL(LI)=0.00
DO 38 JI=1,6
38 ABTAL(LI)=ABTAL(LI)+ABT(LI,JI)*AL(JI)
37 CONTINUE
DO 39 LI=1,3
UKI(LI)=0.00
DO 40 JI=1,3
40 UKI(LI)=UKI(LI)+TABTAB(LI,JI)*ABTAL(JI)
39 CONTINUE
ALTOP=0.00
DO 43 LI=1,3
43 ALTOP=ALTOP+AL(LI)*AL(LI)
DO 44 LI=1,6
ABUKI(LI)=0.00
DO 45 JI=1,3
45 ABUKI(LI)=ABUKI(LI)+AB(LI,JI)*UKI(JI)
44 CONTINUE
DO 46 LI=1,6
46 ALT(LI,LI)=AL(LI)
ALTAY=0.00
DO 47 LI=1,6
47 ALTAY=ALTAY+ALT(LI,LI)*ALUKI(LI)
VTV=ALTOP-ALTAY
EMO2=(VTV/3.000)**0.5
EMX(1)=EMO2*(TABTAB(1,1))**0.5
EMY(1)=EMO2*(TABTAB(2,2))**0.5
EMZ(1)=EMO2*(TABTAB(3,3))**0.5
VX(1)=X1(1)-UKI(1)
VY(1)=Y1(1)-UKI(2)
VZ(1)=Z1(1)-UKI(3)
TOPVX=TOPVX+VX(1)*VX(1)
TOPVY=TOPVY+VY(1)*VY(1)
TOPVZ=TOPVZ+VZ(1)*VZ(1)
X1=UKI(1)
Y1=UKI(2)
Z1=UKI(3)
DO 48 JI=1,3
VXI(1,JI)=AL(JI)*X1+A2(JI)*Y1+A3(JI)*Z1-A1(JI)*XJ(JI)-A2(JI)
**YJ(JI)-A3(JI)*ZJ(JI)
43 VYI(1,JI)=B1(JI)*X1+B2(JI)*Y1+B3(JI)*Z1-B1(JI)*XJ(JI)-L2(JI)
**YJ(JI)-B3(JI)*ZJ(JI)
WRITE(6,41),X1,Y1,Z1,EMX(1),EMY(1),EMZ(1),VX(1),VY(1),VZ(1),
*VXI(1,1),VYI(1,1),VXI(1,2),VYI(1,2),VXI(1,3),VYI(1,3)
41 FORMAT(1X,13,'NOKTA',1X,3(F10.5,1X),5X,3(F10.8,1X),3X,3(F8.6,1X)
*,4X,'RES.KOOR.DUZELT.',1X,'VX1=',F10.8,1X,'VY1=',F10.8,1X,
*,VX2=',F10.8,1X,'VY2=',F10.8,1X,61X,'VX3=',F10.8,1X,'VY3=',F10.8)
30 CONTINUE
SX=(TOPVX/100.0)**0.5
SY=(TOPVY/100.0)**0.5
SZ=(TOPVZ/100.0)**0.5
WRITE(6,50),SX,SY,SZ
11 FORMAT(3F10.2)
15 FORMAT(5F12.8)
18 FORMAT(6(F10.8,1X))
42 FORMAT(10X,'NOKTALARIN UZAY KOORDINATLARI',2X,'(M.)',/10X,35(
*,1/18X,'X',10X,'Y',10X,'Z',13X,'EMX',3X,'EMY',3X,'EMZ',10X,'VX',
*7X,'VY',7X,'VZ',/13X,10(('-',1X,10(('-',1X,10(('-',1X,10(('-',1X,
*1X,10(('-',1X,10(('-',1X,8(('-',1X,8(('-',1X,8(('-',1X,8(('-',1X)
50 FORMAT(1X,'PARKLARIN KARESEL ORTALAMA DEGERI',5(('.',1X,'SX=',
*,F14.8,1X,'SY=',F14.8,1X,'SZ=',F14.8)
STOP
END

```

SUBROUTINE MINV(ITER, MATRIS, HESAPLAYAN ALT PROGRAMI)
A=GİREN MATRİS VE SONUÇTA TERS MATRİS OLARAK ÇIKAR.
N=A MATRİSİNİN MERİTİCESİ
D=SONUÇ DETERMINANTİ, L VE M=MATRİSİN BOYUTLARI

SUBROUTINE MINV(A,N,D,L,M)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
DIMENSION A(9),L(3),M(3)
D=1.00
NK=N
DO 80 K=1,N
NK=NK+N
L(K)=K
M(K)=K
KK=NK+K
HIGA=A(KK)
DO 20 J=K,N
JZ=M*(J-1)
DO 20 I=K,N

LINO0910
LINO0920
LINO0930
LINO0940
LINO0950
LINO0960
LINO0970
LINO0980
LINO0990
LINO1000
LINO1010
LINO1020
LINO1030
LINO1040
LINO1050
LINO1060
LINO1070
LINO1080
LINO1090
LINO1100
LINO1110
LINO1120
LINO1130
LINO1140
LINO1150
LINO1160
LINO1170
LINO1180
LINO1190
LINO1200
LINO1210
LINO1220
LINO1230
LINO1240
LINO1250
LINO1260
LINO1270
LINO1280
LINO1290
LINO1300
LINO1310
LINO1320
LINO1330
LINO1340
LINO1350
LINO1360
LINO1370
LINO1380
LINO1390
LINO1400
LINO1410
LINO1420
LINO1430
LINO1440
LINO1450
LINO1460
LINO1470
LINO1480
LINO1490
LINO1500
LINO1510
LINO1520
LINO1530
LINO1540
LINO1550
LINO1560
LINO1570
LINO1580
LINO1590
LINO1600
LINO1610
LINO1620
LINO1630
LINO1640
LINO1650
LINO1660
LINO1670
LINO1680
LINO1690
LINO1700
LINO1710
LINO1720
LINO1730
LINO1740
LINO1750
LINO1760
LINO1770
LINO1780
LINO1790
LINO1800


```

10  J=I2+I
15  IF(DABS(BIGA)-DABS(A(IJ))) 15,20,20
    L(K)=I
    M(K)=J
20  CONTINUE
    J=L(K)
    IF(J-K) 35,35,25
25  K1=K-N
    DO 30 I=1,N
        K1=K1+N
        HOLD=-A(K1)
        J1=K1-K+J
        A(K1)=A(J1)
30  A(J1)=HOLD
35  I=M(K)
    IF(I-K) 45,45,38
38  JP=N*(I-I)
    DO 40 J=1,N
        JK=N-K+J
        J1=JP+J
        HOLD=-A(JK)
        A(JK)=A(J1)
40  A(J1)=HOLD
45  IF(BIGA) 45,46,48
46  D=0.00
    RETURN
48  DO 55 I=1,N
    IF(I-K) 50,55,50
50  IK=NK+I
    A(IK)=A(IK)/(-BIGA)
55  CONTINUE
    DO 55 I=1,N
        IK=NK+I
        HOLD=A(IK)
        IJ=I-N
        DO 65 J=1,N
            IJ=IJ+1
            IF(IJ-K) 60,65,60
            IF(IJ-K) 62,65,62
60  KJ=IJ-I+K
62  A(IJ)=HOLD*A(KJ)+A(IJ)
65  CONTINUE
        KJ=K-N
        DO 75 J=1,N
            KJ=KJ+N
            IF(J-K) 70,75,70
70  A(KJ)=A(KJ)/BIGA
75  CONTINUE
        D=D*BIGA
        A(KK)=1.00/BIGA
80  CONTINUE
        K=N
100 K=(K-1)
    IF(K) 150,150,105
105 I=(K)
    IF(I-K) 120,120,108
108 J=N*(K-1)
    JR=N*(I-1)
    DO 110 J=1,N
        JK=JR+J
        HOLD=A(JK)
        J1=JR+J
        A(JK)=-A(J1)
110 A(J1)=HOLD
120 J=M(K)
    IF(J-K) 100,100,125
125 K1=K-N
    DO 130 I=1,N
        K1=K1+N
        HOLD=A(K1)
        J1=K1-K+J
        A(K1)=-A(J1)
130 A(J1)=HOLD
    GO TO 100
150 RETURN
END

```

```

LIN01810
LIN01820
LIN01830
LIN01840
LIN01850
LIN01860
LIN01870
LIN01880
LIN01890
LIN01900
LIN01910
LIN01920
LIN01930
LIN01940
LIN01950
LIN01960
LIN01970
LIN01980
LIN01990
LIN02000
LIN02010
LIN02020
LIN02030
LIN02040
LIN02050
LIN02060
LIN02070
LIN02080
LIN02090
LIN02100
LIN02110
LIN02120
LIN02130
LIN02140
LIN02150
LIN02160
LIN02170
LIN02180
LIN02190
LIN02200
LIN02210
LIN02220
LIN02230
LIN02240
LIN02250
LIN02260
LIN02270
LIN02280
LIN02290
LIN02300
LIN02310
LIN02320
LIN02330
LIN02340
LIN02350
LIN02360
LIN02370
LIN02380
LIN02390
LIN02400
LIN02410
LIN02420
LIN02430
LIN02440
LIN02450
LIN02460
LIN02470
LIN02480
LIN02490
LIN02500
LIN02510
LIN02520
LIN02530
LIN02540
LIN02550
LIN02560
LIN02570

```

```

*****
** BITI ** 04/12/84 **
*****

```

FILE: VEKTOR FORTRAN A I.T.U.-VM/SP-CMS

PROGRAMLAYAN: YUK.MUH. MUSEYİN GAZİ BAS
 BU PROGRAM FOTOGRAMETRİK YOLLA VE VEKTOR YÖNTEMİNİ KULLAN
 NOKTA CİSİM UZAY KOORDİNATLARINI HESAB EDER.

```

C      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION YX(100),YY(100),YZ(100),PX(2),PY(2),PF(2),
      *XI(100),YI(100),ZI(100),XJ(4),YJ(4),ZJ(4),DM1(4),DP(100),
      *DM2(4),DM3(4),DM21(4),DM22(4),DM23(4),DM31(4),DM32(4),DP1
      *X(100,4),Y(100,4),VX(100),VY(100),VZ(100),XPO(100,2),YPO(
      *VX(100,4),VY(100,4),DX(100,4),DY(100,4),FJ(4),ZPO(100,2)
      DO 10 I=1,100
10  READ(5,11) XI(I),YI(I),ZI(I)
11  FORMAT(3F10.1)
      DO 13 J=1,4
13  READ(5,11) XJ(J),YJ(J),ZJ(J)
      DO 14 J=1,4
14  READ(5,15) DM1(J),DM2(J),DM3(J),DM21(J),DM22(J)
15  FORMAT(5F12.8)
      DO 16 J=1,4
16  READ(5,15) DM23(J),DM31(J),DM32(J),DM33(J),FJ(J)
      DO 18 I=1,100
18  READ(5,20) DX(I,1),DY(I,1),DX(I,2),DY(I,2),DX(I,3),DY(I,3)
      *DX(I,1),YI(I,4)
20  FORMAT(6(F10.8,1X))
      WRITE(6,42)
      TOPVX=0.00
      TOPVY=0.00
      TOPVZ=0.00
      DO 26 I=1,100
      DO 27 J=1,2
      OP(I,J)=DSQRT((DX(I,J)**2)+(DY(I,J)**2)+(FJ(J)**2))
      PX(J)=-DX(I,J)/OP(I,J)
      PY(J)=-DY(I,J)/OP(I,J)
      PF(J)=FJ(J)/OP(I,J)
      XPO(I,J)=DM1(J)*PX(J)+DM2(J)*PY(J)+DM3(J)*PF(J)
      YPO(I,J)=DM21(J)*PX(J)+DM22(J)*PY(J)+DM23(J)*PF(J)
27  ZPO(I,J)=DM31(J)*PX(J)+DM32(J)*PY(J)+DM33(J)*PF(J)
      VP1=XPO(I,1)/YPO(I,1)
      VP2=XPO(I,2)/YPO(I,2)
      VP3=ZPO(I,1)/YPO(I,1)
      VPAYDA=1.00/(VP1-VP2)
      YI=XJ(2)+VP1*(YI-XJ(1))
      XI=XJ(1)+VP1*(YI-YJ(1))
      ZI=-ZJ(1)+VP3*(YI-YJ(1))
      VX(I)=XI(I)-XI
      VY(I)=YI(I)-YI
      VZ(I)=ZI(I)-ZI
      TOPVX=TOPVX+VX(I)*VX(I)
      TOPVY=TOPVY+VY(I)*VY(I)
      TOPVZ=TOPVZ+VZ(I)*VZ(I)
      WRITE(6,41) I,XI,YI,ZI,VX(I),VY(I),VZ(I)
41  FORMAT(1X,13,'NOKTA',1X,3(F10.5,1X),3X,3(F8.6,1X))
26  CONTINUE
      SX=(TOPVX/100.0)**0.5
      SY=(TOPVY/100.0)**0.5
      SZ=(TOPVZ/100.0)**0.5
      WRITE(6,50) SX,SY,SZ
42  FORMAT(10X,'NOKTALARIN KESİN UZAY KOORDİNATLARI',10X,35('
      */18X,'X',10X,'Y',10X,'Z',8X,'VX',7X,'VY',7X,'VZ',
      */8X,10('-',1X,10('-',1X,10('-',1X,33('-',1X,
50  FORMAT(1X,'FARKLARIN KARESEL ORTALAMA DEĞERİ',5('.',1X,
      *E14.8,1X,'SX=',E14.8,1X,'SZ=',E14.8)
      STOP
      END

```

K A Y N A K L A R

- (1) AYTAÇ, M., "1977-78 Yılında Acunda Fotogrametri'nin Durumu", İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 36, No.1, (1978, 1-8).
- (2) WOLF, P.R., "Elements of Photogrammetry", McGraw-Hill, U.S.A., 1974.
- (3) AYTAÇ, M., "Yakın Resim Fotogrametrisinde Gelişmeler", İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 40, Sayı 3-6, (1982, 63-67).
- (4) HEATH, W., PARSLEY, L.L., DOWLING, J.W., "Terrestrial Photogrammetric Surveys of Unstable Terrain in Colombia", TRRL Report, No. 816, Berkshire, 1978.
- (5) HEATH, W., DOWLING, J.W., "Examples of the Use of Terrestrial Photogrammetry in Highway Engineering", TRRL Report, No. 602, Berkshire, 1980.
- (6) VERESS, S.A., HATZOPOULOS, J.N., "Monitoring By Aerial and Terrestrial Photogrammetry", Final Report, U.S. Department of Transportation, 1979.
- (7) FINSTERWALDER, R., HOFMANN, W., "Fotogrametri", (Türkçesi: AYTAÇ, M., ÖRMECİ, C., ALTAN, M.O., İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 930, 1973.)
- (8) SCHUT, G.H., "On Exact Linear Equations for the Computation of the Rotational Elements of Absolute Orientation", Photogrammetria, Vol.XVI, (1960, 34-37).

- (9) OSWAL, H.L., BALASUBRAMANIAN, S., "An Exact Solution of Absolute Orientation", Photogrammetric Engineering, Vol.34, (1968, 1079-1083).
- (10) THOMPSON, E.H., "An Exact Linear Solution of the Problem of Absolute Orientation", Photogrammetria, Vol. XV, No.4, (1959, 179).
- (11) VERESS, S.A., SUN, L.L., "Photogrammetric Monitoring of a Gabion Wall", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.44, No.2, (1978, 205-211).
- (12) ABDEL-AZIZ, Y.I., KARARA, H.M., "Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Object-space Coordinates in Close-Range Photogrammetry", Proceedings of the Symposium of Close-Range Photogrammetry, Urbana, 1971.
- (13) MARZAN, G.T., KARARA, H.M., "A Computer Program for DLT Solution of the Collinearity Condition, and some Applications of it", Proceeding Symposium of Close-Range Photogrammetric Systems, Urbana, Illinois, 1975.
- (14) BOPP, H., KRAUSS, H., "An Orientation and Calibration Method for Non-Topographic Applications", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 44, No. 9, (1978, 1191-96).
- (15) VERESS, S.A., ERLANDSON, J.P., "Contemporary Problems in Terrestrial Photogrammetry", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 40, No.9, (1974, 1079-1085).

- (16) ERLANDSON, J.P., VERESS, S.A., "Monitoring Deformations of Structures", Photogrammetric Engineering , Vol. 41, No. 11, (1975, 1375-1384).
- (17) EREZ, M.T., "Analytical Terrestrial Photogrammetry Applied to the Measurements of Deformations in Large Engineering Structures", Dissertation, University of Laval, 1971.
- (18) BRANDENBERGER, A.J., EREZ, M.T., "Photogrammetric Determination of Displacements and Deformations in Large Engineering Structures", Canadian Surveyor, Vol.26, No. 2, (1972, 163-179).
- (19) PORTER, J.R., BURNS, A., "Applications of Terrestrial Photogrammetry for Road Design and Maintenance", Report, Australian Transport, 1978.
- (20) AYDIN, F., "Betonarme Döşeme Modelinde Değişik Yükler Altında Deplasman Miktarının Fotogrametri Tekniği ile Ölçülmesi", Doktora Tezi, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, 1971.
- (21) ROSS-BROWN, D.M., ATKINSON, K.B., "Terrestrial Photogrammetry in Open-pits:1- description and use of the Photo-theodolite in Mine Surveying", Mining Industry, Vol.81, (1972, A205-A213).
- (22) CHISHOLM, N.W.T., "Photogrammetry for Cooling Tower Shape Surveys", Photogrammetric Record, Vol, 9(50), (1977, 173-191).

- (23) JEYAPALAN, K., "Photogrammetry in Recording the Historic Ship Niantic", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 46, No. 12, (1980, 1531-1536).
- (24) KÖLBL, O.R., "Metric or Non-metric Cameras", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 42, No. 1, (1976, 103-113).
- (25) GHOSH, S.K., "Analytical Photogrammetry", Pergamon Press Inc., U.S.A., 1979.
- (26) ATKINSON, K.B., "Developments in Close Range Photogrammetry", Applied Science Publishers Ltd, 1980.
- (27) MASRY, S.E., FAIG, W., "The Analytical Plotter in Close-Range Applications", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 43, No. 1, (1977, 89-94).
- (28) MIKHAIL, E.M., "Observations and Least Squares", IEP Series in Civil Engineering, Newyork, 1976.
- (29) ALTAN, M.O., "Stereo ve Monokomparatörlerin Blok Triangülasyonundaki Rolü ve Kadastro Fotogrametrisine Uygulama", Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1974.
- (30) AYTAÇ, M., "Analitik Fotogrametride Ortogonal Matrislerle Çalışma", İ.T.Ü. Dergisi, Cild 20, sayı 1, (1962, 15-21).
- (31) HOTTIER, Ph., "Accuracy of Close-Range Analytical Restitutions: Practical Experiments and Prediction", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 42, No. 3, (1976, 345-375).

- (32) SCOTT, P.J., "Structural Deformation Measurement of a Model Box Girder Bridge", Photogrammetric Record, Vol. 9(51), (1978, 361-376).
- (33) COOPER, M.A.R., "Analytical Photogrammetry in Engineering: Three Feasibility Studies", Photogrammetric Record, Vol. 9(53), (1979, 601-619).
- (34) FRASER, C.S., "Atmospheric Refraction Compensation in Terrestrial Photogrammetry", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 45, No. 9, (1979, 1281-1288).
- (35) KENEFICK, J.F., "Ultra-Price Analytics", Photogrammetric Engineering, Vol. 37, No.11, (1971, 1167-1187).
- (36) MARZAN, G.T., "Optimum Configuration of Data Acquisition in Close-Range Photogrammetry", Proceeding Symposium of Close-Range Photogrammetric Systems, Urbana, Illinois, 1975.
- (37) ABDEL-AZIZ, Y.I., "Accuracy of the Normal Case of Close-Range Photogrammetry", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 48, No. 2, (1982, 207-213).
- (38) VERESS, S.A., "Determination of Motion and Deflection of Retaining Walls" Part I, Theoretical Considerations, Final Technical Report, University of Washington, 1971.

- (39) CHEFFINS, O.W., CHISHOLM, N.W.T., "Engineernig and Industrial Photogrammetry" (Edited by K.B. Atkinson), Applied Science Publishers Ltd., 1980.
- (40) BORCHER, P.E., "The Photogrammetric Study of Structural Movements in Architecture", Photogrammetric Engineering, Vol. 30, No. 5, (1964, 809-17)
- (41) KARARA, H.M., "Universal Stereometric Systems", Photogrammetric Engineering, Vol. 33, No. 11, (1967, 1303-1313).
- (42) LEHMANN, H.G., "Hava Fotogrametrisi", (Türkçesi: AYTAÇ, M., İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 881, 1972.)
- (43) BRANDENBERGER, A.J., "Deformation Measurements of Power Dams", Photogrammetric Engineering, Vol.40, No. 9, (1974, 1051-1058).
- (44) FURMANCZYK, K., KRZSZTOF, P., BUGUSLOW, P., "Photogrammetric Recording of the Glacial Sculpture of the Yasek Valley in Afghan Hindu Kush", Jena Review, (1980/1, 40-44).
- (45) ABDEL-AZIZ, Y.I., KARARA, H.M., "Photogrammetric Potentials of non-metric Cameras", Civil Engineering Stduies, Photogrammetry Series No. 36, Urbana, 1974.
- (46) KARARA, H.M., ABDEL-AZIZ, Y.I., "Accuracy Aspects of Non-metric Imageries", Photogrammetric Engineering, Vol. 40, No. 9, (1974, 110/-17).
- (47) ATKINSON, K.B., "Developments in Close Range Photogrammetry-1", Applied Science Publishers Ltd., 1980.

- (48) WONG, K.W., "Mathematical Formulation and Digital Analysis in Close-Range Photogrammetry", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 41, No. 11, (1975, 1355-73).
- (49) GOTTHARDT, E., "Dengeleme'ye Giriş", (Türkçesi: AYTAÇ, M., ÖRMECİ, C., ALTAN, M.O., İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 997, 1974.)
-
- (50) GROSSMAN, W., "En Küçük Kareler Metoduna Göre Dengeleme Hesaplarının Ana Hatları ve Jeodezide Tatbikatı", (Türkçesi: ÖZGEN, M.G., İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 503, 1962.)
- (51) BLYTH, K., COOPER, M.A.R., LINDSEY, N.E., PAINTER, R.B., "Snow Depth Measurement with Terrestrial Photos", Photogrammetric Engineering, Vol. 40, (1974, 937-942).
- (52) HÖHLE, J., SMITHTOWN, N.Y., "On some Innovations in Close-Range Photogrammetry", Presented Paper: Commission V, XIII. ISP Congr., Helsinki, 1976.
- (53) LAYTON, E., COX, P.H., "Application of Photogrammetry to Quantitative Microscopy", Photogrammetria, Vol. 37, No. 6, (1982).
- (54) WONG, K.W., "Application of a Simultaneous Analytical Aerotriangulation Program (SAPGO-A), For Close-Range Problems", Proceedings of Symposium of Close-Range Photogrammetric Systems, Illinois, 1975.
- (55) ALTAN, M.O., "Genauigkeitsuntersuchung photogrammetrischer Deformationsmessungen an einem Testfeld", Bildmessung und Luftbildwesen (52), (1984, 29-35).

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı titizlikle yürüten, çalıőmalarım süresince her türlü teővik ve özveriyi esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden her zaman yararlandığım değerli Hocam Sayın Prof. Mustafa AYTAÇ'a őükranlarımı arzederim. Ayrıca değerli fikirlerinden yararlandığım Sayın Hocam Doç.Dr. Cankut ÖRMECİ'ye ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç.Dr. M.Orhan ALTAN'a da teőekkürlerimi sunarım.

Baskı iőlemlerinin kısa zamanda gerçekleőmesini sağlayan Sakarya Mühendislik Fakültesi değerli Yöneticilerine ve tüm Matbaa Personeline de ayrıca teşekkür ederim.

Ö Z G E Ç M İ Ş

1955 yılında Çorum'da doğdum. İlk öğrenimimi Çorum Hürriyet İlkokulunda yaptım. Orta öğrenimimi 1973 de Çorum Lisesinde tamamladım. Aynı yıl İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümüne girerek 1978 de mezun oldum. Temmuz 1978 den itibaren Sakarya D.M.M.Akademisinde asistan olarak çalışmaya başladım. M.M.L.S öğrenimimi 1980 de tamamlayıp Yüksek Mühendis ünvanını aldım.

Halen İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım. Evli ve iki çocuk babasıyım.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi