

57783

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DÖNEL YÜZEYLERİN YAKIN RESİM FOTOGRAMETRİSİ

YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ

Hrt. Yük. Müh. Eminnur AYHAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“ Doktor “

Ünvanı Verilmesi için Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17. 05. 1996

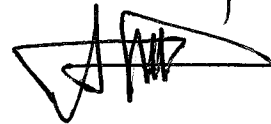
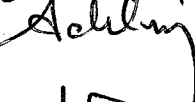
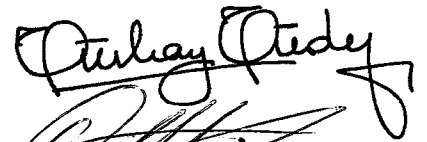
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 16. 09. 1996

Tezin Danışmanı : Prof. Dr. Türkay TÜDEŞ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. M. Orhan ALTAN

Jüri Üyesi : Doç Dr. Aslan DİLAVER

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yaşar GÖK



Mayıs 1996

TRABZON

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOĞUMANTASYON VE ARŞİV

57783

ÖNSÖZ

Dönel yüzeylerin yakın fotogrametri yöntemleri ile belirlenmesinde, çekim pozisyonlarının, veri işleme yöntemlerinin, veri işleme yöntemlerinde kullanılan ortak nokta sayılarının hesaplanan yeni nokta koordinatlarına etkileri ve fotogrametrik yöntemlerle belirlenen koordinatlardan, az sayıda kontrol noktası kullanılarak geçirilen fotogrametrik dönel yüzeylerin, arazi dönel yüzeylerine en iyi yaklaşan kontrol nokta dağılımları incelenmiştir.

Çalışmalarım süresince, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım her türlü teşvik ve yardımlarını esirgemeyen hocam, sayın Prof. Dr. Türkay TÜDEŞ'e, ilgi ve yardımlarını gördüğüm sayın Prof. Dr. Orhan ALTAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca laboratuvar çalışmaları sırasındaki yardımlarından dolayı Taşkın Kavzoğlu'na, Arş. Gör. Fevzi Karşlı'ya ve diğer mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Trabzon, Mayıs 1996

Eminnur AYHAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
TÜRKÇE ÖZET	VI
İNGİLİZCE ÖZET	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ	XII
SEMBOL LİSTESİ	XV

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş ve çalışmanın amacı	1
1.2. Fotogrametrik Probleme Genel Bakış	4
1.3. Yakın Resim Fotogrametrisi	5
1.3.1. Bu Konuda Yapılan Çalışmalar	6
1.4. Yakın Resim Fotogrametrisindeki Kalibrasyon Yaklaşımları	10
1.4.1. Laboratuvar Kalibrasyonu	11
1.4.2. Çekim Ortamında (On the Job) Kalibrasyon	13
1.4.3. Self Kalibrasyon	14
1.5. Yakın Resim Fotogrametrisinde Analitik Veri İşleme Yöntemleri	16
1.5.1. Doğrusallık Eşitlikleri	16
1.5.2. Eş Düzlemlik Eşitlikleri	18
1.5.3. Paralaks Eşitlikleri	23
1.5.4. Doğrudan Lineer Dönüşüm	25

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Matematik Model	30
----------------------	----

2.1.1. Sistematik Hatalar	30
2.1.1.1. Mercek Distorsiyonu	30
2.1.1.2. Film Deformasyonu	33
2.2. Doğrusallık (Collinearity) Dengelemesi	36
2.2.1. Dış Yönelme	36
2.2.2. Doğrusallık Şartı	39
2.2.3. Sistematik Hataları Kapsayan Doğrusallık Eşitlikleri	41
2.3. Fotogramtride En Küçük Kareler Dengelemesi	44
2.3.1. İç ve Dış Yönelme Parametreleri ile İlgili Gözlem Eşitlikleri	49
2.3.2. Kontrol Noktaları ile İlgili Gözlem Eşitlikleri	51
2.3.3. Stokastik Model	52
2.3.4. Matematik Modelin Çözümü	56
2.4. Topoğrafik Olmayan Fotogramtride Şartların Kullanımı	58
2.4.1. Kamera Geometrik Şartları	59
2.4.2. Cisim Uzaı Geometrik Şartları	59
2.5. Doğrusallık Koşulu Kullanılarak Uzaı Önden Kestirme	61
2.6. Yüzeıler	63
2.6.1. Küre	64
2.6.2. Elipsoid	65
2.7. Belirli Bir Grup Veri Kümesinden Belirli Yüzeılerin Geçirilmesi	66
2.7.1. Küre Yüzeının Geçirilmesi	66
2.7.2. Elipsoid Yüzeının Geçirilmesi	67
2.7.3. Geçirilen Yüzeılerden Noktaların Üç Koordinat Eksenı Yönündeki Farklarının Bulunması	70
2.8. Deney Düzenegının Tanıtımı	74
2.9. Deneysel Çalışmalarda Yapılan ölçümler ve Hesaplamalar	83

3. BULGULAR

3.1. Elipsoid ve küre yüzeyindeki bulgular	95
4. İRDELEME	118
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	122
7. KAYNAKLAR	125
8. EKLER	129
9. ÖZGEÇMİŞ	169



Ö Z E T

Bu çalışmada, Türk mimarisi ve yapı sanatında çok geniş kullanım alanı olan, kubbe şekillerini temsil eden dönel yüzeylerin jeodezik yöntemlerle belirlenmesindeki zorluklar göz önüne alınarak, yakın resim fotogrametri yöntemleri ile koordinat belirleme doğruluğunun araştırılması amaçlanmıştır. İncelemeler, KTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında kurulan bir deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, farklı çekim uzaklıklarından ve farklı kamera yüksekliklerinden alınan fotoğrafların değerlendirilmesinde, çekim pozisyonlarının, veri işleme yöntemlerinin, veri işleme yöntemlerinde kullanılan ortak nokta sayılarının, hesaplanan yeni nokta koordinatlarının yatay konum ve yükseklik inceliğine etkileri incelenmiştir. 4 farklı pozisyonda çekilen fotoğrafların değerlendirilmesinde, doğrusallık koşulu (collinearity) eşitlikleri, doğrudan lineer dönüşüm (DLT) eşitlikleri ve paralaks eşitlikleri kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerin birbirine göre irdelenmesi yanında, herbir yöntem sonucunda elde edilen fotogrametrik ve jeodezik değerler karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın devamında, doğrusallık koşulu ile veri işlemede, en az sayıda kontrol noktası kullanılarak belirlenen fotogrametrik değerlerden faydalanılarak geçirilen fotogrametrik dönel yüzeylerin, jeodezik ölçülerle saptanan 49 kontrol noktasına dayanılarak geçirilen cisim yüzeylerine en iyi yaklaşan, kontrol nokta dağılımları incelenmiştir.

Doğrusallık koşulu ile çözümde en duyarlıklı sonuçlar elde edilmiştir. Doğrusallık koşulu ve doğrudan lineer dönüşüm yöntemlerinin kullanıldığı çözümlerin her ikisinde de dengelemede kullanılan kontrol noktalarının sayısındaki artış ve uygun kontrol nokta dağılımları ile hesaplanan nokta koordinatlarında iyileşme görülmüştür. Bu iyileşme özellikle Y alım eksenini yönünde daha fazla belirgin olmuştur. Fotogrametrik değerlendirme sonucunda elde edilen koordinatlardan, az sayıda kontrol noktası kullanılarak dönel yüzeylerin geçirilmesinde kontrol noktalarının, yüzeyin belirleyici noktalarında veya belirli aralıklı üç farklı düzlemde seçilmesinin iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Yakın Resim Fotogrametrisi, Dönel Yüzeyler, Doğrusallık Koşulu

S U M M A R Y

Determining Revolution Surfaces Using Close-Range Photogrammetry Methods

In this thesis, the useability of close-range photogrammetry methods in measuring dome structures has been investigated. Dome structures are represented by revolution surfaces which are very difficult to determine using geodetic methods. The experimental work has been carried out in the test field set up at the Geodesy and Photogrammetry Department of Karadeniz Technical University.

The work has been arranged in two stages. In the first stage, using the photographs taken with different camera positions, point coordinates used to determine the revolution surfaces were calculated. The effects of different camera positions, data reduction methods used and the number of control points, to the calculated planimetric and height accuracies of the points have been examined. In the evaluation of the photographs of 4 different camera positions, collinearity, direct linear transformation, and parallax equations were used. The results obtained from different photogrammetrical methods, were compared with respect to each other and with the results of geodetic methods.

In the second stage, using collinearity condition and the least number of control points, the reference point distribution which provide the best fit to the revolution surfaces determined using geodetic methods with 49 reference points has been investigated.

The most accurate results have been obtained with the collinearity solution. In both collinearity and direct linear transformation solutions, increasing the number and optimizing the distribution of control points have improved the accuracy of calculated coordinates. Improvements were noticable especially in the direction of the camera axis. In the case of using the least number of reference points in the photogrammetrical evaluation, selecting the reference points in the characteristic locations of the revolution surfaces or in three different planes with certain distances apart have provided the best results.

Key Words : Close-Range Photogrammetry, Revolution Surfaces, Collinearity Condition

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Eş Düzlemlilik (Coplanarity) koşulu	19
Şekil 2. Yersel fotogrametrinin normal durumu için paralaks eşitlikleri	23
Şekil 3. Çapsal mercek distorsiyonu	31
Şekil 4. Teğetsel mercek distorsiyonunun etkisi	32
Şekil 5. Dış merkezlilik (decentering) distorsiyon miktarını belirleyen parametreler	33
Şekil 6. Koordinat sistemleri ve yöneltme açıları	37
Şekil 7. Dönüklük matrisinde X eksenini etrafındaki ω dönüklüğü	37
Şekil 8. Dönüklük matrisinde Y eksenini etrafındaki ψ dönüklüğü	38
Şekil 9. Dönüklük matrisinde Z eksenini etrafındaki κ dönüklüğü	38
Şekil 10. Cisim uzayı (X, Z, Y) ve görüntü uzayı (x, z) koordinat sistemleri	39
Şekil 11. Elipsoid yüzeyi	65
Şekil 12. y eksenini etrafında döndürülmüş yarım dönelelipsoid	67
Şekil 13. Yüzey oluşumunda çemberlerin diklik koşulunun sağlanmasındaki şema	75

Şekil 14. Elipsoid üzerindeki bir P noktasının konumunu belirleyen parametreler	79
Şekil 15. Küre yüzeyi üzerindeki P noktasını belirleyen parametreler ve yüzeyi oluşturan dairelerin küre merkezinden olan uzaklıkları	80
Şekil 16. Nokta işaretlerinin şekli	81
Şekil 17. Test cisminin çekim yönündeki görünüşü ve işaretli noktalar . .	82
Şekil 18. Cisim uzay sistemi ve resim çekim noktaları	83
Şekil 19. Deney düzeneği üzerindeki işaretli noktaların X koordinatlarının belirlenmesi	84
Şekil 20. Farklı sayılarda seçilen kontrol noktalarının konumları	87
Şekil 21. Yüzey geçirmek için 21 farklı pozisyonda seçilen noktaların konumları	90
Şekil 22. Arazi yüzeyi üzerindeki noktaların fotogrametrik yüzey üzerindeki karşılıkları	91
Şekil 23. Nokta koordinatlarını belirlemek için kullanılan büyüklüklerin gösterimi	93
Şekil 24. Elipsoid yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan $[F_{xx}]$ değerlerinin karşılaştırılması	102
Şekil 25. Elipsoid yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan $[F_{yy}]$ değerlerinin karşılaştırılması	102

Şekil 26. Elipsoid yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan [Fzz] değerlerinin karşılaştırılması	102
Şekil 27. Elipsoid yüzeyi I. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması .	103
Şekil 28. Elipsoid yüzeyi II. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması .	103
Şekil 29. Elipsoid yüzeyi III. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması .	103
Şekil 30. Elipsoid yüzeyi IV. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması .	103
Şekil 31. Küre yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan [Fxx] değerlerinin karşılaştırılması	106
Şekil 32. Küre Yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan [Fyy] değerlerinin karşılaştırılması	106
Şekil 33. Küre yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan [Fzz] değerlerinin karşılaştırılması	106
Şekil 34. Küre yüzeyi I. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması .	107
Şekil 35. Küre yüzeyi II. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması .	107
Şekil 36. Küre yüzeyi III. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması .	107

Şekil 37. Küre yüzeyi IV. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması . . .	107
Resim 1. Çalışma alanının görünüşü	77
Resim 2. Deney düzeneğinin yandan görüntüsü	77
Resim 3. Çemberlerin yüksekliklerinin verildiği çift somun sistemi . . .	78
Resim 4. Çemberlerin yüzey merkezinden uzaklıklarının verilmesinde kullanılan milimetrik ölçü düzeni	78



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.	Elipsoid yüzeyi için çemberlerin yarıçapları ve yüzey merkezinden olan uzaklıkları	80
Tablo 2.	Küre yüzeyi için çemberlerin yarıçapları ve yüzey merkezinden olan uzaklıkları	81
Tablo 3.	Arazi ölçülerinden elipsoid yüzeyindeki noktaların koordinatlarının elde edilmesi	96
Tablo 4.	Arazi ölçülerinden küre yüzeyindeki noktaların koordinatlarının elde edilmesi	97
Tablo 5.	Elipsoid yüzeyi I. uygulama için doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ değerleri	100
Tablo 6.	Elipsoid yüzeyi II. uygulama için doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ değerleri	100
Tablo 7.	Elipsoid yüzeyi III. uygulama için doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ değerleri	101
Tablo 8.	Elipsoid yüzeyi IV. uygulama için doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ değerleri	101

Tablo 9.	Küre yüzeyi I. uygulama için doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ değerleri	104
Tablo 10.	Küre yüzeyi II. uygulama için doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ değerleri	104
Tablo 11.	Küre yüzeyi III. uygulama için doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ değerleri	105
Tablo 12.	Küre yüzeyi IV uygulama için doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ değerleri	105
Tablo 13.	Elipsoid yüzeyi I. uygulama için, cisim yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları	109
Tablo 14.	Elipsoid yüzeyi II. uygulama için, cisim yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları	110
Tablo 15.	Elipsoid yüzeyi III. uygulama için, cisim yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları	111
Tablo 16.	Elipsoid yüzeyi IV. uygulama için, cisim yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları	112
Tablo 17.	Küre yüzeyi I. uygulama için, cisim yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları	113

Tablo 18. Küre yüzeyi II. uygulama için, cisim yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları	114
Tablo 19. Küre yüzeyi III. uygulama için, cisim yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları	115
Tablo 20. Küre yüzeyi IV. uygulama için, cisim yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları	116



SEMBOL LİSTESİ

- x_1, z_1 : P uzay noktasının sol resim koordinatları
- x_2, z_2 : P uzay noktasının sağ resim koordinatları
- P_x : Yatay paralaks
- c : Kamera sabiti
- ΔZ : Sol ve sağ kameralar arasındaki yükseklik farkı
- X_o, Y_o, Z_o : Kamera izdüşüm merkezinin arazi koordinatları
- X, Y, Z : Noktanın arazi koordinatları
- x, z : Noktanın komparatör (görüntü) koordinatları
- v : Görüntü koordinatlarındaki düzeltme vektörü
- δ : Resim dış yöneltme parametreleri için düzeltme vektörü
- δ : Cisim uzayı koordinatları için düzeltme vektörü
- \bar{x}, \bar{y} : Bir noktanın düzeltilmiş resim koordinatları
- x_{as}, y_{as} : Resim asal noktasının resim koordinatları
- λ : Ölçek faktörü
- λ_x, λ_y : İki eksendeki farklı ölçekleri gösteren ölçek faktörleri
- M : Üç eksen etrafındaki dönüklükler ω, ψ, κ nın bir fonksiyonu olarak 3x3'lük dönüklük matrisi
- m_{ij} : Dönüklük matrisi elemanları
- x_o, y_o : Asal (ana) noktanın koordinatları
- $\Delta x, \Delta z$: Görüntü koordinatlarının sistematik hataları
- k_i : Simetrik mercek distorsiyon katsayıları
- P_i : Teğetsel ve simetrik olmayan mercek distorsiyon katsayıları

- r : Asal noktadan olan çapsal uzaklık
- dr : r çapsal mesafedeki simetrik çapsal distorsiyon
- δ_{xd}, δ_{yd} : Teğetsel (decentering) distorsiyon
- A_p, B_p : Ölçek değişimi ve fotoğrafın koordinat eksenlerinin dikliğini tanımlayan parametreler
- Δ : Herbir fotoğraf için distorsiyon parametre düzeltmeleri
- Δ : İç ve dış yöneltme parametreleri için düzeltmeler
- Δ : Kontrol noktaları için düzeltmeler
- a : Kürenin yarıçapı
- b : Elipsoidin küçük eksen

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

"Fotogrametri, fotografik görüntülerin ve yayılan elektromanyetik enerjinin şekillerinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu fiziksel cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgileri ortaya koyan, akustik enerji şekilleri ile manyetik olayların analizini de yapan bir bilim dalıdır" [1] şeklinde tarif edilebilir.

Fotogrametrinin yaygın olarak yapılan sınıflandırılması resim çekim noktasının yerine göre yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırma

- a-) Hava fotogrametrisi
- b-) Yer fotogrametrisi
- c-) Uzaktan algılama

olarak üç grup içerisinde yer alır. Genellikle topoğrafik amaçlar için kullanılan hava fotogrametrisinde havadan alınan resimler kullanılır. Değişik uygulama alanlarında kullanılan yer fotogrametrisinde resim çekim noktası yeryüzünde veya yeryüzüne yakın bir konumdadır. Yer fotogrametrisi ayrıca kendi içerisinde cisme olan uzaklığa bağlı olarak gruplandırılabilir. Gruplandırmada cisim ile kamera arasındaki uzaklık 300 metreden fazla değilse genellikle yakın resim fotogrametrisi terimi kullanılırken, 300 metreden fazla cisim uzaklığı olduğunda yersel fotogrametri olarak adlandırılır [1]. Uzaktan algılama ise fiziksel bir bağlantı olmaksızın cisimlerle ilgili bilgilerin uzaktan toplanması ve sayısal olarak değerlendirilmesi, yorumlanması işlemlerini kapsar.

Yer fotogrametrisinde kullanılan kameralar iki grupta incelenebilir.

- 1-) Tek resim kameraları,
- 2-) Stereo (çift) resim kameraları.

Tek resim kameraları çekim şartlarına göre belirlenen bazın her iki ucunda ayrı ayrı kurulurken, stereo resim kameraları bir boru ile birbirine bağlanırlar. Kameraların arası 40 veya 120 cm dir. Genellikle 40 cm lik bazla bağlanan kameralar 2.5-10 m uzaklıktaki cisimlerin çekiminde, 120 cm lik bazlı kameralar 5-50 m uzaklıktaki cisimlerin çekiminde kullanılır [1].

Herhangi bir fotogrametrik işlem, veri derleme ve veri işleme olarak iki büyük safhada incelenebilir.

Veri derleme; uygun ve gerekli fotoğrafların elde edilmesiyle ilgilidir. Veri derlemede kullanılan araçlar da kameralardır. Ayrıca kameralar taşıdıkları bazı özelliklerle ilgili olarak metrik ve metrik olmayan kameralar şeklinde de gruplandırılabilir. Bu iki grup arasındaki temel fark genellikle iç yöneltmenin kararlılığı ile belirlenir. Metrik kameralar gösterge işaretlerine ve iyi belirlenmiş kalibrasyon verisine sahiptir [2]. Metrik olmayan kameraların ise iç yöneltmesi tamamen veya kısmen bilinmez [3]. Yakın resim fotogrametrisinde metrik ve metrik olmayan kameraların her ikisi de kullanılabilir. Fotogrametrik kameralar ister metrik, isterse metrik olmayan olsun tam kusursuz merceğe sahip değildir [4].

Veri işleme; fotoğraflar üzerindeki geometrik bilgiyi arzu edilen kullanım için uygun bir gösterime dönüştürmedir [5]. Buna bağlı olarak fotogrametrik değerlendirme, fotoğrafı çekilmiş olan cisim veya arazinin, ölçekli plan yada haritasının yapılması veya sayısal değerlerinin elde edilmesidir. Fotogrametride değerlendirme, kullanılmış kameraya ve istenilen sonuca bağlı olarak analog, analitik, yarı analitik ve digital olmak üzere dört genel grup içerisinde ele alınır. Yer fotogrametrisinde analitik değerlendirmenin temeli, komparatorde ölçülen resimlerden elde edilen verilerin istenilen sisteme, örneğin arazi koordinat sistemine dönüştürülmesi sürecidir [6].

Bu çalışmanın amacı, Türk mimarisi ve yapı sanatında çok geniş kullanım alanı olan kubbe şekillerini temsil eden dönele yüzeylerin, yakın fotogrametri yöntemleri ile incelenmesidir. Bu incelemeler, KTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında kurulan, gerçeği yansıtan bir deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Üzerinde işaretli noktaların bulunduğu 7 çemberden oluşan deney düzeneğinde, çember aralıkları değiştirilerek dönele

elipsoid ve küre yüzeyleri oluşturulmuştur. Yüzeyleri oluşturan bu çemberler üzerindeki 49 işaretli nokta çalışmalarda esas alınmıştır. Öncelikle bu noktaların mm duyarlığında jeodezik yöntem ile koordinatları belirlenmiş ve belirlenen jeodezik koordinatlar çalışmalarda baz olarak alınmıştır.

Çalışmada, yakın resim fotogrametrisinde farklı çekim uzaklıklarından ve farklı kamera yüksekliklerinden alınan fotoğrafların değerlendirilmesinde, çekim pozisyonlarının, veri işleme yöntemlerinin, veri işleme yöntemlerinde kullanılan ortak nokta sayılarının, hesaplanan yeni nokta koordinatlarının yatay konum ve yükseklik inceliğine etkileri incelenmiştir. 4 farklı pozisyondan çekilen fotoğrafların değerlendirilmesinde, doğrusallık koşulu (collinearity) eşitlikleri, doğrudan lineer dönüşüm (DLT) eşitlikleri ve paralaks eşitlikleri kullanılmıştır. Herbir yöntem sonucunda elde edilen cisim uzayı koordinatları, jeodezik koordinatları ile ayrıca yöntemler birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada daha sonra, jeodezik işlemleri en az seviyede tutarak, fotogrametrik yöntemle belirlenen koordinatlardan, yine az sayıda kontrol noktasına dayalı olarak geçirilen fotogrametrik yüzeylerin, arazi yüzeyine en iyi yaklaşan kontrol nokta dağılımlarının hangileri olacağı ele alınmıştır.

1.2. Fotogrametrik Probleme Genel Bakış

Genel olarak fotogrametrik problem, kameranın iç ve dış yöneltme parametrelerinin ve ilgili noktaların cisim uzayı koordinatlarının belirlenmesini içerir. Farklı uygulamalar, temel matematik yapı aynı kalacak şekilde bilinen ve bilinmeyen parametrelerin değişik kombinasyonlarından oluşur.

İç yöneltme, iki grup parametre ile ilgilidir. Birinci grup, asal uzaklık ve asal nokta koordinatları gibi kameranın kendi geometrik parametrelerini kapsar. Diğer grup ise ideal matematiksel model ve sistemin fiziksel gerçeği arasındaki değişimler olan değişik sistematik hataları tanımlayan parametreleri içerir. Bu hatalardan bir kısmı, film deformasyonları ve mercek distorsiyonları gibi kameranın özellikleriyle, komparator hataları veya refraksiyon hataları gibi diğer bir kısmı da bütün fotogrametrik sistem ile ilgilidir.

Bir kameranın dış yöneltmesi, bu kameranın bir referans sistemine göre konumunu ve yöneltmesini içerir. İki yada daha çok kameranın dış yöneltmesinin belirlenmesi iki yöntemle yapılabilir. Birinci yöntemde, fotoğrafların yöneltmeleri ve noktaların koordinatları, herhangi bir ara adım kullanmaksızın doğrudan cisim uzayı koordinat sistemine göre belirlenir. Bu eş zamanlı yöneltme " Simultaneous orientation" olarak adlandırılır. Diğer yöntemde, ilk olarak fotoğrafların yöneltmeleri, model koordinat sistemi olarak bilinen keyfi bir koordinat sisteminde üç boyutlu bir stereo model oluşturularak birbirine göre belirlenir. Bu adım karşılıklı yöneltme "relative orientation" diye adlandırılır; ve bir stereo değerlendirme aleti üzerindeki paralaksı yok etme işleminin matematik karşılığıdır. Nokta koordinatları, bu model koordinat sistemine göre belirlenir. Bir sonraki adım cisim uzay sistemi ve model koordinat sistemi arasındaki dönüşümü sağlayan mutlak yöneltme " Absolute orientation " işlemidir. Bu bir üç boyutlu benzerlik dönüşümüdür; ve bir stereo değerlendirme aleti üzerindeki paralaksız ve ölçeklendirilmiş modele eşittir.

Eş zamanlı yöneltme işlemi, doğrusallık (collinearity) koşulu veya doğrudan lineer dönüşüm (DLT) yöntemleri gibi, girdi olarak kontrol noktalarının gerçek cisim uzayı koordinatlarını kullanan herhangi bir yöneltme yöntemi ile başarılabilir. Bu noktalar cisim uzayı sisteminde tanımlandığından dolayı resimlerin yöneltmesi cisim uzayı sistemine göre belirlenir. Eş düzlemlik

(Coplanarity) koşulu kullanımında ise en azından bir stereo modele ihtiyaç duyulur.

Fotogrametrik uygulamalar, bilinen ve bilinmeyen bilgilere göre sınıflandırıldığında, çoğu uygulamalarda dayanak noktalarının kesin koordinat değerleri de başlangıçta bilinmez ve belirlenmesi istenir. Fotoğrafların dış yöneltme büyüklükleri bilinirse, herbir kamerada görüntülenen ışınlar önden kestirilerek nokta koordinatlarına ulaşılır. Bu işlem önden kestirme "Intersection" problemi olarak bilinir ve genellikle stereo kameraların kullanıldığı durumlarda söz konusu olur. Eğer fotoğrafların dış yöneltme parametreleri bilinmezse veya kısmen bilinirse, cisim uzayında koordinatları bilinen yeterli sayıda nokta ile yöneltme parametreleri belirlenebilir. Bu işlem de geriden kestirme "Resection" problemi olarak adlandırılır. Genel problemlerin çoğunda, ne bütün nokta koordinatları, ne de fotoğrafların dış yöneltmeleri bilinir. Bilinen noktalar kullanılarak bir geriden kestirme işlemi yapılır, daha sonra diğer noktaların koordinatları önden kestirme yapılarak çözülebilir. Bu yöntemlerin hepsi farklı matematiksel modeller kullanılarak oluşturulabilir [7].

1.3. Yakın Resim Fotogrametrisi

Fotogrametrinin ilk uygulamalarının yer fotogrametrisinde olduğu bilinmektedir. Ancak yirminci yüzyıl başlarından itibaren duyulan ihtiyaçlar doğrultusunda, fotogrametri topoğrafik-kartoğrafik yönde ilerlemeler göstermiştir. Günümüzde ise yakın resim fotogrametrisi uygulamaları, uygun veri derleme ve indirgeme sistemlerinin gelişmesi ile özellikle mimarlık, mühendislik ve endüstri alanlarında yaygın uygulama olanakları bulmuştur.

Yakın resim fotogrametrisinde cisim ile çekim kamerası arasındaki uzaklık için kesin birşey söylemek mümkün değildir. [1]'e göre bu uzaklığın üst sınırı 300 m ye kadar varabildiği halde [8]'de bu değer 100 m olarak kabul edilmektedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak, resim çekme makinalarındaki gelişmeler ile üst ve alt sınırların değişim göstermesi tabiidir. Yakın resim fotogrametrisinde uygulanan teknikler verilerin derlenme ve değerlendirme yöntemlerine bağlıdır. Veri derlemede metrik kameralar yanında metrik olmayan kameraların kullanımı da söz konusu olan yakın resim fotogrametrisinde, veri işleme ise çoğunlukla çeşitli analitik çözüm yolları ile gerçekleştirilir.

Analitik çözümler; doğrusallık, eş düzlemlik eşitlikleri, paralaks eşitlikleri ve doğrudan liner dönüşüm eşitlikleri gibi çeşitli eşitliklere dayanan yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Bunlardan en yaygın olanı, hava fotogrametrisinde de kullanılan doğrusallık eşitliklerine dayalı demet dengeleme yöntemidir. Yakın resim fotogrametrisinde verilerin elde edildiği sistem ile verilerin işlendiği sistem birbirlerini karşılıklı olarak etkiler. Bu sistemlerin amacına uygun bir biçimde çalışabilmesi için dikkat edilmesi gereken noktalar, problemin tam ve doğru olarak çözümü yanında yeterli inceliğe sahip ve ekonomik olmasıdır.

Türkiyede fotogrametri topoğrafik harita ve planların üretiminde bir geçmişe sahip olmasına karşın, yakın resim alanındaki uygulamalar oldukça yeni sayılır. İlk uygulamalar mimarlık fotogrametrisi alanında olmuş ve 1967 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi bünyesinde fotogrametri merkezinin kurulması ile başlamıştır. Yakın resim fotogrametrisi alanında en yaygın uygulamalara mimarlık fotogrametrisi alanında rastlanmaktadır [9]. Mimarlık fotogrametrisi alanındaki çalışmalara örnek bir çalışma, 1976 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi öğretim elemanları tarafından yapılmış olan Balmumcu Seniye Sultan köşkünün fotogrametrik rölövesidir [10].

Türkiyede yer fotogrametrisi çalışması yapan uygulamalı kuruluşlar arasında Elektrik İşleri Etüd idaresi ile Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden söz edilebilir. Elektrik İşleri Etüd İdaresi baraj ve santral alanlarının 1/1000 ölçekli haritalarının yapımında, Devlet Su İşleride yine baraj alanlarının haritasının yapımında genellikle yersel fotogrametri yöntemlerini kullanmışlardır [1].

1.3.1. Bu Konuda Yapılan Çalışmalar

Başlangıcı, fotogrametri başlangıcı ile eşdeğer olan yakın resim fotogrametrisinin gelişimi konusunda ANSON, ROSENFELD, ATKINSON, AYTAÇ, CORBONNELL gibi birçok yazar tarafından bilgi verildiği [8]'de belirtilmiştir. Bunun yanında [11]'in II. ci bölümünde, [5]'in XVI bölümünde bu konu ile ilgili geniş bilgiler yer almaktadır. Yakın resim fotogrametrisi ile ilgili çalışmalar geniş bir çerçevede bugüne kadar ele alınmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

KENEFIC (1971) [12], çalışmasında 100 m çaplı paraboloid antenin fotogrametrik ölçülmesi sırasında yapılan presizyon araştırmalarından bahsetmektedir. KARARA ve ABDEL-AZIZ (1974) [13] de, Direkt Lineer Transformasyon (DLT) yönteminde film deformasyonları ve mercek distorsiyonlarının matematik modellenmesini ele almıştır. Ayrıca dört metrik olmayan kamera ve bir metrik kamera ile yakın mesafede elde edilen doğruluklar deneylerle gösterilmiş; ve bu çözüm için cisim uzayında gerekli olan optimum kontrol nokta sayısı belirlenmiştir. Illinois Üniversitesinde geliştirilen DLT çözümü kalp kapakcıklarının geometrisi ve bir model yüzey alanının belirlenmesi projelerinde yine KARARA (1975) [14] tarafından kullanılmıştır.

Yakın resim fotogrametrik sistemlerinin kalibrasyonu için, cisim uzayı kontrolü ve eş düzlemlik (Coplanarity) şartı kullanılarak metrik olmayan yakın resim kameralarının self kalibrasyonu için bir analitik yöntem FAIG, 1976 [15] tarafından tanıtılmıştır. Bu yöntemde, iki yatay ve üç düşey kontrol noktaları kullanılarak minimum kontrol ile işlem yapılmıştır. Kontrolde gerçek uyumun minimum kontrol kullanıldığında bir dereceye kadar zayıf olduğu, bununla birlikte 10 kontrol noktası ile hem yatay konumda, hemde yükseklikte mükemmel bir uyum elde edildiği belirtilmiştir. Resim sayısının dörtten fazla olduğu durumlarda işlemlerin ekonomik olmadığı vurgulanmıştır.

Analitik yakın resim fotogrametrisindeki doğruluk araştırmaları ile ilgili bir başka çalışma HOTTIER (1976) [16] tarafından yapılmıştır. Çalışmada doğruluk ve presizyon üzerinde, fazla ölçülerin, sistemin geometrik karakterlerinin (baz-cisim uzaklık oranı, kamera eksen yakınsaması, kontrol noktalarının konumu ve sayısı) etkileri ve metrik olmayan kameraların doğrulukları incelenmiştir.

New Brunswick Üniversitesinde, self kalibrasyon ile analitiksel fotogrametrik bir sistem MONIWA (1977) [17] Doktora tezinde araştırılmıştır. Bu araştırmada metrik olmayan kameralar için bir analitik self kalibrasyon sistemi, temel iç yöneltme elemanları ile birlikte fotoğrafların afinite hataları, çapsal simetrik ve teğetsel (decentering) distorsiyonları gibi kalibrasyonun mümkün olan bütün şartları ele alınmıştır. Burada minimum kontrol ile işlem yapmanın daha çok iterasyon gerektirdiği gerekçesiyle en ekonomik yol olmadığı gösterilmiştir. Geliştirilen sistemde herhangi bir bilinmeyen parametre, matematik modelde

serbestce seçildiğinden dolayı bu sistem hava ve metrik olmayan yakın resim fotogrametrisi için kullanılmıştır.

Demet dengelemesi ile ilgili olarak GRANSHAW, 1980 [18] yaptığı çalışma ile çoklu istasyon fotoğrafları kullanımının sonuç doğrulukları üzerindeki etkilerini araştırmış, sonuçlarda çoklu çekim geometrisinin her bir yönde oldukça homojen presizyon sağladığı gösterilmiştir. Stereo çift resim geometrisi ile özel noktalar için belirli koordinatlardaki presizyonun çoklu istasyon durumlarından daha kötü olmamasına rağmen üç koordinat arasındaki farkın büyük olduğu gösterilmiştir. Ayrıca bir stereo çift ile yapılan araştırmada kontrol noktası kullanılmayan durum ile dokuz kontrol noktası kullanılan dengeleme sonucunda iç doğruluk presizyonu karşılaştırılmıştır. Bu iki deney de, kontrol noktası kullanıldığında Y koordinatın (derinlik) da iç presizyondaki ilerleme çok büyük olmamasına karşın X ve Z koordinatlarında çarpıcı ilerlemeler olduğu, ayrıca kamera parametrelerinde de presizyon ilerlemesinin çok olduğu gösterilmiştir.

ALTAN, 1980 [19] da, metrik kamera kullanılan bir fotogrametrik kontrol ölçüsünde, demet metodu ve 11 parametrelili çözüm arasındaki karşılaştırmayı amaçlayan bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada hem yöneltme hemde çekim ortamında kalibrasyon (on the job) çözümünden elde edilmiş maksimum ortalama değerin 3 cm den daha az olduğu, ortalama cisim uzaklığının %0 0.08 ine eşit olan bir artış ile çekim ortamında kalibrasyon durumu için bu değerin yaklaşık olarak 1 cm'ye kadar azaldığı gösterilmiştir. HADEM, 1981 [20] endüstri fotogrametrisinde demet dengelemesi, gemi inşaatındaki uygulamaları ile ele alınmıştır. Yakın resim fotogrametrisinde presizyonun optimizasyonu için, FRASER, 1982 [21] minimum sınırlandırılmış self kalibrasyon dengelemesindeki presizyonun optimizasyonunu incelemiştir. PAPO, 1982 [22] de yakın resim fotogrametrisindeki serbest ağ analizi için temel prensipler incelenmiş ve örnekler verilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda presizyonlu ölçümler ve serbest ağ dengeleme teknikleri ile yakın resim fotogrametrisi, mühendislik problemlerinin geniş bir alanına uygulanabilen güçlü bir araç olduğu ve serbest ağ dengeleme artıklarının kesin modellenmemiş sistematik etkilerini en iyi açığa çıkardığı vurgulanmıştır.

Yakın resim fotogrametrisinde ışın demetleri ile yapılan bir başka çalışmada, deneysel olarak deformasyonların fotogrametrik yöntemle incelenmesi ve duyarlık

araştırması O. ALTAN, 1984 [23] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada 5 resimlik bir düzen ile deformasyon incelenmesi yapılmış ve sonuç olarak 30^e lık yakınsama açısı ile yapılan alımlarda açık bir duyarlık kazancı sağlandığı ve 8 kontrol noktasından sonra incelik derecesinde önemli bir artış sağlanmadığı gösterilmiştir. Kiriş ve kabuk deneyleri ile ilgili deformasyon ölçmelerinde çeşitli fotogrametrik yöntemler denenmiş ve bunların karşılaştırılması G. TOZ, 1985 [8] doktora çalışmasında incelenmiştir. S. KÜLÜR, 1985 [24] doktora tezinde, ışın demetleri ile fotogrametrik nokta belirlenmesinde, fotogrametrik ölçümlerin fotogrametrik olmayan ölçümlerle birlikte dengelenmesini incelemiştir. ALTAN, 1986 [25] yakın resim fotogrametrik uygulamaları için bir fotogrametrik değerlendirme aletinde grid düzlemi kullanılarak, yaklaşık 200 noktayı içeren çok hasas bir test alanı kurulmuştur. Bu test alanının farklı kamera istasyonlarından metrik kamera ile fotoğrafları alınmıştır. Kontrol nokta sayısı ve kontrol nokta grupları derinliğinin ortalama cisim uzaklığına oranı ile ilgili doğruluk sonuçları incelenmiştir. En uzun derinliğe sahip pas noktaları ile ilgili uygulamanın en duyarlı sonuçları verdiği çalışmalarda gösterilmiştir. Ayrıca pas noktası sayısının 6 noktadan fazla artışı doğrulukta her bir yönde önemli bir ilerleme getirmediği gösterilmiştir.

FRASER, 1986 [26] yayınında mikrodalga anten reflektörlerinin ölçümlerinde analitik fotogrametrinin uygulanması ve bu konu ile ilgili daha önceki yıllarda yapılan çalışmaları ele almıştır. Araştırmada yakın resim fotogrametrik sistemlerindeki gelişmeler, büyük formatlı kameralar ve otomatik komparatörler ile anten ölçümlerinin ekonomikliğı ve doğruluğunun arttığı belirtilmiştir. Yine yakın resim fotogrametrik ağ dizaynı ile ilgili bir çalışma FRASER, 1987 tarafından [27] de verilmiştir. Ayrıca topoğrafik olmayan fotogrametrik ağların optimizasyonu üzerine FRASER, 1989 [28] bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada optimizasyon işleminde, ağın başlangıç değişimleri ile cisim nokta presizyonundaki değişimler, görüntüleme geometrisi, baz/uzaklık oranı, kamera istasyonlarının sayısı, çoklu çekimler, kontrol noktası sayısı, görüntü ölçeğı ve odak uzaklığı, self kalibrasyon parametreleri gibi faktörlerin etkileri incelenmiştir.

KOCAMAN, 1988 [29] doktora çalışmasında, yersel fotogrametride normal durumda yer kontrol noktalarının model üzerindeki değişik dağılımlarını incelemiştir. Bu dağılımların sonucu ne şekilde etkilediğı araştırılmış ve kontrol

noktalarının en iyi dağılım şekli belirlenmeye çalışılmıştır. Burada özellikle modele dağılmış tepesi baz tarafında tabanı bazdan uzak, baza paralel ve y eksenine göre simetrik noktaların oluşturduğu üçgen şeklinde dağılmış nokta gruplarındaki hata dağılımının en uygun olduğu gösterilmiştir.

Bugüne kadar mühendislik ve endüstrideki önemli çalışmalarla ilgili örnekler (Bu alanlar inşaat, geoteknik, maden, hidrolik mühendisliği, mimarlık ve arkeolojik kayıtlar, laboratuvar ve model testleri, mekanik, havacılık, otomobil, deniz mühendisliği uygulamaları) D.M. STRLIG 1990 [30] tarafından verilmiştir.

Metrik olmayan fotoğraflardan doğrusallık modeli kullanılarak veri işleme yaklaşımı O. MÜFTÜOĞLU, 1993 [31] çalışmasında verilmiştir. Çalışmada DLT yöntemine alternatif olarak, lineer olmayan doğrusallık şartı en küçük kareler tahmini (Marquardt, 1963) doğrusal olmayan parametrelerin en küçük kareler tahmini için bir algoritma tekniğine dayandırılarak yapılmıştır. Test alanındaki uygulamalar DLT yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

1.4. Yakın Resim Fotogrametrisindeki Kalibrasyon Yaklaşımları

Kalibrasyon, veri edinme ve ölçme sistemleri için kullanılan bir kavramdır. Kamera kalibrasyonunun amacı, çekilen fotoğraf üzerindeki noktaların iki boyutlu ölçümlerinden poz anında kameraya girmiş olan ışın demetlerinin tam geometrisinin yeniden oluşturulabilmesidir. Değişik bir anlatımla kalibrasyon, bir kameranın iç projektif geometrisini tanımlayan bağımsız parametreleri tanımlamak için kullanılır. Bu amaçla kamerada projektif geometrinin özelliklerini tanımlamak için uygun bir referans sistemi kurulmuş olmalıdır. Kabul edilmiş bir referans sistemi asal nokta ve asal uzaklığın konumuna dayandırılır. Bunlar çoğunlukla temel iç yöneltme parametreleri olarak adlandırılır. Fotogrametrik uygulamaların büyük bir kısmı için bir kameranın iç projektif geometrisi matematiksel olarak bir merkezi izdüşüm şeklinde gösterilir. Merkezi izdüşümden herhangi bir sapma distorsiyon olarak ifade edilir. Buna bağlı olarak kalibrasyon işlemi, cisim uzayındaki ışın demetini düzeltmek için gerekli olan temel iç yöneltmeyi ve distorsiyonları tanımlamayı içerir [17].

Kalibrasyon yaklaşımları çok genel olarak tam analitik ve laboratuvar tipi olarak iki tip içerisinde yer alırlar. Laboratuvar tipi değerlendirme gonimeter,

kolimator, multikolimator vb. kullanılarak optiksel laboratuvar ölçümleri veya yıldız (stellar) kalibrasyonda olduğu gibi iyi belirlenmiş test alanlarını gerektirir. Laboratuvar metodları çoğunlukla, optiksel ve mekanik sınırlamalardan dolayı genelde sonsuzda sabitleşmiş bir odak için asal nokta, asal uzaklık ve çapsal distorsiyon gibi kalibrasyon parametrelerinin sınırlandırılmış bir sayısını kapsar. Buna karşı analitik yöntemlerin kullanılmasıyla, herhangi bir bilinmeyen kalibrasyon parametresi matematiksel olarak modellenmiş olabilir. Böylece analitik yaklaşım genelde, kameranın yakında sonlu (finite) mesafede veya sonsuzda (infinite) odaklanması önemsenmeden kalibrasyon için çok daha presizyonlu bir değerlendirmeye izin verir.

Fotogrametrik ölçümlerdeki doğruluk ihtiyaçlarına bağlı olarak, değişik karmaşıklık derecesinde yakın resim kameralarının iç yöneltmesini tanımlamak için kullanılmış olan birkaç yaklaşım mevcuttur. İç yöneltmenin kararlılığı ve mevcut dış bilgilere (cisim uzayı kontrolü, kamera konumları vb.) bağlı olarak kalibrasyon üç genel metod ile gerçekleştirilebilir. Bunlar laboratuvar, çekim ortamında (On the job) ve Self kalibrasyon yöntemleridir [4].

Hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında, yakın yer fotogrametrisi için kullanılan kameralar çoğunlukla sonlu uzaklığa ayarlanmış olduklarından özellikle hava fotogrametrisi için geliştirilmiş optiksel laboratuvar metodları kameraların kalibrasyonu için uygun değildir [5].

1.4.1. Laboratuvar Kalibrasyonu

Laboratuvar kalibrasyonu, bir laboratuvar veya test alanında alışılmış kalibrasyon yaklaşımlarını içerir. Bu tür kalibrasyon genellikle çekimler arasında kararlı iç yöneltmeye sahip metrik kameralar için kullanılır. Bugüne kadar hava fotoğraflarının büyük bir bölümünü kalibre etmekte klasik işlem laboratuvar ve alan metodlarını kullanmak olmuştur [17].

Sonsuza odaklanmış metrik topoğrafik olmayan kameralar bir optiksel laboratuvar ortamında sınırlı da olsa kalibre edilebilirler; ancak çoğunlukla bu teknikler presizyonlu metrik kameralar için kullanılır. Bu kalibrasyon işleminde genellikle kalibrasyon obje resminden bağımsız olarak yapılır. Optiksel laboratuvar metodları, bir hareketli Gonimeter veya bir dizi sabit

Kolimatorlerdeki mercekler içerisinde geçirilmiş olan ışınların konum ve yönlerinin presizyonlu bilgisine dayandırılır. Kolimator metodunda görüntü düzlemi ile yayılan ışınların kesişmeleri ardışık olarak ölçülür. Bu kalibrasyon tekniğinin doğruluğu hedef kolimatorlerin bilinen geometrisine ve görüntülerin doğruluk ölçümlerine bağlıdır. Gonimeter tekniği için görüntü düzleminde yer alan bir presizyonlu gridden görüntünün taşınan yönleri bir hareketli gonimeter yardımı ile merceğin cisim tarafından gözlenir. Kalibrasyon doğruluğu grid düzleminin bilinen geometrisi ve gonimeterin konumlandırma doğruluğu ile ilgilidir [4].

Pahalı laboratuvar aletleri gerektirmeyen alan kalibrasyon yaklaşımları, kamera istasyonuna hem yakında hemde uzakta konumlandırılmış iyi belirlenmiş hedefler kullanılır. Laboratuvar kalibrasyonu içerisinde yer alan test alanı kalibrasyonu, yaklaşık üç veya dört düzlemde koordinatları doğrulukla bilinen hedefleri içerir. Test alanları çoğunlukla üç boyutlu karelerde olurlar ancak basit düzlemsel hedef dizileride kullanılmış olabilir. Bununla beraber düzlemsel hedef alanları iç yöneltme parametrelerinin bazılarının iyileşmesine engel olabilir. Bu şekilde oluşturulacak test alanlarının kurulması için masraflar gerektiği gibi, daha sonraki aşamalarda bakım, koruma problemleri vardır. Bu tür alanlardaki hedef sayısının çokluğu çok daha presizyonlu kamera kalibrasyon sonuçlarını verebilir. Alan kalibrasyon yöntemleri içerisinde yer alan tekniklerden biri analitiksel düşey doğru (plub-line) tekniğidir. Bu yöntemde kalibrasyon sadece çapsal ve teğetsel (decentering) distorsiyon parametreleri için yapılır. Bir diğeri çok duyarlıklı alan kalibrasyonu, yıldız (stellar) kalibrasyonu olarak bilinen kalibrasyon, yıldız fotoğrafları ile kurulur. Kamera kalibrasyonu için hedefler, konumları çoğunlukla mevcut olan yıldız katalogları yardımı ile presizyonlu bir şekilde belirlenmiş olan uygun sayıdaki yıldızlardır. Bu yöntemin matematiksel modelinin temel şekli olan geometrik şart, genelde doğrusallık şartı (collinearity) olarak ifade edilir. Yöntem sadece sonsuzda odaklanmış metrik kameraların kalibrasyonu için uygundur.

Alan kalibrasyon metodlarında, teorik olarak iç yöneltmenin $c, x_0, y_0, k_1, k_2, k_3, p_1, p_2$ 8 parametresini, kameranın uzaysal konumunu belirleyen X_0, Y_0, Z_0 ve üç yöneltme açısını kapsayan 6 dış yöneltme parametrelerini içeren bilinmeyenleri tanımlamak için sadece 7 hedef kullanmak mümkün olabilir. Bununla birlikte $c, x_0, y_0,$ ile X_0, Y_0, Z_0 parametreleri

arasındaki yüksek dereceli korelasyon bulunduğundan dolayı bir düzlemdeki düzenli hedeflerden güvenilir bir sonuç elde edilemez [4].

Laboratuvar kalibrasyonu için matematiksel formüller, doğrusallık eşitlikleri, sistem kalibrasyonu için geçerli olan distorsiyonlar ve diğer bozucu etkilerin matematik modellerini içeren eşitlikler en küçük kareler çözümü için temel olarak kullanılır. Daha güçlü bir çözüm sağlamak için birçok istasyondan çoklu fotoğraflar alınarak kalibrasyon gerçekleştirilebilir.

1.4.2. Çekim Ortamında (On the Job) Kalibrasyon

Çekim ortamında kalibrasyon yaklaşımları metrik olmayan kamera kullanımının artması ile geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda cisim fotoğrafı kullanarak tam bir kalibrasyon oluşturmak için, cisim etrafında uygun sayıda iyi kontrol edilmiş cisim uzayı kontrolü gerekir. Cisim uzayı kontrol noktalarının kalitesi ve miktarı, ölçme ve veri indirgemenin her ikisi üzerinde de doğrudan bir etkiye sahiptir [17]. Ayrıca görüntünün iç yöneltme kararsızlığının etkisi yok edilerek, gerçek görüntülerin iç yöneltme elemanları diğer bilinmeyenler ile aynı çözümde belirlendiğinden dolayı bu kalibrasyon özellikle metrik olmayan kameralar için uygundur. Yakın resim fotogrametrisinde sıklıkla resim ölçeği 1:10 veya daha büyük seçilir. Bunun anlamı resim ölçeğinde 10 µm, objede 0.1 mm'yi gösterir. Kontrol için alışılmış ölçme işlemleri ile incelik sağlamak ve başarmak zaman alıcıdır ve çoğunlukla bir laboratuvar test alanının korunması da zordur. Bu kalibrasyonun matematik formülasyonu da genellikle laboratuvar kalibrasyonuna benzer [15].

1971'de Abdel Aziz ve Karara tarafından geliştirilmiş DLT (Direct linear transformation) doğrudan lineer dönüşüm yaklaşımı çekim ortamında kalibrasyonun özel bir şeklidir. Bu yöntemde kalibrasyon parametreleri çözümden kesin olarak elde edilemezken, matematik model, temel iç yöneltme ve film distorsiyonlarını içerir. DLT metodu, komparator koordinatlarından cisim uzayı koordinatları içine doğrudan dönüşüm kavramına dayandırılır. Bundan dolayı ana nokta bulucusu bulunmayan metrik olmayan kameralardan alınan fotoğraflar için çok uygundur. Çözümde bilinmeyenlerin minimum sayısı 11 dir. Ancak bu sayı ilave bilinmeyenlerin hesap içine alınması ile artırılabilir [14].

1.4.3. Self Kalibrasyon

Kalibrasyon, labaratuvar ve sistem kalibrasyonunda sadece verilen kontrol noktaları ile yapılırken bu yaklaşımda bütün görüntü noktaları, parametrelerin tanımlanmasına katkıda bulunur [32]. Self kalibrasyon gerçek cisim değerlendirmesi hariç mutlak kontrol bilgisine ihtiyaç olmadan bilinmeyen cisim noktalarına dayandırılır [17].

Matematik olarak ifadesi, çapsal ve teğetsel mercek distorsiyon eşitliklerinin eklenmesiyle genişletilmiş doğrusallık (collinearity) veya eş düzlemlilik (coplanarity) eşitliklerini içerir. Self kalibrasyon için doğrusallık eşitliklerinin kullanılması durumunda temel formüller,

$$x_{ij} - x_o + \frac{(x_{ij} - x_p)}{r} \delta r + \delta x_d = c_x \frac{(X_j - X_{oi})m_{11} + (Y_j - Y_{oi})m_{12} + (Z_j - Z_{oi})m_{13}}{(X_j - X_{oi})m_{31} + (Y_j - Y_{oi})m_{32} + (Z_j - Z_{oi})m_{33}} \quad (1)$$

$$y_{ij} - y_o + \frac{(y_{ij} - y_p)}{r} \delta r + \delta y_d = c_y \frac{(X_j - X_{oi})m_{21} + (Y_j - Y_{oi})m_{22} + (Z_j - Z_{oi})m_{23}}{(X_j - X_{oi})m_{31} + (Y_j - Y_{oi})m_{32} + (Z_j - Z_{oi})m_{33}}$$

şeklinde verilmiştir [4]. Buradaki alt indisler;

- o : İzdüşüm merkezi,
- i : i. fotoğraf,
- j : j. cisim noktası,

dır. c_x ve c_y sırasıyla x_{ij} ve y_{ij} gözlenmiş görüntü koordinatlarının kullanımından geliştirilmiş asal uzaklıktır. Çoğunlukla bu iki terim ortak bir c değerine eşit olabilmesi için basitleştirilmiş olabilir. δr çapsal (radyal) distorsiyonunu, δx_d , δy_d teğetsel (decentering) distorsiyonları, m_{11}, \dots, m_{33} üç dönme açısının doğrultu kosinüslerini içeren ortogonal yönlendirme matrisinin elemanlarını, r görüntü düzlemindeki çapsal uzaklığı gösterir. Ayrıca X_{oi}, Y_{oi} ve Z_{oi} i fotoğrafı için izdüşüm merkezinin cisim uzayı koordinatları ve X_j, Y_j ve Z_j cisim noktasının koordinatlarıdır.

Self kalibrasyon tekniğinde ilginç bir gelişme, karışık veya demet dengelemesinde ekstra bilinmeyen parametreleri kapsayacak şekilde ilave parametreleri içerir. İlave parametreler x , y 'nin yüksek dereceden bir polinom fonksiyonu şeklinde ifade edilebilir. Kilpela (1980) ve Ziemann, El-Hakim (1982) ve Murai (1984) tarafından havasal ve topoğrafik olmayan ağlar için bu ilave parametrelerin etkileri incelenmiştir. İlave parametrelerdeki terimlerin çoğunun fiziksel anlamı tam, kesin olmamasına rağmen örnek olarak Brown tarafından önerilmiş ilave parametreler grubu,

$$\begin{aligned} dx = & a_1 x + a_2 y + a_3 xy + a_4 y^2 + a_5 x^2 y + a_6 xy^2 + a_7 x^2 y^2 \\ & + \frac{x}{c} [a_{13}(x^2 - y^2) + a_{14} x^2 y^2 + a_{15}(x^4 - y^4)] \\ & + x(a_{16} r^2 + a_{17} r^4 + a_{18} r^6) + a_{19} + a_{21} \frac{x}{c} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} dy = & a_8 xy + a_9 x^2 + a_{10} x^2 y + a_{11} xy^2 + a_{12} x^2 y^2 \\ & + \frac{y}{c} [a_{13}(x^2 - y^2) + a_{14} x^2 y^2 + a_{15}(x^4 - y^4)] \\ & + y(a_{16} r^2 + a_{17} r^4 + a_{18} r^6) + a_{20} + a_{21} \frac{y}{c} \end{aligned}$$

şeklinde gösterilmiştir. Buradaki dx , dy görüntü distorsiyonlarının x , y bileşenleridir. Çoklu istasyon fototriangulasyon dengelemesi durumunda, çok yüksek dereceli ilave parametrelerin kullanımının doğruluk ve presizyonda bir seri bozulma gösterdiği Fraser (1982) tarafından gösterilmiştir [4].

Eğer dış şartlar altında oldukça kararlı bir metrik kamera kullanılmışsa, herbir fotoğraf için bu ilave parametrelerin değişmediği varsayılır. Bu tip dengeleme genellikle değişmez blok (block invariant) veya kolon olarak adlandırılır. Değişmez blok yaklaşımının bir uygulaması 1972 de Kölbl tarafından üç konvergent fotoğraf kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde herhangi bir cisim uzayı kontrolüne gerek duyulmadan, temel iç yöneltmeyi belirlemek için eş düzlemlilik koşulu (coplanarity condition) kullanılmıştır. Daha sonra bu model simetrik çapsal, teğetsel ve asimetric mercek distorsiyonlarını kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Bununla beraber, metrik olmayan kameralar kullanıldığı zaman bu parametrelerin çekimden çekime değiştiği kabul edilir ve böyle yaklaşımlar ise değişen resim (photo-variant) yaklaşımı olarak isimlendirilir [2].

1.5. Yakın Resim Fotogrametrisinde Analitik Veri İşleme Yöntemleri

1.5.1. Doğrusallık Eşitlikleri (Collinearity Equation)

Fotogrametrik işlemlerde herbir ışını tanımlamak için, iki doğrusallık eşitliği kullanılarak bütün ışınların tam bir matematik modeli oluşturulabilir. Bu eşitliklerde cisim uzayı noktalarının koordinatları, görüntünün alındığı kameranın yöneltme elemanları ve konumunun koordinatları, ayrıca kameranın iç yöneltme elemanları parametre olarak; noktanın görüntü koordinatları ise gözlemler olarak ele alınır. Daha sonraki bölümlerde geniş olarak üzerinde durulacak olan bu eşitlikler,

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -c \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ y - y_0 &= -c \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (3)$$

formülleri ile ifade edilir [5], [33], [34]. Eşitlikler doğrusal olmadıklarından en küçük kareler çözümünde kullanılmadan önce doğrusallaştırılmış olmalıdır. Bir fotogrametrik blok için model matris gösterimi,

$$v + B\delta + B\delta = \varepsilon \quad (4)$$

şekinde belirtilebilir. Burada;

- v : Görüntü koordinatlarındaki düzeltme vektörü,
- δ : Resmin dış yöneltme parametreleri için düzeltme vektörü,
- δ : Cisim uzayı koordinatları için düzeltme vektörünü,

gösterir.

Veri işlemede bu eşitliklere gözlem eşitlikleri ilave edilebilir. Genel bir matematik çözümde, gözlem eşitlikleri,

Gözlem eşitlikleri	Ölçme türleri
$\dot{v} + \dot{B}\delta + \dot{B}\delta = \dot{\varepsilon}$	Resim koordinatları
$\dot{v} - \dot{\delta} = \dot{\varepsilon}$	Dış yöneltme parametreleri
$\dot{v} - \dot{\delta} = \dot{\varepsilon}$	Arazi kontrol koordinatları (5)
$v_{\beta} + G_{\beta}\delta + G_{\beta}\delta = C_{\beta}$	Açılar
$v_{\alpha} + G_{\alpha}\delta + G_{\alpha}\delta = C_{\alpha}$	Azimutlar
$v_s + G_s\delta + G_s\delta = C_s$	Mesafeler

türlerini kapsayabilir. Bütün matematik model basit olarak,

$$\bar{v} + \bar{B}\delta = \bar{C} \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

$$\delta = \begin{bmatrix} \delta \\ \delta \\ \delta \end{bmatrix} \quad (7)$$

olarak ifade edilir. En küçük kareler çözümü için normal denklemler,

$$[\bar{B}^T \bar{W} \bar{B}] \delta = \bar{B}^T \bar{W} \bar{C} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada \bar{W} ağırlık matrisidir. Çözüm, eşitlikler lineer bir yapıda olmadığından dolayı ardışık bir işlem gerektirir. İterasyon δ ve δ matrislerindeki düzeltmeler yeterince küçük olduğu zaman durdurulur. Fotogrametrik problemin bu şekilde formüle edilmesi, modelin yöneltmesi ve ölçeklendirilmesinde kullanılmış kontrol türleri üzerinde ve ölçülerin ağırlıklandırılmasında tam bir esneklik sağlar [35].

Doğrusallık (Collinearity) şartına göre yapılacak dengelemenin özelliği gereği, dengelemenin başlangıcında bilinmeyenlerin yaklaşık değerlerinin

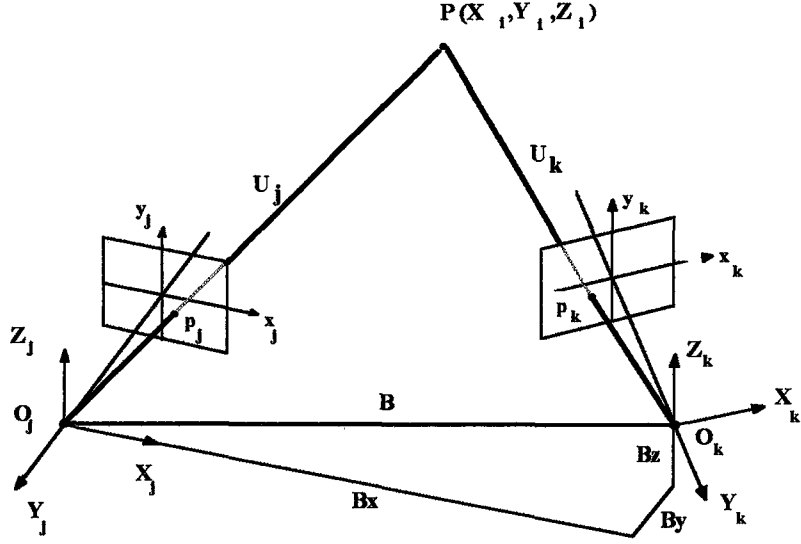
bilinmesi gerekir. Matematik model, fonksiyonel ve stokastik model olarak ele alınabilir. Gerçek bir fiziksel olayı deterministik ifadelerle tanımlayan yöntemlere fonksiyonel model denir. Fonksiyonel modelde, optik izdüşüm sırasındaki fiziksel olaylar merkezi izdüşüm kuralları ile ifade edilebilir. Distorsiyon, film deformasyonu, ışık kırılması vb. merkezi izdüşüme göre meydana gelebilecek sapmaların tümü bu model içerisinde yer alabilir. Stokastik model ise, fonksiyonel modelin herbir elemanına stokastik bir özelliğin bağlanması ile ilgilidir.

Sonuçta önemli olan fonksiyonel ve stokastik modelin beraberce fiziksel olayları arzu edilen presizyon derecesinde tanımlamalarıdır. Bu durumda fonksiyonel modelin hangi elemanlarının normal dağılıma sahip olduğu, hangilerinin sabit veya serbest bilinmeyen olarak alındığı belirtilmelidir [36].

Doğrusallık eşitliklerini esas alan demet dengelemesinin en büyük özelliklerinden birisi, matematik modelin kolayca genişletilebilmesidir. Bu genişletilebilme olanağı sayesinde ek parametreler, yardımcı ölçmeler ve ölçme değerleri için çeşitli parametreler dengeleme hesabına girebilmektedir. Buna karşılık resim koordinatlarının ölçülmesinde 1-2 μm doğruluk derecesi ile ölçüm yapabilen komparatörlerin kullanılması gerekmektedir.

1.5.2. Eş düzlemlik Eşitliği (Coplanarity Equation)

Doğrusallık (collinearity) eşitliği herbir fotoğrafın ayrı ayrı yöneltmesi ile ilgili olmasına karşın, en azından bir çift fotoğrafın olmasını gerektiren fotogrametrinin önemli bir diğer eşitliği eş düzlemlik eşitliğidir. Bu eşitlik birden fazla fotoğrafta yer alan aynı noktanın cisim noktasından herbir görüntüye giden görüntü ışınlarının bir düzlem içerisinde yer aldığı görüşüne dayanır. Bir stereomodel düşünüldüğünde iki görüntü noktası, iki izdüşüm merkezi ve cisim noktasının hepsi bir düzlem içerisinde ve eş düzlemlik eşitliğinde matematik olarak bu ifade edilir.



Şekil 1. Eş düzlemlilik (Coplanarity) koşulu

Şekil 1.'e göre eş düzlemlilik şartının geometrisi, iki izdüşüm merkezi arasındaki B baz vektörü ve aynı cisim noktası için iki cisim ışın vektörleri U_j ve U_k dan belirlenebilir. Analitik olarak bu vektörler herhangi bir çift j ve k fotoğrafları için,

$$B = \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{o_j} - X_{o_k} \\ Y_{o_j} - Y_{o_k} \\ Z_{o_j} - Z_{o_k} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$U_j = \begin{bmatrix} U_{x_j} \\ U_{y_j} \\ U_{z_j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i - X_{o_j} \\ Y_i - Y_{o_j} \\ Z_i - Z_{o_j} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$U_k = \begin{bmatrix} U_{x_k} \\ U_{y_k} \\ U_{z_k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i - X_{o_k} \\ Y_i - Y_{o_k} \\ Z_i - Z_{o_k} \end{bmatrix} \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. Cisim uzayı koordinat sistemine göre fotoğraf eksenlerinin açılmal yöneltmesini tanımlayan M dönüklük matrisinin eklenmesiyle, U_j ve U_k vektörleri görüntü koordinatları ve λ ölçek faktörü ile ifadesi,

$$U_j = \begin{bmatrix} U_{x_j} \\ U_{y_j} \\ U_{z_j} \end{bmatrix} = \lambda_{ij} M_j^T \begin{bmatrix} x_{ij} - x_{o_j} \\ y_{ij} - y_{o_j} \\ -c_j \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$U_k = \begin{bmatrix} U_{x_k} \\ U_{y_k} \\ U_{z_k} \end{bmatrix} = \lambda_{ik} M_k^T \begin{bmatrix} x_{ik} - x_{o_k} \\ y_{ik} - y_{o_k} \\ -c_k \end{bmatrix} \quad (13)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eş düzlemlik eşitliğinin determinant şeklindeki ifadesi,

$$H = \begin{vmatrix} B_x & U_{x_j} & U_{x_k} \\ B_y & U_{y_j} & U_{y_k} \\ B_z & U_{z_j} & U_{z_k} \end{vmatrix} = \lambda_{ij} \lambda_{ik} \begin{vmatrix} B_x & u_{x_j} & u_{x_k} \\ B_y & u_{y_j} & u_{y_k} \\ B_z & u_{z_j} & u_{z_k} \end{vmatrix} = 0 \quad (14)$$

olarak yazılabilir. Burada,

$$\begin{bmatrix} u_{x_j} \\ u_{y_j} \\ u_{z_j} \end{bmatrix} = M_j^T \begin{bmatrix} x_{ij} - x_{o_j} \\ y_{ij} - y_{o_j} \\ -c_j \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} u_{x_k} \\ u_{y_k} \\ u_{z_k} \end{bmatrix} = M_k^T \begin{bmatrix} x_{ik} - x_{o_k} \\ y_{ik} - y_{o_k} \\ -c_k \end{bmatrix} \quad (16)$$

şeklinde dir. Görüntü distorsiyon parametreleri eşitlikleri (15), (16) içerisinde konulduğunda,

$$\begin{bmatrix} u_{x_j} \\ u_{y_j} \\ u_{z_j} \end{bmatrix} = M_j^T \begin{bmatrix} (x_{ij} - x_{o_j}) + dr_{x_j} + dp_{x_j} + dq_{x_j} \\ (y_{ij} - y_{o_j}) + dr_{y_j} + dp_{y_j} + dq_{y_j} \\ -c_j \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} u_{x_k} \\ u_{y_k} \\ u_{z_k} \end{bmatrix} = M_k^T \begin{bmatrix} (x_{ik} - x_{o_k}) + dr_{x_k} + dp_{x_k} + dq_{x_k} \\ (y_{ik} - y_{o_k}) + dr_{y_k} + dp_{y_k} + dq_{y_k} \\ -c_k \end{bmatrix} \quad (18)$$

şeklinde yazılabilir. Genişletilmiş eş düzlemlik eşitliği,

$$\begin{aligned} H = & (X_{o_j} - X_{o_k})(u_{y_j} u_{z_k} - u_{z_j} u_{y_k}) - (Y_{o_j} - Y_{o_k})(u_{x_j} u_{z_k} - u_{z_j} u_{x_k}) \\ & + (Z_{o_j} - Z_{o_k})(u_{x_j} u_{y_k} - u_{y_j} u_{x_k}) = 0 \end{aligned} \quad (19)$$

olarak sonuçlanabilir. Cisim uzayındaki noktaların X_i, Y_i, Z_i koordinatları yukarıdaki (19) eşitliğinde yer almadığından dolayı, bu şekli ile eş düzlemlik eşitliği tam bir kalibrasyon sistemi için uygun değildir [17]. Bu nedenle bu eşitliğe kontrol ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile cisim noktalarının referans konumlarını içeren ilave eşitlikler eklenebilir. Bu ilave şart eşitlikleri λ_{ij} ve λ_{ik} ölçek faktörleri yardımıyla belirlenebilir. i noktasının cisim uzayı koordinatları j ve k fotoğraf çifti için ayrı olarak ifade edilmiş olduğu varsayılarak,

$$\begin{bmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \\ Z_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{o_j} \\ Y_{o_j} \\ Z_{o_j} \end{bmatrix} + \lambda_{ij} \begin{bmatrix} u_{x_j} \\ u_{y_j} \\ u_{z_j} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\begin{bmatrix} X_{ik} \\ Y_{ik} \\ Z_{ik} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{o_k} \\ Y_{o_k} \\ Z_{o_k} \end{bmatrix} + \lambda_{ik} \begin{bmatrix} u_{x_k} \\ u_{y_k} \\ u_{z_k} \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir. Eş düzlemlik eşitliği,

$$D = (X_{ij} - X_{ik})^2 + (Y_{ij} - Y_{ik})^2 + (Z_{ij} - Z_{ik})^2 = \min \quad (21)$$

şeklindeki bir ilişki ile tamamlanır. İki ölçek faktörleri λ_{ij} ve λ_{ik} minimum şart yardımı ile,

$$\partial D / \partial \lambda_{ij} = 0 \quad (22)$$

$$\partial D / \partial \lambda_{ik} = 0$$

belirlenmiş olur. Buradan,

$$(u_{x_j}^2 + u_{y_j}^2 + u_{z_j}^2) \lambda_{ij} - (u_{x_j} u_{x_k} + u_{y_j} u_{y_k} + u_{z_j} u_{z_k}) \lambda_{ik} = (B_x u_{x_j} + B_y u_{y_j} + B_z u_{z_j}) \quad (23)$$

$$(u_{x_j} u_{x_k} + u_{y_j} u_{y_k} + u_{z_j} u_{z_k}) \lambda_{ij} - (u_{x_k}^2 + u_{y_k}^2 + u_{z_k}^2) \lambda_{ik} = (B_x u_{x_k} + B_y u_{y_k} + B_z u_{z_k})$$

eşitliği yazılabilir. Burada B_x , B_y , B_z (9) eşitliğinde tanımlandığı gibidir.

(23) eşitlikleri j ve k bir fotoğraf çifti için kontrol sınırlamasında kullanılmış olan λ_{ij} ve λ_{ik} için çözülür. Örnek olarak j fotoğrafı için,

$$\begin{aligned} C_x &= X_{g_i} - X_{o_j} - \lambda_{ij} u_{x_j} = 0 \\ C_y &= Y_{g_i} - Y_{o_j} - \lambda_{ij} u_{y_j} = 0 \\ C_z &= Z_{g_i} - Z_{o_j} - \lambda_{ij} u_{z_j} = 0 \end{aligned} \quad (24)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$X_{g_i}, Y_{g_i}, Z_{g_i}$: i kontrol noktasının koordinatları,

$X_{o_j}, Y_{o_j}, Z_{o_j}$: j fotoğrafının izdüşüm merkezinin koordinatları,

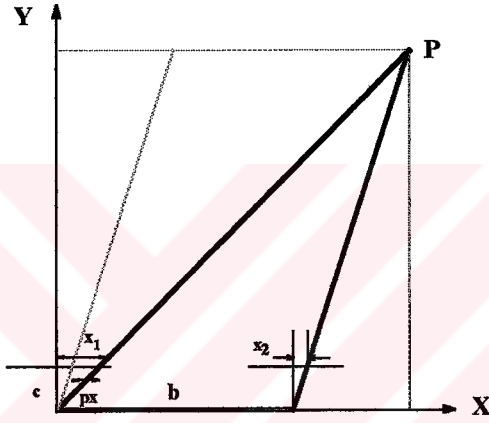
dır. Benzer eşitlikler (24) eşitliğinde j indisi yerine k indisi konularak k fotoğrafı için yazılabilir [17].

En az iki fotoğrafı gerektiren eş düzlemlik koşulu ayrıca aynı kontrol noktalarını içeren ilave fotoğrafları kapsayabilir. Veri işleme yöntemi olarak

kullanılırken, Kölbl tarafından formüle edildiği gibi ilave ölçekleme koşulları ve isteğe bağlı olarak genişletilmiş eş düzlemlik eşitliklerini gerektirir.

1.5.3 Paralaks Eşitlikleri

Sabit bazlı ve sabit açılı metrik kameraların kullanıldığı durumlarda çoğunlukla paralaks eşitlikleri kullanılır. Paralaks eşitlikleri, bilinen açılar ve baz mesafesi tayin edilerek izdüşüm (Collinearity) eşitliklerinden geliştirilebilir. Sabit bazlı bir kamera, arazi yatay, kameralar paralel iken sabit bazlı bir kameranın kurulması durumu Şekil 2.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Yersel fotogrametrinin normal durumu için paralaks eşitlikleri

Yersel fotogrametri için görüntü koordinatlar cinsinden izdüşüm (collinearity) denklemleri,

$$\begin{bmatrix} x_p - x_o \\ z_p - z_o \\ c \end{bmatrix} = \lambda M \begin{bmatrix} X_p - X_o \\ Z_p - Z_o \\ Y_p - Y_o \end{bmatrix} \quad (25)$$

şeklinde, arazi koordinatları cinsinde,

$$\begin{bmatrix} X_p - X_o \\ Z_p - Z_o \\ Y_p - Y_o \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} M^T \begin{bmatrix} x_p - x_o \\ z_p - z_o \\ c \end{bmatrix} \quad (26)$$

ifadesiyle gösterilebilir. Alım eksenini olan üçüncü eksene göre eşitlikler düzenlenip ölçek faktörü yok edilebilir; ayrıca sabit bazlı stereo kameralarda ek bir düzen olmadıkça $\kappa=0$ ve $\omega=0$ sadece belirli bir φ dönmesi mevcut olabilir. Bu takdirde izdüşüm denklemleri,

$$\begin{aligned}\frac{X - X_0}{Y - Y_0} &= \frac{x \cos \varphi - c \sin \varphi}{x \sin \varphi + c \cos \varphi} \\ \frac{Z - Z_0}{Y - Y_0} &= \frac{z}{x \sin \varphi + c \cos \varphi}\end{aligned}\quad (27)$$

olarak basitleştirilebilir [1].

Eğer $\varphi=0$ olarak alınırsa, Şekil 2. yardımıyla resim koordinatları,

$$\begin{aligned}x_1 &= c \frac{X - X_0}{Y - Y_0} & x_2 &= c \left[\frac{(X - X_0) - b}{(Y - Y_0)} \right] \\ z_1 &= c \frac{(Z - Z_0)}{(Y - Y_0)} & z_2 &= c \frac{(Z - Z_0)}{(Y - Y_0)}\end{aligned}\quad (28)$$

x_1, z_1, x_2, z_2 eşitlikleri ile yazılabilir. Yatay paralaks $P_x = x_1 - x_2$ olarak tanımlanır ve sol kameranın izdüşüm merkezi koordinat başlangıcı olarak alınırsa, bu eşitliklerden P uzay noktasının X, Y, Z arazi koordinatları,

$$\begin{aligned}Y - Y_0 &= \frac{bc}{P_x} \\ X - X_0 &= (Y - Y_0) \frac{x_1}{c} = \frac{b x_1}{P_x} \\ X - X_0 &= b + (Y - Y_0) \frac{x_2}{c} = b + \frac{b x_2}{P_x} \\ Z - Z_0 &= (Y - Y_0) \frac{z_1}{c} = \frac{b z_1}{P_x} \\ Z - Z_0 &= \Delta Z + (Y - Y_0) \frac{z_2}{c} = \Delta Z + \frac{b z_2}{P_x}\end{aligned}\quad (29)$$

ifadeleri ile elde edilir.

- x_1, z_1 : P uzay noktasının sol resim koordinatları,
 x_2, z_2 : P uzay noktasının sağ resim koordinatları,
 $P_x = x_1 - x_2$: Yatay paralaks,
 c : Kamera sabiti,
 X_0, Y_0, Z_0 : Sol kameranın çekim noktasının arazi koordinatları,
 ΔZ : Sol ve sağ kameralar arasındaki yükseklik farkıdır.

Stereo resim kameraları kullanıldığında, kamera sabitleri tam olarak aynı değerde olmazlar. Böyle çekim kameralarının farklı olması durumunda, sol kameranın kamera sabiti c_1 , sağ kameranın kamera sabiti c_2 , olarak alınırsa çekim koordinatları aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenebilir [1].

$$\begin{aligned} Y - Y_0 &= b \cdot c_1 \frac{1}{x_1 - x_2 \frac{c_1}{c_2}} = b \frac{c_1 \cdot c_2}{x_1 c_2 - x_2 c_1} \\ X - X_0 &= (Y - Y_0) \frac{x_1}{c_1} = b \frac{x_1 \cdot c_2}{x_1 c_2 - x_2 c_1} \\ X - X_0 &= b + (Y - Y_0) \frac{x_2}{c_2} \\ Z - Z_0 &= (Y - Y_0) \frac{z_1}{c_1} \\ Z - Z_0 &= \Delta Z + (Y - Y_0) \frac{z_2}{c_2} \end{aligned} \quad (30)$$

1.5.4. Doğrudan Lineer Dönüşüm (DLT)

Analitik yöneltme işlemini ifade eden bir formülasyon, daha önce bahsedildiği gibi Abdel Aziz ve Karara tarafından önerilmiş doğrudan lineer dönüşüm yöntemidir [14]. Bu yöntemin başlıca avantajları, çözümde kalibre edilmiş bir kameraya veya kamerada gösterge işaretlerine gerek duyulmaması, ayrıca bilinmeyen parametreler için başlangıç değerlerine ihtiyaç göstermemesidir. Eşitlikler ile, komparator koordinat sisteminden görüntü uzayına bir dönüşüm gerekmeden, komparator koordinatlarından doğrudan cisim uzayı koordinatlarına ulaşılır. Doğrudan lineer dönüşüm yönteminin matematik olarak ifadesi, (3) eşitliklerinde verilen doğrusallık koşulu eşitliklerine dayandırılır. Bu eşitlikler matris gösterimle,

$$\begin{bmatrix} \bar{x} - x_{as} \\ \bar{y} - y_{as} \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_o \\ Y - Y_o \\ Z - Z_o \end{bmatrix} \quad (31)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

- \bar{x}, \bar{y} : Bir noktanın düzeltilmiş resim koordinatları,
 x_{as}, y_{as} : Resim asal noktasının resim koordinatları,
 c : Kamera asal uzaklığı,
 λ : Ölçek faktörü,
 m_{ij} : Dönüklük matrisi elemanları,
 X, Y, Z : Noktanın arazi koordinatları,
 X_o, Y_o, Z_o : Kamera izdüşüm merkezinin arazi koordinatlarıdır.

Resim koordinat sisteminin, komparator koordinat sistemine paralel olduğu varsayımı ile dönüşüm ve düzeltme formülleri,

$$\begin{aligned} \bar{x} - x_{as} &= \lambda_x (x + \Delta x - x_o) \\ \bar{y} - y_{as} &= \lambda_y (y + \Delta y - y_o) \end{aligned} \quad (32)$$

olarak yazılabilir. Burada,

- λ_x, λ_y : İki eksenindeki farklı ölçekleri gösteren ölçek faktörleri,
 x_o, y_o : Komparator koordinat sistemine aktarılan asal noktanın koordinatları,
 $\Delta x, \Delta y$: Görüntü koordinatlardaki sistematik hatalar,

dır. (31) ve (32) eşitliklerinde gerekli düzenlemeler yapılırsa sol taraflarının birbirine eşit olduğu görülebilir. Buradan her iki eşitliğin sağ tarafları birbirine eşitlenirse eşitlik,

$$\begin{aligned} x + \Delta x - x_o &= -c_x \frac{m_{11}(X - X_o) + m_{12}(Y - Y_o) + m_{13}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)} \\ y + \Delta y - y_o &= -c_y \frac{m_{21}(X - X_o) + m_{22}(Y - Y_o) + m_{23}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)} \end{aligned} \quad (33)$$

şeklinde yazılabilir. Burada x ve y komparator koordinat sistemindeki görüntü koordinatlarını, Δx ve Δy görüntü koordinatlarının sistematik hatalarını, x_o , y_o komparator koordinat sistemindeki asal noktanın koordinatlarını ve c_x , c_y de x ve y yönündeki asal uzaklığı temsil eder. Komparator koordinat sisteminden görüntü koordinat sistemine dönüşümde afin ölçeklendirme kullanıldığından dolayı x ve y koordinat yönlerinde farklı asal uzaklıklar olur. Bir takım kabuller ve düzenlemeler ile (33) eşitliği,

$$\begin{aligned}x + \Delta x &= \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \\y + \Delta y &= \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}\end{aligned}\quad (34)$$

şeklinde ifade edilebilir. Sistematik hatalar,

$$\begin{aligned}\Delta x &= x' (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + P_1 (r^2 + 2x'^2) + 2P_2 x' y' \\ \Delta y &= y' (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + P_2 (r^2 + 2y'^2) + 2P_1 x' y'\end{aligned}\quad (35)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

$$\begin{aligned}x' &= x - x_o \\ y' &= y - y_o \\ r^2 &= x'^2 + y'^2\end{aligned}\quad (36)$$

k_i : Simetrik mercek distorsiyon katsayılarını,

P_i : Simetrik olmayan mercek distorsiyon katsayılarını gösterir.

(34) eşitliğinde yer alan 11 parametrenin içeriği,

$$L = -(m_{31} X_o + m_{32} Y_o + m_{33} Z_o)$$

$$L_1 = (x_o m_{31} - c_x m_{11}) / L$$

$$L_2 = (x_o m_{32} - c_x m_{12}) / L$$

$$\begin{aligned} L_3 &= (x_o m_{33} - c_x m_{13})/L \\ L_4 &= x_o + c_x(m_{11}X_o + m_{12}Y_o + m_{13}Z_o)/L \\ L_5 &= (y_o m_{31} - c_y m_{21})/L \\ L_6 &= (y_o m_{32} - c_y m_{22})/L \\ L_7 &= (y_o m_{33} - c_y m_{23})/L \\ L_8 &= y_o + c_y(m_{21}X_o + m_{22}Y_o + m_{23}Z_o)/L \\ L_9 &= m_{31}/L \\ L_{10} &= m_{32}/L \\ L_{11} &= m_{33}/L \end{aligned} \quad (37)$$

şeklinde verilmiştir [14]. Bu eşitliklerin çözümünde iki farklı yaklaşım söz konusu olabilir.

a -) Direkt yaklaşım

Eğer cisim uzayındaki nokta koordinatlarının hepsi bilinir ve hatasız olduğu varsayılırsa; ayrıca simetrik çapsal mercek distorsiyonunun sadece ilk terimi kullanılırsa, bu takdirde (34) eşitliği,

$$\begin{aligned} L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4 - xXL_9 - xYL_{10} - xZL_{11} - xk_1r^2A - x &= rx \\ L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8 - yXL_9 - yYL_{10} - yZL_{11} - yk_1r^2A - y &= ry \end{aligned} \quad (38)$$

şeklinde düzenlenebilir. Burada A,

$$A = L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1 \quad (39)$$

şeklinde ifade edilir. (38) eşitliği bilinmeyen parametrelere göre düzenlendiğinde,

$$\begin{bmatrix} rx \\ ry \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -X & -Y & -Z & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & xX & xY & xZ & xr^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -X & -Y & -Z & -1 & yX & yY & yZ & yr^2 \end{bmatrix} L + \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = 0 \quad (40)$$

$$L = [L_1 \ L_2 \ L_3 \ \dots \ L_{11} \ k_1]^T \quad (41)$$

şeklinde gösterilebilir. En az 6 kontrol noktası L matrisindeki 12 bilinmeyen tek anlamlı çözümü için gereklidir.

b -) İteratif yaklaşım

Bu yaklaşımda, komparatorde ölçülmüş koordinatlardaki küçük rasgele hatalar V_x ve V_y ile gösterilir ve k_1 mercek distorsiyonununda V_x, V_y nin etkileri ihmal edilirse, (34) eşitlikleri,

$$V_x - \frac{X}{A}L_1 - \frac{Y}{A}L_2 - \frac{Z}{A}L_3 - \frac{1}{A}L_4 + \frac{xX}{A}L_9 + \frac{xY}{A}L_{10} + \frac{xZ}{A}L_{11} + xr^2k_1 + \frac{X}{A} = 0 \quad (42)$$

$$V_y - \frac{X}{A}L_5 - \frac{Y}{A}L_6 - \frac{Z}{A}L_7 - \frac{1}{A}L_8 + \frac{yX}{A}L_9 + \frac{yY}{A}L_{10} + \frac{yZ}{A}L_{11} + yr^2k_1 + \frac{Y}{A} = 0$$

$$A = L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1$$

şeklindeki bağıntılar ile ifade edilebilir. Eşitlikler doğrusal olmadıklarından önce doğrusallaştırılmalı ve ardışık en küçük kareler çözümü iteratif olarak yapılmalıdır. DLT yaklaşımında cisim uzayı kontrol noktaları iyi dağıtılmış olmalı ayrıca bütün cisim uzayı kontrol noktalarının bir düzlemde olmasından kaçınılmalıdır [5].

Arzu edilirse kamera parametreleri DLT parametrelerinden,

$$L = -1/\sqrt{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)}$$

$$x_o = (L_1L_9 + L_2L_{10} + L_3L_{11})L^2$$

$$y_o = (L_5L_9 + L_6L_{10} + L_7L_{11})L^2$$

(43)

$$c_x = \sqrt{[(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)L^2 - x_o^2]}$$

$$c_y = \sqrt{[(L_5^2 + L_6^2 + L_7^2)L^2 - y_o^2]}$$

$$\varphi = \sin^{-1}(L_9L)$$

$$\omega = \tan^{-1}\left[-\frac{L_{10}}{L_{11}}\right]$$

$$m_{11} = L(x_oL_9 - L_1)/c_x$$

$$\kappa = \cos^{-1}(m_{11})/\cos\varphi$$

şeklinde elde edilebilir [7].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Matematik Model

2.1.1. Sistemik Hatalar

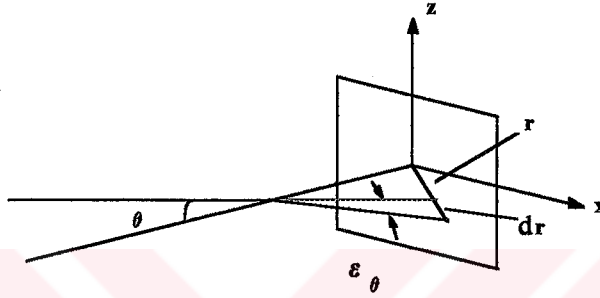
Görüntü verisinin analitik olarak işlenmesinde birinci adım görüntünün sistemik hatalarını düzeltmektir. Sistemik hatalar, modelleme işlemi için seçilmiş matematik modelden fiziksel görüntülemenin sapmalarıdır. Bu sapmalar, kendi matematik modelleri yardımıyla belirlenebilir. Örneğin; Doğrusallık (collinearity) koşulu, cisim noktasından gelen ve mercek sistemi içerisinde geçerek görüntü noktasına ulaşan ışının bir doğru olduğu varsayımına dayandırılır. Teorik olarak gerçek bu olmasına karşı, herhangi bir mercek sistemi bu varsayımı geçersiz yapan distorsiyonlara sahiptir. Cisimden gelen ışın, atmosfer (veya su) içerisinde ortamın yoğunluğundaki değişiklikler ile kırılır. Işın merceğe vardığında mercek distorsiyonuna uğrar daha sonra görüntü düzlemine ulaşır. Ayrıca görüntü banyo sırasında da değişikliklere uğramış olabilir.

2.1.1.1. Mercek Distorsiyonu

Mercek distorsiyonu, cisimden gelen ışının mercek sisteminden geçerken geliş doğrultusundan sapması olarak düşünülebilir. Mercek analizini basitleştirmek için mükemmel durum düşünülür ve bu durumdan sapmalar distorsiyon olarak ele alınır. Mercek distorsiyonu olarak adlandırılan ışın yolunun sapması, kameraların birden fazla mercekten oluşan bir sisteme sahip olmalarından ve yapım hatalarından kaynaklanır. Merceklerin yapılmasında veya montajındaki herhangi bir kusur uygun olmayan bir görüntüleme geometrisiyle sonuçlanır.

Mercek distorsiyonları genellikle çapsal (radyal) distorsiyon ve teğetsel (decentering) distorsiyon olarak iki tipe ayrılır. Kameranın asal noktasından

itibaren görüntü noktalarının konumu, çapsal yönde çapsal distorsiyondan etkilenir. Çapsal distorsiyon, çapsal uzaklığın bir fonksiyonu olduğundan ve asal nokta etrafındaki herhangi bir açıda aynı değerde olduğundan dolayı ayrıca simetrik distorsiyon olarak da bilinir. Simetrik çapsal distorsiyon çoğunlukla, görüntü düzlemindeki bir merkezi referans noktasından ölçülmüş çapsal mesafenin fonksiyonu olan güç serileri yardımı ile modellenenir. Mercek sisteminin izdüşüm özelliklerine bağlı olarak asal nokta ile çakışan veya çakışmayan bu referans noktası simetri noktası olarak adlandırılır [37].



Şekil 3. Çapsal mercek distorsiyonu

Simetrik çapsal distorsiyon için kabul edilmiş bir genel model, küresel mercek hatasını tanımlayan sinüs eğrisinden çıkartılmış olan çift üstlü bir polinom,

$$dr = k_2 r^2 + k_4 r^4 + k_6 r^6 + \dots \quad (44)$$

eşitliği yardımı ile ifade edilebilir. Çift üstlü polinomsal model genişçe kullanılmasına rağmen tek üstlü ve tam üstlü,

$$\begin{aligned} dr &= k_1 r + k_3 r^3 + k_5 r^5 + \dots \\ dr &= k_1 r + k_2 r^2 + k_3 r^3 + \dots \end{aligned} \quad (45)$$

şeklindeki polinomsal modellerde uygulamalarda kullanılmıştır. Burada,

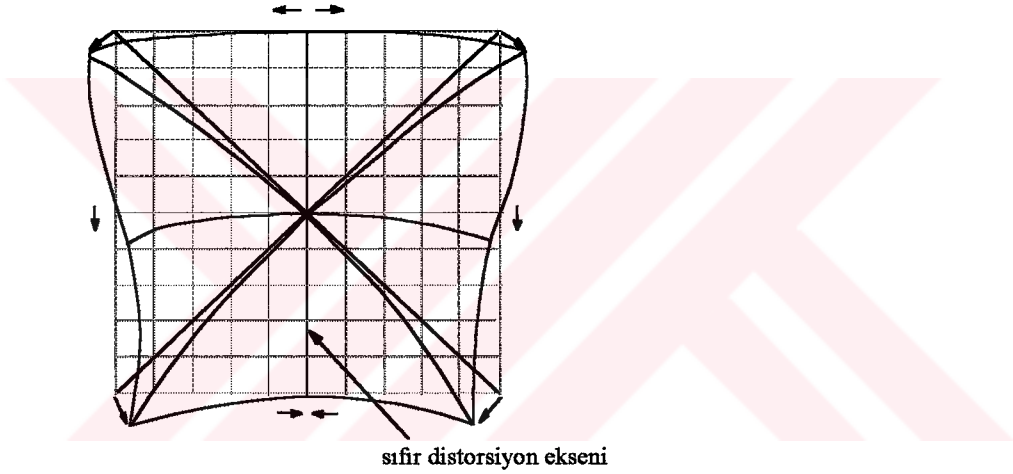
dr : r çapsal mesafedeki simetrik çapsal distorsiyonu,
 k_1, k_2, \dots, k_6 : Polinomun bilinmeyen katsayılarını,

gösterir. Bunlardan başka ortogonal polinomların lineer kombinasyonları da,

$$dr = k_1 p_1(r) + k_2 p_2(r) + k_3 p_3(r) + \dots \quad (46)$$
$$p_i(r) \cdot p_j(r) = 0$$

şeklinde bazı uygulamalarda kullanılmıştır [17]. Burada $p_i(r)$ r çapsal mesafede hesaplanmış i dereceli ortagonal polinomu gösterir.

Teğetsel ve çapsal simetrik olmayan bileşenlere sahip olan teğetsel (decentering) distorsiyon mercek yapım hatalarından kaynaklanır. Bu distorsiyon görüntünün değişik yönlerde yer değiştirmesine sebep olur. Teğetsel (decentering) distorsiyonu hem teğetsel hemde çapsal simetrik olmayan bileşeni içerdiğinden dolayı, çapsal (radyal) distorsiyondan çok daha karmaşık bir problemdir.

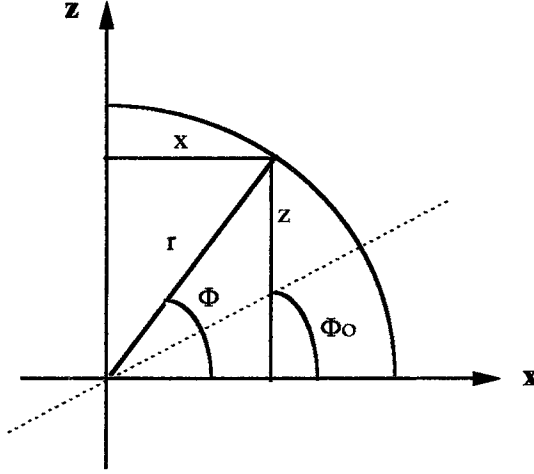


Şekil 4. Teğetsel mercek distorsiyonunun etkisi

Teğetsel (decentering) distorsiyonu için (1966) Brown tarafından verilmiş, çok yaygın kullanılan modelin çapsal ve teğetsel bileşenleri,

$$\delta r = 3 P \sin (\Phi - \Phi_0)$$
$$\delta t = P \cos (\Phi - \Phi_0) \quad (47)$$

şeklinde gösterilmiştir [7]. Burada P, noktanın çapsal mesafedeki teğetsel distorsiyon kesitinin değeri; Φ_0 , x görüntü eksenini ve maximum teğetsel distorsiyon eksenini arasındaki açı; ve Φ , x görüntü eksenini ve asal nokta ile ilgili noktayı birleştiren doğru arasındaki açıdır.



Şekil 5. Teğetsel distorsiyon miktarını belirleyen parametreler [7]

Bu ifadeler teğetsel (decentering) distorsiyonun x ve y bileşenleri için,

$$\begin{aligned} dp_x &= \left[P_1 \left\{ r^2 + 2(x - x_0)^2 \right\} + 2P_2 (x - x_0)(y - y_0) \right] \left[1 + P_3 r^2 + P_4 r^4 + \dots \right] \\ dp_z &= \left[P_2 \left\{ r^2 + 2(y - y_0)^2 \right\} + 2P_1 (x - x_0)(y - y_0) \right] \left[1 + P_3 r^2 + P_4 r^4 + \dots \right] \end{aligned} \quad (48)$$

şeklinde düzenlenebilir. Burada,

- P_1, \dots, P_4 : Bilinmeyen katsayılar
- x_0, y_0 : Asal noktanın koordinatları
- x, y : Bir noktanın görüntü koordinatları
- r : Asal noktadan olan çapsal mesafedir.

2.1.1.2. Film Deformasyonu

Film deformasyonu, kusurlu film düzleştirme, optik eksenin film düzlemine dik olmaması ve ölçme aletlerindeki sistematik hatalar gibi birçok dış faktörlerin etkisiyle oluşur.

Film deformasyonunu ifade eden en basit matematiksel model, x ve y koordinat eksenleri arasındaki diklik şartını ve düzgün doğrusal (lineer) ölçek

değişimini karşılamak için kullanılmış olan bir afin eşitliğini içerir. Eşitlik matris gösterimi ile,

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin(\alpha + \beta) \\ -\sin\alpha & \cos(\alpha + \beta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda x & 0 \\ 0 & \lambda y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \end{bmatrix} \quad (49)$$

şeklinde ifade edilebilir [17]. Burada,

x, y : Ölçülmüş görüntü koordinatları,

x', y' : Düzeltmiş resim koordinatları,

x_t, y_t : x ve y yönündeki ötelemeler,

α : x - y sisteminin dönüklüğü,

β : x ve y eksenleri arasındaki dik olmama,

$\lambda x, \lambda y$: x ve y eksenleri için ölçek faktörüdür.

(49) eşitliği,

$$\begin{aligned} x' &= a_1 + a_2 x + a_3 y \\ y' &= a_4 + a_5 x + a_6 y \end{aligned} \quad (50)$$

şeklinde bir genel afin dönüşüm şeklinde sonuçlanabilir. Yukardaki eşitlikler sadece gösterge işaretleri ile donanmış kameralara uygulanabilir. Gösterge işaretleri olmayan görüntü koordinat sistemleri için (49) eşitliği,

$$\begin{bmatrix} x' - x_0 \\ y' - y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\beta \\ 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda x & 0 \\ 0 & \lambda y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix} \quad (51)$$

şekil içerisine dönüştürülebilir. Burada x_0, y_0 komparator koordinat sistemine göre asal noktanın koordinatlarıdır. Koordinat ekseninin α dönüklüğü dış yöneltmenin κ dönüklüğü ile karşılandığından dolayı sıfır alınabilir [17].

Görüntü düzeltmesi koordinat farkları yardımıyla,

$$\begin{aligned} dq_x &= x' - x = (\lambda x - 1)(x - x_0) + (\lambda y \sin\beta)(y - y_0) \\ dq_y &= y' - y = (\lambda y \cos\beta - 1)(y - y_0) \end{aligned} \quad (52)$$

şeklinde gösterilebilir. λy ölçek faktörü x-ekseni boyunca birim ölçek alınırsa (yani $\lambda x=1$), (52) eşitliğindeki afinite hata modeli genelliğini kaybetmeksizin,

$$\begin{aligned} dq_x &= A_p (y - y_o) \\ dq_y &= B_p (y - y_o) \end{aligned} \quad (53)$$

basit bir şekle indirgenebilir. Burada,

$$\begin{aligned} A_p &= \lambda y \cdot \sin \beta \\ B_p &= \lambda y \cdot \cos \beta - 1 \\ \beta &= \tan^{-1} \left[\frac{A_p}{B_p + 1} \right] \end{aligned} \quad (54)$$

$$\lambda y = \sqrt{A_p^2 + (B_p + 1)^2}$$

olarak alınabilir. Koordinat eksenleri arasındaki dik olmama β ihmal edilebilirse (yani $\beta=0$) (51) eşitliği ayrıca,

$$\begin{aligned} x' - x_o &= \lambda x (x - x_o) \\ y' - y_o &= \lambda y (y - y_o) \end{aligned} \quad (55)$$

şeklinde basitleştirilmiş olur.

Yukarda bahsedilmiş afin hata modelleri, fotogrametrik filmin düzgün boyutsal değişimlerini karşılar. Bununla beraber farklı yönlerde düzensiz boyutsal değişim gösteren düzgün olmayan distorsiyonlar düşüncesi pratikte önemlidir. Böyle distorsiyonların düzeltmeleri çoğunlukla uygun bir ağ yardımı ile başarılabilir. Ağın asıl fonksiyonu onun bilinen konumları ile film üzerindeki üstün kaliteli ağ görüntülerini karşılaştırılarak düzensiz film distorsiyonunu belirlemektir. Ağ aralıkları içindeki herhangi bir distorsiyon yüksek dereceden bir polinom yardımı ile interpolate edilebilir.

2.2. Doğrusallık (Collinearity) Dengelemesi

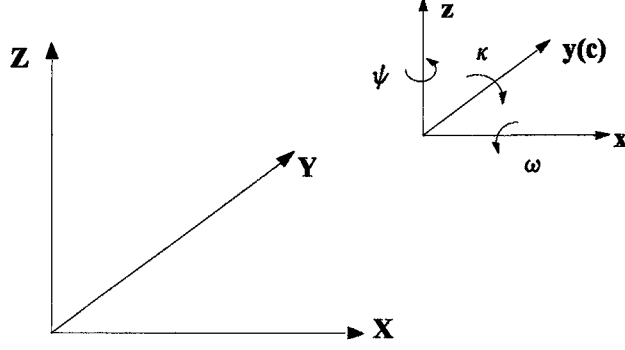
Herhangi bir fiziksel sistem modeli için en doğru yöntem ilgili elemanları tanımlamak ve daha sonra onlar arasındaki ilişkileri matematiksel olarak ifade etmektir. Cisim noktası, izdüşüm merkezi ve görüntü noktasının ideal olarak bir doğru üzerinde olmasının matematiksel olarak ifadesi doğrusallık modeli yaklaşımıdır.

2.2.1. Dış Yönelme

Dış yönelme kavramı, görüntü alınırken kameranın konumunun belirlenmesini ve görüntü ile cisim uzayı koordinat sistemleri arasındaki açısal ilişkiyi ifade eder. Dış yönelmede öncelikle koordinat sistemleri belirlenir.

Cisim uzayı ve görüntü koordinat sistemleri üç boyutlu dik koordinat sistemleridir. Görüntü koordinat sisteminde, x ve z eksenleri görüntü düzlemindeki eksenler, $y(c)$ eksenine ise bu düzleme dik eksen ve pozitif yönü alım eksenine yönünde seçilebilir. Bir sağ el koordinat sistemine göre yersel fotogrametrideki cisim uzayı koordinat sisteminde alım eksenine, Z eksenine yönünde değil Y eksenine yönündedir ve genellikle alım eksenine etrafındaki dönüklükde κ dönüklüğü olarak alınır. Buna göre hava fotogrametrisindeki eksenler ve dönüklüklere benzer şekilde X -ekseni birinci eksen ve etrafındaki dönüklük ω , ikinci eksen Z -eksenine, etrafındaki dönüklük ψ , üçüncü eksen alım eksenine Y ve etrafındaki dönüklükde κ olarak seçilebilir.

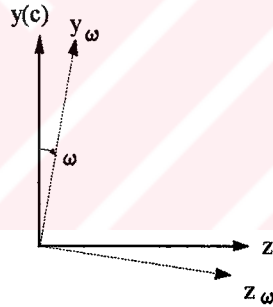
Görüntü ve cisim uzayı koordinat sistemleri arasındaki açısal ilişki, her bir koordinat eksen çifti arasındaki açılarının kosünüsleri olan 3×3 lük bir ortogonal dönüklük matrisi ile belirlenir. Dönüklük matrisinin dokuz elemanı olmasına karşın, matrisi sadece üç bağımsız parametre belirler.



Şekil 6. Koordinat sistemleri ve yöneltme açıları

Dönüklük matrisinin şeklini dönüklük açılarının seçilen pozitif yönleri ve yapılan ön kabullerle belirlemek mümkündür. Kullanılmış sistemlerin çoğunda bu matris X, Z, Y eksenleri etrafındaki ardışık dönmeler yardımıyla belirlenebilir.

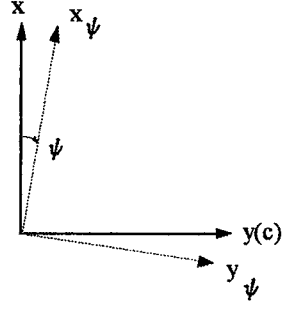
Birinci eksen olarak kabul edilen X eksenini etrafındaki ω dönüklüğü için dönüklük matrisi,



Şekil 7. X eksenini etrafındaki ω dönüklüğü

$$M_{\omega} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \quad (56)$$

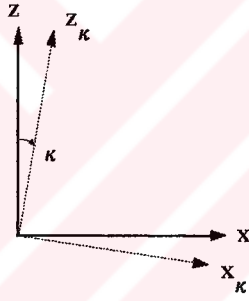
şeklinde, İkinci eksen olarak seçilen Z eksenini etrafındaki ψ dönüklüğü için dönüklük matrisi,



Şekil 8. Z eksenini etrafındaki Ψ dönüklüğü

$$M_{\psi} = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & -\sin \psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi \end{bmatrix} \quad (57)$$

şeklinde ifade edilebilir. Üçüncü eksen olarak seçilmiş Y eksenini etrafındaki κ dönüklüğü için dönüklük matrisi,



Şekil 9. Y eksenini etrafındaki κ dönüklüğü

$$M_{\kappa} = \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (58)$$

ifadesi ile yazılabilir.

M dönüklük matrisi bu matrislerin uygun ardışık sıra ile çarpımı sonucu elde edilir.

$$M = M_{\kappa} \cdot M_{\psi} \cdot M_{\omega}$$

$$m_{11} = \cos \psi \cdot \cos \kappa$$

$$m_{12} = \sin \omega \cdot \sin \psi \cdot \cos \kappa + \cos \omega \cdot \sin \kappa$$

$$m_{13} = -\cos \omega \cdot \sin \psi \cdot \cos \kappa + \sin \omega \cdot \sin \kappa$$

$$m_{21} = -\cos \psi \cdot \sin \kappa$$

$$m_{22} = -\sin \omega \cdot \sin \psi \cdot \sin \kappa + \cos \omega \cdot \cos \kappa$$

$$m_{23} = \cos \omega \cdot \sin \psi \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \cos \kappa$$

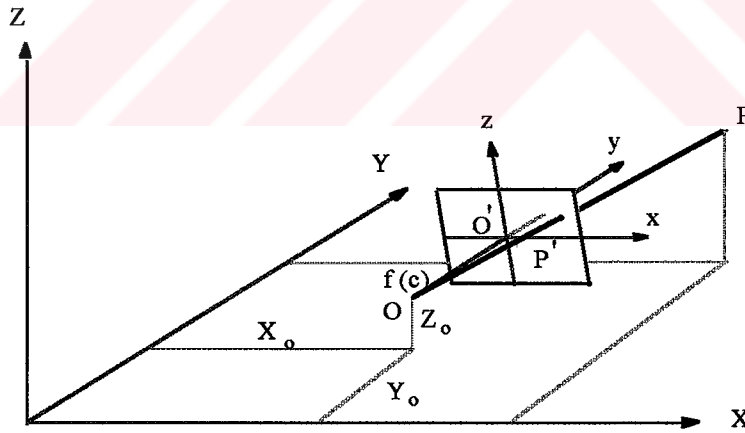
(59)

$$m_{31} = \sin \psi$$

$$m_{32} = -\sin \omega \cdot \cos \psi$$

$$m_{33} = \cos \omega \cdot \cos \psi$$

2.2.2. Doğrusallık Şartı



Şekil 10. Cisim uzayı (X,Y,Z) ve görüntü uzayı (x,z) koordinat sistemleri

Pozitif resim üzerinde bir P' noktası alınır, bu noktanın görüntü koordinatları $(x_p, z_p, 0)$, izdüşüm merkezinin resim üzerindeki karşılığı olan O' noktası için resim koordinatları $(x_o, z_o, 0)$ olarak, O izdüşüm merkezinin, resim koordinat sistemindeki koordinatları ise $(x_o, z_o, -c)$ şeklinde gösterilebilir.

Yukardaki tanımlamalara bağlı olarak, resim koordinat sisteminde P' noktasının konumunu tanımlayan vektör,

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} x_p - x_o \\ z_p - z_o \\ 0 - (-c) \end{bmatrix} \quad (60)$$

şeklinde ifade edilebilir. Arazi koordinat sisteminde O izdüşüm merkezinin koordinatları (X_o, Y_o, Z_o) ve P' görüntü noktasının arazideki karşılığı P noktasının koordinatları (X_p, Y_p, Z_p) dir. Buradan P arazi noktasını belirleyen vektör ise,

$$\vec{R} = \begin{bmatrix} X_p - X_o \\ Z_p - Z_o \\ Y_p - Y_o \end{bmatrix} \quad (61)$$

şeklinde yazılabilir.

Fotoğrafın dış yöneltmesi yapıldığında bu iki konum vektörü \vec{r} ve \vec{R} kolineardır. Yani bir doğru üzerindedir. Bu iki vektörün sadece uzunlukları farklıdır. Uzunluklarının oranından ölçek faktörü ,

$$\lambda = \frac{|\vec{r}|}{|\vec{R}|} \quad (62)$$

şeklilde elde edilir. Üç boyutlu iki dik koordinat sistemi arasındaki bağıntının,

$$\begin{bmatrix} x \\ z \\ c \end{bmatrix} = \lambda \cdot M \cdot \begin{bmatrix} X - X_o \\ Z - Z_o \\ Y - Y_o \end{bmatrix} \quad (63)$$

şeklinde olduğu gözönünde tutulduğunda, Doğrusallık eşitliği (Collinearity Condition) (pozitif resim için), resim koordinatları cinsinden,

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} x_p - x_o \\ z_p - z_o \\ c \end{bmatrix} = \lambda \cdot M \cdot \begin{bmatrix} X_p - X_o \\ Z_p - Z_o \\ Y_p - Y_o \end{bmatrix} = k \cdot M \cdot \vec{R} \quad (64)$$

ifadesi ile elde edilir; tersi durumunda,

$$\begin{bmatrix} X_p - X_o \\ Z_p - Z_o \\ Y_p - Y_o \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \cdot M^T \cdot \begin{bmatrix} x_p - x_o \\ z_p - z_o \\ c \end{bmatrix} \quad (65)$$

olarak yazılabilir. (64) eşitliğinde, matris çarpımı ve gerekli düzenlemeler yapıldığında,

$$(x_p - x_o) = c \frac{m_{11} (X - X_o) + m_{12} (Z - Z_o) + m_{13} (Y - Y_o)}{m_{31} (X - X_o) + m_{32} (Z - Z_o) + m_{33} (Y - Y_o)} \quad (66)$$

$$(z_p - z_o) = c \frac{m_{21} (X - X_o) + m_{22} (Z - Z_o) + m_{23} (Y - Y_o)}{m_{31} (X - X_o) + m_{32} (Z - Z_o) + m_{33} (Y - Y_o)}$$

eşitlikleri ile gösterilen resim koordinatları türünde izdüşüm denklemleri elde edilir [38], [39]. Doğrusallık koşulunda cisim noktası (P), izdüşüm merkezi (O) ve görüntü noktası (P') aynı doğru üzerindedir. Söz konusu bu şart fiziksel gerçeklerde daima gerçekleştirilemez. Değişik bozucu etkiler, örneğin mercekle distorsiyonu, atmosferik kırılma vb. gerçek ışının bir doğru üzerinde olmasını engeller. Ancak bu bozucu etkiler bilinir veya belirlenirse doğrusallık şartında indirgenmiş veri kullanılır veya uygun düzeltmeler uygulanabilir.

2.2.3. Sistematik Hataları Kapsayan Doğrusallık Eşitlikleri

Yersel fotogrametri için yazılmış (66) eşitliği matris olarak,

$$\begin{bmatrix} x_{ij} - x_{o_j} \\ z_{ij} - z_{o_j} \\ c_j \end{bmatrix} = \lambda_{ij} M_j \begin{bmatrix} X_i - X_{o_j} \\ Z_i - Z_{o_j} \\ Y_i - Y_{o_j} \end{bmatrix} \quad (67)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

x_{ij}, z_{ij} : j. fotoğrafta ölçülmüş i. cisim noktasının görüntü koordinatları,

x_{o_j}, z_{o_j}, c_j : j. fotoğrafın iç yöneltme parametreleri, asal uzaklık ve asal noktanın x ve z koordinatları,

λ_{ij} : j. fotoğraf üzerindeki i. nokta için ölçek faktörü,

M_j : Üç eksen etrafındaki dönüklükler ω, ψ, κ nın bir fonksiyonu olarak 3×3 lük dönüklük matrisi,

X_i, Y_i, Z_i : i. noktanın cisim uzayı koordinatları,

$X_{o_j}, Y_{o_j}, Z_{o_j}$: j. fotoğrafın izdüşüm merkezinin cisim uzayı koordinatları

dır. (67) eşitlikleri düzenlenerek kısaltmalar yapılırsa,

$$\begin{aligned} F_x &= (x_{ij} - x_{o_j}) R_{3i} - c_j R_{1i} = 0 \\ F_z &= (z_{ij} - z_{o_j}) R_{3i} - c_j R_{2i} = 0 \end{aligned} \quad (68)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki R vektörü,

$$\begin{bmatrix} R_{1i} \\ R_{2i} \\ R_{3i} \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_i - X_{o_j} \\ Z_i - Z_{o_j} \\ Y_i - Y_{o_j} \end{bmatrix} \quad (69)$$

$$R_1 = m_{11}(X - X_o) + m_{12}(Z - Z_o) + m_{13}(Y - Y_o)$$

$$R_2 = m_{21}(X - X_o) + m_{22}(Z - Z_o) + m_{23}(Y - Y_o)$$

$$R_3 = m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Z - Z_o) + m_{33}(Y - Y_o)$$

olarak ifade edilebilir. Bu eşitliklerde görüntü distorsiyonu ihmal edilmiştir. Eğer (68) eşitlikleri içerisinde distorsiyon parametreleri dahil edilirse j. fotoğraf için eşitlikler,

$$\begin{aligned} F_x &= \{(x_i - x_o) + drx + dp_x + dq_x\} R_{3i} - c R_{1i} = 0 \\ F_z &= \{(z_i - z_o) + drz + dp_z + dq_z\} R_{3i} - c R_{2i} = 0 \end{aligned} \quad (70)$$

şeklinde genişletilebilir. Fotoğrafın çapsal simetrik mercek distorsiyon düzeltmeleri (44) eşitliklerine göre,

$$\begin{aligned} drx &= (x_i - x_o) + (k_1 r_i^2 + k_2 r_i^4 + k_3 r_i^6) \\ drz &= (z_i - z_o) + (k_1 r_i^2 + k_2 r_i^4 + k_3 r_i^6) \end{aligned} \quad (71)$$

şeklinde yazılabilir.

Teğetsel (decentering) mercek distorsiyon düzeltmeleri ise (48) eşitliklerindeki ikinci kısım göz ardı edilerek,

$$\begin{aligned} dp_x &= P_1 \left\{ r^2 + 2(x_i - x_o)^2 \right\} + 2P_2 (x_i - x_o)(z_i - z_o) \\ dp_z &= P_2 \left\{ r^2 + 2(z_i - z_o)^2 \right\} + 2P_1 (x_i - x_o)(z_i - z_o) \end{aligned} \quad (72)$$

ifadesi ile yazılabilir.

Ölçek değişimi ve fotoğrafın koordinat eksenlerinin dik olmaması ile ilgili düzeltmeler (53) eşitliklerinden,

$$\begin{aligned} dq_x &= A_p (z_i - z_o) \\ dq_z &= B_p (z_i - z_o) \end{aligned} \quad (73)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

A_p, B_p : Ölçek değişimi ve fotoğrafın koordinat eksenlerinin dikliğini tanımlayan parametrelerdir. Çapsal uzaklık,

$$r = \sqrt{(x_i - x_o)^2 + (z_i - z_o)^2} \quad (74)$$

şeklinde açık bir şekilde yazılabilir. Sistemik hatalar,

$$\begin{aligned} \Delta x &= drx + dp_x + dq_x \\ \Delta z &= drz + dp_z + dq_z \end{aligned} \quad (75)$$

olarak gösterildiğinde F_x ve F_z fonksiyonlarının j . fotoğraf ve i noktası için sonuç formülleri,

$$\begin{aligned} x_{ij} - x_{oj} + \Delta x_i &= c_j \frac{m_{11j}(X_i - X_{oj}) + m_{12j}(Z_i - Z_{oj}) + m_{13j}(Y_i - Y_{oj})}{m_{31j}(X_i - X_{oj}) + m_{32j}(Z_i - Z_{oj}) + m_{33j}(Y_i - Y_{oj})} \\ z_{ij} - z_{oj} + \Delta z_i &= c_j \frac{m_{21j}(X_i - X_{oj}) + m_{22j}(Z_i - Z_{oj}) + m_{23j}(Y_i - Y_{oj})}{m_{31j}(X_i - X_{oj}) + m_{32j}(Z_i - Z_{oj}) + m_{33j}(Y_i - Y_{oj})} \end{aligned} \quad (76)$$

olarak ifade edilebilir.

(76) eşitlikleri Self kalibrasyon sisteminin temel şekli olan genişletilmiş doğrusallık (collinearity) eşitliklerinin matematiksel modelini gösterir. Herbir ışın iki doğrusallık eşitliği yardımıyla tanımlanmış olduğundan, bir fotogrametrik modeli oluşturan ışınların matematiksel modeli kolayca oluşturulabilir. Bununla beraber (76) eşitlikleri dengelemede kullanılmadan önce doğrusal bir şekle indirgenmiş olmalı ve ölçülerde daima mevcut olan rasgele hatalar ayrıca matematiksel modele eklenmelidir.

2.3. Fotogrametride En Küçük Kareler Dengelemesi

Bir fotogrametrik problemde bütün ölçümlerin eşzamanlı en küçük kareler dengelemesi, koşul denklemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Fotogrametride en küçük kareler dengelemesinin amacı, bütün fotoğrafların yöneltme parametrelerinin ve koordinat bilinmeyenlerinin en uygun çözümünü elde etmektir.

Hava triyngulasyonu için geliştirilen bu model, küçültülerek veya değiştirilmeksizin yakın resim ve yersel fotogrametride de kullanılabilir [5].

Sistematik hataları kapsayan doğrusallık koşulu denklemleri,

$$F_x = \left\{ (x_{ij} - x_{oj}) + (x_{ij} - x_{oj})(k_{1j} r_{ij}^2 + k_{2j} r_{ij}^4 + k_{3j} r_{ij}^6) + P_{1j} \left[r_{ij}^2 + 2(x_{ij} - x_{oj})^2 \right] \right. \\ \left. + 2P_{2j} (x_{ij} - x_{oj})(z_{ij} - z_{oj}) + A_{pj} (z_{ij} - z_{oj}) \right\} R_{3ij} - c_j R_{1ij} = 0 \quad (77)$$

$$F_z = \left\{ (z_{ij} - z_{oj}) + (z_{ij} - z_{oj})(k_{1j} r_{ij}^2 + k_{2j} r_{ij}^4 + k_{3j} r_{ij}^6) + P_{2j} \left[r_{ij}^2 + 2(z_{ij} - z_{oj})^2 \right] \right. \\ \left. + 2P_{1j} (x_{ij} - x_{oj})(z_{ij} - z_{oj}) + B_{pj} (z_{ij} - z_{oj}) \right\} R_{3ij} - c_j R_{2ij} = 0$$

F_x , F_z eşitlikleri ile açık bir şekilde yazılabilir. Lineer olmayan bu eşitliklerden düzeltme denklemlerinin elde edilmesi, ikinci ve daha yüksek dereceden terimlerin ihmal edildiği Taylor açılımı ile mümkün olur. (77) denklemleri dikkate alınarak doğrusallaştırma işlemi,

$$\frac{\partial F_x}{\partial x} dx_{ij} + \frac{\partial F_x}{\partial z} dz_{ij} + \frac{\partial F_x}{\partial x_{oj}} dx_{oj} + \frac{\partial F_x}{\partial z_{oj}} dz_{oj} + \frac{\partial F_x}{\partial c} dc_j + \frac{\partial F_x}{\partial k_1} dk_{1j} + \frac{\partial F_x}{\partial k_2} dk_{2j} + \\ \frac{\partial F_x}{\partial k_3} dk_{3j} + \frac{\partial F_x}{\partial P_1} dP_{1j} + \frac{\partial F_x}{\partial P_2} dP_{2j} + \frac{\partial F_x}{\partial A_p} dA_{pj} + \frac{\partial F_x}{\partial B_p} dB_{pj} + \frac{\partial F_x}{\partial X_o} dX_{oj} + \frac{\partial F_x}{\partial Z_o} dZ_{oj} + \\ \frac{\partial F_x}{\partial Y_o} dY_{oj} + \frac{\partial F_x}{\partial \omega} d\omega_j + \frac{\partial F_x}{\partial \psi} d\psi_j + \frac{\partial F_x}{\partial \kappa} d\kappa_j + \frac{\partial F_x}{\partial X} dX_i + \frac{\partial F_x}{\partial Z} dZ_i + \frac{\partial F_x}{\partial Y} dY_i + F_x^o = 0 \quad (78)$$

$$\frac{\partial F_z}{\partial x} dx_{ij} + \frac{\partial F_z}{\partial z} dz_{ij} + \frac{\partial F_z}{\partial x_{oj}} dx_{oj} + \frac{\partial F_z}{\partial z_{oj}} dz_{oj} + \frac{\partial F_z}{\partial c} dc_j + \frac{\partial F_z}{\partial k_1} dk_{1j} + \frac{\partial F_z}{\partial k_2} dk_{2j} + \\ \frac{\partial F_z}{\partial k_3} dk_{3j} + \frac{\partial F_z}{\partial P_1} dP_{1j} + \frac{\partial F_z}{\partial P_2} dP_{2j} + \frac{\partial F_z}{\partial A_p} dA_{pj} + \frac{\partial F_z}{\partial B_p} dB_{pj} + \frac{\partial F_z}{\partial X_o} dX_{oj} + \frac{\partial F_z}{\partial Z_o} dZ_{oj} + \\ \frac{\partial F_z}{\partial Y_o} dY_{oj} + \frac{\partial F_z}{\partial \omega} d\omega_j + \frac{\partial F_z}{\partial \psi} d\psi_j + \frac{\partial F_z}{\partial \kappa} d\kappa_j + \frac{\partial F_z}{\partial X} dX_i + \frac{\partial F_z}{\partial Z} dZ_i + \frac{\partial F_z}{\partial Y} dY_i + F_z^o = 0$$

şeklinde yapılabilir.

Bilinmeyenlere göre F_x ' in kısmi türevleri,

$$\frac{\partial F_x}{\partial x_0} = - \left\{ 1 + (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + 4P_1(x - x_0) + 2P_2(z - z_0) \right\} R_3 = G_{1,8}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial z_0} = - \left\{ 2P_2(x - x_0) + A_p \right\} R_3 = G_{1,9}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial x} = - \frac{\partial F_x}{\partial x_0} \quad ; \quad \frac{\partial F_x}{\partial z} = - \frac{\partial F_x}{\partial z_0}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial c} = -R_1 = G_{1,10}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial k_1} = (x - x_0) r^2 R_3 = G_{1,11}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial k_2} = (x - x_0) r^4 R_3 = G_{1,12}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial k_3} = (x - x_0) r^6 R_3 = G_{1,13}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial P_1} = \left\{ 2(x - x_0)^2 + r^2 \right\} R_3 = G_{1,14}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial P_2} = 2(x - x_0)(z - z_0) R_3 = G_{1,15}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial A_p} = (z - z_0) R_3 = G_{1,16} \quad ; \quad \frac{\partial F_x}{\partial B_p} = 0 = G_{1,17}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial X_0} = -(\bar{x} m_{31} - c m_{11}) = G_{1,18}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial Y_0} = -(\bar{x} m_{33} - c m_{13}) = G_{1,19}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial Z_0} = -(\bar{x} m_{32} - c m_{12}) = G_{1,20}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial X} = - \frac{\partial F_x}{\partial X_0} \quad ; \quad \frac{\partial F_x}{\partial Y} = - \frac{\partial F_x}{\partial Y_0} \quad ; \quad \frac{\partial F_x}{\partial Z} = - \frac{\partial F_x}{\partial Z_0}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial \omega} = \bar{x} (\partial R_3 / \partial \omega) - c (\partial R_1 / \partial \omega) = G_{1,21}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial \varphi} = \bar{x} (\partial R_3 / \partial \varphi) - c (\partial R_1 / \partial \varphi) = G_{1,22}$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial \kappa} = \bar{x} (\partial R_3 / \partial \kappa) - c (\partial R_1 / \partial \kappa) = G_{1,23}$$

şeklinde alınabilir.

Benzer şekilde bilinmeyenlere göre Fz ' ın kısmi türevleri,

$$\frac{\partial Fz}{\partial x_0} = -2P_1(z - z_0)R_3 = G_{2,8}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial z_0} = - \left\{ 1 + (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + 4P_2(z - z_0) + 2P_1(x - x_0) + B_p \right\} R_3 = G_{2,9}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial z} = - \frac{\partial Fz}{\partial z_0}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial c} = -R_2 = G_{2,10}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial k_1} = (z - z_0)r^2 R_3 = G_{2,1}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial k_2} = (z - z_0)r^4 R_3 = G_{2,2}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial k_3} = (z - z_0)r^6 R_3 = G_{2,3}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial P_1} = 2(x - x_0)(z - z_0) R_3 = G_{2,4}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial P_2} = \left\{ 2(x - x_0)^2 + r^2 \right\} R_3 = G_{2,5}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial A_p} = 0 = G_{2,6}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial B_p} = (z - z_0)R_3 = G_{2,7}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial X_0} = -(\bar{z}m_{31} - cm_{21}) = G_{2,11}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial Y_0} = -(\bar{z}m_{33} - cm_{23}) = G_{2,12}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial Z_0} = -(\bar{z}m_{32} - cm_{22}) = G_{2,13}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial X} = - \frac{\partial Fz}{\partial X_0} \quad ; \quad \frac{\partial Fz}{\partial Y} = - \frac{\partial Fz}{\partial Y_0} \quad ; \quad \frac{\partial Fz}{\partial Z} = - \frac{\partial Fz}{\partial Z_0}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial \omega} = \bar{z}(\partial R_3 / \partial \omega) - c(\partial R_2 / \partial \omega) = G_{2,14}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial \varphi} = \bar{z}(\partial R_3 / \partial \varphi) - c(\partial R_2 / \partial \varphi) = G_{2,15}$$

$$\frac{\partial Fz}{\partial \kappa} = \bar{z}(\partial R_3 / \partial \kappa) - c(\partial R_2 / \partial \kappa) = G_{2,16}$$

şeklinde olur. Burada,

$$\begin{aligned}\bar{x} &= (x - x_0)(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + P_1 \left\{ 2(x - x_0)^2 + r^2 \right\} + 2P_2(x - x_0)(z - z_0) + A_p(z - z_0) \\ \bar{z} &= (z - z_0)(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + P_2 \left\{ 2(z - z_0)^2 + r^2 \right\} + 2P_1(x - x_0)(z - z_0) + B_p(z - z_0) \\ r^2 &= (x - x_0)^2 + (z - z_0)^2\end{aligned}$$

şeklinde gösterilebilir.

Doğrusallık koşulunun doğrusallaştırma işleminde, (78) eşitliklerindeki F_x^0 ve F_z^0 değerleri; F_x ve F_z fonksiyonlarının $\omega_j^0, \psi_j^0, \dots$ ve Z_i^0 yaklaşık değerler ile hesaplanır. Benzer şekilde kısmi türevlerdeki katsayılar da bu yaklaşık değerlerden hesaplanır. Ardışık işlemler sonucunda her adımda $(\Delta \omega_j, \Delta \psi_j, \dots, \Delta Z_i)$ değerleri yaklaşık değerlerine eklenir. Bu şekilde düzeltilmiş parametreler bir sonraki iterasyonda yaklaşık değer olarak kullanılır ve iterasyon ikinci bir kontrol işlemi ile sona erdirilir.

(77) ve (78) eşitliklerinden görüntü koordinatları ile ilgili düzeltme denklemleri matris gösterimde,

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} V_{x_{ij}} \\ V_{z_{ij}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{1,1} & G_{1,2} & G_{1,3} & \dots & G_{1,7} \\ G_{2,1} & G_{2,2} & G_{2,3} & \dots & G_{2,7} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta k_1 \\ \Delta k_2 \\ \Delta k_3 \\ \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta A_p \\ \Delta B_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{1,8} & G_{1,9} & G_{1,10} & \dots & G_{1,16} \\ G_{2,8} & G_{2,9} & G_{2,10} & \dots & G_{2,16} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_0 \\ \Delta z_0 \\ \Delta c \\ \Delta X_0 \\ \Delta Z_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta \omega \\ \Delta \psi \\ \Delta \kappa \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} G_{1,17} & G_{1,18} & G_{1,19} \\ G_{2,17} & G_{2,18} & G_{2,19} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Z \\ \Delta Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x^0 \\ F_z^0 \end{bmatrix} \quad (79)\end{aligned}$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntının kısa ifadesi,

$$\begin{aligned}V_{ij} + \overset{\cdot}{B}_{ij} \overset{\cdot}{\Delta}_j + \overset{\cdot\cdot}{B}_{ij} \overset{\cdot\cdot}{\Delta}_j + \overset{\cdot\cdot\cdot}{B}_{ij} \overset{\cdot\cdot\cdot}{\Delta}_j = \varepsilon_{ij} \quad (80) \\ (2,1) \quad (2,7)(7,1) \quad (2,9)(9,1) \quad (2,3)(3,1) \quad (2,1)\end{aligned}$$

şeklindedir. Burada;

- $\dot{\Delta}_j$: Herbir fotoğraf için distorsiyon parametre düzeltmelerini,
- ..
- Δ_j : İç ve dış yöneltme parametreleri için düzeltmeleri,
- ...
- Δ_i : Kontrol noktaları için düzeltmeleri gösterir.

(76) eşitliklerinde, gözlenebilen bütün parametreler için birer gözlem eşitlikleri yazmak mümkündür.

2.3.1. İç ve Dış Yöneltme Parametreleri ile İlgili Gözlem Eşitlikleri

$x_{oj}^{\infty}, z_{oj}^{\infty}, c_j^{\infty}, X_{oj}^{\infty}, Z_{oj}^{\infty}, Y_{oj}^{\infty}, \omega_j^{\infty}, \psi_j^{\infty}, \kappa_j^{\infty}$: j. fotoğrafın iç ve dış yöneltme parametreleri ile ilgili gözlemler,

$Vx_{oj}, Vz_{oj}, Vc_{oj}, VX_{oj}, VZ_{oj}, VY_{oj}, V\omega_j, V\psi_j, V\kappa_j$: Bu gözlemlere getirilecek düzeltmeleri,

gösterdiğinde j .fotoğrafi için yöneltme parametrelerinin kesin değerleri,

$$x_{oj} = x_{oj}^{\infty} + Vx_{oj}$$

$$z_{oj} = z_{oj}^{\infty} + Vz_{oj}$$

$$c_j = c_j^{\infty} + Vc_j$$

$$X_{oj} = X_{oj}^{\infty} + VX_{oj}$$

$$Z_{oj} = Z_{oj}^{\infty} + VZ_{oj}$$

$$Y_{oj} = Y_{oj}^{\infty} + VY_{oj}$$

$$\omega_j = \omega_j^{\infty} + V\omega_j$$

$$\psi_j = \psi_j^{\infty} + V\psi_j$$

$$\kappa_j = \kappa_j^{\infty} + V\kappa_j$$

(81)

şeklinde yazılabilir. İç ve dış yöneltme parametreleri ile ilgili yaklaşık değerler,

$$\overset{\circ}{x}_{oj}, \overset{\circ}{z}_{oj}, \overset{\circ}{c}_j, \overset{\circ}{X}_{oj}, \overset{\circ}{Z}_{oj}, \overset{\circ}{Y}_{oj}, \overset{\circ}{\omega}_j, \overset{\circ}{\psi}_j, \overset{\circ}{\kappa}_j$$

şeklinde ve bunlara getirilecek düzeltmeler ise,

$$\Delta x_{oj}, \Delta z_{oj}, \Delta c_j, \Delta \omega_j, \Delta \psi_j, \Delta \kappa_j, \Delta X_{oj}, \Delta Z_{oj}, \Delta Y_{oj}$$

olarak gösterilirse,

$$\begin{aligned} \Delta x_{oj} + \overset{\circ}{x}_{oj} &= \overset{\infty}{x}_{oj} + Vx_{oj} \\ \Delta z_{oj} + \overset{\circ}{z}_{oj} &= \overset{\infty}{z}_{oj} + Vz_{oj} \\ & \cdot \\ & \cdot \end{aligned} \tag{82}$$

$$\begin{aligned} \Delta \omega_j + \overset{\circ}{\omega}_j &= \overset{\infty}{\omega}_j + V\omega_j \\ \Delta \psi_j + \overset{\circ}{\psi}_j &= \overset{\infty}{\psi}_j + V\psi_j \\ \Delta \kappa_j + \overset{\circ}{\kappa}_j &= \overset{\infty}{\kappa}_j + V\kappa_j \end{aligned}$$

şeklinde yazılabilir. (82) eşitlikleri matris gösterim ile,

$$\begin{bmatrix} Vx_o \\ Vz_o \\ Vc \\ Vx_o \\ Vz_o \\ VY_o \\ V\omega \\ V\psi \\ V\kappa \end{bmatrix}_j - \begin{bmatrix} \Delta x_o \\ \Delta z_o \\ \Delta c \\ \Delta X_o \\ \Delta Z_o \\ \Delta Y_o \\ \Delta \omega \\ \Delta \psi \\ \Delta \kappa \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} \overset{\circ}{x}_o - \overset{\infty}{x}_o \\ \overset{\circ}{z}_o - \overset{\infty}{z}_o \\ \overset{\circ}{c} - \overset{\infty}{c} \\ \overset{\circ}{X}_o - \overset{\infty}{X}_o \\ \overset{\circ}{Z}_o - \overset{\infty}{Z}_o \\ \overset{\circ}{Y}_o - \overset{\infty}{Y}_o \\ \overset{\circ}{\omega} - \overset{\infty}{\omega} \\ \overset{\circ}{\psi} - \overset{\infty}{\psi} \\ \overset{\circ}{\kappa} - \overset{\infty}{\kappa} \end{bmatrix}_j \tag{83}$$

şeklinde ifade edilebilir; kısa gösterimde ise,

$$\begin{matrix} \bar{V}_j & - & \bar{\Delta}_j & = & \bar{C}_j \\ (9,1) & & (9,1) & & (9,1) \end{matrix} \quad (84)$$

şeklinde gösterilebilir.

Bu şekilde elde edilen eşitlikler j. fotoğrafın iç ve dış yöneltme parametreleri için sonuç gözlem eşitlikleridir. (83) eşitliği dokuz parametreyi içermesine karşın, gerekli gözlem eşitlikleri sadece ölçülmüş değerlere sahip olan parametreler için yazılabilir.

2.3.2. Kontrol Noktaları ile İlgili Gözlem Eşitlikleri

$\overset{\infty}{X}_i, \overset{\infty}{Y}_i, \overset{\infty}{Z}_i$: Kontrol noktalarının arazi ölçümleri sonucu belirlenmiş koordinatları,

VX_i, VY_i, VZ_i : Bu koordinatların düzeltmeleri olarak gösterilirse,

i. kontrol noktasının kesin koordinatları,

$$\begin{aligned} X_i &= \overset{\infty}{X}_i + VX_i \\ Y_i &= \overset{\infty}{Y}_i + VY_i \\ Z_i &= \overset{\infty}{Z}_i + VZ_i \end{aligned} \quad (85)$$

eşitlikleri ile yazılabilir. X_i, Y_i, Z_i koordinat bilinmeyenleri için,

$\overset{\circ}{X}_i, \overset{\circ}{Y}_i, \overset{\circ}{Z}_i$: Kontrol koordinatlarının yaklaşık değerleri,

$\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$: Yaklaşık değerlere getirilecek düzeltmeler olarak alınırsa,

bilinmeyen koordinatlar,

$$\begin{aligned} X_i &= \overset{\circ}{X}_i + \Delta X_i \\ Y_i &= \overset{\circ}{Y}_i + \Delta Y_i \\ Z_i &= \overset{\circ}{Z}_i + \Delta Z_i \end{aligned} \quad (86)$$

şeklinde eşitlikler ile yazılabilir. (85) ve (86) eşitlikleri gözönüne alındığında,

$$\begin{aligned} VX_i + \overset{\infty}{\bar{X}}_i &= \overset{\circ}{\bar{X}}_i + \Delta X_i \\ VY_i + \overset{\infty}{\bar{Y}}_i &= \overset{\circ}{\bar{Y}}_i + \Delta Y_i \\ VZ_i + \overset{\infty}{\bar{Z}}_i &= \overset{\circ}{\bar{Z}}_i + \Delta Z_i \end{aligned} \quad (87)$$

eşitlikleri bulunabilir. Bu eşitliklerin düzenlenmiş matris şeklindeki ifadeleri,

$$\begin{bmatrix} VX \\ VY \\ VZ \end{bmatrix}_i - \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} \overset{\circ}{\bar{X}} - \overset{\infty}{\bar{X}} \\ \overset{\circ}{\bar{Y}} - \overset{\infty}{\bar{Y}} \\ \overset{\circ}{\bar{Z}} - \overset{\infty}{\bar{Z}} \end{bmatrix}_i \quad (88)$$

ifadesi ile gösterilebilir. Bu eşitlikler i. noktasının arazi koordinatları için gözlem eşitlikleridir. Ve kısaca,

$$\overset{\dots}{V}_i - \overset{\dots}{\Delta}_i = \overset{\dots}{C}_i \quad (89)$$

şeklinde gösterilebilir.

2.3.3. Stokastik Model

Fonksiyonel modelde, koşul denklemlerinde kullanılan ölçü değerleri farklı duyarlıklarda ve korelasyonlu olabilir. Her ölçü için bu durum matematik modele ölçü ağırlıkları şeklinde dahil edilir. m resimde n noktadan r tanesi kontrol amacı ile koordinatları ölçülmüş nokta olarak düşünüldüğünde bütün düzeltmelere ilişkin matris \bar{V} ,

$$\bar{\mathbf{V}} = \begin{bmatrix} \mathbf{V} \\ \ddots \\ \mathbf{V} \\ \ddots \\ \mathbf{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{V}_{mn} \\ \ddots \\ \mathbf{V}_1 \\ \ddots \\ \mathbf{V}_2 \\ \cdot \\ \ddots \\ \mathbf{V}_m \\ \ddots \\ \mathbf{V}_1 \\ \ddots \\ \mathbf{V}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \ddots \\ \mathbf{V}_r \end{bmatrix} \quad (90)$$

şeklinde olur. Burada \mathbf{V} 'ler resim koordinatlarına, \mathbf{V} 'ler iç ve dış yöneltme parametrelerine, \mathbf{V} 'ler ise kontrol koordinatlarına ilişkin düzeltmeleri gösterir. Bu vektörün toplam boyutu \mathbf{V} , \mathbf{V} , \mathbf{V} vektörlerinin toplamına eşittir.

Herhangi bir noktanın (x, z) görüntü koordinatları için ağırlık matrisi,

$$\mathbf{W}_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{m_o^2}{m^2_{x_{ij}}} & \frac{m_o^2}{m^2_{x_{ij}z_{ij}}} \\ \frac{m_o^2}{m^2_{x_{ij}z_{ij}}} & \frac{m_o^2}{m^2_{z_{ij}}} \end{bmatrix} \quad (91)$$

şeklinde oluşturulur. Noktalar arasında korelasyonun olmadığı durumda ağırlık matrisi m resimde bulunan i noktası için,

$$\mathbf{W}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_1 & & & \\ & \mathbf{W}_2 & & \\ & & \cdot & \\ & & & \cdot \\ & & & & \mathbf{W}_m \end{bmatrix}_i \quad (92)$$

(2m,2m)

şeklinde bir bant matris olur ve bu matris tüm resimlerdeki bütün noktalar için

$$\underset{(2mn,2mn)}{\mathbf{W}} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_1 & & & \\ & \mathbf{W}_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \mathbf{W}_n \end{bmatrix}_i \quad (93)$$

şeklinde yazılabilir.

Dış yöneltme parametreleri ω , ψ , κ dönüklük elemanları ile çekim merkezinin dik koordinatları arasında korelasyon olmadığı kabul edilirse, bir j. resim çekim noktasındaki ağırlık matrisi,

$$\bar{\mathbf{W}}_j = \begin{bmatrix} \frac{m_o^2}{m_{x_j}^2} & \frac{m_o^2}{m_{x_j y_j}} & \frac{m_o^2}{m_{x_j z_j}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{m_o^2}{m_{x_j y_j}} & \frac{m_o^2}{m_{y_j}^2} & \frac{m_o^2}{m_{y_j z_j}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{m_o^2}{m_{x_j z_j}} & \frac{m_o^2}{m_{y_j z_j}} & \frac{m_o^2}{m_{z_j}^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{m_o^2}{m_{\omega_j}^2} & \frac{m_o^2}{m_{\omega_j \phi_j}} & \frac{m_o^2}{m_{\omega_j \kappa_j}} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{m_o^2}{m_{\omega_j \phi_j}} & \frac{m_o^2}{m_{\phi_j}^2} & \frac{m_o^2}{m_{\phi_j \kappa_j}} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{m_o^2}{m_{\omega_j \kappa_j}} & \frac{m_o^2}{m_{\phi_j \kappa_j}} & \frac{m_o^2}{m_{\kappa_j}^2} \end{bmatrix} \quad (94)$$

şeklinde ifade edilebilir. m adet resim için ağırlık matrisi,

$$\underset{(6m,6m)}{\bar{\mathbf{W}}} = \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{W}}_1 & & & \\ & \bar{\mathbf{W}}_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \bar{\mathbf{W}}_m \end{bmatrix} \quad (95)$$

şeklinde olur.

i kontrol noktası koordinatları için ağırlık matrisi,

$$\begin{matrix} \ddot{W}_i \\ (3,3) \end{matrix} = \begin{bmatrix} \frac{m_o^2}{m_{x_i}^2} & \frac{m_o^2}{m_{x_i y_i}} & \frac{m_o^2}{m_{x_i z_i}} \\ \frac{m_o^2}{m_{x_i y_i}} & \frac{m_o^2}{m_{y_i}^2} & \frac{m_o^2}{m_{y_i z_i}} \\ \frac{m_o^2}{m_{x_i z_i}} & \frac{m_o^2}{m_{y_i z_i}} & \frac{m_o^2}{m_{z_i}^2} \end{bmatrix} \quad (96)$$

şeklinde yazılabilir. Kontrol noktaları arasında korelasyon olmadığı kabul edilirse, kontrol noktalarının ağırlık matrisi,

$$\ddot{W} = \begin{bmatrix} \ddot{W}_1 & & \\ & \ddot{W}_2 & \\ & & \ddots \\ & & & \ddot{W}_n \end{bmatrix} \quad (97)$$

şeklinde, bütün gözlem eşitlikleri için ağırlık matrisi ise,

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} W & & \\ & \ddot{W} & \\ & & \ddot{W} \end{bmatrix} \quad (98)$$

ifadesi ile gösterilebilir.

3.3.4. Matematik Modelin Çözümü

m adet fotoğrafın her birinde mevcut olan n adet ortak nokta için (79) eşitlikleri yeniden,

$$\begin{bmatrix} V_{1n} \\ V_{2n} \\ \vdots \\ V_{mn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{1n} & & & \\ & B_{2n} & & \\ & & \ddots & \\ & & & B_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \vdots \\ \Delta_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{1n} & & & \\ & B_{2n} & & \\ & & \ddots & \\ & & & B_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \vdots \\ \Delta_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{1n} & & & \\ & B_{2n} & & \\ & & \ddots & \\ & & & B_{mn} \end{bmatrix} \Delta_n = \begin{bmatrix} \varepsilon_{1n} \\ \varepsilon_{2n} \\ \vdots \\ \varepsilon_{mn} \end{bmatrix} \quad (99)$$

şeklinde yazılabilir. Bunun da basit şekilde ifadesi,

$$V + B \Delta + B \Delta + B \Delta = \varepsilon \quad (100)$$

şeklinde elde edilir.

Herbir n noktası bütün m fotoğrafları üzerinde görüntülenmiş olduğu varsayımı ile yukardaki eşitlikler yazılabilir. Daha sonra iç ve dış yöneltme parametreleri ve bilinmeyen arazi koordinatları için gözlem eşitlikleri modele ilave edilir.

İç ve dış yöneltme parametrelerinin bütün gözlem eşitlikleri,

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ V_m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \vdots \\ \Delta_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ C_m \end{bmatrix} \quad (101)$$

gösterimi ile birlikte oluşturulabilir ve kısaca,

$$\ddot{V} - \ddot{\Delta} = \ddot{C} \quad (102)$$

şeklinde gösterilebilir. Benzer şekilde bütün n noktasının arazi koordinatları için gözlem eşitlikler grubu,

$$\begin{bmatrix} \dots \\ \mathbf{V}_1 \\ \dots \\ \mathbf{V}_2 \\ \dots \\ \cdot \\ \dots \\ \mathbf{V}_m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dots \\ \Delta_1 \\ \dots \\ \Delta_2 \\ \dots \\ \cdot \\ \dots \\ \Delta_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots \\ \mathbf{C}_1 \\ \dots \\ \mathbf{C}_2 \\ \dots \\ \cdot \\ \dots \\ \mathbf{C}_m \end{bmatrix} \quad (103)$$

ifadesi ile, kısaca,

$$\ddot{\mathbf{V}} - \ddot{\Delta} = \ddot{\mathbf{C}} \quad (104)$$

şeklindedir.

Yukarda gösterilmiş eşitlikler birleştirilirse, fotogrametrik problemin tam bir matematiksel modeli,

$$\begin{aligned} \mathbf{V} + \dot{\mathbf{B}} \dot{\Delta} + \ddot{\mathbf{B}} \ddot{\Delta} + \ddot{\mathbf{B}} \ddot{\Delta} &= \boldsymbol{\varepsilon} \\ \ddot{\mathbf{V}} - \ddot{\Delta} &= \ddot{\mathbf{C}} \\ \ddot{\mathbf{V}} - \ddot{\Delta} &= \ddot{\mathbf{C}} \end{aligned} \quad (105)$$

şeklinde elde edilir. Bu eşitlikler tek bir matris eşitliği şeklinde ifade edilirse,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V} \\ \ddot{\mathbf{V}} \\ \ddot{\mathbf{V}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{B}} & \ddot{\mathbf{B}} & \ddot{\mathbf{B}} \\ 0 & -\mathbf{I} & 0 \\ 0 & 0 & -\mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\Delta} \\ \ddot{\Delta} \\ \ddot{\Delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon} \\ \ddot{\mathbf{C}} \\ \ddot{\mathbf{C}} \end{bmatrix} \quad (106)$$

ifadesi ile gösterilebilir ve kısaca,

$$\bar{\mathbf{V}} + \bar{\mathbf{B}} \Delta = \bar{\mathbf{C}} \quad (107)$$

olarak gösterilebilir. Çalışmalarda, kullanılan sabit bazlı kameralar için baz uzaklığı koşulu ayrıca sisteme ilave edilmiştir ve çözüm bilinmeyenler arasında

koşul denklemleri bulunan dolaylı ölçüler dengelemesine göre yapılmıştır. Burada matematik model,

$$\bar{V} = \bar{B} - \bar{C} \quad (108)$$

$$\bar{D} \Delta + w = 0$$

şeklinde oluşturulur ve normal denklemler,

$$\bar{B}^T \bar{W} \bar{B} \Delta + \bar{D}^T k - \bar{B}^T \bar{W} \bar{C} = 0 \quad (109)$$

$$\bar{D} \Delta + w = 0$$

şeklinde kurulur. Buradan korelatlar ve dengeleme bilinmeyenleri,

$$k = \left\{ \bar{D} (\bar{B}^T \bar{W} \bar{B})^{-1} \bar{D}^T \right\}^{-1} \left\{ \bar{D} (\bar{B}^T \bar{W} \bar{B})^{-1} \bar{B}^T \bar{W} \bar{C} + w \right\} \quad (110)$$

$$\Delta = (\bar{B}^T \bar{W} \bar{B})^{-1} (\bar{B}^T \bar{W} \bar{C} - \bar{D}^T k)$$

k ve Δ eşitliklerden bulunabilir. Burada Δ , değerlendirmede kullanılan bütün resimlerin iç, dış yöneltme bilinmeyenleri ve kontrol noktalarının koordinat bilinmeyenleri için çözüm değerlerini içerir.

2.4. Topoğrafik Olmayan Fotogrametride Şartların Kullanımı

Topoğrafik olmayan fotogrametri, hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında yardımcı bir takım kolaylıklar söz konusudur. Bunun yanında topoğrafik olmayan fotogrametride kullanılan bilgiler sadece nokta koordinatları şeklinde olmayabilir. Örneğin sabit bazlı metrik kameralar kullanıldığında kameraların konumunu veya yöneltmesini (durumunu) belirleyen bilgiler olabilir; ayrıca cisim uzayı noktaları arasındaki bazı ilişkiler yine yardımcı bilgiler olarak çözümde kullanılabilir. Noktalar arasındaki ilişkiler, noktaların bir doğru üzerinde veya bir daire üzerinde olması gibi geometrik durumları içerebilir; bunun yanında üç nokta arasındaki açı veya iki nokta arasındaki uzaklık yine ilgili şartlar olabilir.

Bu bilgiler özenli bir şekilde çözüm içine konulduğunda daha ekonomik ve daha yüksek kaliteli çözümler elde edilebilir.

2.4.1. Kamera Geometrik Şartları

Genellikle sabit bazlı metrik kameraların kullanıldığı çalışmalarda, kamera geometrik şartları uygulanabilir. Bu tür çalışmalarda önceden bir cisim uzayı koordinat sistemi tanımlanmamışsa, kameraların yöneltmesi ve baz yardımı ile bir koordinat sistemi tanımlanabilir. Koordinat sistemini tanımlama sırasında konum ve yöneltme ile ilgili şartlar kullanılır. Cisim uzayı koordinat sistemi daha önceden tanımlanmış ise o zaman, kamera konumu ile ilgili bilgiler yazılan şartlar yardımı ile çözüm sistemine ilave edilir.

Sabit bazlı kameralar için söz konusu şartlar kameraların karşılıklı konumlandırılmasını ve kameralar arasındaki uzaklığı içerir. Baz uzaklığı, b olan sabit bazlı kameralar için uzaklık şartı,

$$(X_{o2} - X_{o1})^2 + (Y_{o2} - Y_{o1})^2 + (Z_{o2} - Z_{o1})^2 = b^2 \quad (111)$$

şeklinde yazılabilir. Karşılıklı yöneltme (durum) şartı, iki kameranın karşılıklı n yöneltme elemanlarını basitçe eşitlemeyi içerir. Örneğin kameralar normal durumda ise karşılıklı durum şartları,

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \omega_2 \\ \varphi_1 &= \varphi_2 \\ \kappa_1 &= \kappa_2 \end{aligned} \quad (112)$$

şeklinde ifade edilebilir. Normal durum dışında kameraların durumuna göre yakınsama veya uzaklaşma miktarları (112) eşitliklerine ilave edilir [7]

2.4.2. Cisim Uzayı Geometrik Şartları

Noktaların herhangi bilinen geometrik şekli, çözümde ilave şartlar yazılarak kullanılabilir. Böyle şekiller iki boyutlu olabilir, doğru çizgiler veya daireler gibi veya üç boyutlu olabilir ki, bunlar bir düzlem veya bir silindir gibi yüzeylerde yer alan noktalar şeklindedir. İki boyutlu şartlar kullanıldığı zaman

iki boyutlu olarak ele alınmış olmasına rağmen üç boyutlu uzayda düşünüldüğü göz önünde tutulur. Örneğin, noktalar iki boyutlu bir daire üzerinde yer aldığı durumda, bir düzlemdeki noktaları sınırlandırmak için bir eşitlik ilave edilmiş olmalıdır.

Çok genel bir şart, bir doğru üzerinde olan noktalar içindir. Keyfi yöneltme ile bir doğru için ilgili şart, tanımlanan iki noktanın koordinatlarından,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1} \quad (113)$$

şeklinde yazılabilir. Belirli özel durumlarda, düşey olduğu bilinen çekül doğrularındaki gibi doğrunun yöneltmesi bilinebilir. Cisim uzayı koordinat sisteminin Z eksenini düşey olarak alınırsa, doğru şartı,

$$\begin{aligned} X_p &= X_1 = 0 \\ Y_p &= Y_1 = 0 \end{aligned} \quad (114)$$

olarak yazılabilir. Burada X_1, Y_1 , doğru ile ilgili X, Y koordinatlarıdır; X_p, Y_p doğru üzerindeki bir noktanın koordinatlarıdır.

Noktalar iki boyutlu geometrik şeklin diğer bazı tiplerinde yer alırsa o zaman uygun eşitlikler, yüzey bir düzlem ve uygun üç boyutlu yüzeyin arakesiti olarak yazılmış olabilir. Örneğin noktalar bir dairede yer alırsa şart bir küre denklemi ve uygun yöneltme ile kürenin merkezi yardımı ile bir düzlem denklemi kullanılarak yazılmış olabilir. Eğer küre merkezinin koordinatları X_s, Y_s, Z_s ve yarıçap r ise kürenin deklemini,

$$(X - X_s)^2 + (Y - Y_s)^2 + (Z - Z_s)^2 = r^2 \quad (115)$$

ve düzlem,

$$Ax + By + Cz + 1 = 0 \quad (116)$$

şeklinde gösterilir. Daire bir koordinat düzleminde yer alan özel durumlarda düzlem şartı gerekli değildir. Örneğin yatay bir daire durumunda eşitlikler,

$$(X - X_s)^2 + (Y - Y_s)^2 = r^2 \quad (117)$$

şeklinde olabilir. Elipsler veya paraboller gibi diğer quadrik şekillerde de bu yöntem kullanılabilir [7].

Çalışma ortamında iki nokta arasındaki mesafe bilinirse, modelin ölçeğini belirlemek için yardımcı olabilecek bir şart ilave edilebilir. Bu durumda şart eşitliği,

$$(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2 = d^2 \quad (118)$$

şeklinde yazılabilir. Ayrıca görüntüde paralel doğrular fotoğrafın yöneltmesinde güçlü bir şart sağlayabilir.

2.5. Doğrusallık Koşulu Kullanılarak Uzay Önden Kestirme

Doğrusallık eşitlikleri kamera istasyonunun koordinatları, dönüklük elemanları ve arazi noktasının koordinatları olmak üzere üç grup parametreyi içerir. Bu parametrelerden ilk iki grubu bilinirse, üçüncü grup yani arazi koordinatları yine bu eşitliklerden bilinen değerler yerine konularak bulunabilir. İki veya daha fazla resimde bulunan noktaların resim koordinatları ve buldukları resimlerin yöneltme elemanları yardımı ile ilgili noktanın arazi koordinatlarını belirleme işlemi uzay önden kestirme (intersection) olarak adlandırılır.

Resim koordinatlarındaki artık hatalar,

$$v_x = x_{\text{gözlem}} - x_{\text{hesap}} \quad (119)$$

$$v_z = z_{\text{gözlem}} - z_{\text{hesap}}$$

olarak gösterilebilir. Burada hesaplamalar,

$$x_{\text{hesap}} = c \frac{m_{11} (X - X_0) + m_{12} (Z - Z_0) + m_{13} (Y - Y_0)}{m_{31} (X - X_0) + m_{32} (Z - Z_0) + m_{33} (Y - Y_0)} \quad (120)$$

$$z_{\text{hesap}} = c \frac{m_{21} (X - X_0) + m_{22} (Z - Z_0) + m_{23} (Y - Y_0)}{m_{31} (X - X_0) + m_{32} (Z - Z_0) + m_{33} (Y - Y_0)}$$

şeklindedir. Buna göre düzeltmeler,

$$v_x = x_{\text{gözlem}} - c \frac{R_1}{R_3} \quad (121)$$

$$v_z = z_{\text{gözlem}} - c \frac{R_2}{R_3}$$

şeklinde yazılabilir. (121) eşitliklerinde her iki taraf R_3 ile çarpılırsa,

$$R_3 v_x = R_3 x - R_1 c \quad (122)$$

$$R_3 v_z = R_3 z - R_2 c$$

şekline dönüşür. Bu eşitliklerdeki R_3 resimden resime, noktanın konumu ile ilgili olarak değişim gösterebilir. Daha önce F_x ve F_z 'e göre alınan kısmi türevlerden yararlanarak,

$$v_x = (G_{1,11} X + G_{1,12} Y + G_{1,13} Z) / R_3 - (G_{1,11} X_0 + G_{1,12} Y_0 + G_{1,13} Z_0) / R_3 \quad (123)$$

$$v_y = (G_{2,11} X + G_{2,12} Y + G_{2,13} Z) / R_3 - (G_{2,11} X_0 + G_{2,12} Y_0 + G_{2,13} Z_0) / R_3$$

eşitlikleri yazılabilir. Herbir resim için (123) eşitlikleri bilinmeyen X , Y , Z e göre düzenlenirse,

$$\begin{bmatrix} G_{1,11} & G_{1,12} & G_{1,13} \\ G_{2,11} & G_{2,12} & G_{2,13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (124)$$

şeklinde gösterilebilir.

En az iki resim gerektiren (124) eşitliklerinin çözümü için iki veya daha fazla iterasyon gerekebilir. İlk iterasyonda $R_3 = 1$ olarak işlem yapılır. İlk iterasyon sonunda bulunan (X, Y, Z) cisim uzayı koordinatları ile R_3 hesaplanır ve sonraki iterasyonlara, her defasında hesaplanan R_3 değeri ile devam edilir. İterasyona, noktanın X ve Y cisim uzayı koordinatlarındaki değişim önemsiz olana kadar devam edilir. Genellikle X ve Y cisim uzayı koordinatlarındaki değişimin resim ölçeğindeki değeri $10^{-1} \mu m$ oluncaya kadar devam edilir.

2.6. Yüzeyler

Üç değişkeni içeren ikinci derece eşitlikler yardımı ile tanımlanmış olan yüzeyler quadrik yüzeyler veya konikoidler olarak adlandırılırlar. Bir quadrik yüzeyin herhangi bir düzlemlle kesiti bir koniktir [40]. Koniklerle ilgili üç değişkeni içeren, ikinci dereceden genel denklem çoğunlukla,

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Gx + Hy + Iz + K = 0 \quad (125)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Bu yüzeylerin tanımlanmasında kullanılan koordinat eksenlerinin döndürülmesi ve ötelenmesiyle veya bu hareketlerin her ikisinde söz konusu olduğu durumlarda (125) eşitliği,

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 = D \quad (126)$$

$$Ax^2 + By^2 + Iz = 0 \quad (127)$$

şeklinde gösterilebilen iki gruptan biri içerisine dönüştürülebilir. (126) veya (127) eşitliklerindeki katsayılar sıfır değilse, eşitlikler,

$$\pm \frac{x^2}{a^2} \pm \frac{y^2}{b^2} \pm \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (128)$$

$$\pm \frac{x^2}{a^2} \pm \frac{y^2}{b^2} = \frac{z}{c} \quad (129)$$

şeklinde yazılabilir. Bu duruma paralel olarak da (128) eşitlikleri,

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (130)$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (131)$$

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (132)$$

bağıntıları ile yazılabilen üç farklı yüzeyi gösterir. Bütün bu yüzeyler başlangıca göre simetrik olduğundan dolayı merkezi quadrikler olarak adlandırılırlar. (129) eşitliği ile gösterilen iki yüzey ise merkezi olmayan quadrikler olarak adlandırılırlar [41].

2.6.1. Küre (Sphere)

Uzayda sabit bir O noktasından, bilinen bir a uzaklığında bulunan noktaların geometrik yeri küre yüzeyini gösterir; ve bu yüzeyle sınırlanan cisim küre olarak adlandırılır. (130) eşitliğinde $a=b=c$ ise, bu yüzey bir küre yüzeyini temsil eder ve merkezinin koordinatları (0, 0, 0) olan, a yarıçaplı kürenin denklemi,

$$x^2 + y^2 + z^2 = a^2 \quad (133)$$

şeklinde yazılabilir. Eğer kürenin merkez koordinatları (h, k, j) ise eşitlik,

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 + (z - j)^2 = a^2 \quad (134)$$

şeklinde ifade edilebilir. (134) eşitliği ile verilen küre denkleminin parametrik gösterimle ifadesi,

$$x^2 + y^2 + z^2 + Ax + By + Cz + D = 0 \quad (135)$$

bağıntısı ile yazılabilir. Burada,

$$A = -2h$$

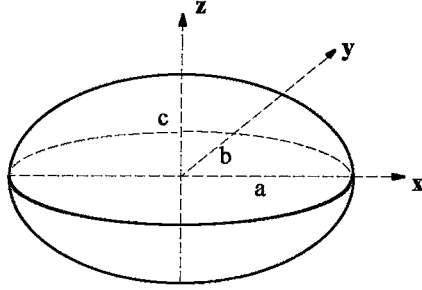
$$B = -2k$$

$$C = -2j$$

$$D = h^2 + k^2 + j^2 - a^2$$

a = Kürenin yarıçapıdır.

2.6.2. Elipsoid (Ellipsoid)



Şekil 11. Elipsoid yüzeyi

Eğer (130) eşitliğinde a, b, c parametreleri eşit değilse, eşitlik Şekil 11. de görülen genel bir elipsoid denklemini gösterir. Buna karşı $a \neq b$ fakat $b = c$ ise elipsoid bir dönelel elipsoiddir. Eğer elipsoidin merkezinin koordinatları (h, k, j) ve onun eksenleri koordinat eksenlerine paralel ise eşitlikler,

$$\frac{(x-h)^2}{a^2} + \frac{(y-k)^2}{b^2} + \frac{(z-j)^2}{c^2} = 1 \quad (136)$$

şeklinde yazılabilir. Bu elipsoidin y eksenini etrafında döndürülmüş dönelel elipsoid olması halinde denklem,

$$\frac{(x-h)^2}{a^2} + \frac{(y-k)^2}{b^2} + \frac{(z-j)^2}{a^2} = 1 \quad (137)$$

ifadesi ile gösterilir.

2.7. Bir Grup Veri Kümesinden Belirli Yüzeylerin Geçirilmesi

2.7.1. Küre Yüzeyinin Geçirilmesi

Bir grup veriden küre yüzeyinin geçirilmesi için (135) eşitliği ile verilmiş olan küre denkleminde, herbir noktanın x , y , z koordinatları veri olarak, A , B , C , D , katsayıları da bilinmeyen olarak ele alınabilir. Bu durumda endirekt ölçüler dengelemesine göre bilinmeyenlerin katsayıları, matris gösterimle,

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_n & y_n & z_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n^2 + y_n^2 + z_n^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ v_n \end{bmatrix} \quad (138)$$

şeklinde, kısaca,

$$\underline{A}x + \underline{L} = \underline{v} \quad (139)$$

bağıntısı ile yazılabilir. Ağırlıkları eşit olan bu verilerden en küçük kareler ilkesine göre normal denklemler,

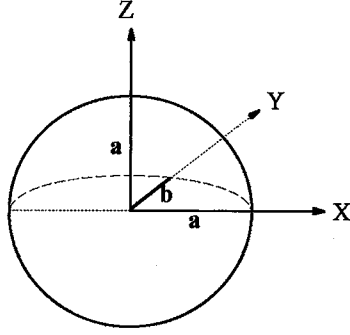
$$\underline{A}^T \underline{A}x + \underline{A}^T \underline{L} = 0 \quad (140)$$

ifadesi ile ve çözüm vektörü,

$$x = -(\underline{A}^T \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{L} \quad (141)$$

şeklinde belirlenebilir. Çözümde yüzey denklemindeki A , B , C ve D katsayıları belirlendikten sonra bu katsayılarla ilgili olarak yüzeyin yarıçapı bulunabilir.

2.7.2. Elipsoid Yüzeyinin Geçirilmesi



Şekil 12. y eksenini etrafında döndürülmüş yarım dönül elipsoid

Başlangıç koordinatları (h, k, p) olan ve Şekil 12.'de gösterilen y eksenini etrafında döndürülmüş dönül elipsoidin matematiksel olarak ifadesi,

$$F = \frac{(x-h)^2}{a^2} + \frac{(y-k)^2}{b^2} + \frac{(z-p)^2}{a^2} - 1 = 0 \quad (142)$$

şeklinde yazılabilir. Çalışmalarda x ve z eksenleri yönündeki yarı eksen a; y eksenini yönündeki yarı eksen b olarak alınmıştır. Bir grup veriden dönül bir elipsoid yüzeyinin geçirilmesinde verilenler; noktaların x, y, z koordinatları, istenenler (142) eşitliğindeki a, b, h, k, p parametreleridir. (142) eşitliği bilinmeyenlere göre doğrusal olmadığı için öncelikle doğrusallaştırılır. Genel olarak doğrusallaştırmada fonksiyon,

$$F = F_0 + df \quad (143)$$

$$F + v = df + F_0 \quad (144)$$

$$v = df - (F - F_0) \quad (145)$$

ifadeleri ile Taylor serisine göre açılarak yaklaşık değerlerin uygun seçilmesi durumunda, sadece birinci derece terimler alınıp, diğerleri ihmal edilebilir. İhmal edilen terimlerden dolayı çözüm işlemi iteratif olarak gerçekleştirilir. Bu açılımda fonksiyonun yaklaşık değerleri,

$$F_0 = \frac{(x-h_0)^2}{a_0^2} + \frac{(y-k_0)^2}{b_0^2} + \frac{(z-p_0)^2}{a_0^2} - 1 \quad (146)$$

bağıntısı ile, bilinmeyenlere göre kısmi türevler ise,

$$df = \frac{\partial F}{\partial a} da + \frac{\partial F}{\partial b} db + \frac{\partial F}{\partial h} dh + \frac{\partial F}{\partial k} dk + \frac{\partial F}{\partial p} dp \quad (147)$$

şeklinde yazılabilir.

Deneysel çalışmalarda, yüzeyi oluşturacak veri grubundaki nokta koordinatlarından, elipsoidin yarıçapları ile ilgili ilk yaklaşık değerler elde edilmiştir. İlk adımda veri grubundan elde edilen yarıçaplar sabit alınarak, dönel elipsoid yüzeyinin başlangıç koordinatları h_0 , k_0 , p_0 'ın ilk yaklaşık değerleri hesaplanmıştır. İterasyonu durdurma kriteri olarak, enson iterasyon sonucu ile bir önceki iterasyon sonucu arasındaki fark $dc=0.0001$ olarak alınmıştır.

İkinci adımda, birinci adımda elde edilen değerler yaklaşık değerler olarak alınarak en küçük kareler yöntemine göre çözüm yapılmıştır. Buna göre (142) eşitliğinde yarıçaplar ve başlangıç koordinatları ile ilgili kısmi türevler,

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial a} &= b_{i1} = -\frac{2}{a^3} [(x-h)^2 + (z-p)^2] \\ \frac{\partial F}{\partial b} &= b_{i2} = -\frac{2}{b^3} (y-k)^2 \\ \frac{\partial F}{\partial h} &= b_{i3} = -\frac{2}{a^2} (x-h) \\ \frac{\partial F}{\partial k} &= b_{i4} = -\frac{2}{b^2} (y-k) \\ \frac{\partial F}{\partial p} &= b_{i5} = -\frac{2}{a^2} (z-p) \end{aligned} \quad (148)$$

şeklinde alınabilir. Yüzey parametrelerini belirlemede kullanılan n nokta için düzeltme denklemleri,

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ b_{n1} & \cdot & \cdot & \cdot & b_{n5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} da \\ db \\ dh \\ dk \\ dp \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ L_n \end{bmatrix} \quad (149)$$

ifadesi ile kurulabilir. Ve kısaca,

$$v = \underline{B}x - \underline{L} \quad (150)$$

şeklinde ifade edilebilir. i.ci nokta için sabit terimin yapısı,

$$L_i = \left[\frac{(x_i - h_o)^2}{a_o^2} + \frac{(y_i - k_o)^2}{b_o^2} + \frac{(z_i - p_o)^2}{a_o^2} - 1 \right] \quad (151)$$

bağıntısı ile gösterilebilir. Ağırlıkları eşit korelasyonsuz dolaylı ölçüler dengelemesine göre normal denklemler,

$$\underline{B}^T \underline{B}x - \underline{B}^T \underline{L} = 0 \quad (152)$$

şeklinde ve çözüm vektörü,

$$x = (\underline{B}^T \underline{B})^{-1} \underline{B}^T \underline{L} \quad (153)$$

olarak yazılabilir. Çözümde iterasyon,

$$\begin{aligned} a_{o(n+1)} &= a_{o(n)} + da \\ b_{o(n+1)} &= b_{o(n)} + db \\ h_{o(n+1)} &= h_{o(n)} + dh \\ k_{o(n+1)} &= k_{o(n)} + dk \\ p_{o(n+1)} &= p_{o(n)} + dp \end{aligned} \quad (154)$$

şeklinde devam ettirilir. Burda da durdurma kriteri olarak yine $dc=0.0001$ alınmıştır.

2.7.3. Geçirilen Dengeleyici Yüzeylerden İlgili Noktaların Üç Koordinat Ekseni Yönündeki Farklarının Bulunması

Bir grup üç boyutlu koordinat değerlerine dayalı olarak belirlenen dengeleyici yüzeylerden, grup içerisinde yer alan herbir noktanın x , y , z yönlerindeki sapmaları incelenebilir.

Küre yüzeyi için (135) denkleminde bulunan A , B , C , D parametreleri (141) bağıntısı ile belirlendikten sonra, bulunan bu parametreler yine (135) eşitliğinde yerine konulduğunda,

$$\begin{aligned}x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + Ax_1 + By_1 + Cz_1 + D &= k_{b_1} \\x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 + Ax_2 + By_2 + Cz_2 + D &= k_{b_2} \\&\vdots \\x_n^2 + y_n^2 + z_n^2 + Ax_n + By_n + Cz_n + D &= k_{b_n}\end{aligned}\tag{155}$$

bağıntıları elde edilebilir. Burada k_{b_i} miktarları fonksiyonun kapanmalarını gösterir ve bu değerler bu aşamada dengelemede ölçü olarak kullanılabilir [42]. (155) eşitliklerinde x , y , z 'e göre kısmi türevler,

$$dk_{b_i} = 2x_i dx_i + 2y_i dy_i + 2z_i dz_i + A dx_i + B dy_i + C dz_i\tag{156}$$

şeklinde alınabilir; ve dx , dy , dz koordinat düzeltmeleri,

$$(2x_i + A)dx_i + (2y_i + B)dy_i + (2z_i + C)dz_i - dk_{b_i} = 0\tag{157}$$

şeklinde düzenlenebilir.

Eğer herbir denklem birden fazla bilinmeyeni içeriyorsa, yani herbir veri için 1 den fazla bilinmeyen varsa $u > n$ ise bu taktirde $(AP^{-1}A^T)^+$ matrisinin (katsayılar matrisi) psödo inversi alınarak koşullu ölçülere göre çözümü mümkündür [42].

Koşullu ölçüler dengelemesine göre, (157) eşitliğinden düzeltme koşul denklemleri,

$$\underline{A}v + \underline{W} = 0 \quad (158)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.(158) eşitliğindeki \underline{A} katsayılar matrisi,

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} (2x_1 + A) & (2y_1 + B) & (2z_1 + C) & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (2x_2 + A) & (2y_2 + B) & (2z_2 + C) & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & (2x_n + A) & (2y_n + B) & (2z_n + C) \end{bmatrix} \quad (159)$$

şeklinde bant matris olarak yazılabilir. Aynı eşitlikten kapanmalar,

$$\underline{W} = \begin{bmatrix} dk_{b1} \\ dk_{b2} \\ \dots \\ \dots \\ dk_{bn} \end{bmatrix} \quad (160)$$

gösterimi ile, bilinmeyenleri içeren düzeltme vektörü,

$$\underset{(3n)}{v} = \begin{bmatrix} dx_1 \\ dy_1 \\ dz_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ dx_n \\ dy_n \\ dz_n \end{bmatrix} \quad (161)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

n: ölçü sayısı

u: bilinmeyen sayısıdır.

Dengeleyici elipsoid yüzeyini oluşturan nokta koordinat değerlerinin bu yüzeyden sapmaları, küre yüzeyindeki duruma benzer şekilde belirlenebilir. Daha önce (142) eşitliği kullanılarak bulunan yüzey parametreleri a, b, h, k, p bu safhada bilinen değerler olarak aynı eşitlikte yerine konulduğunda,

$$e_b = \frac{(x-h)^2}{a^2} + \frac{(y-k)^2}{b^2} + \frac{(z-p)^2}{a^2} - 1 \quad (162)$$

şeklinde kapanmalar bulunabilir. Yine bu kapanmalar daha sonraki işlemde ölçü olarak kabul edilebilirler. (162) fonksiyonunda x, y, ve z e göre kısmi türevler,

$$de_b = \frac{2(x-h)}{a^2} dx + \frac{2(y-k)}{b^2} dy + \frac{2(z-p)}{a^2} dz \quad (163)$$

şeklinde alınarak ilgili noktanın dengeleyici yüzeyden x, y, z yönündeki dx, dy, dz sapmaları bulunabilir. Koşullu ölçüler dengelemesine göre düzenlendiğinde düzeltme koşul denklemleri,

$$\frac{2(x-h)}{a^2} dx + \frac{2(y-k)}{b^2} dy + \frac{2(z-p)}{a^2} dz - \underline{W} = 0 \quad (164)$$

olarak ve kısaca,

$$\begin{matrix} \underline{A} & \underline{v} & + & \underline{W} & = & \underline{0} \\ (n,3n) & (n,1) & & (n,1) & & (n,1) \end{matrix} \quad (165)$$

şeklinde gösterilebilir. \underline{v} düzeltmeleri içeren vektörü daha önce verilmiş olan (161) eşitliği ile aynıdır. Ayrıca katsayılar matrisi \underline{A} ,

$$\underline{A} = \begin{matrix} (n,3n) & \left[\begin{array}{cccccc} \frac{2(x_1 - h)}{a^2} & \frac{2(y_1 - k)}{b^2} & \frac{2(z_1 - p)}{a^2} & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \frac{2(x_2 - h)}{a^2} & \frac{2(y_2 - k)}{b^2} & \frac{2(z_2 - p)}{a^2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \frac{2(x_n - h)}{a^2} & \frac{2(y_n - k)}{b^2} & \frac{2(z_n - p)}{a^2} \end{array} \right] & \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{matrix} 0 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix} \quad (166)$$

şeklinde gösterilebilir. Her iki yüzey için koşullu ölçüler dengelemesine göre (158) ve (165) bağıntıları ile belirlenen düzeltme koşul denklemlerinden normal denklemler,

$$\underline{A} \underline{P}^{-1} \underline{A}^T \underline{k} + \underline{W} = \underline{0} \quad (167)$$

şeklinde kurulabilir. Çözümde korelatlar,

$$\underline{k} = -(\underline{A} \underline{P}^{-1} \underline{A})^+ \underline{W} \quad (168)$$

ifadesi ile, koordinatlar için düzeltme vektörü,

$$\underline{v} = \underline{A}^T \underline{k} = \underline{A}^T (\underline{A} \underline{P}^{-1} \underline{A})^+ \underline{W} \quad (169)$$

bağıntısından bulunabilir. Denetimler,

$$\underline{V}^T \underline{P} \underline{V} = -\underline{W}^T \underline{k} \quad (170)$$

bağıntısı ile yapılır; ve birim ölçünün ortalama hatası,

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{r}} \quad (171)$$

şeklinde hesaplanabilir.

2.8. Deney Düzeneginin Tanıtımı

Bir doğru veya eğrinin sabit bir eksen etrafında döndürülmesiyle meydana gelen bir yüzey döneel yüzey olarak adlandırılır. Sabit eksene dönme eksenine ismi verilir. *Herhangi bir döneel yüzeyin dönme eksenine dik düzlemle ara kesiti dairedir.* Bu çalışmada, döneel yüzeylerin oluşturulmasında bu temel düşünceden faydalanılmış, çeşitli çapta çemberler oluşturulup, bunların arasının değiştirilmesiyle elipsoid ve küre yüzeyleri temsil edilmiştir.

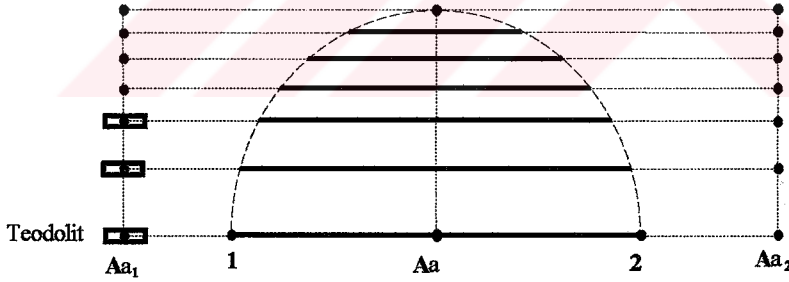
Çalışmalarda kullanılan Resim 1.'de gösterilen deney düzenegi, bir altlık ve bu altlık üzerinde kaydırılabilen, yükseltip alçaltılabilen yedi çemberden oluşmaktadır. Sistemin yapılmasında kullanılan malzemenin tümü metaldir. Bu çemberlerin en büyüğü, yüzey merkezlerinin içinde bulunduğu birinci çemberdir ve 1.885 m çapındadır. Altlığa sabit bir şekilde bağlanmıştır. İkinci çember 1.600 m, üçüncü çember 1.220 m, dördüncü çember 0.795 m, beşinci çember 0.380 m, altıncı çember 0.192 m ve yedinci daire 0.010 m çapındadır.

Birinci çember alt kısmından altlığa monte edilmiştir. Ayrıca üstten iki çelik çubuk ile Resim 2.'de görüldüğü gibi arka desteğe vidalarla bağlanmıştır. Birinci çember hariç diğer bütün çemberler, altlık ve sistemin arka kısmında yapılmış destek üzerinde hareketlidir. Bu çemberler yine Resim 2.'de görüldüğü gibi demir çubuklarla ana gövdeyle irtibatlandırılmışlardır. Çemberlerin merkez yüksekliklerinin ayarlanması için her bir demir çubuğun bir kısmı vidalı olarak yapılmıştır. Resim 3.'de gösterilen çift somun sistemine göre bu çubukların alçaltılıp yükseltilmesi mümkündür. Çemberlerin üst kısımları ise birinci çemberdeki gibi arka desteğe bağlanmıştır. Oluşturulacak olan küre ve elipsoid yüzeylerinin merkezleri, sabit olan birinci çember üzerindedir. Bütün çemberlerin merkezleri, birbirine mümkün olduğu kadar dik konumda kesişen ve çapı temsil

eden ince çelik tellerin kesim noktası olarak belirlenmiştir. Değişik yüzeylerin oluşturulması sırasında, birinci çember dışındaki çemberlerin yüzey merkezinden olan uzaklıkları ve yükseklikleri oluşturulan bu sisteme göre ayarlanır. Bu işlemler iki adımda gerçekleştirilmiştir.

Birinci adımda çember merkezlerinin, sistem merkezi ile aynı yükseklikte olması sağlanmıştır. Bunun için test düzeneğine yakın bir yere kurulan nivo ile birinci çemberin merkezine tutulan milimetrik cetvel üzerindeki okuma değeri, diğer çemberlerin merkezlerine tutulan aynı cetvel üzerinde okununcaya kadar çemberler yükseltilmiş veya alçaltılmıştır. Çember merkezlerinin yüksekliklerinin ayarı, çemberleri taşıyan demir çubukları sistemin altlığına bağlayan somunların hareketi yardımı ile yapılmıştır.

Sistemi kurmanın ikinci adımı, birinci çember hariç diğer tüm çemberlerin sistem merkezinden olan uzaklıklarının verilmesi ve bütün çemberlerin diklik kontrolünün yapılmasıdır. Çemberlerin yüzey merkezinden olan uzaklıklarının sisteme verilmesi, Resim 4.'de görülen, altlık üzerine monte edilmiş bir milimetrik cetvel ile, çemberlerin dik durumda olması ise her iki tarafta bulunan arka desteğe bağlı vidalı çelik çubuklarla sağlanmıştır.



Şekil 13. Yüzeyin oluşumunda çemberlerin diklik koşulunun sağlanmasındaki şema

Çemberlerin diklik konumunun belirlenmesinde, Şekil 13.'de gösterildiği gibi, birinci çember merkezinden geçen doğru üzerinde 1, Aa, 2 şeklinde üç nokta şakülle zeminde belirlenmiştir. Bu noktalardan geçen doğrultu uzatılarak Aa₁ ve Aa₂ noktaları belirlenmiştir. Belirlenen Aa₁ ve Aa₂ noktalarından, diğer çemberlerin birinci çemberden uzaklıkları, oluşturulan yüzeylerin her iki tarafından kontrollü olarak zeminde işaretlenmiştir. Daha sonra bütün

emberlerde tekrarlanacak Şekilde, iŐaretlenmiŐ iki noktadan birine teodolit kurulmuş diğerinden doğrultu belirlenmiştir. Teodolit ile tesbit edilen bu doğrultuda çember üzerine yerleŐtirilmiŐ bütün işaretli noktaların bir düzlemde olması sağlanarak arka destek üzerindeki vidalar sıkıŐtırılmıŐtır. Çember dikliklerinin sağlanması işlemleri bütün emberlerde aynı Şekilde tekrarlanmıştır. Bu işlemler sonucunda istenilen yüzeyler oluşturulmuştur.





Resim 1. Çalışma alanının görünüşü



Resim 2. Deneş düzeneğinin yandan görünüşü



Resim 3. Çemberlerin yüksekliklerinin verildiği çift somun sistemi

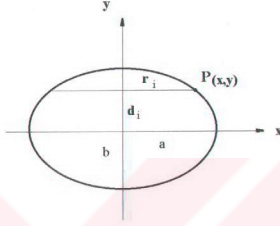


Resim 4. Çemberlerin yüzey merkezinden uzaklıklarının verilmesinde kullanılan milimetrik ölçü düzeni

Deneyisel çalışmalarda elipsoid ve küre yüzeyleri oluşturulmuştur. Dönel elipsoidin temel elemanı olan elips (a, b) üzerindeki bir P noktası,

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (172)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.



Şekil 14. Elipsoid üzerindeki bir P noktasının konumunu belirleyen parametreler

Şekil 14.'den görülebileceği gibi elipsoid üzerindeki P noktasının (x, y) koordinatları yerine (172) eşitliğinde dönme eksenı yönünde yüzey merkezinden olan uzaklık (d) ve bu uzaklıkdaki çemberin (r) yarıçapını ifade eden (r, d) büyüklükleri yerine konulduğunda,

$$\frac{r^2}{a^2} + \frac{d^2}{b^2} = 1 \quad (173)$$

olarak yazılabilir. (173) eşitliğinde gerekli düzenlemeler yapıldığında dönel elipsoid ile dönme eksenine dik düzlemin arakesiti olan r_i yarıçaplı çemberin merkeze uzaklığı d_i ,

$$d_i = \sqrt{\frac{a^2b^2 - r_i^2b^2}{a^2}} \quad (174)$$

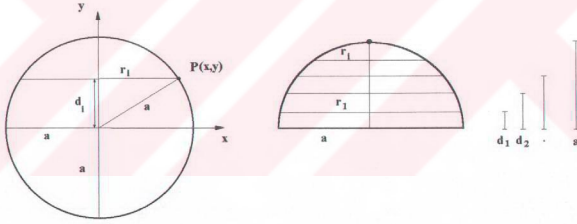
bağıntısından bulunabilir. Deney düzeneğinde elipsoid yüzeyinin oluşturulması sırasında, a uzunluğu birinci dairenin yarıçapı 0.942 metredir. b uzunluğu ise 1/10

basıklık oranı seçilerek 0.845 m olarak alınmıştır. Deney düzeneğini oluşturan çemberler ve yüzey merkezinden olan uzaklıklar tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Elipsoid yüzeyi için çemberlerin yarıçapları ve yüzey merkezinden olan uzaklıkları

Çember Numarası	Çemberin Yarıçapı (r) metre	Çemberin Yüzey Merkezinden Olan Uzaklığı (d) metre
1	0.942	0.000
2	0.800	0.447
3	0.610	0.644
4	0.400	0.765
5	0.190	0.827
6	0.100	0.840
7	0.005	0.845

Aynı düşünceden hareket ederek küre yüzeyinin oluşturulmasında da yine (172) eşitliği ele alınabilir. Ancak kürede yarıçaplar $a=b$ şeklindedir.



Şekil 15. Küre yüzeyi üzerindeki P noktasını belirleyen parametreler ve yüzeyi oluşturan dairelerin küre merkezinden olan uzaklıklar

Şekil 15.'den ve (172) eşitliğinde kürenin özelliğinden yararlanarak küre merkezinden olan d_i uzaklığı,

$$r_i^2 + d_i^2 = a^2$$

$$d_i = \sqrt{a^2 - r_i^2}$$

(175)

şeklinde hesaplanabilir. Burada,

a : Kürenin yarıçapı

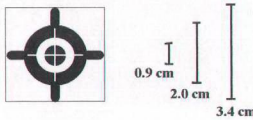
r_i : Küre merkezinden d_i uzaklıktaki dairenin yarıçapı

dır. Her iki yüzey için hesaplanan, yüzey merkezinden olan uzaklıklar deney sistemine verilerek dönele yüzeyler oluşturulmuştur. Sistemi oluşturan çemberlerin yarıçapları sabit olduğundan küre yüzeyinin oluşturulmasında da elipsoid yüzeyindeki yarıçap değerleri geçerlidir. Küre yüzeyi için yüzey merkezinden olan uzaklıklarda tablo 2.'de verilmiştir.

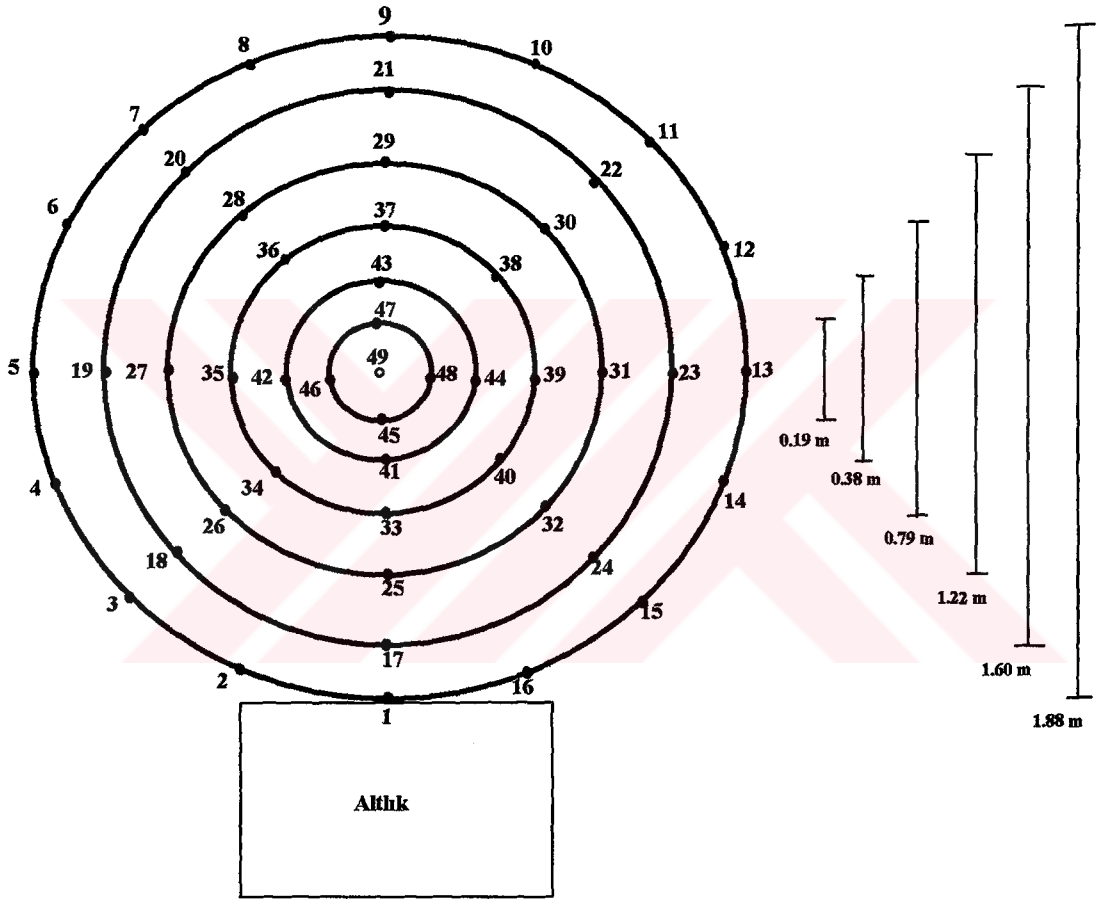
Tablo 2. Küre yüzeyi için çemberlerin yarıçapları ve yüzey merkezinden olan uzaklıkları

Çember Numarası	Çemberin Yarıçapı (r) metre	Çemberin Yüzey Merkezinden Olan Uzaklığı (d) metre
1	0.942	0.000
2	0.800	0.497
3	0.610	0.718
4	0.400	0.853
5	0.190	0.923
6	0.100	0.937
7	0.005	0.942

Dönele yüzeyleri tanımlamak için mevcut daireler üzerine belirli büyüklükte işaretli noktalar yapıştırılmıştır. Çalışmalarda birinci dairede 16, ikinci, üçüncü ve dördüncü dairelerde 8, beşinci, altıncı dairelerde 4 ve yedinci dairede 1 nokta olmak üzere toplam 49 adet Şekil 16.'da görülen işaret kullanılmıştır. Bu noktaların büyüklüğü planlanan çekim mesafelerine bağlı olarak belirlenmiştir.



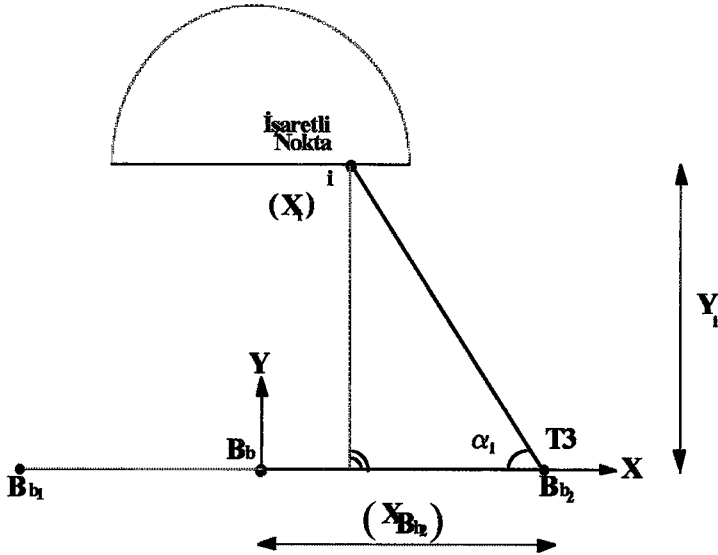
Şekil 16. Nokta işaretlerinin şekli



Şekil 17. Test cisminin çekim yönündeki görünüşü ve işaretli noktalar

kullanılmıştır. Bunun için Bb noktasına kurulan teodolit Aa noktasına yöneltilmiş daha sonra 100^g çevrilerek Bb₁ noktası işaretlenmiştir. Aynı işlemle Bb₂ noktası da belirlenmiştir. Dik açı ölçüsü 4 tam silsile yapılmıştır. Bundan sonra Bb₁, Bb ve Bb₂ noktalarının bir doğru üzerinde olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ayrıca BbAaBb₁ ve BbAaBb₂ dik üçgenlerinin Pysagor bağıntısı ile kenar kontrolleri yapılmıştır. Belirlenen BbB₂ doğrultusu koordinat sisteminin X eksenini, BbAa doğrultusu Y eksenini ve düşey doğrultuda Z eksenini olarak alınmıştır.

Deneyel çalışmalar iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada deney düzeneğinde elipsoid yüzeyi, ikinci aşamada küre yüzeyi oluşturulmuştur. Her iki aşamada da aşağıdaki işlemler izlenmiş, belirlenen cisim uzayı koordinat sistemine göre deney düzeneği üzerindeki işaretli 49 noktanın koordinat değerlerinin bulunması amacıyla şu ölçümler yapılmıştır. Deney düzeneğindeki her bir çember bir düzlem içinde yer aldığından, bir çember üzerinde olan işaretli noktalar aynı Y koordinat değerine sahiptir; ve bu değer daha önce ölçülen BbAa uzaklığı ile deney düzeneğinin kurulmasında kullanılan ara uzaklıklardan yararlanarak belirlenmiştir. İşaretli noktalara X koordinat değerlerinin verilmesi için, belirlenen Bb₂ noktasına Wild T3 aleti kurulmuş, önce Bb₁ noktasına daha sonrada deney düzeneği üzerindeki işaretli noktalara yöneltilmiş, doğrultu ölçümleri 2 tam silsile şeklinde yapılmıştır. Çalışmalarda ölçümler eşit ağırlıklı kabul edilip, hesaplamalarda göz önüne alınmamıştır.



Şekil 19. Deney düzeneği üzerindeki işaretli noktaların X koordinatlarının belirlenmesi

Şekil 19.'dan ve herbir çemberin Bb_1BbBb_2 doğrusuna paralellikinden yararlanarak, deney düzeneği üzerindeki herbir noktanın X koordinatı,

$$X_i = X_{Bb_2} - Y_i \cdot \text{Cot}\alpha_i \quad (176)$$

bağıntısından belirlenmiştir. Deney düzeneğindeki işaretlerin Z koordinatları ise Ni2 nivosu ve milimetrik cetvel kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca alet ve kamera kurulan bütün noktaların da başlangıç noktası Bb ye göre kotları verilmiştir.

Deney düzeneğinde bulunan işaretli noktaların elde edilen cisim uzayı koordinatlarından, hangi yüzey kullanılıyorsa bu yüzey geçirilmiş ve söz konusu işaretlerin geçirilen dengeleyici yüzeyden X, Y, Z yönündeki sapmaları hesaplanmıştır. Bu sapmalar maksimum 2mm olarak elde edilmiştir. Arazi ölçümlerinden elde edilen bu dengeleyici yüzeyler çalışmalarda baz olarak alınmıştır.

Elipsoid ve küre yüzeylerinin oluşturulduğu her iki aşamada da bu test cisminin farklı mesafelerden ve farklı yüksekliklerden SMK 120 stereokamera ile fotoğrafları alınmıştır. Resim çekimlerinde kullanılmak üzere AaBb doğrusu üzerinde deney düzeneğinden 5 m uzaklıkta Cc noktası, aynı şekilde 10m uzaklıkta Dd noktası belirlenmiştir. Cc ve Dd noktalarından Bb_1BbBb_2 doğrusuna paralel doğrular belirlenmiştir. Cc ve Dd noktalarına kurulan kameralar diyopter ile cisme yöneltilmiştir. Cc noktasına kurulan SMK 120 kamerasının deney düzeneğine yöneltilmesini kontrol amacı ile, Cc₁ noktasına teodolit kurulup Cc₂ noktasına yöneltilmiştir. Daha sonra kamera eksenini bu doğrultuya sokularak SMK 120 de bulunan kameraların deney düzeneğine paralel duruma getirilmesi sağlanmıştır. Aynı işlemler bütün çekimlerde tekrarlanmıştır. Çalışmalarda, SMK 120 kamerasının istenilen nokta üzerine çok hassas olarak kurulabilmesi için gerekli bir düzenin mevcut olmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle bütün durumlarda her iki kameranın objektif merkezlerinden inilen dik ile kamera çekim noktalarının (X_o, Y_o) cisim uzayı koordinatları belirlenmiştir. Ayrıca dik inilen noktaların bilinen yüksekliklerine kamera yüksekliği eklenerek çekim noktalarının (Z_o) değerleri elde edilmiştir.

Deney düzeneğinde oluşturulan elipsoid ve küre yüzeylerinin fotoğraflarının çekiminde, herbir yüzey için dört uygulama tekrarlanmıştır.

Uygulama I; çalışmalarda kullanılan SMK 120 stereokamerası deney düzeneğine 5 m uzaklıkta kurulup, kamera yüksekliği olarak dönel yüzey merkezinin yüksekliği (1.35 m) seçilerek fotoğraflar çekilmiştir.

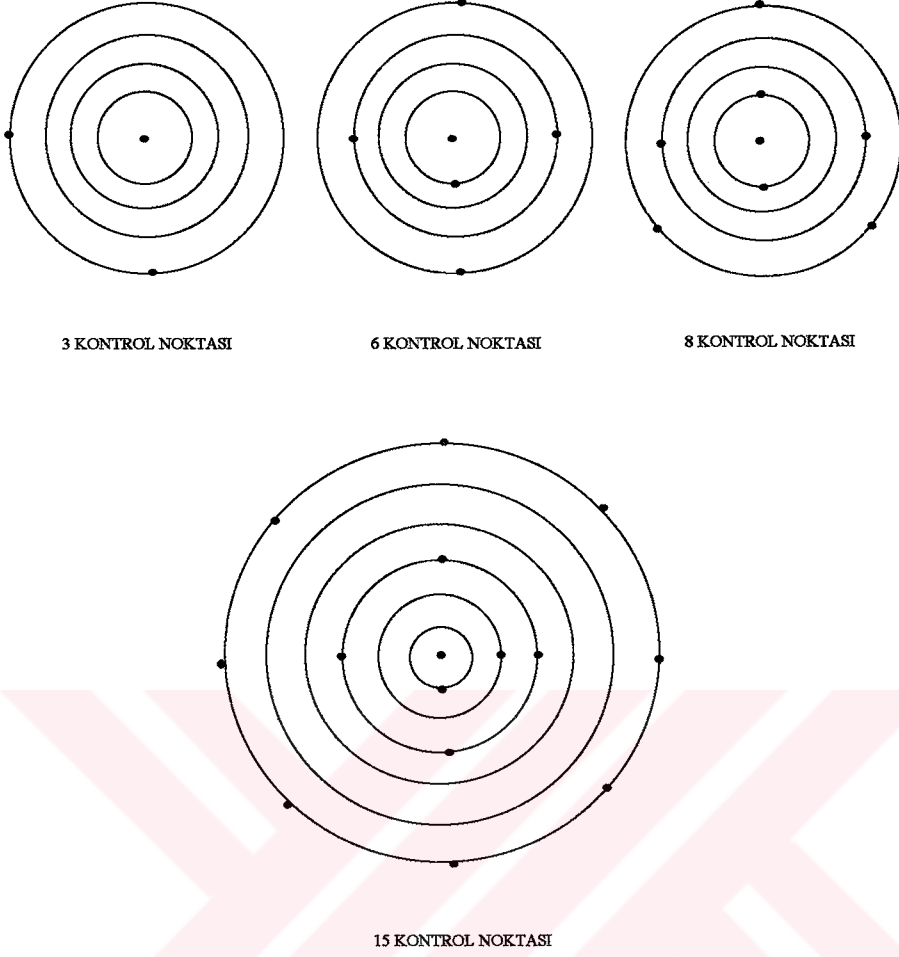
Uygulama II; Yine kameranın deney düzeneğinden uzaklığı 5 m olarak alınmış, kamera (1.550 m) yüksekliğe kurularak çekimler yapılmıştır.

Uygulama III; Kameranın cisimden olan uzaklığı yine 5 m alınmış, kamera bu defa mümkün olan minimum seviyede (1.220 m) kurularak fotoğraflar alınmıştır.

Uygulama IV; Bu uygulamada kameranın deney düzeneğinden olan uzaklığı 10 m olarak alınmış ve kamera yüksekliği, cisim merkezinin yüksekliğinde alınarak çekimler yapılmıştır.

Çekimlerden elde edilen resimler, bölüm laboratuvarında bulunan space optik 102 monokomparatoründe, her noktaya iki kez tatbik yapılmak suretiyle ölçülmüştür. Ölçülerin ortalama hatası $\pm 3\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.

Doğrusallık koşulu ile çözümde, görüntü koordinatları veri olarak girilmiş, değişik sayılarda (3, 6, 8, 15) kontrol noktaları seçilerek dengeleme yapılmıştır. Seçilen bu noktaların yüzey üzerindeki konumları Şekil 20.'de gösterilmiştir. Daha önce anlatılan deneysel çalışmalarda, çekim noktalarının X_o , Y_o , Z_o koordinat değerleri ölçülmüş, ayrıca kamera sabitleri (c) hakkında bilgiler elde edilmiştir. Doğrusallık koşulu ile çözümde (83) bağıntısından herbir resim için X_o , Y_o , Z_o , c parametreleri ile ilgili dört gözlem eşitliği doğrusallık koşulu denklemlerine ilave edilmiştir. Ayrıca kontrol noktalarının jeodezik ölçümlerle belirlenmiş koordinatlarının hatasız olmadığı kabul edilerek bu noktalar için de gözlem eşitlikleri denklem sistemine eklenmiştir



Şekil 20. Farklı sayılarda seçilen kontrol noktalarının konumları

Çözümde en genel durum seçilen (77) bağıntıları ile dengeleme sonucunda, resim iç yöneltme elemanları x_0, z_0, c ; dış yöneltme elemanları $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \kappa, \phi$; bozucu etkiler olarak adlandırılan; simetrik ve simetrik olmayan mercek distorsiyon parametreleri k_1, k_2, k_3, p_1, p_2 , koordinat eksenlerinin dikliği ve ölçek değişimini tanımlayan parametreler A_p, B_p her bir resim için ayrı ayrı elde edilmiştir. Ayrıca dengelemede kontrol nokta koordinatlarında bilinmeyenler olarak alındığından, dengeleme sonucunda kontrol noktaları için dengeli koordinatlar elde edilmiş ve ölçülen görüntü koordinatlarına düzeltmeler getirilmiştir. Doğrusallık koşulu dengelemesi ile ilgili yapılan programda bilinmeyen parametrelerin sayısı ile ilgili iki seçenek söz konusudur. 1.ci seçenekte her bir fotoğraf için $x_0, z_0, c, X_0, Y_0, Z_0, \omega, \kappa, \phi$ içeren toplam 9 bilinmeyen parametre ve kontrol noktası koordinat bilinmeyenleri için çözüm yapılmıştır. 2.ci seçenekte ise her bir fotoğraf için $x_0, z_0, c, X_0, Y_0, Z_0, \omega, \kappa, \phi,$

$k_1, k_2, k_3, p_1, p_2, A_p, B_p$ olmak üzere toplam 16 parametre bilinmeyen ve yine kontrol noktası koordinat bilinmeyenlerini içeren çözüm yapılmıştır. 2.ci seçenek ile dengeleme yapıldığında en az 6 kontrol noktasına ihtiyaç vardır. Bu nedenle çalışmalarda 3, 6 kontrol noktası kullanılarak 1.ci seçenek ile çözüm yapılmış, 8, 15 kontrol noktası ile 2.ci seçenkle çözüme ulaşılmıştır. Daha sonra dengelemeye katılmayan ancak en az iki resim üzerinde bulunan ve görüntü koordinatları ölçülmüş işaretli noktaların cisim uzayı koordinatları uzay önden kestirme ile belirlenmiştir. Uzay önden kestirme işleminde, (77) bağıntıları kullanılarak yapılan dengeleme sonucunda bulunan bilinmeyen parametreler, (120) eşitliklerinde bilinen değerler olarak alınmış ve (124) bağıntısı ile her bir noktanın cisim uzayı koordinatları X, Y, Z hesaplanmıştır.

Doğrudan lineer dönüşüm yönteminde de yine görüntü koordinatları ve her iki sistem, görüntü ve cisim uzayı koordinat sisteminde ortak olan en az 6 ortak nokta olmak üzere 8, 15 adet ortak nokta kullanılarak çözümler yapılmıştır. Bu (34) bağıntılarının kullanıldığı çözümlerde de ilgili parametreler belirlendikten sonra, noktaların cisim uzayı koordinatları hesaplanmıştır.

(30) bağıntıları ile verilen paralaks eşitlikleri ile çözümde ise görüntü koordinatları ölçülen müşir noktaları yardımı ile resim koordinat sisteminin başlangıcı belirlenmiş ve bütün noktaların resim koordinatları hesaplanmıştır. Hesaplanan resim koordinatlarına düzeltmeler getirilmiştir. Daha sonra arazide ölçülen X_o, Y_o, Z_o koordinat değerleri ve paralaks eşitlikleri ile bir stereomodel üzerinde yer alan deney düzeneği üzerindeki işaretli her bir noktanın cisim uzayı koordinatlarına ulaşılmıştır.

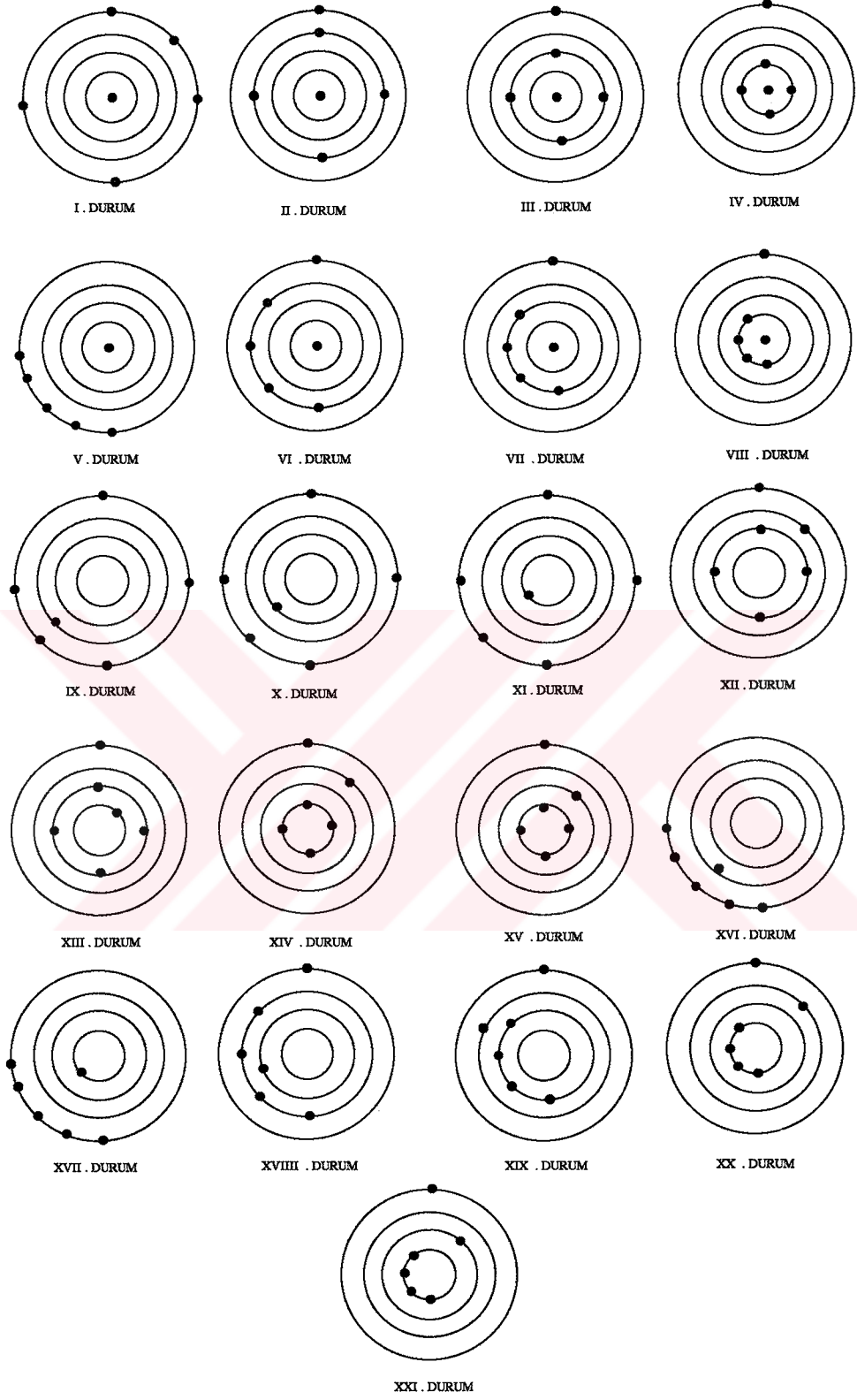
Bundan sonra her bir uygulama için tekrarlanmış olan, fotogrametrik ölçüler ve veri işleme yöntemleri ile elde edilen cisim uzayı koordinatları, daha önce jeodezik ölçümlerle belirlenen koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Farklı çekim uzaklıkları ve yüksekliklerden çekilen fotoğrafların, fotogrametrik ölçüm ve farklı değerlendirme yöntemleri ile elde edilen cisim uzayı koordinatlarının bu değişik konumlardaki uygulamalardan nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Değişik sayıda kontrol noktasının kullanıldığı doğrusallık koşulu çözüm sonuçları ile doğrudan lineer dönüşüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bir başka karşılaştırmada, fotogrametrik hesaplamalarla elde edilen koordinatlar ve en az sayıda kontrol noktası kullanılarak oluşturulan yüzeylerin, arazi yüzeylerinden farkları incelenmiştir.

Bu safhada önce deney düzeneği üzerinde bulunan ve jeodezik ölçümlerle koordinatları belirlenmiş, 49 noktaya dayalı olarak dengeleyici arazi yüzeyleri geçirilmiştir. Bu yüzeylerden arazi elipsoid yüzeyi için (153) eşitlikleri kullanılarak a_{Arazi} , b_{Arazi} , X_{oArazi} , Y_{oArazi} , Z_{oArazi} yüzey parametreleri, (164) eşitliğinden dengeleyici yüzeyden noktaların X, Y, Z yönlerindeki sapmaları belirlenmiştir. Benzer şekilde arazi küre yüzeyi için (141) eşitliği kullanılarak a_{Arazi} , X_{oArazi} , Y_{oArazi} , Z_{oArazi} yüzey parametreleri ve (157) eşitliklerinden noktaların dengeleyici yüzeyden sapmaları elde edilmiştir.

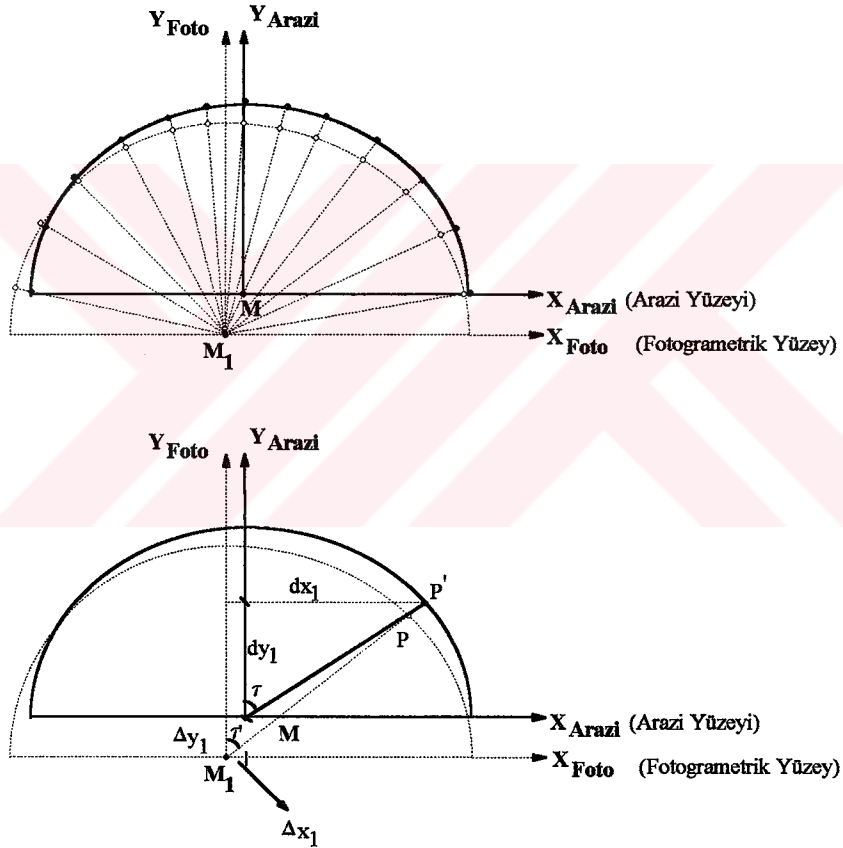
Fotogrametrik verilerden yüzey geçirme işlemlerinde, 3 kontrol noktasının kullanıldığı doğrusallık koşulu çözüm sonuçları esas alınmıştır. Ayrıca yüzey geçirmek için, yüzey parametrelerini dengeli olarak belirleyecek en az kontrol noktası sayısı 6 olarak alınmıştır. Fotogrametrik yüzeyler geçirmek için kullanılan 6 nokta Şekil 21.'de gösterilen 21 farklı durumda seçilmiştir.



Şekil 21. Yüzey geçirmek için 21 farklı pozisyonda seçilen noktaların konumları

Seçilen 6 noktaya dayalı olarak geçirilen fotogrametrik elipsoid yüzeyi için a_{Foto} , b_{Foto} , X_{oFoto} , Y_{oFoto} , Z_{oFoto} yüzey parametreleri, küre yüzeyi için a_{Foto} , X_{oFoto} , Y_{oFoto} , Z_{oFoto} yüzey parametreleri belirlenmiştir.

Herbir uygulama için 21 farklı konumdaki noktalardan belirlenen yüzey parametreleri ile arazi ölçümleri sonucunda elde edilen 49 nokta koordinatlarına dayalı olarak geçirilen yüzey parametreleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra arazi yüzeyi üzerindeki 49 işaretli noktanın, seçilen 6 kontrol noktasından geçirilen yüzey üzerindeki karşılıkları hesaplanmıştır.



Şekil 22. Arazi yüzeyi üzerindeki noktaların fotogrametrik yüzey üzerindeki karşılıkları

Hesaplamalarda önce arazi elipsoid yüzeyinde, yüzey merkezinden geçen XY düzleminin, yüzeye arakesiti olan elips üzerindeki noktaların, fotogrametrik

yüzeydeki karşılıkları belirlenmiştir. Küre yüzeyi için bu arakesit bir çemberdir. Şekil 22.'de görülen P noktası için τ' açısı,

$$\tan \tau' = \frac{dx_{1p} + \Delta x_1}{dy_{1p} + \Delta y_1} \quad (177)$$

bağıntısından bulunmuştur. Burada dx_{1p} , dy_{1p} ,

$$\begin{aligned} dx_{1p} &= X_{p_{Arazi}} - X_{o_{Arazi}} \\ dy_{1p} &= Y_{p_{Arazi}} - Y_{o_{Arazi}} \end{aligned} \quad (178)$$

şeklinde belirlenmiştir. Ve Δx_1 , Δy_1 ,

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= X_{o_{Arazi}} - X_{o_{Foto}} \\ \Delta y_1 &= Y_{o_{Arazi}} - Y_{o_{Foto}} \end{aligned} \quad (179)$$

ifadelerinden bulunmuştur. Yüzey parametreleri belirlenmiş fotogrametrik elipsoidin, büyük elipsi üzerindeki P noktası için,

$$\frac{x_{ep}^2}{a_{Foto}^2} + \frac{y_{ep}^2}{b_{Foto}^2} = 1 \quad (180)$$

şeklinde elips denklemleri ve hesap edilen τ' açısı ile ilgili,

$$\tan \tau' = \frac{x_{ep}}{y_{ep}} \quad (181)$$

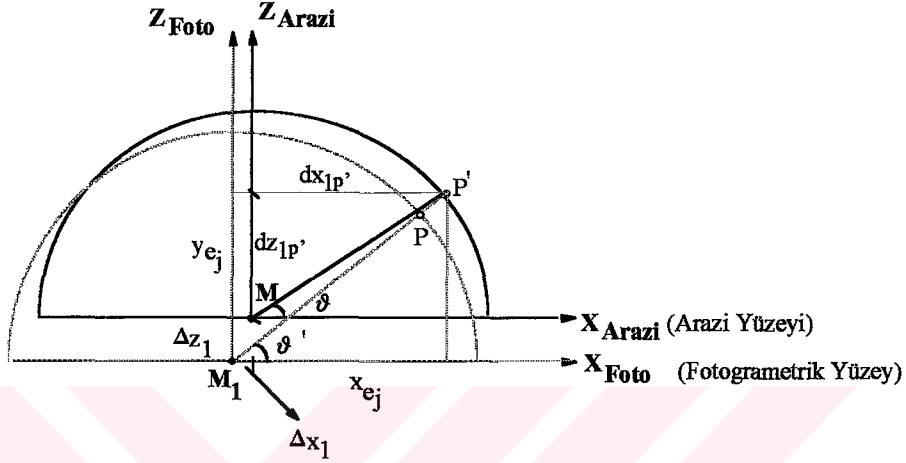
bağıntıları yazılabilir. (180) ve (181) eşitlikleri düzenlendiğinde noktanın yüzey merkezinden olan uzaklığı,

$$y_{ep} = \sqrt{\frac{a_{Foto}^2 \cdot b_{Foto}^2}{b_{Foto}^2 \cdot (\tan \tau')^2 + a_{Foto}^2}} \quad (182)$$

bağıntısı ile ilgili noktanın y eksenine olan uzaklığı,

$$x_{e_p} = \sqrt{\frac{a_{Foto}^2 \cdot b_{Foto}^2 - y_e^2 \cdot a_{Foto}^2}{b_{Foto}^2}} \quad (183)$$

şeklinde bulunur. x_{e_p} uzaklığı aynı zamanda, yüzeyimiz bir dönele yüzey olduğundan noktanın üzerinde bulunduğu çemberin yarıçapıdır.



Şekil 23. Nokta koordinatlarını belirlemek için kullanılan büyüklüklerin gösterimi

Deney düzeneğinde işaretli noktalar yüzey merkezinden belirli uzaklıkta ve bilinen yarıçaplara sahip 7 çember üzerinde bulunduğundan, fotogrametrik yüzeyde de noktalar yüzey merkezinden y_{e_j} uzaklığında ve x_{e_j} yarıçaplı 7 çember üzerinde yer alır. Seçilen yüzeyler için çemberlerin yüzey merkezinden olan uzaklıkları y_{e_j} ve yarıçapları x_{e_j} hesaplandıktan sonra her bir çember üzerindeki noktaların koordinatları hesaplanabilir. Bunun için Şekil 23'de gösterilen P noktası için ϑ' açısı,

$$\tan \vartheta' = \frac{dz_{1p} + \Delta z_1}{dx_{1p} + \Delta x_1} \quad (184)$$

şeklinde hesaplanır. x_{e_j} yarıçaplı ve yüzey merkezinden y_{e_j} uzaklığındaki çember üzerindeki P noktasının X_p, Y_p, Z_p koordinatları,

$$\begin{aligned} X_p &= X_{o_{Foto}} + x_{e_j} \cos \vartheta' \\ Y_p &= Y_{o_{Foto}} + y_{e_j} \\ Z_p &= Z_{o_{Foto}} + x_{e_j} \sin \vartheta' \end{aligned} \quad (185)$$

eşitliklerinden bulunmuştur. Küre yüzeyi için, benzer bağıntılarla noktaların koordinatlarına ulaşılmıştır.

Hesaplanan koordinatlar, yine jeodezik ölçümlerle belirlenen arazi koordinatları ile karşılaştırılmış, hata vektörleri çizilmiştir.



3. BULGULAR

3.1. Elipsoid ve Küre Yüzeyindeki Bulgular

Tez çalışmasında, çevremizdeki birçok cismin şeklini ifade eden döne1 yüzeylerden bazıları, bir deney düzeneğinde temsil edilmiştir. Üzerinde işaretli noktaların bulunduğu 7 çemberden oluşan deney düzeneğinde, çember aralıkları değiştirilerek döne1 elipsoid ve küre yüzeyleri oluşturulmuştur. Yüzeyleri oluşturan bu çemberlerden 1.ci çemberde 16, 2.ci, 3.cü ve 4.cü çemberlerde 8, 5.ci, 6.cı çemberler üzerinde 4 ve yüzeylerin tepe noktalarını temsil eden 7.ci çember üzerinde 1 tane olmak üzere toplam 49 işaretli nokta çalışmalarda esas alınmıştır. Öncelikle bu noktaların mm duyarlığında jeodezik yöntem ile koordinatları belirlenmiş ve belirlenen jeodezik koordinatlar çalışmalarda baz olarak alınmıştır. Deney düzeneğine tablo 1'de belirtilen çember aralıkları verilerek önce elipsoid yüzeyi; daha sonra tablo 2'deki değerler verilerek küre yüzeyi oluşturulmuştur. Yüzeyleri oluşturan çemberler üzerindeki noktaların jeodezik yöntemlerle alınan ölçü değerleri ve excel programlama dilinde hesaplanmış jeodezik koordinatları, elipsoid yüzeyi için tablo 3'de, küre yüzeyi için tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. Arazi Ölçülerinden Elipsoid Yüzeyindeki Noktaların Koordinatlarının Elde Edilmesi

NOK	ALFA (grad)	X-Başlan (m)	i-değerleri (mm)	X-KOOR.(m)	Y-KOOR.(m)	Z-KOOR.(m)
1	86,14677	1001,2440	963,200	1000,0279	1005,5000	1,4217
2	81,85862	1001,2440	892,000	999,6328	1005,5000	1,4929
3	78,92627	1001,2440	711,500	999,3538	1005,5000	1,6734
4	76,59739	1001,2440	388,200	999,1259	1005,5000	1,9967
5	75,85893	1001,2440	-34,000	999,0523	1005,5000	2,4189
6	76,56501	1001,2440	-337,500	999,1227	1005,5000	2,7224
7	78,66846	1001,2440	-644,500	999,3289	1005,5000	3,0294
8	82,23189	1001,2440	-863,000	999,6678	1005,5000	3,2479
9	85,90265	1001,2440	-919,767	1000,0058	1005,5000	3,3047
10	90,07127	1001,2440	-838,000	1000,3792	1005,5000	3,2229
11	93,70451	1001,2440	-600,000	1000,6983	1005,5000	2,9849
12	95,68804	1001,2440	-312,800	1000,8709	1005,5000	2,6977
13	96,42978	1001,2440	35,225	1000,9352	1005,5000	2,3497
14	95,49269	1001,2440	407,000	1000,8539	1005,5000	1,9779
15	92,89589	1001,2440	719,000	1000,6277	1005,5000	1,6659
16	89,82218	1001,2440	892,000	1000,3571	1005,5000	1,4929
17	86,93891	1001,2440	821,867	1000,0065	1005,9468	1,5630
18	80,59191	1001,2440	535,117	999,3727	1005,9468	1,8498
19	78,84440	1001,2440	45,000	999,1917	1005,9468	2,3399
20	80,90266	1001,2440	-516,133	999,4046	1005,9468	2,9010
21	86,55122	1001,2440	-779,067	999,9687	1005,9468	3,1640
22	92,81678	1001,2440	-525,250	1000,5701	1005,9468	2,9102
23	95,14156	1001,2440	23,700	1000,7893	1005,9468	2,3612
24	93,44759	1001,2440	500,500	1000,6298	1005,9468	1,8844
25	87,23933	1001,2440	632,800	999,9957	1006,1441	1,7521
26	83,06842	1001,2440	469,000	999,5703	1006,1441	1,9159
27	81,24664	1001,2440	29,000	999,3799	1006,1441	2,3559
28	82,79968	1001,2440	-392,170	999,5424	1006,1441	2,7771
29	87,21426	1001,2440	-588,000	999,9932	1006,1441	2,9729
30	91,68093	1001,2440	-392,900	1000,4365	1006,1441	2,7778
31	93,35433	1001,2440	26,100	1000,6003	1006,1441	2,3588
32	92,13937	1001,2440	385,100	1000,4815	1006,1441	1,9998
33	87,45279	1001,2440	425,000	999,9930	1006,2650	1,9599
34	84,34219	1001,2440	265,800	999,6713	1006,2650	2,1191
35	83,55933	1001,2440	27,100	999,5891	1006,2650	2,3578
36	84,47604	1001,2440	-236,800	999,6853	1006,2650	2,6217
37	87,53970	1001,2440	-377,120	1000,0019	1006,2650	2,7620
38	90,39105	1001,2440	-236,475	1000,2911	1006,2650	2,6214
39	91,36040	1001,2440	24,000	1000,3885	1006,2650	2,3609
40	90,10761	1001,2440	317,200	1000,2626	1006,2650	2,0677
41	87,29871	1001,2440	215,500	999,9646	1006,3275	2,1694
42	85,70048	1001,2440	45,000	999,7984	1006,3275	2,3399
43	87,48433	1001,2440	-164,075	999,9838	1006,3275	2,5490
44	89,36922	1001,2440	44,000	1000,1775	1006,3275	2,3409
45	87,37449	1001,2440	127,000	999,9699	1006,3400	2,2579
46	86,59195	1001,2440	13,000	999,8886	1006,3400	2,3719
47	87,71253	1001,2440	-70,000	1000,0049	1006,3400	2,4549
48	88,49259	1001,2440	42,000	1000,0853	1006,3400	2,3429
49	87,56833	1001,2440	33,200	999,9890	1006,3448	2,3517

Tablo 4 . Arazi Ölçülerinden Küre Yüzeyindeki Nokta Koordinatlarının Elde Edilmesi

NOK	ALFA (grad)	X-Başlan (m)	i-değerleri (mm)	X-KOOR.(m)	Y-KOOR.(m)	Z-KOOR.(m)
1	86,15888	1001,2440	969,200	1000,0290	1005,5000	1,4157
2	81,87048	1001,2440	897,500	999,6340	1005,5000	1,4874
3	78,93894	1001,2440	717,960	999,3550	1005,5000	1,6669
4	76,60760	1001,2440	394,950	999,1269	1005,5000	1,9900
5	75,87301	1001,2440	-28,240	999,0537	1005,5000	2,4131
6	76,58183	1001,2440	-333,160	999,1243	1005,5000	2,7181
7	78,69695	1001,2440	-641,380	999,3316	1005,5000	3,0263
8	82,27374	1001,2440	-858,920	999,6717	1005,5000	3,2438
9	85,94633	1001,2440	-914,660	1000,0097	1005,5000	3,2996
10	90,11891	1001,2440	-832,950	1000,3834	1005,5000	3,2179
11	93,74976	1001,2440	-596,730	1000,7023	1005,5000	2,9816
12	95,72758	1001,2440	-309,400	1000,8743	1005,5000	2,6943
13	96,46323	1001,2440	35,225	1000,9381	1005,5000	2,3497
14	95,51700	1001,2440	412,900	1000,8561	1005,5000	1,9720
15	92,91503	1001,2440	725,033	1000,6294	1005,5000	1,6599
16	89,83731	1001,2440	898,080	1000,3585	1005,5000	1,4868
17	87,04825	1001,2440	828,200	1000,0068	1005,9970	1,5567
18	80,74131	1001,2440	535,117	999,3724	1005,9970	1,8498
19	79,01425	1001,2440	45,000	999,1923	1005,9970	2,3399
20	81,07617	1001,2440	-516,133	999,4069	1005,9970	2,9010
21	86,69961	1001,2440	-774,840	999,9725	1005,9970	3,1597
22	92,91847	1001,2440	-521,100	1000,5741	1005,9970	2,9060
23	95,20975	1001,2440	29,400	1000,7919	1005,9970	2,3555
24	93,51722	1001,2440	506,600	1000,6312	1005,9970	1,8783
25	87,39122	1001,2440	638,475	999,9961	1006,2180	1,7464
26	83,25767	1001,2440	477,000	999,5700	1006,2180	1,9079
27	81,44970	1001,2440	35,200	999,3791	1006,2180	2,3497
28	82,98159	1001,2440	-387,000	999,5410	1006,2180	2,7719
29	87,34979	1001,2440	-583,000	999,9919	1006,2180	2,9679
30	91,76665	1001,2440	-389,475	1000,4353	1006,2180	2,7744
31	93,42941	1001,2440	31,000	1000,5999	1006,2180	2,3539
32	92,23339	1001,2440	391,000	1000,4816	1006,2180	1,9939
33	87,62327	1001,2440	430,000	999,9931	1006,3530	1,9549
34	84,55030	1001,2440	270,060	999,6712	1006,3530	2,1148
35	83,77833	1001,2440	31,900	999,5892	1006,3530	2,3530
36	84,68748	1001,2440	-232,200	999,6858	1006,3530	2,6171
37	87,71425	1001,2440	-372,200	1000,0025	1006,3530	2,7571
38	90,53188	1001,2440	-232,050	1000,2921	1006,3530	2,6170
39	91,48272	1001,2440	29,000	1000,3889	1006,3530	2,3559
40	90,24382	1001,2440	322,400	1000,2627	1006,3530	2,0625
41	87,49167	1001,2440	220,000	999,9655	1006,4230	2,1649
42	85,91516	1001,2440	49,500	999,7993	1006,4230	2,3354
43	87,58141	1001,2440	-160,000	999,9749	1006,4230	2,5449
44	89,54108	1001,2440	48,300	1000,1792	1006,4230	2,3366
45	87,58013	1001,2440	131,300	999,9720	1006,4370	2,2536
46	86,81051	1001,2440	8,300	999,8910	1006,4370	2,3766
47	87,91411	1001,2440	-64,800	1000,0071	1006,4370	2,4497
48	88,68309	1001,2440	46,400	1000,0875	1006,4370	2,3385
49	87,75212	1001,2440	34,000	999,9891	1006,4420	2,3509

Fotogrametrik işlemlerde, her iki yüzey için farklı çekim uzaklıklarından ve farklı kamera yüksekliklerinden fotoğraf çekimleri yapılmıştır. Farklı çekimler I, II, III, IV uygulamaları ile ele alınmıştır. Bu uygulamalardan, uygulama I'de kamera, deney düzeneğinden 5 m uzağa kurulmuş, kamera yüksekliği yüzey merkezinin yüksekliğinde 1.35 m seçilmiştir. Uygulama II'de çekim uzaklığı yine 5 m, ancak kamera yüksekliği 1.55 m alınmıştır. Uygulama III'de çekim uzaklığı yine 5m alınmış, bu defa kamera 1.22 m yüksekliğe kurulmuştur. Uygulama IV'de cisimden uzaklık 10 m ve kamera yüksekliğide 1.35 m seçilmiştir.

Çekilen resimler monokomparatorde $+3\mu m$ 'lik ortalama hata ile ölçülmüştür. Üç farklı veri işleme yöntemi kullanılarak ölçülen komparator koordinatlarından cisim uzayı koordinatlarına ulaşılmıştır. Bu veri işleme yöntemleri, doğrusallık koşulu eşitlikleri ile çözüm, doğrudan lineer dönüşüm eşitlikleri ile çözüm ve paralaks eşitlikleri ile çözümdür. Doğrusallık koşulu eşitliklerinde şekil 20'de konumları gösterilen 3, 6 ortak nokta kullanılarak herbir resimin iç, dış yöneltme bilinmeyenleri ve ortak noktaların koordinat bilinmeyenleri belirlenmiş, daha sonra uzay ilerden kestirme işlemi ile deney düzeneği üzerindeki 49 noktanın cisim uzayı koordinatları hesaplanmıştır. Yine aynı eşitlikler ile 8, 15 ortak nokta kullanılarak herbir resmin iç, dış yöneltme bilinmeyenleri, simetrik ve simetrik olmayan mercek distorsiyon parametreleri, koordinat eksenlerinin dikliği ve ölçek değişimini tanımlayan parametreler ve koordinat bilinmeyenleri hesaplanmış, daha sonra yine uzay ilerden kestirme ile deney düzeneği üzerindeki tüm noktaların cisim uzayı koordinatları belirlenmiştir. Bu hesaplamalarda ortak noktalar için yazılan gözlem eşitliklerinde, noktaların yaklaşık değerleri olarak, ölçülen değerlerin dm duyarlılığındaki kısmı alınmıştır.

Aynı veriler ve doğrusallık koşulunda kullanılan kontrol noktaları ile doğrudan lineer dönüşüm yönteminde de çözümler yapılmıştır. Bu yöntem ile çözümde, en az 6 kontrol noktası kullanılarak 11 dönüşüm parametresi belirlenmiş ve belirlenen bu parametreler ile cisim üzerindeki diğer noktaların cisim uzayı koordinatları bulunmuştur. Ayrıca 8, 15 kontrol noktaları kullanılarak 11 dönüşüm parametresi ve 3 simetrik mercek distorsiyon parametrelerini içeren 14 bilinmeyen parametre herbir resim için belirlenmiş, ve yine belirlenen parametrelerden yararlanarak cisim uzayı koordinatları hesaplanmıştır. Bunlardan başka paralaks eşitlikleri kullanılarak yine noktaların cisim uzayı koordinatlarına ulaşılmıştır. Elipsoid yüzeyi uygulama I için; fortran 77 dilinde hazırlanmış, 15

kontrol noktasının kullanıldığı doğrusallık koşulu çözümü ile ilgili çıktılar Ek 1'de, aynı ortak noktaların seçildiği doğrudan lineer dönüşüm çözümünün basic programlama dilinde hazırlanmış çıktısı Ek 2'de verilmiştir.

Elipsoid ve küre yüzeylerinde uygulanan I, II, III, IV uygulamalarında farklı veri işleme yöntemleri ile elde edilen koordinatlar, jeodezik koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Bunu için bütün noktalarda,

$$\begin{aligned} F_x &= X_{\text{Arazi}} - X_{\text{Foto}} \\ F_y &= Y_{\text{Arazi}} - Y_{\text{Foto}} \\ F_z &= Z_{\text{Arazi}} - Z_{\text{Foto}} \end{aligned} \quad (187)$$

F_x , F_y , F_z şeklinde X, Y, Z yönündeki koordinat sapmaları bulunmuş ve karşılaştırma büyüklüğü olarak, sapmaların kareleri toplamları olan $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ büyüklükleri belirlenmiştir. Burada $[F_{pp}]$,

$$[F_{pp}] = \sum (F_x^2 + F_y^2 + F_z^2) \quad (188)$$

olarak alınmıştır. 4 ayrı uygulama ve farklı kontrol nokta sayısı kullanılarak, elipsoid ve küre yüzeyindeki tüm noktalardan $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ karşılaştırma değerleri bulunmuştur. Farklı sayıda kontrol noktalarının kullanıldığı doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitliklerinden bulunan bu karşılaştırma büyüklükleri elipsoid yüzeyi için Tablo 5, 6, 7, 8'de, küre yüzeyi için Tablo 9, 10, 11, 12'de verilmiştir. Elipsoid ve küre yüzeyi için I., II., III., IV. uygulamalarda doğrusallık koşulu eşitlikleri kullanılarak hesaplanan $[F_{xx}]$ 'ler Şekil 24 ve Şekil 31'de, $[F_{yy}]$ 'ler Şekil 25 ve Şekil 32'de, $[F_{zz}]$ 'ler Şekil 26 ve Şekil 33'de gösterilmiştir. Ayrıca I., II., III., IV. uygulamalarda kullanılan paralaks, doğrudan lineer dönüşüm ve doğrusallık koşulu çözümlerinin karşılaştırmaları elipsoid yüzeyi için Şekil 27, 28, 29, 30 da, küre yüzeyi için Şekil 34, 35, 36, 37 de verilmiştir.

Tablo 5 : Elipsoid Yüzeyi Uygulama I için Doğrusallık Koşulu, Doğrudan Lineer Dönüşüm ve Paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen [Fxx], [Fyy], [Fzz], [Fpp] Değerleri

Kontrol Nokta Sayısı	DOĞRUSALLIK KOŞULU İLE ÇÖZÜM				DOĞRUDAN LINEER DÖNÜŞÜM İLE ÇÖZÜM				PARALAKS EŞİTLİKLERİ İLE ÇÖZÜM			
	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)
15	0,39	2,01	0,48	2,89	0,42	3,70	1,41	5,53	-	-	-	-
8	0,44	3,15	0,50	4,09	0,47	4,40	1,44	6,31	-	-	-	-
6	0,46	4,21	0,51	5,18	0,58	5,94	1,46	7,99	-	-	-	-
3	0,55	6,29	0,55	7,39	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	4,67	9,17	4,71	18,55

Tablo 6 : Elipsoid Yüzeyi Uygulama II için Doğrusallık Koşulu, Doğrudan Lineer Dönüşüm ve Paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen [Fxx], [Fyy], [Fzz], [Fpp] Değerleri

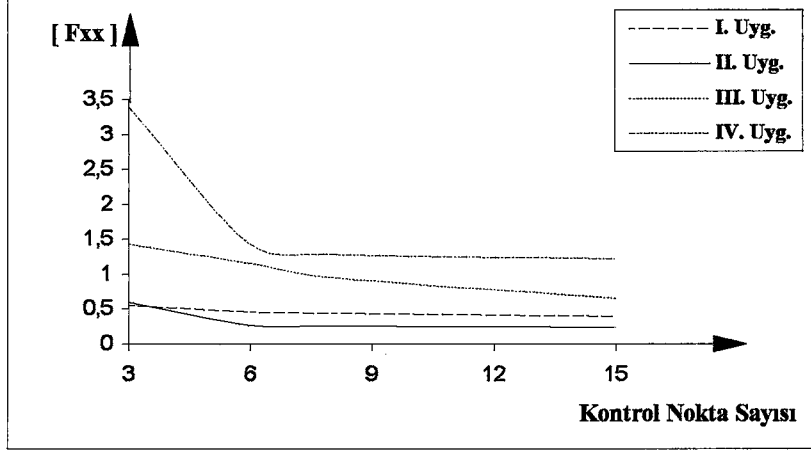
Kontrol Nokta Sayısı	DOĞRUSALLIK KOŞULU İLE ÇÖZÜM				DOĞRUDAN LINEER DÖNÜŞÜM İLE ÇÖZÜM				PARALAKS EŞİTLİKLERİ İLE ÇÖZÜM			
	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)
15	0,24	3,22	1,32	4,77	1,29	4,16	1,69	7,14	-	-	-	-
8	0,26	3,38	1,36	5,00	1,67	4,22	2,59	8,48	-	-	-	-
6	0,27	4,65	1,56	6,48	2,34	6,21	4,48	13,03	-	-	-	-
3	0,60	6,72	1,78	9,10	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	5,08	9,85	6,39	21,32

Tablo 7 : Elipsoid Yüzeyi Uygulama III için Doğrusallık Koşulu, Doğrudan Lineer Dönüşüm ve Paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen [Fxx], [Fyy], [Fzz], [Fpp] Değerleri

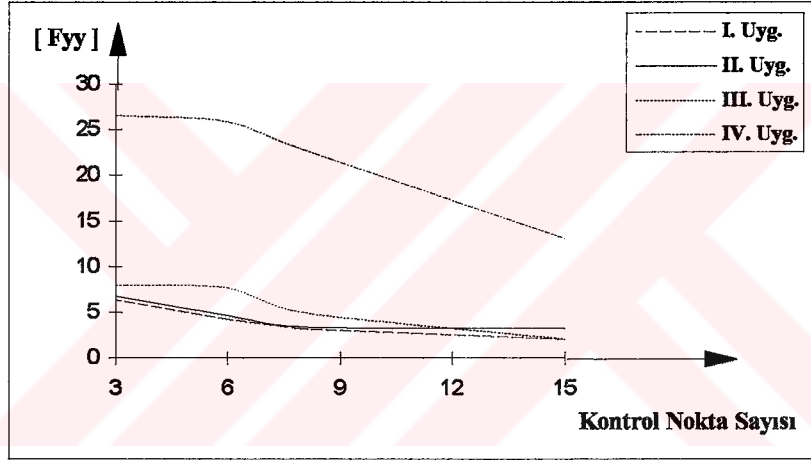
Kontrol	DOĞRUSALLIK KOŞULU				DOĞRUDAN LİNEER DÖNÜŞÜM				PARALAKS EŞİTLİKLERİ			
	İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM			
Nokta Sayısı	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)
15	0,65	2,07	1,24	3,95	0,98	5,04	1,98	7,99	-	-	-	-
8	0,95	5,00	1,30	7,24	1,72	5,45	2,54	9,71	-	-	-	-
6	1,15	7,67	1,62	10,44	2,01	12,65	3,45	18,11	-	-	-	-
3	1,43	7,97	1,67	11,08	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	5,55	9,23	6,12	20,90

Tablo 8 : Elipsoid Yüzeyi Uygulama IV için Doğrusallık Koşulu, Doğrudan Lineer Dönüşüm ve Paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen [Fxx], [Fyy], [Fzz], [Fpp] Değerleri

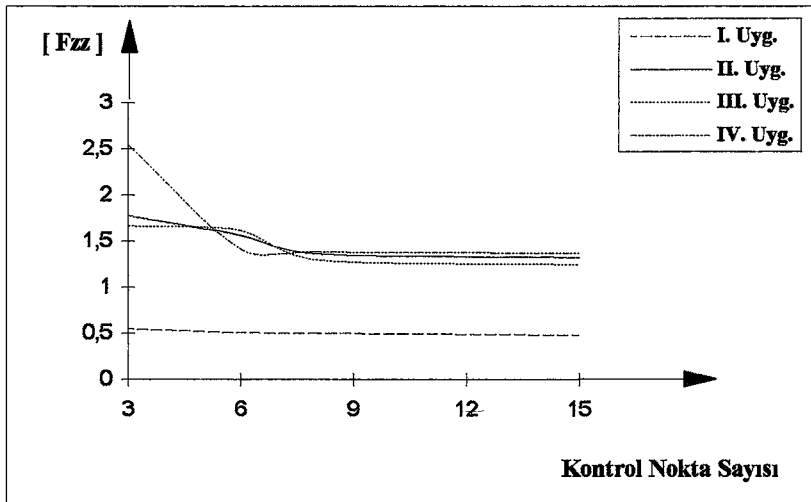
Kontrol	DOĞRUSALLIK KOŞULU				DOĞRUDAN LİNEER DÖNÜŞÜM				PARALAKS EŞİTLİKLERİ			
	İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM			
Nokta Sayısı	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)
15	1,22	13,04	1,37	15,62	1,62	37,46	2,03	41,10	-	-	-	-
8	1,28	22,84	1,38	25,49	2,27	44,12	2,71	49,10	-	-	-	-
6	1,43	25,88	1,42	28,73	2,73	48,61	4,62	55,96	-	-	-	-
3	3,39	26,59	2,54	32,51	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	11,32	68,60	11,88	91,81



Şekil 24. Elipsoid yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan $[F_{xx}]$ değerlerinin karşılaştırılması

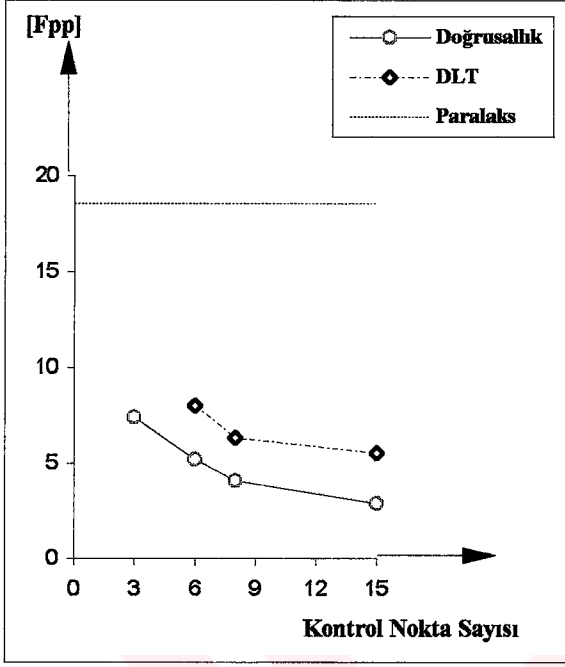


Şekil 25. Elipsoid yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan $[F_{yy}]$ değerlerinin karşılaştırılması

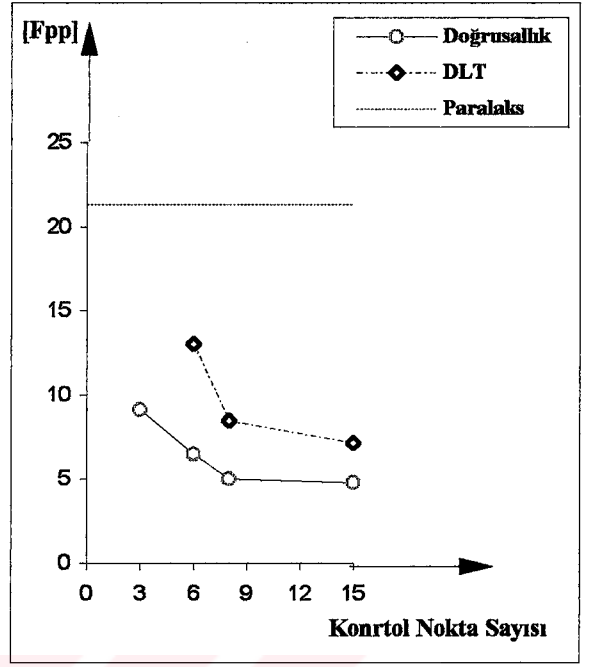


Şekil 26. Elipsoid yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamalar için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan $[F_{zz}]$ değerlerinin karşılaştırılması

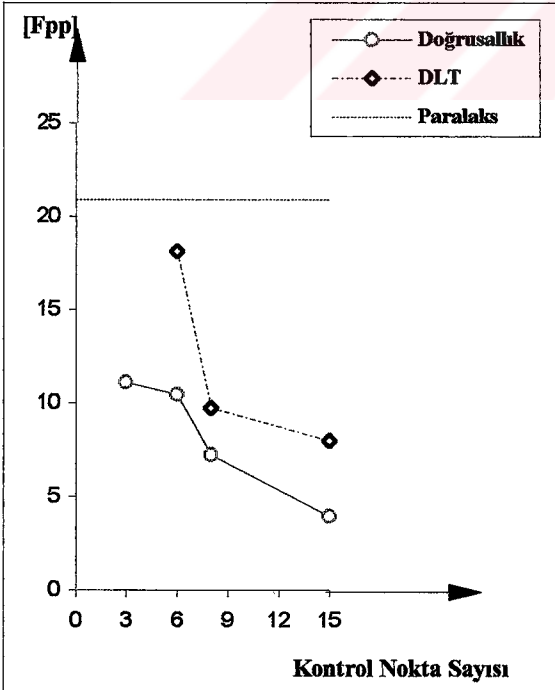
H.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



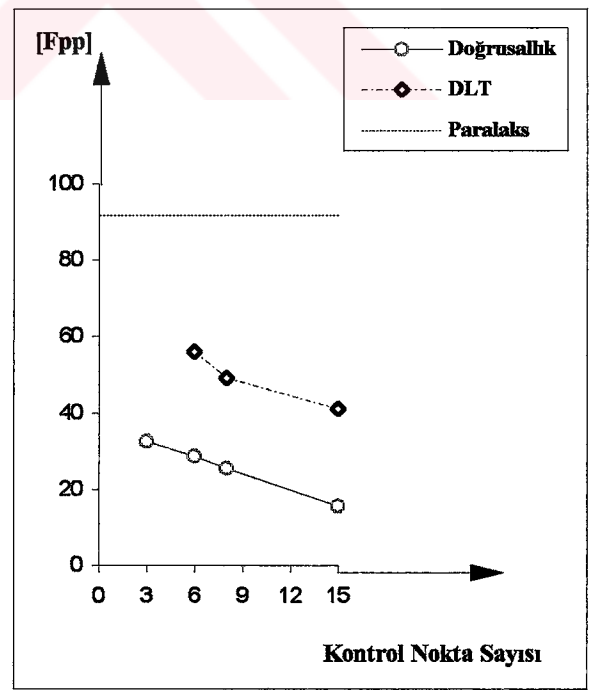
Şekil 27. Elipsoid yüzeyi I. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 28. Elipsoid yüzeyi II. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 29. Elipsoid yüzeyi III. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 30. Elipsoid yüzeyi IV. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 9 : Küre Yüzeyi Uygulama I için Doğrusallık Koşulu, Doğrudan Lineer Dönüşüm ve Paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen [Fxx], [Fyy], [Fzz], [Fpp] Değerleri

Kontrol	DOĞRUSALLIK KOŞULU				DOĞRUDAN LINEER DÖNÜŞÜM				PARALAKS EŞİTLİKLERİ			
	İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM			
Nokta Sayısı	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)
15	0,61	3,66	0,49	4,76	0,72	4,70	0,82	6,24	-	-	-	-
8	0,63	6,38	0,79	7,79	0,86	6,76	1,02	8,63	-	-	-	-
6	0,71	6,69	0,88	8,28	0,92	7,62	1,13	9,67	-	-	-	-
3	1,27	7,52	1,26	10,05	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	5,07	11,77	5,38	22,22

Tablo 10 : Küre Yüzeyi Uygulama II için Doğrusallık Koşulu, Doğrudan Lineer Dönüşüm ve Paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen [Fxx], [Fyy], [Fzz], [Fpp] Değerleri

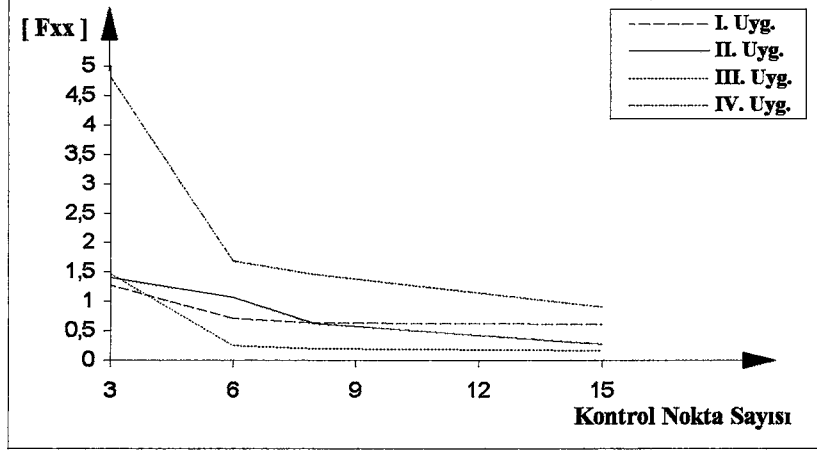
Kontrol	DOĞRUSALLIK KOŞULU				DOĞRUDAN LINEER DÖNÜŞÜM				PARALAKS EŞİTLİKLERİ			
	İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM			
Nokta Sayısı	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)
15	0,27	3,11	1,23	4,61	0,32	5,44	1,39	7,16	-	-	-	-
8	0,62	5,95	1,31	7,89	0,80	10,13	1,64	12,57	-	-	-	-
6	1,07	8,58	1,65	11,30	1,30	12,12	1,99	15,41	-	-	-	-
3	1,40	9,37	2,07	12,84	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	8,80	13,95	9,84	32,59

Tablo 11 : Küre Yüzeyi Uygulama III için Doğrusallık Koşulu, Doğrudan Lineer Dönüşüm ve Paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen [Fxx], [Fyy], [Fzz], [Fpp] Değerleri

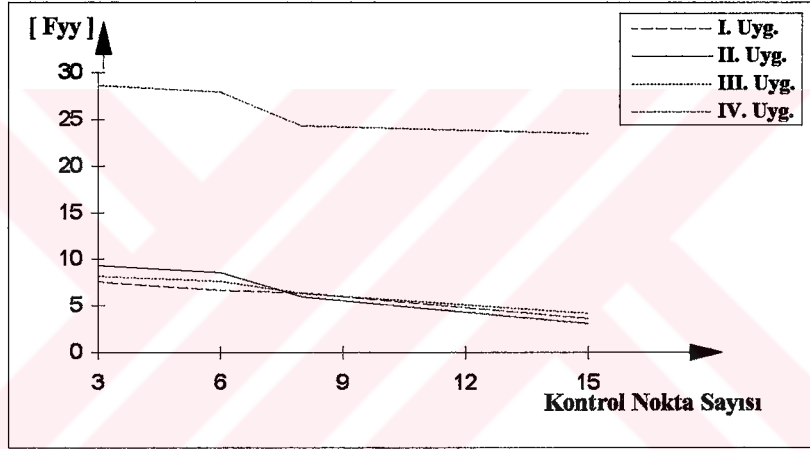
Kontrol	DOĞRUSALLIK KOŞULU				DOĞRUDAN LİNEER DÖNÜŞÜM				PARALAKS EŞİTLİKLERİ			
	İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM			
Nokta Sayısı	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)
15	0,16	4,20	0,88	5,24	0,22	5,80	1,20	7,21	-	-	-	-
8	0,20	6,33	1,05	7,57	0,24	10,03	1,21	11,48	-	-	-	-
6	0,25	7,64	1,19	9,08	0,39	20,84	1,23	22,46	-	-	-	-
3	1,47	8,14	1,83	11,44	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	5,56	11,10	6,80	23,46

Tablo 12 : Küre Yüzeyi Uygulama IV için Doğrusallık Koşulu, Doğrudan Lineer Dönüşüm ve Paralaks eşitliklerinin çözümlerinden belirlenen [Fxx], [Fyy], [Fzz], [Fpp] Değerleri

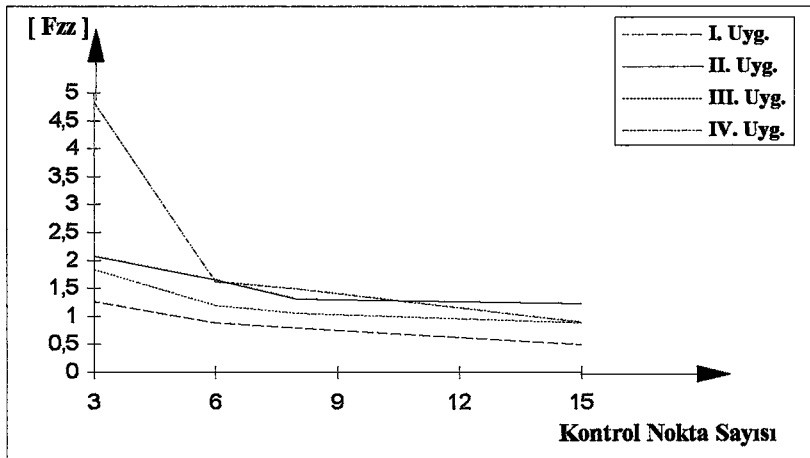
Kontrol	DOĞRUSALLIK KOŞULU				DOĞRUDAN LİNEER DÖNÜŞÜM				PARALAKS EŞİTLİKLERİ			
	İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM				İLE ÇÖZÜM			
Nokta Sayısı	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)	[Fxx] (cm)	[Fyy] (cm)	[Fzz] (cm)	[Fpp] (cm)
15	0,90	23,49	0,89	25,28	1,07	40,56	1,10	42,73	-	-	-	-
8	1,46	24,32	1,49	27,27	1,74	49,29	1,58	52,61	-	-	-	-
6	1,69	27,93	1,62	31,24	2,48	62,76	2,52	67,76	-	-	-	-
3	4,81	28,62	4,83	38,27	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	13,97	79,27	13,45	106,69



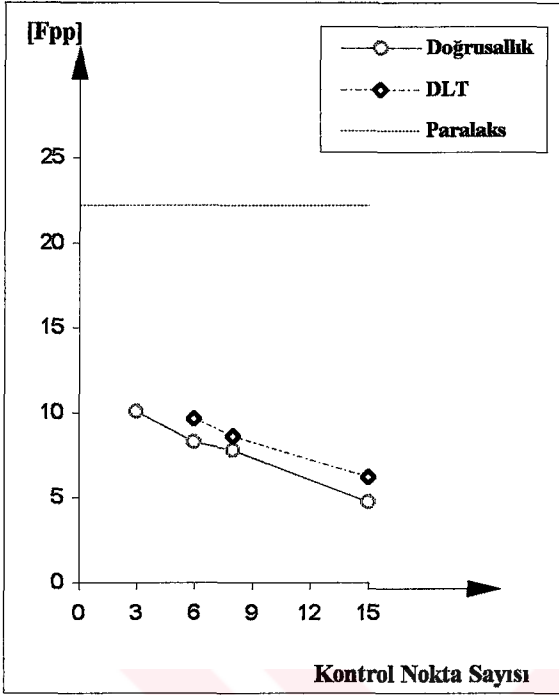
Şekil 31. Küre yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan $[F_{xx}]$ değerlerinin karşılaştırılması



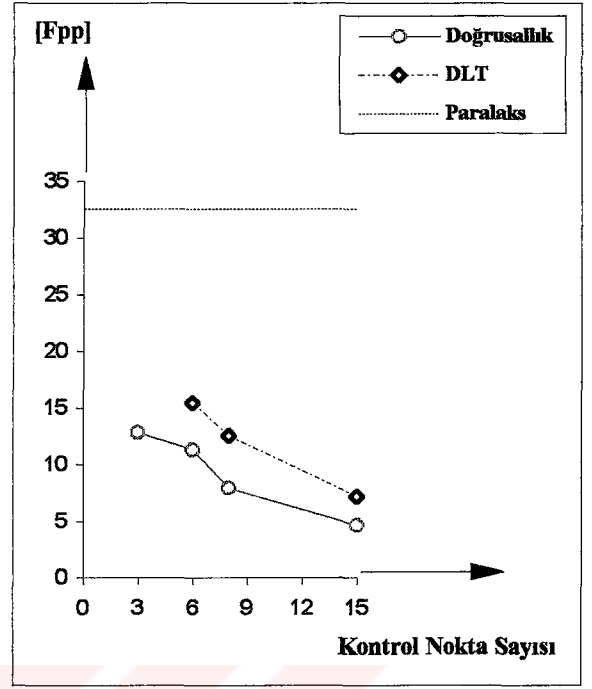
Şekil 32. Küre yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan $[F_{yy}]$ değerlerinin karşılaştırılması



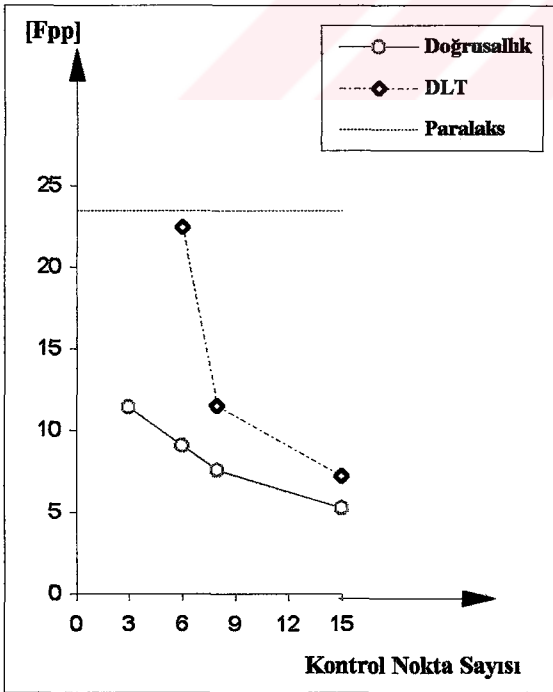
Şekil 33. Küre yüzeyinde I., II., III., IV. uygulamaları için doğrusallık koşulu çözümünden hesaplanan $[F_{zz}]$ değerlerinin karşılaştırılması



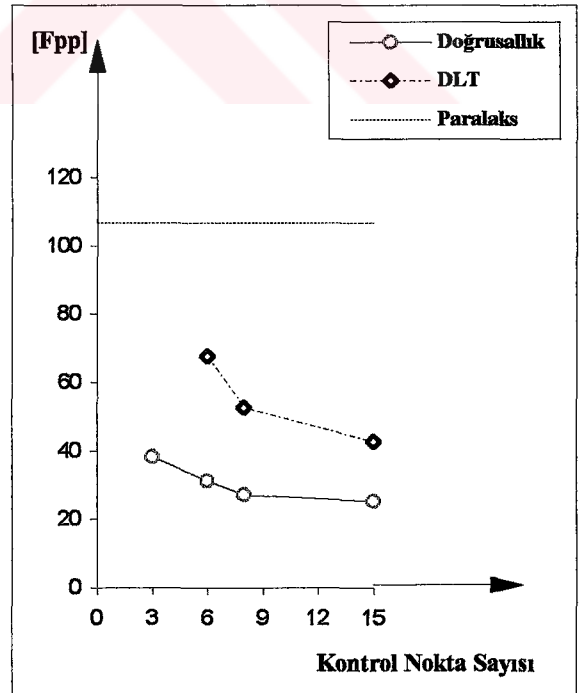
Şekil 34. Küre yüzeyi I. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 35. Küre yüzeyi II. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 36. Küre yüzeyi III. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 37. Küre yüzeyi IV. uygulamada üç farklı veri indirgeme yönteminden hesaplanan [Fpp] Değerlerinin Karşılaştırılması

Bunlardan başka Tablo 3'de jeodezik koordinatları verilen 49 kontrol noktasından dengeleyici elipsoid yüzeyi geçirilerek, arazi elipsoid yüzeyinin yüzey parametreleri belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen dengeleyici yüzeyden herbir noktanın X, Y, Z yönündeki koordinat sapmaları hesaplanmıştır. Benzer işlemler ile dengeleyici küre yüzeyi geçirilmiş, ve herbir noktanın dengeleyici yüzeyden X, Y, Z yönündeki koordinat sapmaları bulunmuştur. Her iki yüzey için nokta koordinatlarının dengeleyici yüzeylerden sapmaları en fazla 2mm olarak bulunmuştur.

Çalışmalarda ayrıca, jeodezik işlemleri en az seviyede tutarak belirlenecek koordinatlardan, en az kontrol noktası kullanılarak ilgili dönел yüzeyi en iyi temsil edecek durumlar incelenmiştir. Bunun için elipsoid ve küre yüzeyindeki 4 ayrı uygulamada, 3 kontrol noktasının kullanıldığı doğrusallık koşulu çözümünden elde edilen cisim uzayı koordinatları yüzey belirlemede kullanılmıştır. Herbir yüzeyde şekil 21.'de görülen 21 farklı konumdaki 6 kontrol noktasının fotogrametrik koordinatları seçilerek fotogrametrik yüzey parametreleri belirlenmiş ve bu parametreler arazi yüzey parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı çekimlerden belirlenmiş koordinatlardan seçilen değişik nokta konumlarının yüzey parametrelerini belirlemede nasıl bir değişiklik gösterdiği, elipsoid yüzeyi için tablo 13, 14, 15, 16'da, küre yüzeyi için tablo 17, 18, 19, 20 'de verilmiştir.

Tablo 13 : Elipsoid yüzeyi uygulama I için, arazi yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları

ELİPSOİD I	Durum I (cm)	Durum II (cm)	Durum III (cm)	Durum IV (cm)	Durum V (cm)	Durum VI (cm)	Durum VII (cm)
Da	-0,02	-0,21	0,28	-0,27	-0,55	-0,24	0,25
Db	0,03	-0,21	-1,13	-2,39	9,79	-0,57	1,41
DXo	-0,20	-0,09	-0,35	0,30	-0,37	0,15	-0,57
DYo	0,10	0,32	1,24	2,50	-9,63	0,69	-1,30
DZo	0,02	0,33	0,40	0,35	0,13	0,35	-0,13
ELİPSOİD I	Durum VIII (cm)	Durum IX (cm)	Durum X (cm)	Durum XI (cm)	Durum XII (cm)	Durum XIII (cm)	Durum XIV (cm)
Da	-0,38	-0,30	-0,34	-0,35	-0,28	-0,28	-0,25
Db	-2,40	11,09	8,55	7,38	-0,69	-1,12	-0,94
DXo	0,92	-0,19	-0,19	-0,19	-0,36	-0,35	0,31
DYo	2,53	-5,92	-6,36	-6,61	0,91	1,24	1,18
DZo	0,32	-0,01	0,00	0,00	0,40	0,40	0,36
ELİPSOİD I	Durum XV (cm)	Durum XVI (cm)	Durum XVII (cm)	Durum XVIII (cm)	Durum XIX (cm)	Durum XX (cm)	Durum XXI (cm)
Da	-0,24	-0,65	-0,35	-0,19	-0,44	-0,43	-0,33
Db	-1,01	15,77	10,65	-0,53	-1,01	-2,19	-2,38
DXo	0,29	-0,21	-0,51	-0,01	-0,37	0,89	0,93
DYo	1,25	-8,10	-9,41	0,74	1,49	2,04	2,32
DZo	0,35	-0,02	0,26	0,31	0,55	0,53	0,40

Tablo 14 :Elipsoid yüzeyi II. uygulama için arazi yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları

ELİPSOİD II	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum
	I (cm)	II (cm)	III (cm)	IV (cm)	V (cm)	VI (cm)	VII (cm)
Da	-0,01	-0,12	-0,28	-1,13	-1,25	-0,64	-0,87
Db	0,42	-1,11	-2,24	-3,92	12,45	-1,08	-2,35
DXo	-0,15	0,18	-0,25	-0,29	-0,18	0,34	0,92
DYo	0,19	1,00	1,64	4,00	-11,84	1,69	1,76
DZo	-0,09	0,02	0,17	0,88	0,07	0,34	0,75
/							
ELİPSOİD II	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum
	VIII (cm)	IX (cm)	X (cm)	XI (cm)	XII (cm)	XIII (cm)	XIV (cm)
Da	-1,09	-0,36	-0,42	-0,46	-0,25	-0,25	-0,95
Db	-4,01	12,82	8,76	7,03	-1,80	-2,05	-2,27
DXo	1,05	-0,17	-0,17	-0,17	-0,23	-0,23	-0,26
DYo	4,11	-6,91	-6,53	-7,05	1,78	1,63	2,12
DZo	0,80	-0,04	-0,03	-0,03	0,16	0,16	0,84
/							
ELİPSOİD II	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum
	XV (cm)	XVI (cm)	XVII (cm)	XVIII (cm)	XIX (cm)	XX (cm)	XXI (cm)
Da	-0,97	-0,87	-1,34	-0,02	-0,15	0,50	-0,52
Db	-2,33	20,44	13,90	1,70	1,43	-4,03	-4,32
DXo	-0,18	-0,15	-0,15	0,71	-0,48	-0,72	-0,76
DYo	2,17	-10,12	-12,27	-1,38	-0,95	3,45	3,70
DZo	0,86	0,36	0,14	-0,09	0,07	0,35	0,37

Tablo 15 :Elipsoid yüzeyi III. uygulama için arazi yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları

ELİPSOİD III	Durum I (cm)	Durum II (cm)	Durum III (cm)	Durum IV (cm)	Durum V (cm)	Durum VI (cm)	Durum VII (cm)
Da	-0,04	0,16	0,48	-0,95	-1,51	-0,35	-0,77
Db	-0,30	0,67	-1,67	3,40	13,99	-0,99	-2,18
DXo	-0,22	0,16	-0,78	-1,00	-0,68	-0,29	0,24
DYo	0,07	-0,91	1,43	-3,38	-13,94	1,00	2,94
DZo	-0,07	-0,21	0,43	0,87	0,51	0,30	0,97
ELİPSOİD III	Durum VIII (cm)	Durum IX (cm)	Durum X (cm)	Durum XI (cm)	Durum XII (cm)	Durum XIII (cm)	Durum XIV (cm)
Da	-1,03	-0,47	-0,52	-0,55	-0,46	-0,47	-0,92
Db	3,05	12,56	9,39	7,48	-1,29	-1,59	-2,02
DXo	-1,05	-0,29	-0,29	-0,29	-0,41	-0,41	-0,93
DYo	-3,03	-6,50	-7,13	-7,55	1,17	1,35	1,44
DZo	1,07	0,23	0,23	0,23	0,42	0,41	0,88
ELİPSOİD III	Durum XV (cm)	Durum XVI (cm)	Durum XVII (cm)	Durum XVIII (cm)	Durum XIX (cm)	Durum XX (cm)	Durum XXI (cm)
Da	-0,95	-0,89	-1,07	-0,40	-0,43	-1,25	-1,06
Db	-2,56	17,99	11,29	-1,17	-1,11	-2,59	-2,80
DXo	-0,92	-0,41	-0,41	-0,16	-0,63	-0,91	-1,00
DYo	1,99	-9,05	-10,91	0,98	1,14	2,06	2,55
DZo	0,88	0,19	0,19	0,35	0,45	1,18	0,98

Tablo 16 :Elipsoid yüzeyi IV. uygulama için arazi yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları

ELİPSOİD IV	Durum I (cm)	Durum II (cm)	Durum III (cm)	Durum IV (cm)	Durum V (cm)	Durum VI (cm)	Durum VII (cm)
Da	-0,01	-0,14	0,24	-1,61	1,41	-0,62	0,63
Db	-0,39	-1,76	-2,91	-4,72	16,08	-1,85	-3,36
DXo	-0,32	-0,08	-0,72	-0,79	-2,66	-0,72	-0,97
DYo	0,36	1,77	2,98	4,71	-15,41	1,81	3,42
DZo	-0,03	0,02	-0,37	1,35	2,35	0,52	-0,88
ELİPSOİD IV	Durum VIII (cm)	Durum IX (cm)	Durum X (cm)	Durum XI (cm)	Durum XII (cm)	Durum XIII (cm)	Durum XIV (cm)
Da	1,60	-0,61	-0,61	-0,64	-0,86	-0,87	0,27
Db	4,67	12,93	10,46	9,31	-1,42	-2,43	-3,09
DXo	-1,58	-0,31	-0,31	-0,31	-0,51	-0,52	-2,58
DYo	4,74	-7,82	-8,09	-8,41	1,96	2,75	2,27
DZo	-0,73	0,09	0,09	0,09	0,73	0,71	-0,48
ELİPSOİD IV	Durum XV (cm)	Durum XVI (cm)	Durum XVII (cm)	Durum XVIII (cm)	Durum XIX (cm)	Durum XX (cm)	Durum XXI (cm)
Da	0,12	-1,38	-1,76	-0,59	-0,95	0,28	0,27
Db	-3,77	22,09	17,00	-1,91	-3,00	4,19	4,99
DXo	-2,61	-0,51	-0,65	-1,15	0,23	-1,39	-1,60
DYo	3,13	-11,82	-14,86	1,10	3,39	-4,17	-4,84
DZo	-0,29	0,34	0,41	0,47	0,82	-0,62	-0,66

Tablo 17 :Küre yüzeyi I. uygulama için arazi yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları

KÜRE I	Durum I (cm)	Durum II (cm)	Durum III (cm)	Durum IV (cm)	Durum V (cm)	Durum VI (cm)	Durum VII (cm)
Da	0,10	0,24	-1,81	-2,08	-0,77	-0,29	-1,01
DXo	-0,17	0,40	0,13	0,04	-0,29	0,59	-0,73
DYo	-0,20	-0,22	0,50	0,75	-0,36	-0,45	-0,12
DZo	0,10	0,12	0,60	0,75	0,24	-0,12	0,30
KÜRE I	Durum VIII (cm)	Durum IX (cm)	Durum X (cm)	Durum XI (cm)	Durum XII (cm)	Durum XIII (cm)	Durum XIV (cm)
Da	-2,44	0,13	0,13	0,13	-1,57	-1,63	-1,21
DXo	-0,51	-0,18	-0,18	-0,18	0,29	0,10	0,02
DYo	0,45	0,13	-0,13	-0,14	0,93	0,92	0,38
DZo	0,73	0,09	0,09	0,09	0,69	0,70	0,36
KÜRE I	Durum XV (cm)	Durum XVI (cm)	Durum XVII (cm)	Durum XVIII (cm)	Durum XIX (cm)	Durum XX (cm)	Durum XXI (cm)
Da	-1,34	-17,53	-1,83	-0,37	-0,89	-2,17	-2,53
DXo	0,01	-0,21	-0,20	0,37	-0,49	-0,69	1,02
DYo	0,54	-0,66	-0,06	0,44	-0,53	-0,56	0,63
DZo	0,50	-0,06	-0,06	0,37	0,48	0,35	0,74

Tablo 18 :Küre yüzeyi II. uygulama için arazi yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları

KÜRE II	Durum I (cm)	Durum II (cm)	Durum III (cm)	Durum IV (cm)	Durum V (cm)	Durum VI (cm)	Durum VII (cm)
Da	-0,15	-0,77	-1,34	-2,63	-1,19	-0,41	-1,54
DXo	-0,21	0,14	0,70	0,78	-0,26	-0,48	0,70
DYo	-0,56	-0,53	0,05	0,14	-0,54	-0,55	-0,48
DZo	0,08	0,13	0,48	0,59	-0,02	0,13	-0,05
KÜRE II	Durum VIII (cm)	Durum IX (cm)	Durum X (cm)	Durum XI (cm)	Durum XII (cm)	Durum XIII (cm)	Durum XIV (cm)
Da	-3,87	-0,14	-0,14	-0,14	-1,04	-1,12	-1,35
DXo	-0,31	-0,21	-0,21	-0,21	0,71	0,67	0,74
DYo	-0,18	0,13	0,72	-0,61	0,40	0,54	-0,32
DZo	0,48	0,07	0,07	0,07	0,49	0,67	0,19
KÜRE II	Durum XV (cm)	Durum XVI (cm)	Durum XVII (cm)	Durum XVIII (cm)	Durum XIX (cm)	Durum XX (cm)	Durum XXI (cm)
Da	-1,47	-19,12	-2,25	-0,33	-0,93	-1,16	-1,98
DXo	0,80	-0,43	-0,43	-0,61	0,33	0,45	0,54
DYo	-0,23	-0,75	-0,62	-0,89	-0,67	0,14	-0,12
DZo	0,28	-0,19	-0,19	0,08	-0,71	0,47	0,29

Tablo 19 :Küre yüzeyi III. uygulama için arazi yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları

KÜRE III	Durum I (cm)	Durum II (cm)	Durum III (cm)	Durum IV (cm)	Durum V (cm)	Durum VI (cm)	Durum VII (cm)
Da	-0,23	-0,44	-1,93	-2,67	-0,83	-0,71	-1,19
DXo	-0,24	-0,02	0,15	0,18	-0,27	-0,08	0,53
DYo	-0,06	-0,36	0,27	-0,11	-0,32	-0,15	0,17
DZo	0,01	-0,23	0,36	-0,02	0,27	0,05	0,23
KÜRE III	Durum VIII (cm)	Durum IX (cm)	Durum X (cm)	Durum XI (cm)	Durum XII (cm)	Durum XIII (cm)	Durum XIV (cm)
Da	-3,57	-0,22	-0,21	-0,21	-1,07	-1,10	-1,24
DXo	0,83	-0,25	-0,25	-0,25	0,16	0,13	0,13
DYo	-0,21	-0,73	-0,45	-0,11	0,26	0,32	-0,08
DZo	-0,09	-0,01	-0,01	-0,01	0,27	0,36	-0,03
KÜRE III	Durum XV (cm)	Durum XVI (cm)	Durum XVII (cm)	Durum XVIII (cm)	Durum XIX (cm)	Durum XX (cm)	Durum XXI (cm)
Da	-1,91	-18,13	-2,15	-0,68	-0,78	-1,11	-1,85
DXo	0,29	-0,26	-0,26	0,05	0,55	0,89	1,22
DYo	0,03	-0,67	0,19	0,07	0,16	-0,30	-0,51
DZo	0,07	-0,12	-0,12	0,11	0,16	-0,15	-0,25

Tablo 20 : Küre yüzeyi IV. uygulama için arazi yüzey parametrelerinden, XXI farklı konumda seçilen 6 kontrol noktasından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları

KÜRE IV	Durum I (cm)	Durum II (cm)	Durum III (cm)	Durum IV (cm)	Durum V (cm)	Durum VI (cm)	Durum VII (cm)
Da	-0,55	-1,08	-3,83	-4,57	-1,75	-1,11	-2,37
DXo	-0,30	-0,33	0,64	1,04	-0,28	-1,14	-0,79
DYo	-0,50	-0,62	-0,65	1,49	-0,56	0,30	-0,12
DZo	0,03	0,01	-0,21	2,35	0,11	-0,16	-0,21
KÜRE IV	Durum VIII (cm)	Durum IX (cm)	Durum X (cm)	Durum XI (cm)	Durum XII (cm)	Durum XIII (cm)	Durum XIV (cm)
Da	-5,23	0,39	0,37	0,35	-2,61	-3,61	-2,30
DXo	1,05	-0,37	-0,34	-0,34	0,37	0,83	0,67
DYo	-1,28	0,50	-0,58	-0,60	-0,07	-0,94	-0,26
DZo	-1,29	0,12	0,10	0,10	0,00	-0,38	0,62
KÜRE IV	Durum XV (cm)	Durum XVI (cm)	Durum XVII (cm)	Durum XVIII (cm)	Durum XIX (cm)	Durum XX (cm)	Durum XXI (cm)
Da	-2,70	-20,42	-2,18	0,31	-1,01	-1,44	-3,68
DXo	0,87	-0,29	-0,28	1,29	-1,43	2,27	1,99
DYo	-0,57	0,36	-0,50	-1,49	-1,84	-0,68	0,80
DZo	0,82	0,11	0,11	-0,27	-0,31	-0,27	0,84

Herbir yüzey için, 21 farklı konumdaki 6 kontrol noktasından belirlenen yüzey parametrelerine göre, arazi yüzeyindeki tüm noktaların, belirlenen fotogrametrik yüzey üzerindeki karşılıkları hesaplanmış ve jeodezik olarak belirlenen koordinatlardan farkları alınarak hata vektörleri bulunmuştur. Elipsoid yüzeyindeki I. uygulama, Durum I için fotogrametrik yüzey parametreleri ve tüm noktaların bu yeni yüzey üzerindeki koordinatlarının hesaplandığı sonuç çıktılar Ek 3'de verilmiştir. Ayrıca elipsoid yüzeyi I. uygulama Durum I, IV, V, XVI için hata vektörleri Ek 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15'de gösterilmiştir. Küre yüzeyi I. uygulama Durum I, IV, V, XVI için hata vektörleri de Ek 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27'de verilmiştir.



4. İRDELEME

Tez çalışmasında, yersel fotogrametride farklı çekim uzaklıklarından ve farklı kamera yüksekliklerinden alınan resimlerin değerlendirilmesinde, çekim pozisyonlarının, veri işleme yöntemlerinin, veri işleme yöntemlerinde kullanılan ortak nokta sayılarının, hesaplanan yeni nokta koordinatlarının konum ve yükseklik inceliğine etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın devamında, fotogrametrik veri işlemede mümkün olduğu kadar az kontrol noktası kullanılarak belirlenen cisim uzayı koordinatlarından, minimum sayıda kontrol noktası ile yüzey geçirilmesi durumunda, gerçek modele en iyi yaklaşan kontrol noktası dağılımlarının hangileri olacağı incelenmiştir.

Farklı çekim uzaklıkları ve farklı yüksekliklerden yapılan çekimlerin, kullanılan veri işleme yöntemlerinin ve bu veri işleme yöntemlerinde kullanılan kontrol noktası sayısının etkilerini incelemek için, bütün çözümlerde jeodezik olarak belirlenen koordinatlardan, fotogrametrik olarak hesaplanan koordinatların farkları alınmış, bu farkların kareleri toplamları belirlenmiş ve bu büyüklükler karşılaştırma büyüklüğü olarak kullanılmıştır.

Elipsoid ve küre yüzeyinin herbirinde yapılan 4 ayrı uygulama için, farklı ortak noktalar ile doğrusallık koşulunun kullanıldığı çözümler incelendiğinde, 3 ortak noktanın kullanıldığı çözüm durumlarında X, Y, Z eksenlerinin hepsinde en büyük $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$, $[F_{pp}]$ değerleri elde edilmiştir. Kontrol nokta sayıları 6, 8, 15 olarak alındığında bu karşılaştırma değerlerinin, kontrol nokta sayısına bağlı olarak azaldığı görülmüştür. 8 ve 15 ortak noktanın kullanıldığı çözümlerde bilinmeyen sayısının artırılması ile, matematik model fiziksel gerçeğe daha çok yaklaştığından bu çözümlerdeki karşılaştırma büyüklükleri daha küçük çıkmıştır.

Elipsoid ve küre yüzeyi için I.uygulama doğrusallık koşulu eşitliklerinin çözümü durumunda, karşılaştırma değerlerinin kontrol nokta sayısına bağlı olarak azalmasından başka, bu uygulamada X ve Z yönündeki karşılaştırma değerleri birbirine paralellik göstermiş, yakın bulunmuştur. Ayrıca her iki yöndeki sapma değerlerinin Y eksen yönündeki değerlerden daha küçük olduğu görülmüştür.

Doğrudan lineer dönüşüm çözümünde, 6, 8, 15 kontrol noktalarının kullanıldığı durumlar, doğrusallık çözümünde aynı ortak noktaların kullanıldığı durumlarla karşılaştırıldığında daha büyük $[F_{xx}]$, $[F_{yy}]$, $[F_{zz}]$ karşılaştırma değerleri ve bunlara bağlı olarak daha büyük $[F_{pp}]$ değerleri elde edilmiştir. Bu yöntem ile çözümde de yine kontrol nokta sayısının artışı ile sapma miktarları küçülmüştür. Ancak X ve Z yönündeki sapma değerlerinde, doğrusallık çözümünde değerler birbirine yakın çıkarken, doğrudan lineer dönüşüm çözümünde bu değerler arasında farklılıklar gözlenmiştir.

Paralaks eşitlikleri ile yapılan çözümde ise bütün eksenlerde karşılaştırma değerleri, diğer iki yöntemde en az kontrol noktası kullanılan çözümlerde bulunan değerlerden daha büyük bulunmuştur.

Tablo 6 ve 10'da verilen uygulama II doğrusallık koşulu çözüm sonuçlarında, uygulama I den farklı olarak Z eksen yönünde artış gözlenmiştir. X ve Z yönlerindeki sapma değerleri karşılaştırıldığında, Z yönündeki değerlerin X yönündekilerden büyük bulunmuştur. Y ekseninde ise uygulama I'e göre fazla bir değişim gözlenmemiştir. Her iki yüzey için çözülen doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitlikleri ile çözümde elde edilen sonuçlarda da Z eksen yönündeki sapmaların kareleri toplamında artış gözlenmiştir.

Tablo 7, 11'de bulunan değerlerden görüldüğü gibi, III.uygulamada da II.uygulamaya benzer değişimler görülmüştür. Doğrusallık koşulu eşitliklerinin kullanıldığı çözümde Z eksen yönünde bir artış görülmüştür. Bu artış doğrudan lineer dönüşüm çözümünde ve paralaks eşitlikleri çözümünde de elde edilmiştir.

Uygulama IV için tablo 8 ve 12 de verilen değerler, uygulama I ile karşılaştırıldığında, elipsoid ve küre yüzeyi için doğrusallık koşulu çözümünde Y eksen yönünde yaklaşık 2 katlık bir artış, doğrudan lineer dönüşüm çözümünde yaklaşık 3 katlık bir artış, paralaks eşitlikleri ile çözümde ise 3 katlık bir artış

gözlenmiştir. X ve Z eksenleri yönünde doğrusallık koşulu ile çözümde her iki yüzey sonuçları yine uygulama I ile karşılaştırıldığında yaklaşık 1.5 katlık bir artış, doğrudan lineer dönüşümde yine yaklaşık 1.5 katlık artış ve paralaks eşitlikleri ile yine 1.5 katlık bir artış olduğu bulunmuştur.

Doğrusallık koşulu eşitliklerinin kullanıldığı çözümlerde, her iki yüzey için Şekil 24 ve Şekil 31'de görüldüğü gibi I., II., III., IV. uygulamalardan elde edilen [Fxx] değerlerinde kontrol noktası artışına bağlı olarak azalma görülmüş, uygulamalar arasında çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. [Fyy] değerleri karşılaştırıldığında, Şekil 25 ve 32 de görüldüğü gibi I.,II., III. uygulamalar için birbirine yakın [Fyy] değerleri, IV. uygulama için oldukça farklı [Fyy] değerleri elde edilmiştir. [Fzz] için Şekil 26 ve 33 incelendiğinde uygulamalar arasında çok farklı bir değişim görülmemiştir. Özellikle II. ve III. uygulamalar IV. uygulamalarda elde edilen değerlere yakın çıkmıştır.

Farklı uygulamalarda kullanılan üç veri işleme yöntemi karşılaştırıldığında, Şekil 27, 28, 29, 30, 34, 35, 36, 37'de görüldüğü gibi kontrol noktasına bağlı olarak en duyarlı sonuçlar doğrusallık koşulunun kullanıldığı çözümlerde elde edilmiştir.

Çalışmada ele alınan diğer bir konu, 3 kontrol noktasının kullanıldığı doğrusallık koşulu eşitlikleri ile elde edilen cisim uzayı koordinatlarından, şekil 21.'de gösterilen değişik konumlarda seçilmiş 6 kontrol noktası ile fotogrametrik yüzeylerin geçirilmesidir. Burada amaç, jeodezik işlemleri en az seviyede tutarak, fotogrametrik yöntem ile nokta üretmek ve yine az sayıda kontrol noktası kullanarak yüzey geçirmek için en uygun nokta dağılımlarını incelemektir. Burada da yine, 6 kontrol noktasından elde edilen fotogrametrik yüzeyler 49 jeodezik nokta koordinatından belirlenmiş arazi yüzeyi ile karşılaştırılmıştır. Bu işlemler elipsoid ve küre yüzeyindeki 4 farklı uygulama için tekrarlanmıştır.

Arazi elipsoid yüzey parametrelerinden, 21 farklı durumda seçilen kontrol noktalarından belirlenen fotogrametrik yüzey parametrelerinin farkları incelendiğinde yüzey merkezinden geçen çember üzerinde 5 nokta, yüzeyin tepesinde de 1 noktanın alındığı durum I de jeodezik yöntemle belirlenen yüzeye en yakın yüzey geçirilmiştir. 1 noktanın büyük çember üzerinde, diğer 4 noktanın 3.cü çember üzerinde ve 1 noktanın da tepe noktasında alındığı, durum IV de

elde edilen farklar, Y_0 başlangıç değerinde ve B basık yarıçap yönünde 2 cm'ye kadar yükselmiştir. Tablo 13'de durum II, durum III ve durum IV, noktaların X eksenine göre bir tarafta alındığı durum VI, VII, VIII ile karşılaştırılınca a, b yarıçap parametrelerinde küçük değişimler görülmüş, bunun yanında X_0 başlangıç koordinatı parametrelerinde farklar büyümüştür. Kontrol noktalarının tepe noktasında seçilmediği durum IX, X, XI da, b ve Y_0 parametrelerinde büyük farklılıklar ortaya çıkmıştır. 5 kontrol noktasının büyük çemberin dörtte birlik bölümünde, bir noktanın tepe noktasında seçildiği durum V ve tek noktanın 2.ci çemberde seçildiği durum XVI da arazi yüzeyi ile en büyük farklılıkları gözlenmiştir.

Küre yüzeyinde yine durum I, arazi yüzeyine en yakın parametre değerlerine sahiptir. Küre yüzeyinde durum IV dönel elipsoid yüzeyindeki aynı durum ile karşılaştırıldığında, küre yüzeyinde sadece a yarıçap parametresinde bir farklılık bulunmuştur. Ayrıca küre yüzeyinde de noktalar X eksenine göre bir tarafta alındığında X_0 parametrelerinde arazi yüzeyine göre farklılıklar göstermiştir. Ancak küre yüzeyinde, tepe noktasının alınmadığı durum IX, X, XI de farklılıklar çok küçük çıkmıştır.

Elipsoid ve Küre yüzeyinde, uygulama I ile oluşturulan yüzey parametreleri II, III, IV uygulamalardan elde edilen değerlerle oluşturulan parametreler ile karşılaştırıldığında farklar büyümüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde yakın resim fotogrametrisi, bilgisayar alanında yaşanan hızlı gelişmelere paralel olarak, kullanım olanakları artan analitik veri işleme yöntemleri ile geniş uygulama alanları bulmuştur. Bu uygulamalar özellikle endüstri ve mühendislik çalışmaları alanlarında olmuştur.

Bu çalışmada, Türk mimarisinde geniş yer tutan kubbelerin şekillerini temsil eden dönel yüzeylerin yakın fotogrametri yöntemleri ile incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle bir deney düzeneği üzerinde dönel elipsoid ve küre yüzeyleri oluşturulmuş, oluşturulan bu yüzeyler üzerindeki nokta koordinatları jeodezik ve fotogrametrik yöntemlerle belirlenmiştir. Deney düzeneği üzerindeki incelemelerde, veri işleme yöntemlerinin, çekim uzaklığı ve çekim yüksekliklerinin, veri işleme yöntemlerinde kullanılan ortak nokta sayılarının hesaplanan koordinatlara etkileri ele alınmıştır. Ayrıca jeodezik işlemleri en az seviyede tutarak, fotogrametrik yöntemle belirlenen koordinatlardan, yine az sayıda kontrol noktası kullanılarak geçirilen fotogrametrik yüzeylerin, arazi yüzeyine en iyi yaklaşan nokta dağılımları incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

• Fotogrametrik veri işlemede doğrusallık koşulu, doğrudan lineer dönüşüm ve paralaks eşitlikleri kullanılmıştır. Doğrusallık koşulunun kullanıldığı durumda asal uzaklık, asal noktanın koordinatları, dönüklükler, ötelemeler ve sistematik hatalar bilinmeyen olarak alınmıştır. Bu çözümde yaklaşık değerlerin uygun seçilmesi durumunda daha az iterasyonla ve dolayısıyla daha kısa zamanda çözüme ulaşılmıştır. Sistematik hataların da bilinmeyenler olarak seçildiği durumlarda, normal denklem katsayılar matrisinde ortaya çıkması beklenen kondisyon bozukluklarının giderilmesi gerekmektedir

• Paralaks eşitlikleri ile çözümde, çekim istasyonlarının konum koordinatlarının ve kamera iç yönelme elemanlarının iyi bir şekilde belirlenmiş olması gerekmektedir. Bu elemanların belirlenmesinde yapılacak bir yaklaşıklık veya hata hesaplanacak sonuç koordinat değerlerine doğrudan etki etmektedir.

• Çalışmalarda kullanılan üç veri işleme yönteminden elde edilen sonuç koordinat değerleri, jeodezik yöntem ile belirlenen koordinatlar ile karşılaştırıldığında, jeodezik koordinat değerlerine en yakın değerler doğrusallık koşulu çözümünden elde edilen değerler, daha sonra doğrudan lineer dönüşüm çözümünden elde edilen değerler ve en son paralaks eşitliklerinin kullanıldığı çözümden elde edilen değerler bulunmuştur. Üç yöntemden elde edilen bu sonuçlara göre en duyarlıklı sonuçlar doğrusallık koşulu eşitliklerinin kullanıldığı yöntem ile elde edilmiştir.

• Elipsoid ve küre yüzeyi üzerinde yapılan fotogrametrik uygulamalar sonucunda, jeodezik koordinat değerlerinden sapmaların, Y alım eksenini yönünde çekim uzaklığı ile arttığı belirlenmiştir. Ayrıca cisim merkezinden uzaklaştıkça, (Z) yönündeki sapmalarda artış gözlenmiştir.

• Fotogrametrik değerlendirmelerde, doğrusallık koşulu çözümünde 3, 6, 8, 15 kontrol noktası ile, doğrudan lineer dönüşüm çözümünde 6, 8, 15 kontrol noktası ile çözümler yapılmıştır. Doğrusallık koşulu ve doğrudan lineer dönüşüm yöntemlerinin her ikisinde de dengelemede kullanılan kontrol noktalarının sayısındaki artış ve bu noktaların ilgili cisim üzerindeki uygun dağılımı ile hesaplanan nokta koordinatlarında iyileşme görülmüştür. Özellikle bu iyileşme Y alım eksenini yönünde daha fazla belirgindir. Yine bu yöntemlerde bilinmeyen parametre sayısının artırılması ile fiziksel gerçeğe yakın matematik modelin kullanıldığı durumlarda daha duyarlı sonuçlar elde edilmiştir.

• Fotogrametrik değerlerden az sayıda kontrol noktaları ile elipsoid yüzeyinin iyi bir şekilde belirlenmesi için kontrol noktalarının, yüzey merkezinden geçen çember üzerinde ve tepe noktası gibi belirleyici yerlerde seçilmesi daha iyi sonuçlar vermektedir. Küre yüzeyinde ise kontrol noktalarının tepe noktasında

alınmadığı durumlarda da arazi yüzeyinden olan farklar küçük çıkmaktadır. Noktaların yüzeyi belirleyici yerlerde seçilememesi durumunda, noktaların üç farklı düzlemde seçilmesi de iyi sonuçlar vermektedir.

•Kontrol noktaları yüzeyin tepesine yakın alındığında, fotogrametrik yüzey parametrelerinin arazi yüzey parametrelerinden farkları büyümektedir.

Hasasiyet isteyen işlemlerde, dönel yüzeylerin fotogrametrik yöntemler ile belirlenmesinde, duyarlıkları sonuçların elde edildiği doğrusallık koşulu ile çözümün kullanılması gerekir. Fotogrametrik koordinatlardan az sayıda kontrol noktası kullanarak dönel yüzeylerin geçirilmesinde, kontrol noktalarının yüzeyin belirleyici noktalarında seçilmesi iyi sonuçlar vermektedir.



7. KAYNAKLAR

- [1] Tüdeş, T., Yer Fotogrametrisi, KTÜ basımevi, Trabzon, 1986.
- [2] Faig, W., Non-Metric And Semi-Metric Cameras : Data Reduction, Non-Topographic Photogrammetry, by ASPRS, (1989) 71-79.
- [3] Kölbl, O. R., Metric or non-metric cameras, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1 (1976) 103-113
- [4] Fryer, J. G., Camera Calibration in Non-Topographic Photogrammetry, Non-Topographic Photogrammetry, by ASPRS, (1989) 59-69.
- [5] Slama, C. C.(ed), Manual of Photogrammetry, Fourth Edition, American Society of photogrammetry, Falls Church, 1980.
- [6] Pektekin, A., Yakın Yer Fotogrametrisinin Analitik Çözümü, Harita Dergisi, 102 (1989) 1-14.
- [7] Mcglone, J.C., Analytic Data Reduction Schemes in Non-Topographic Photogrammetry, Non-Topographic Photogrammetry, by ASPRS, (1989).
- [8] Toz, G., Yersel Fotogrametride Analog, Analog-Analitik ve Analitik Değerlendirme Yöntemlerinin Yapı Konstrüksiyon Deneylerinde Uygulama Olanakları, Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1985.
- [9] Alkış, A., Yakın Resim Fotogrametrisi ve Türkiye'de Uygulama Olanakları, Harita Dergisi, 101 (1988) 51-66.
- [10] Aytaç, M., Örmeci, C., Altan, M. O., Balmumcu Saniye (Seniha) Sultan Köşkü Fotogrametrik Rölövesi, İTÜ İnşaat Fakültesi Teknik Rapor, 26 Eylül 1976.
- [11] Karara, H. M.(ed), Handbook of Non-Topographic Photogrammetry, First edition, American Society of Photogrammetry, Falls Church, 1979.
- [12] Kenefick, J. F., Ultra-Precise Analytics, Photogrammetric Engineering, XXXVII (1971) 1167-1187.
- [13] Karara, H. M., Abdel-Aziz, Y. I., Accuracy Aspects of Non-Metric Imageries, Photogrammetric Engineering, (1974) 1107-1117.

- [14] Marzan, G. T. Karara, H.M., A Computer Program for Direct Linear Transformasyon Solution of the Collinearity Condition and Some Applications of It, Proceedings of ASP-ISP Symposium on Close-Range Photogrammetric Systems, Urbana, Illinois, 1975, 420-476.
- [15] Faig, W., Calibration of Close-Range Photogrammetric Systems Mathematical Formulation, Phot.Eng. and Rem. Sens., 41, 12 (1975) 1479-1486.
- [16] Hottier, P., Accuracy of Close-Range Analytical Restitutions: Practical Experiments and Prediction, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42, 3 (1976) 345-375.
- [17] Moniwa, H., Analytical Photogrammetric System With Self Calibration And Its Applications, Doktora Tezi, New Brunswick Üniversitesi, 1977.
- [18] Granshaw, S. I., Bundle Adjustment Methods in Engineering Photogrammetry, Photogrammetric Record, 10, 56 (1980) 181-203.
- [19] Altan, M. O., A Comparison Between 11-Parameter Solution and the Bundle Method at a Photogrammetric Control Survey, XIV. Congress of the International Society for Photogrammetry, 1980.
- [20] Hadem, I., Bundle Adjustment in Industrial Photogrammetry, Photogrammetria, 37 (1981) 45-60.
- [21] Fraser, C. S., Optimization of Precision in Close-Range Photogrammetry, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48, 4 (1982) 561-570.
- [22] Papo, H.B., Free Net Analysis in Close-Range Photogrammetry Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48, 4 (1982) 571-576.
- [23] Altan, M. O., Genauigkeitsuntersuchung Photogrammetrischer Deformationsmessungen an Einem Testfeld, Bildmessung und Luftbildwesen, 52, 1 (1984) 29-35.
- [24] Külür, S., Fotogrammetrik ve Fotogrammetrik Olmayan Ölçmelerin Birlikte Değerlendirilmesi ve Uygulaması, Doktora Tezi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, 1985.
- [25] Altan, O., A Super Precise Test Field for Close-Range Photogrammetric Applications, ISPRS-International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, June 16-19, 1986 Ottawa, Canada.
- [26] Fraser, C.S., Microwave Antenna Measurement, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52, 10 (1986) 1627-1635.

- [27] Fraser, C.S., Limiting Error Propagation in Network Design, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53, 5 (1987) 487-493.
- [28] Fraser, C.S., Optimization of Networks in Non-Topographic Photogrammetry, Non-Topographic Photogrammetry, by ASPRS, (1989) 95-106.
- [29] Kocaman, E., Yersel Fotogrametride Normal Durumda Yer Kontrol Noktalarının Dağılışının İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, 1988.
- [30] Stirling, D. M., Close-Range Photogrammetry, Engineering Surveying Technology, (1990) 289-324.
- [31] Müftüoğlu, O., A Data Reduction Approach Using The Collinearity Model From Non-Metric Photography, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 59, 5 (1993) 663-666.
- [32] Ziemann, H., El-Hakim, S. F., System Calibration Versus Self Calibration, Photogrammetric Research National Research Council Ottawa, Ontario, k1a 0r6 Canada.
- [33] Gosh, S.K., Analytical Photogrammetry, Pergamon Press Inc. N. Y., 1979.
- [34] Moffit, H. F., Mikail, E.M., Photogrammetry, Harper and Row, Publishers, Third Edition, New York, 1980.
- [35] Wong, K. W., Mathematical Formulation and Digital Analysis in Close-Range Photogrammetry, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, (1975) 1355-1373.
- [36] Altan, M. O., Stereo- ve Mono-Komparatörlerin Blok Triyagülasyonundaki Rolü ve Kadastro Fotogrametrisine Uygulama, Doktora Tezi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, 1974.
- [37] Kennert, A., Torlegard, T., Theory Of Image Coordinate Errors, Non-Topographic Photogrammetry, by ASPRS, (1989) 81-93.
- [38] Finsterwalder, R., Hofmann, W., Fotogrametri, (Türkçesi: Prof. M. Aytaç, Doç. Dr. C. Örmeci, Doç. Dr. M. O. Altan, İTÜ Kütüphanesi, Sayı 1242, 1983.
- [39] Wolf, P. R., Elements of photogrammetry, McGraw-Hill Book Company, Second Edition, U.S.A. 1983.

- [40] Süray, S., Umumi Matematik, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Dördüncü Baskı.
- [41] Kindle, J. H., Analytical Geometry, Schaum Publishing Company, 1950.
- [42] Öztürk, E., Şerbetci, M., Dengeleme Hesabı, Cilt III, K.T.Ü Basımevi, Trabzon 1992.





E K L E R

Ek 1: Doğrusallık koşulu ile çözümün bilgisayar çıktısı

***** İLAVE PARAMETRELER İLE *****
UZAY GERİDEN KESTİRME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

ÖLÇÜLEN NOKTALARIN ARAZİ KOORDİNATLARI			
NNO	XA (m)	YA (m)	ZA (m)
1	1000.0279	1005.5000	1.4217
3	999.3538	1005.5000	1.6734
5	999.0523	1005.5000	2.4189
7	999.3289	1005.5000	3.0294
9	1000.0058	1005.5000	3.3047
11	1000.6983	1005.5000	2.9849
13	1000.9352	1005.5000	2.3497
15	1000.6277	1005.5000	1.6659
33	999.9930	1006.2650	1.9599
35	999.5891	1006.2650	2.3578
37	1000.0019	1006.2650	2.7620
39	1000.3885	1006.2650	2.3609
44	1000.1775	1006.3270	2.3409
45	999.9699	1006.3400	2.2579
49	999.9890	1006.3450	2.3517

1 Cİ RESMİN ASAL UZAKLIĞI 60.63999939mm

NNO	XR (mm)	YR (mm)
1	123.5560	131.7740
3	115.2950	134.8710
5	111.6140	144.0420
7	115.0190	151.5330
9	123.3480	154.8810
11	131.8400	150.9590
13	134.7230	143.2130
15	130.9220	134.7580
33	122.1540	139.0350
35	117.8890	143.2870
37	122.2900	147.5520
39	126.3740	143.2820
44	124.0530	143.0800
45	121.8430	142.2180
49	122.0510	143.2020

2 Cİ RESMİN ASAL UZAKLIĞI 60.65000153mm

NNO	XR (mm)	YR (mm)
1	108.7030	131.8420
3	100.4250	134.9270
5	96.7420	144.1100
7	100.1330	151.6080
9	108.4770	154.9400
11	116.9750	151.0240
13	119.8700	143.2510
15	116.0650	134.8310
33	109.2660	139.0920
35	104.9940	143.3420
37	109.3950	147.6270
39	113.4760	143.3420
44	111.2900	143.1400
45	109.1170	142.2730
49	109.3360	143.2490

ARAZİ KOORDİNATLARININ YAKLAŞIK DEĞERLERİ..

1	1000.0000	1005.5000	1.4000
3	999.4000	1005.5000	1.7000
5	999.1000	1005.5000	2.4000
7	999.3000	1005.5000	3.0000
9	1000.0000	1005.5000	3.3000
11	1000.7000	1005.5000	3.0000
13	1000.9000	1005.5000	2.3000
15	1000.6000	1005.5000	1.7000
33	1000.0000	1006.3000	2.0000
35	999.6000	1006.3000	2.4000
37	1000.0000	1006.3000	2.8000
39	1000.4000	1006.3000	2.4000
44	1000.2000	1006.3000	2.3000
45	1000.0000	1006.3000	2.3000
49	1000.0000	1006.3000	2.4000

İLK YAKLAŞIK PARAMETRELER

OMEGA= 0.00000000E-01 FI= 0.00000000E-01 KAPA= 0.00000000E-01grad
XO = 999.40002441 YO= 1000.55999756 ZO= 2.34999990 m
co = 60.000000 xo= 115.00000000 yo= 143.00000000 mm
k1 = 0.00000000E-01 k2= 0.00000000E-01 k3= 0.00000000E-01
p1 = 0.00000000E-01 p2= 0.00000000E-01

OMEGA= 0.00000000E-01 FI= 0.00000000E-01 KAPA= 0.00000000E-01grad
XO = 1000.59997559 YO= 1000.55999756 ZO= 2.34999990m
co = 60.0000000 xo= 115.00000000 yo= 143.00000000 mm
k1 = 0.00000000E-01 k2= 0.00000000E-01 k3= 0.00000000E-01
p1 = 0.00000000E-01 p2= 0.00000000E-01

İTERASYON SAYISI 3

.....SONUÇLAR.....

1 Cİ RESİM

OMO = -0.03610254 (grad)
FI = -0.03582627
KA = 0.01362178
XO = 999.38983 (m)
YO = 1000.56067
ZO = 2.34910
co = 60.64001083 (mm)
xo = 115.73937225
yo = 143.20967102

..... ek parametreler.....

k1 = -4.07134830E-05
k2 = 1.01937019E-07
k3 = -1.24710284E-10
p1 = 1.64644269E-04
p2 = 1.90639330E-05
A = -2.94061261E-03
B = 1.93570880E-03

2 cİ RESİM

OMO = 0.01268406 (grad)
FI = 0.04167979
KA = 0.05902014
XO = 1000.58881 (m)
YO = 1000.56073
ZO = 2.35083
co = 60.65001678 (mm)
xo = 115.64782715
yo = 143.23110962

..... ek parametreler.....

k1 = 6.07655311E-05
k2 = -3.68826619E-07
k3 = 6.04862216E-10
p1 = 2.97796341E-05
p2 = -3.01295404E-06
A = -1.16172596E-03
B = -1.85725442E-03

HESAPLANMIŞ BAZ ... 1.19898 (m)
korelatlar ... -0.00000633

HESAPLANMIŞ ARAZİ KOORDİNATLAR

NN	XHES (m)	YHES (m)	ZHES (m)
1	1000.02752686	1005.50054932	1.42154908
3	999.35406494	1005.49987793	1.67342365
5	999.05175781	1005.49987793	2.41973257
7	999.32739258	1005.50042725	3.02978826
9	1000.00531006	1005.50085449	3.30303431
11	1000.69921875	1005.49981689	2.98466802
13	1000.93634033	1005.50000000	2.35238886
15	1000.62768555	1005.50042725	1.66464031
33	999.99212646	1006.26507568	1.95947886
35	999.58886719	1006.26403809	2.35939455
37	1000.00262451	1006.26501465	2.76225495
39	1000.38842773	1006.26416016	2.35975552
44	1000.17822266	1006.32611084	2.34047985
45	999.96954346	1006.34033203	2.25781918
49	999.98974609	1006.34552002	2.35133266

..... ORTALAMA HATA (mo)

mo= 0.0001875625

1 Cİ RESİM KOORDINATLARI

xs	ys
7.85994387	-11.41345978
3.01536512	-10.53593826
-0.40710610	-8.32573605
-3.20713139	-4.35404110
-4.11658621	0.83297086
-3.24688935	4.56068325
-0.73169696	8.32554340
3.44905233	11.00751686
7.59086800	11.68289280
12.18423557	10.67836285
16.11318588	7.77050543
18.24459648	4.23050880
19.02361298	1.70699265E-02
18.01686478	-4.61575365
15.23053932	-8.43896294
11.90616226	-10.55109882
6.95694256	-8.88564968
-0.17525376	-5.63982296
-2.21215248	-0.11659765
0.19948708	6.21332884
6.55828524	9.16447830
13.34587765	6.28297663
15.80884075	7.49042183E-02
13.99398041	-5.29008722
6.60998821	-6.52349854
1.98485005	-4.74544621
-8.55521411E-02	6.24517500E-02
1.69269764	4.63513517
6.59937954	6.74331188
11.41227818	4.61330986
13.19101143	4.80133668E-02
11.88772297	-3.85441184
6.43586063	-4.17940378
3.02026033	-2.46237421
2.15128970	7.76984394E-02
3.17161298	2.87716055
6.54912567	4.35453749
9.62362003	2.85723138
10.65328598	7.67808408E-02
9.30911255	-3.03318477
6.07758141	-1.92655146
4.30709362	-0.15136376
6.27016687	2.07730246
8.32841873	-0.12733084
6.11624336	-0.99264556
5.27524948	0.19690089
6.50248146	1.07774782
7.34244061	-0.10889189
6.32206202	-6.17581792E-03

2 CI RESIM KOORDINATLARI

xs	ys
-6.94155455	-11.39484215
-11.78843689	-10.50679207
-15.21201515	-8.29516315
-18.00922394	-4.31578207
-18.91719055	0.87607205
-18.04187202	4.60194635
-15.52218437	8.36275578
-11.34080887	11.02650261
-7.19246006	11.70745945
-2.60291171	10.71661091
1.32334566	7.79744434
3.44191504	4.26387835
4.22783804	1.97773706E-02
3.22008562	-4.56402063
0.43018448	-8.40840244
-2.90456462	-10.52563572
-6.61966372	-8.85160351
-13.74883747	-5.59378052
-15.77778530	-8.45150054E-02
-13.36915112	6.22602749
-7.01906681	9.17655468
-0.22736405	6.30118132
2.23313904	0.11369849
0.41266996	-5.23337650
-6.49510431	-6.49814272
-11.12113762	-4.72103262
-13.18769455	0.10484641
-11.40310287	4.66716480
-6.50211906	6.77527523
-1.68742096	4.64430046
9.40674171E-02	8.87329951E-02
-1.21393764	-3.80437708
-6.38833570	-4.14033556
-9.79977417	-2.43715453
-10.67608547	0.11026111
-9.65536499	2.89181566
-6.26878405	4.39610481
-3.19017363	2.89065576
-2.17214346	0.11266313
-3.50300908	-2.99654913
-6.60159826	-1.89116704
-8.37263584	-9.55571830E-02
-6.40252495	2.10917473
-4.36049509	-9.11253840E-02
-6.53896189	-0.95814985
-7.38527536	0.23456888
-6.15701056	1.11021602
-5.30681562	-7.32200444E-02
-6.32011604	1.76368002E-02

..... BİLİNMEYENLERİN ORTALAMA HATASI

Bilinmeyenlerin sırası

xo,yo,c k1,k2,k3,p1,p2,Ap,Bp w,fi,ka,XO,ZO,YO

$m_x(i) = m_o \cdot \sqrt{p_d(i,i)}$

BİLİNMEYEN PARAMETRELER İÇİN ORTALAMA HATALAR

$m_x(1) = 0.11575466$
 $m_x(2) = 0.11339355$
 $m_x(3) = 1.87545142E-03$
 $m_x(4) = 3.77470024E-05$
 $m_x(5) = 1.34956863E-07$
 $m_x(6) = 2.20412522E-10$
 $m_x(7) = 1.39845608E-04$
 $m_x(8) = 3.59576807E-05$
 $m_x(9) = 1.58610544E-03$
 $m_x(10) = 2.37181503E-03$
 $m_x(11) = 1.79959042E-03$
 $m_x(12) = 1.84411998E-03$
 $m_x(13) = 9.27554851E-04$
 $m_x(14) = 1.70745631E-03$
 $m_x(15) = 1.66340068E-03$
 $m_x(16) = 1.85241317E-03$
 $m_x(17) = 0.11486964$
 $m_x(18) = 0.11336881$
 $m_x(19) = 1.87543768E-03$
 $m_x(20) = 3.60047670E-05$
 $m_x(21) = 1.27297838E-07$
 $m_x(22) = 2.10610016E-10$
 $m_x(23) = 1.37694427E-04$
 $m_x(24) = 3.60036247E-05$
 $m_x(25) = 1.58847996E-03$
 $m_x(26) = 2.31902837E-03$
 $m_x(27) = 1.79280003E-03$
 $m_x(28) = 1.82514184E-03$
 $m_x(29) = 9.33689647E-04$
 $m_x(30) = 1.71933533E-03$
 $m_x(31) = 1.66754168E-03$
 $m_x(32) = 1.85041013E-03$

KOORDİNATLAR İÇİN (X, Y, Z) ORTALAMA HATALAR

mx(33)= 1.01650099E-03
mx(34)= 1.61455257E-03
mx(35)= 1.24941568E-03
mx(36)= 9.98919480E-04
mx(37)= 1.66119530E-03
mx(38)= 1.04603183E-03
mx(39)= 7.41055876E-04
mx(40)= 1.83196401E-03
mx(41)= 8.70520482E-04
mx(42)= 1.00304780E-03
mx(43)= 1.60457846E-03
mx(44)= 1.04141969E-03
mx(45)= 1.03984307E-03
mx(46)= 1.64772349E-03
mx(47)= 1.28446973E-03
mx(48)= 9.81937977E-04
mx(49)= 1.60345726E-03
mx(50)= 1.01452961E-03
mx(51)= 7.11428758E-04
mx(52)= 1.81513559E-03
mx(53)= 8.51737510E-04
mx(54)= 9.77830729E-04
mx(55)= 1.63985649E-03
mx(56)= 1.03398843E-03
mx(57)= 6.95120078E-04
mx(58)= 1.50553428E-03
mx(59)= 1.07097579E-03
mx(60)= 9.90865752E-04
mx(61)= 1.66976883E-03
mx(62)= 7.39617390E-04
mx(63)= 7.10223860E-04
mx(64)= 1.50881044E-03
mx(65)= 1.13218336E-03
mx(66)= 9.36276279E-04
mx(67)= 1.64129457E-03
mx(68)= 7.22931698E-04
mx(69)= 6.96349307E-04
mx(70)= 1.54919317E-03
mx(71)= 7.09000800E-04
mx(72)= 6.03066874E-04
mx(73)= 1.54234807E-03
mx(74)= 7.38567906E-04
mx(75)= 5.93114120E-04
mx(76)= 1.54455134E-03
mx(77)= 7.09462678E-04

..... denetim (VTV= -VTL)
VTV= 0.000001 VTL= -0.000001

UZAY İLERDEN KESTİRME

ARAZİ KOORDİNATLARI

NN	XA	YA	ZA
1	1000.0279	1005.5000	1.4217
2	999.6329	1005.5000	1.4929
3	999.3538	1005.5000	1.6734
4	999.1259	1005.5000	1.9967
5	999.0523	1005.5000	2.4189
6	999.1227	1005.5000	2.7224
7	999.3289	1005.5000	3.0294
8	999.6678	1005.5000	3.2479
9	1000.0060	1005.5000	3.3047
10	1000.3790	1005.5000	3.2229
11	1000.6980	1005.5000	2.9849
12	1000.8710	1005.5000	2.6977
13	1000.9350	1005.5000	2.3497
14	1000.8540	1005.5000	1.9779
15	1000.6280	1005.5000	1.6659
16	1000.3570	1005.5000	1.4929
17	1000.0070	1005.9470	1.5630
18	999.3728	1005.9470	1.8498
19	999.1917	1005.9470	2.3399
20	999.4046	1005.9470	2.9010
21	999.9687	1005.9470	3.1640
22	1000.5700	1005.9470	2.9102
23	1000.7890	1005.9470	2.3612
24	1000.6300	1005.9470	1.8844
25	999.9958	1006.1440	1.7521
26	999.5702	1006.1440	1.9159
27	999.3799	1006.1440	2.3559
28	999.5424	1006.1440	2.7771
29	999.9932	1006.1440	2.9729
30	1000.4370	1006.1440	2.7778
31	1000.6000	1006.1440	2.3588
32	1000.4820	1006.1440	1.9998
33	999.9930	1006.2650	1.9599
34	999.6712	1006.2650	2.1191
35	999.5891	1006.2650	2.3578
36	999.6852	1006.2650	2.6217
37	1000.0020	1006.2650	2.7620
38	1000.2910	1006.2650	2.6214
39	1000.3890	1006.2650	2.3609
40	1000.2630	1006.2650	2.0677
41	999.9646	1006.3270	2.1694
42	999.7983	1006.3270	2.3399
43	999.9838	1006.3270	2.5490
44	1000.1780	1006.3270	2.3409
45	999.9699	1006.3400	2.2579
46	999.8886	1006.3400	2.3719
47	1000.0050	1006.3400	2.4549
48	1000.0850	1006.3400	2.3429
49	999.9890	1006.3450	2.3517

HESAP SONUCU BULUNAN KOORDINATLAR (m)

FARKLAR (cm)

NN	XH	YH	ZH	X-FARKI	Y-FARKI	Z-FARKI
1	1000.0275	1005.5005	1.4215	0.0366	-0.0549	0.0151
2	999.6328	1005.4987	1.4938	0.0061	0.1282	-0.0870
3	999.3541	1005.4999	1.6734	-0.0244	0.0122	-0.0024
4	999.1260	1005.5014	1.9970	-0.0122	-0.1404	-0.0255
5	999.0518	1005.4999	2.4197	0.0549	0.0122	-0.0833
6	999.1229	1005.4999	2.7233	-0.0183	0.0061	-0.0860
7	999.3274	1005.5004	3.0298	0.1526	-0.0427	-0.0388
8	999.6677	1005.4988	3.2478	0.0122	0.1221	0.0119
9	1000.0053	1005.5009	3.3030	0.0671	-0.0854	0.1666
10	1000.3795	1005.4996	3.2220	-0.0427	0.0366	0.0919
11	1000.6992	1005.4998	2.9847	-0.1221	0.0183	0.0232
12	1000.8723	1005.4974	2.6969	-0.1282	0.2625	0.0761
13	1000.9363	1005.5000	2.3524	-0.1343	0.0000	-0.2689
14	1000.8546	1005.5001	1.9773	-0.0549	-0.0122	0.0563
15	1000.6277	1005.5004	1.6646	0.0305	-0.0427	0.1260
16	1000.3563	1005.4971	1.4931	0.0732	0.2930	-0.0191
17	1000.0051	1005.9485	1.5630	0.1953	-0.1465	0.0045
18	999.3712	1005.9497	1.8512	0.1587	-0.2686	-0.1434
19	999.1901	1005.9513	2.3413	0.1648	-0.4272	-0.1447
20	999.4044	1005.9476	2.9028	0.0244	-0.0610	-0.1826
21	999.9689	1005.9426	3.1646	-0.0244	0.4395	-0.0569
22	1000.5715	1005.9448	2.9097	-0.1465	0.2258	0.0538
23	1000.7905	1005.9451	2.3596	-0.1465	0.1892	0.1633
24	1000.6295	1005.9464	1.8838	0.0488	0.0610	0.0622
25	999.9954	1006.1426	1.7516	0.0427	0.1404	0.0507
26	999.5695	1006.1431	1.9149	0.0732	0.0854	0.0988
27	999.3785	1006.1431	2.3581	0.1404	0.0854	-0.2226
28	999.5425	1006.1442	2.7787	-0.0122	-0.0244	-0.1615
29	999.9940	1006.1401	2.9726	-0.0732	0.3845	0.0271
30	1000.4369	1006.1418	2.7770	0.0122	0.2136	0.0820
31	1000.6010	1006.1445	2.3574	-0.1038	-0.0549	0.1381
32	1000.4811	1006.1445	1.9985	0.0854	-0.0488	0.1269
33	999.9921	1006.2651	1.9595	0.0854	-0.0061	0.0421
34	999.6708	1006.2677	2.1201	0.0427	-0.2686	-0.1005
35	999.5889	1006.2640	2.3594	0.0244	0.0977	-0.1595
36	999.6849	1006.2612	2.6218	0.0305	0.3845	-0.0079
37	1000.0026	1006.2650	2.7623	-0.0610	0.0000	-0.0255
38	1000.2922	1006.2680	2.6214	-0.1160	-0.2991	-0.0015
39	1000.3884	1006.2642	2.3598	0.0549	0.0854	0.1144
40	1000.2631	1006.2697	2.0671	-0.0122	-0.4700	0.0551
41	999.9648	1006.3295	2.1692	-0.0183	-0.2502	0.0170
42	999.7963	1006.3292	2.3390	0.1953	-0.2197	0.0945
43	999.9833	1006.3315	2.5500	0.0549	-0.4517	-0.0978
44	1000.1782	1006.3261	2.3405	-0.0244	0.0916	0.0420
45	999.9695	1006.3403	2.2578	0.0366	-0.0305	0.0081
46	999.8890	1006.3386	2.3713	-0.0427	0.1404	0.0594
47	1000.0060	1006.3384	2.4550	-0.0977	0.1648	-0.0139
48	1000.0864	1006.3427	2.3422	-0.1404	-0.2625	0.0713
49	999.9897	1006.3455	2.3513	-0.0732	-0.0549	0.0367
				FxFx	FyFy	FzFz
				0.3924	2.0093	0.4857

Ek 2: Doğrudan Lineer Dönüşüm Yöntemi ile çözümün bilgisayar çıktısı

ARAZİ KOORDİNATLARI

NOK NO	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	1000.02791	1005.50000	1.4217
3	999.35381	1005.50000	1.6734
5	999.05229	1005.50000	2.4189
7	999.32887	1005.50000	3.0294
9	1000.00577	1005.50000	3.3047
11	1000.69833	1005.50000	2.9849
13	1000.93523	1005.50000	2.3497
15	1000.62769	1005.50000	1.6659
33	999.99299	1006.26500	1.9599
35	999.58912	1006.26500	2.3578
37	1000.00188	1006.26500	2.7620
39	1000.38852	1006.26500	2.3609
44	1000.17746	1006.32700	2.3409
45	999.96990	1006.34000	2.2579
49	999.98901	1006.34500	2.3517

İTERASYON SAYISI 2

komparator koordinatlarının standart hatası (mm) 0.00300

1 . CI RESMİN KOMPARATOR KOORDİNATLARI

nok	x-koor (mm)	y-koor (mm)
1	123.5560	131.7740
3	115.2950	134.8710
5	111.6140	144.0420
7	115.0190	151.5330
9	123.3480	154.8810
11	131.8400	150.9590
13	134.7230	143.2130
15	130.9220	134.7580
33	122.1540	139.0350
35	117.8890	143.2870
37	122.2900	147.5520
39	126.3740	143.2820
44	124.0530	143.0800
45	121.8430	142.2180
49	122.0510	143.2020

2 . CI RESMİN KOMPARATOR KOORDİNATLARI

nok	x-koor (mm)	y-koor (mm)
1	108.7030	131.8420
3	100.4250	134.9270
5	96.7420	144.1100
7	100.1330	151.6080
9	108.4770	154.9400
11	116.9750	151.0240
13	119.8700	143.2510
15	116.0650	134.8310
33	109.2660	139.0920
35	104.9940	143.3420
37	109.3950	147.6270
39	113.4760	143.3420
44	111.2900	143.1400
45	109.1170	142.2730
49	109.3360	143.2490

BİLİNMEYENLERİN SAYISI= 16

1 NOLU RESİM İÇİN

Dönüklük Açıları (grad)

OMEGA = 0.46488

FI = 0.09266

KAPA = 0.25254

İç Yönelme Bilinmeyenleri x_0, y_0, c (mm)

$x_0 = 115.990498$

$y_0 = 143.584286$

$c = 60.0028429$

Birim ağırlığın standart hatası (m) = 0.0158

bilinmeyenlerinin hesaplanmış değerleri ve standart hataları

DLT PAREMETRELERİ STANDART HATALARI

-0.00006005 0.00000956

-0.00011566 0.00000758

-0.00000107 0.00000762

0.01757455 0.00087794

-0.00000017 0.00000888

-0.00014285 0.00000886

-0.00006092 0.00001322

0.01432471 0.00008737

-0.00000145 0.00006175

-0.00099792 0.00006174

-0.00000729 0.00006184

MERCEK DISTORSİYON KATSAYILARI STANDART HATALARI

-0.00000000 0.00000012

0.00000000 0.00000000

0.00000000 0.00000000

0.00000256 0.00002036

0.00000270 0.00002343

2 NOLU RESİM İÇİN

Dönüklük Açıları (grad)

OMEGA = 0.22115

FI = 0.29546

KAPA = 0.31549

İç Yönelme Bilinmeyenleri x_0, y_0, c (mm)

$x_0 = 115.880600$

$y_0 = 143.409674$

$c = 60.184002$

Birim ağırlığın standart hatası (m) = 0.0031

bilinmeyenlerinin hesaplanmış değerleri ve standart hataları

DLT PAREMETRELERİ STANDART HATALARI

-0.00006040 0.00000188

-0.00011500 0.00000150

-0.00000050 0.00000134

0.01755025 0.00021210

-0.00000060 0.00000176

-0.00014245 0.00000176

-0.00006037 0.00000260

0.01432771 0.00001740

-0.00000462 0.00001226

-0.00099478 0.00001225

-0.00000346 0.00001232

MERCEK DISTORSİYON KATSAYILARI STANDART HATALARI

-0.00000002 0.00000003

0.00000000 0.00000000

0.00000000 0.00000000

0.00000097 0.00000337

-0.00000079 0.00000415

2 RESİM İÇİN DLT HESAPLAMALARI

ORTAK NOKTALAR İÇİN HESAPLANMIŞ KOORDİNATLAR (m)

NO	X-VER	Y-VER	Z-VER	X-HES	Y-HES	Z-HES
1	1000.0279	1005.5000	1.4217	1000.0280	1005.5001	1.4218
3	999.3538	1005.5000	1.6734	999.3551	1005.4976	1.6732
5	999.0523	1005.5000	2.4189	999.0524	1005.5023	2.4191
7	999.3289	1005.5000	3.0294	999.3275	1005.4989	3.0298
9	1000.0058	1005.5000	3.3047	1000.0057	1005.4984	3.3030
11	1000.6983	1005.5000	2.9849	1000.6988	1005.4990	2.9843
13	1000.9352	1005.5000	2.3497	1000.9360	1005.5020	2.3520
15	1000.6277	1005.5000	1.6659	1000.6267	1005.4989	1.6651
33	999.9930	1006.2650	1.9599	999.9921	1006.2660	1.9595
35	999.5891	1006.2650	2.3578	999.5892	1006.2669	2.3594
37	1000.0019	1006.2650	2.7620	1000.0026	1006.2657	2.7625
39	1000.3885	1006.2650	2.3609	1000.3878	1006.2615	2.3598
44	1000.1775	1006.3270	2.3409	1000.1777	1006.3234	2.3406
45	999.9699	1006.3400	2.2579	999.9694	1006.3412	2.2579
49	999.9890	1006.3450	2.3517	999.9895	1006.3461	2.3514

NN	MX	MY	MZ	RMS
1	0.4232	3.4860	0.6595	3.5730
3	0.4139	2.3242	0.3207	2.3824
5	0.4952	2.1805	0.0389	2.2363
7	0.3753	2.0598	0.2884	2.1135
9	0.1942	1.6022	0.3136	1.6441
11	0.5603	2.9737	0.3888	3.0509
13	0.2950	1.2968	0.0130	1.3300
15	0.6847	3.8599	0.5389	3.9570
33	0.1224	1.1682	0.0805	1.1774
35	0.1845	1.4559	0.0129	1.4676
37	0.0928	0.8863	0.0656	0.8936
39	0.2801	2.2243	0.0199	2.2419
44	0.0773	0.7121	0.0061	0.7164
45	0.1605	1.5518	0.0273	1.5603
49	0.1531	1.4825	0.0126	1.4904

15 Nokta için karesel ortalama hataların ortalamasıdır

0.3498 2.1428 0.2799 2.1891

RESMDEKI BUTUN NOKTALARIN ARAZI KOORDINATLARI (m)

NN	X	Y	Z
1	1000.0280	1005.5001	1.4218
2	999.6337	1005.4981	1.4938
3	999.3551	1005.4976	1.6732
4	999.1260	1005.5038	1.9963
5	999.0524	1005.5023	2.4191
6	999.1228	1005.5016	2.7231
7	999.3275	1005.4989	3.0298
8	999.6694	1005.4973	3.2477
9	1000.0062	1005.4977	3.3028
10	1000.3811	1005.4982	3.2214
11	1000.6992	1005.4976	2.9841
12	1000.8713	1005.4967	2.6963
13	1000.9359	1005.5018	2.3533
14	1000.8532	1005.4985	1.9769
15	1000.6263	1005.4976	1.6652
16	1000.3561	1005.4953	1.4936
17	1000.0054	1005.9477	1.5630
18	999.3721	1005.9494	1.8554
19	999.1906	1005.9489	2.3464
20	999.4047	1005.9460	2.9057
21	999.9690	1005.9374	3.1640
22	1000.5715	1005.9439	2.9097
23	1000.7905	1005.9477	2.3591
24	1000.6283	1005.9410	1.8838
25	999.9955	1006.1447	1.7514
26	999.5697	1006.1399	1.9150
27	999.3791	1006.1423	2.3582
28	999.5425	1006.1477	2.7790
29	999.9940	1006.1418	2.9729
30	1000.4366	1006.1399	2.7772
31	1000.6012	1006.1456	2.3568
32	1000.4804	1006.1410	1.9981
33	999.9921	1006.2660	1.9595
34	999.6712	1006.2702	2.1201
35	999.5892	1006.2669	2.3594
36	999.6851	1006.2635	2.6218
37	1000.0026	1006.2657	2.7625
38	1000.2920	1006.2670	2.6217
39	1000.3878	1006.2615	2.3598
40	1000.2625	1006.2665	2.0680
41	999.9647	1006.3308	2.1692
42	999.7965	1006.3309	2.3389
43	999.9831	1006.3322	2.5501
44	1000.1777	1006.3234	2.3406
45	999.9694	1006.3412	2.2579
46	999.8890	1006.3379	2.3714
47	1000.0058	1006.3381	2.4551
48	1000.0863	1006.3423	2.3422
49	999.9895	1006.3461	2.3514

Ek 3: Elipsoid yüzeyi I. uygulama, Durum I için fotogrametrik yüzey parametreleri ve tüm noktaların yeni yüzey üzerindeki koordinatları

**ARAZI VE FOTOGRAFOMETRİK YÜZEY PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI
VE FOTOGRAFOMETRİK YÜZEYDE NOKTA KOORDİNATLARININ HESAPLANMASI**

ELİPSOİD YÜZEYİ İLE İLGİLİ PARAMETRELER.. (A,B,XO,YO,ZO)

A arazi: 0.941800 B arazi: 0.843700
A foto: 0.941560 B foto: 0.843433

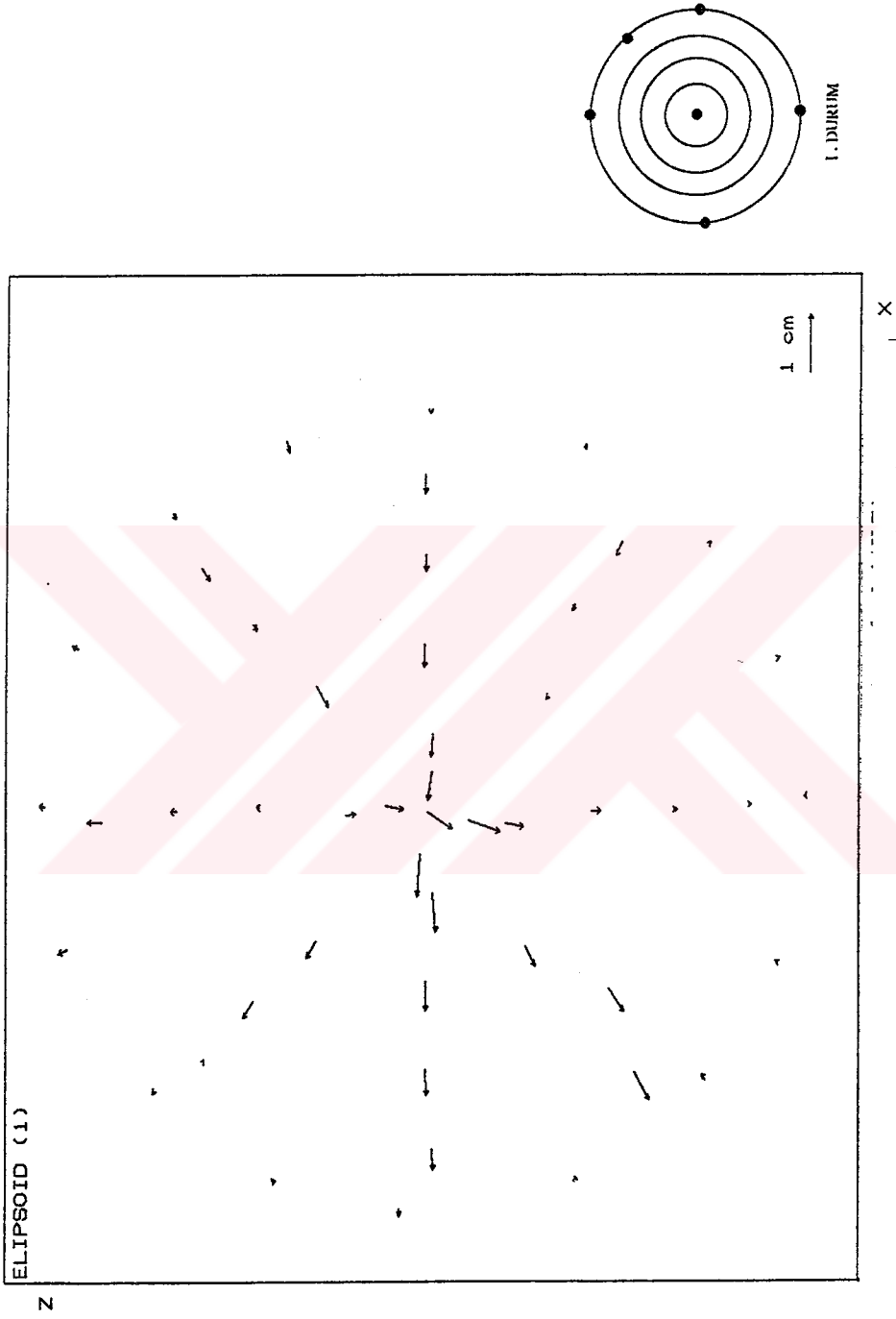
XO Arazi	YO Arazi	ZO Arazi
999.99170	1005.50120	2.36220

XO Foto	YO Foto	ZO Foto
999.99365	1005.50018	2.36199

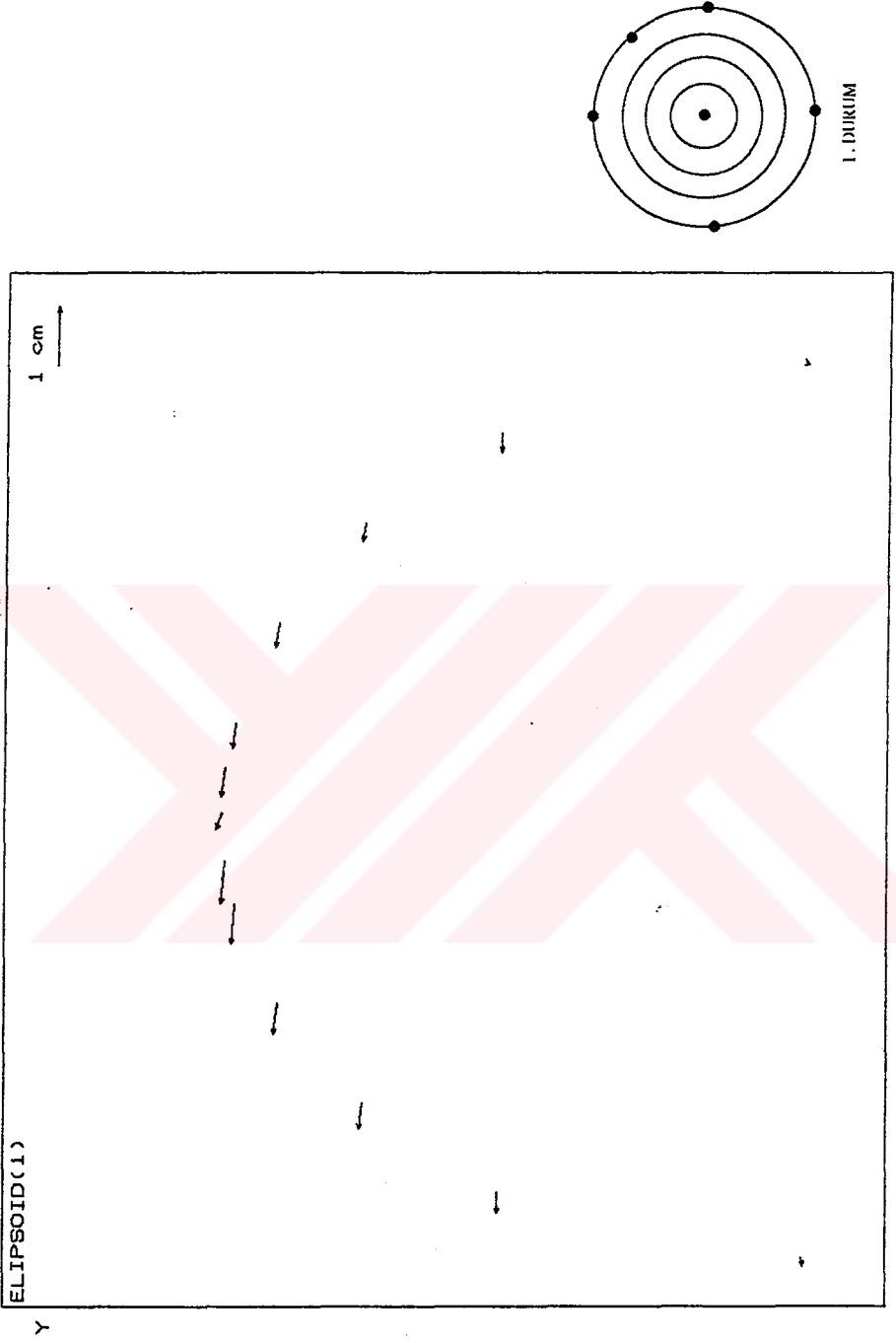
**ARAZİ VE FOTOGRAFOMETRİK YÜZEY PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI
FARKLAR (cm)**

A arazi - A foto : 0.023979
B arazi - B foto : 0.026738
XO arazi - XO foto: -0.195312
YO arazi - YO foto: 0.101689
ZO arazi - ZO foto: 0.020981

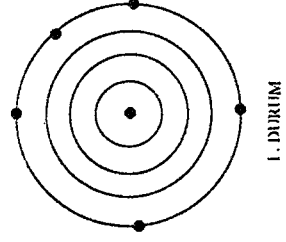
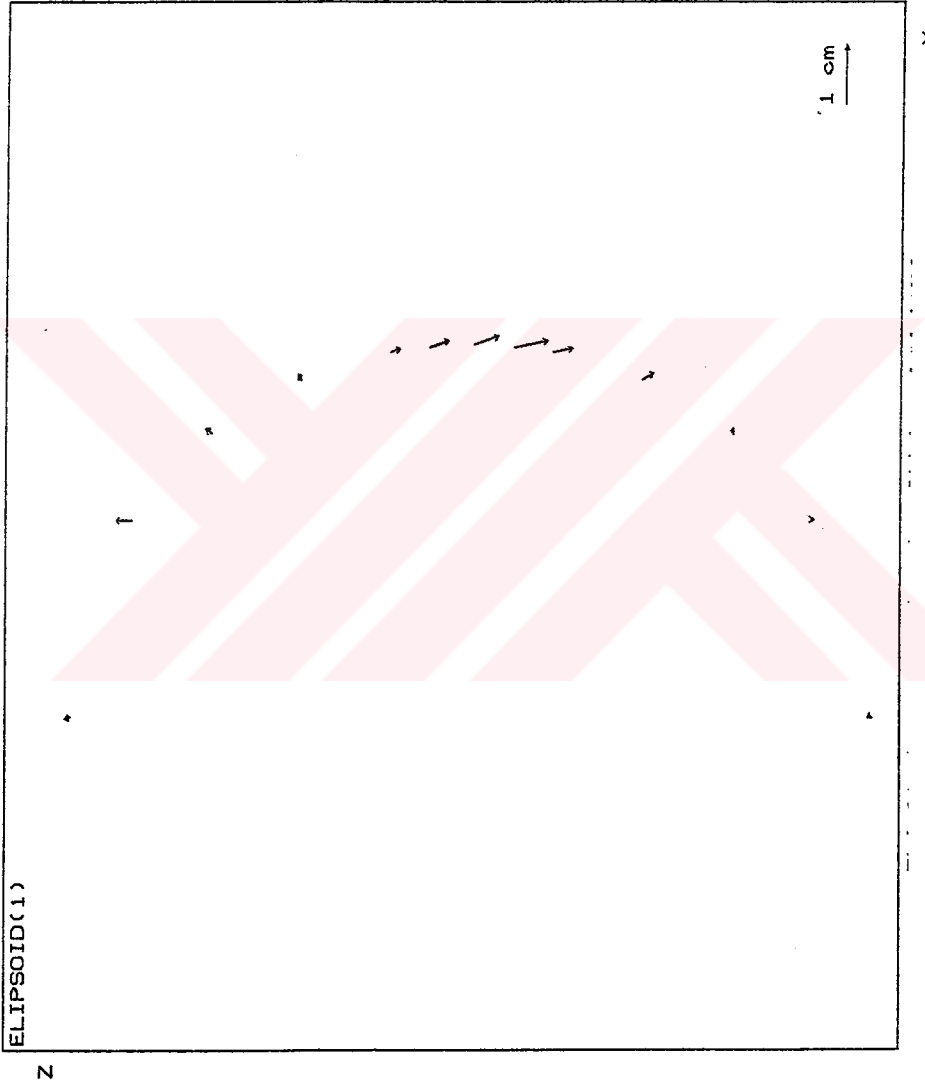
HESAPLANAN KOORDINATLAR (m)				FARKLAR (Arazi-Hesaplanan (cm))			
NN	XH	YH	ZH	fx	fy	fz	ms
1	1000.0279	1005.5004	1.4211	-0.002	-0.037	0.065	0.074
2	999.6327	1005.5004	1.4924	0.022	-0.037	0.053	0.068
3	999.3527	1005.5004	1.6722	0.107	-0.037	0.116	0.162
4	999.1258	1005.5004	1.9967	0.005	-0.037	0.002	0.037
5	999.0538	1005.5004	2.4188	-0.151	-0.037	0.009	0.155
6	999.1236	1005.5004	2.7220	-0.094	-0.037	0.039	0.108
7	999.3292	1005.5004	3.0291	-0.030	-0.037	0.030	0.056
8	999.6686	1005.5004	3.2457	-0.082	-0.037	0.223	0.240
9	1000.0060	1005.5004	3.3035	0.002	-0.037	0.123	0.128
10	1000.3783	1005.5004	3.2214	0.068	-0.037	0.151	0.170
11	1000.6990	1005.5004	2.9857	-0.096	-0.037	-0.085	0.133
12	1000.8730	1005.5004	2.6985	-0.203	-0.037	-0.078	0.221
13	1000.9351	1005.5004	2.3497	-0.013	-0.037	0.000	0.039
14	1000.8534	1005.5004	1.9782	0.058	-0.037	-0.026	0.073
15	1000.6279	1005.5004	1.6661	0.014	-0.037	-0.016	0.042
16	1000.3568	1005.5004	1.4933	0.016	-0.037	-0.039	0.056
17	1000.0070	1005.9470	1.5635	0.001	0.002	-0.050	0.050
18	999.3776	1005.9470	1.8538	-0.483	0.002	-0.398	0.626
19	999.1954	1005.9470	2.3400	-0.366	0.002	-0.010	0.366
20	999.4045	1005.9470	2.9011	0.011	0.002	-0.010	0.016
21	999.9688	1005.9470	3.1602	-0.012	0.002	0.380	0.380
22	1000.5723	1005.9470	2.9124	-0.230	0.002	-0.218	0.317
23	1000.7923	1005.9470	2.3612	-0.325	0.002	0.000	0.325
24	1000.6324	1005.9470	1.8826	-0.237	0.002	0.178	0.297
25	999.9958	1006.1432	1.7527	0.000	0.079	-0.060	0.099
26	999.5742	1006.1432	1.9201	-0.397	0.079	-0.418	0.582
27	999.3844	1006.1432	2.3559	-0.448	0.079	-0.004	0.455
28	999.5452	1006.1432	2.7745	-0.283	0.079	0.260	0.393
29	999.9932	1006.1432	2.9713	-0.000	0.079	0.161	0.180
30	1000.4381	1006.1432	2.7788	-0.107	0.079	-0.101	0.167
31	1000.6029	1006.1432	2.3588	-0.294	0.079	0.002	0.305
32	1000.4830	1006.1432	1.9990	-0.104	0.079	0.077	0.152
33	999.9930	1006.2640	1.9626	-0.000	0.104	-0.267	0.286
34	999.6746	1006.2640	2.1217	-0.342	0.104	-0.257	0.440
35	999.5943	1006.2640	2.3579	-0.515	0.104	-0.005	0.526
36	999.6881	1006.2640	2.6192	-0.291	0.104	0.245	0.394
37	1000.0020	1006.2640	2.7613	0.001	0.104	0.068	0.124
38	1000.2946	1006.2640	2.6246	-0.363	0.104	-0.317	0.493
39	1000.3931	1006.2640	2.3609	-0.407	0.104	0.001	0.420
40	1000.2633	1006.2640	2.0673	-0.032	0.104	0.035	0.114
41	999.9653	1006.3263	2.1744	-0.075	0.069	-0.495	0.506
42	999.8051	1006.3263	2.3407	-0.679	0.069	-0.077	0.687
43	999.9837	1006.3263	2.5515	0.013	0.069	-0.249	0.259
44	1000.1822	1006.3263	2.3404	-0.418	0.069	0.048	0.427
45	999.9718	1006.3390	2.2661	-0.188	0.099	-0.824	0.851
46	999.8958	1006.3390	2.3712	-0.717	0.099	0.068	0.727
47	1000.0056	1006.3390	2.4596	-0.057	0.099	-0.468	0.482
48	1000.0899	1006.3390	2.3419	-0.489	0.099	0.102	0.509
49	999.9917	1006.3436	2.3578	-0.274	0.139	-0.606	0.680



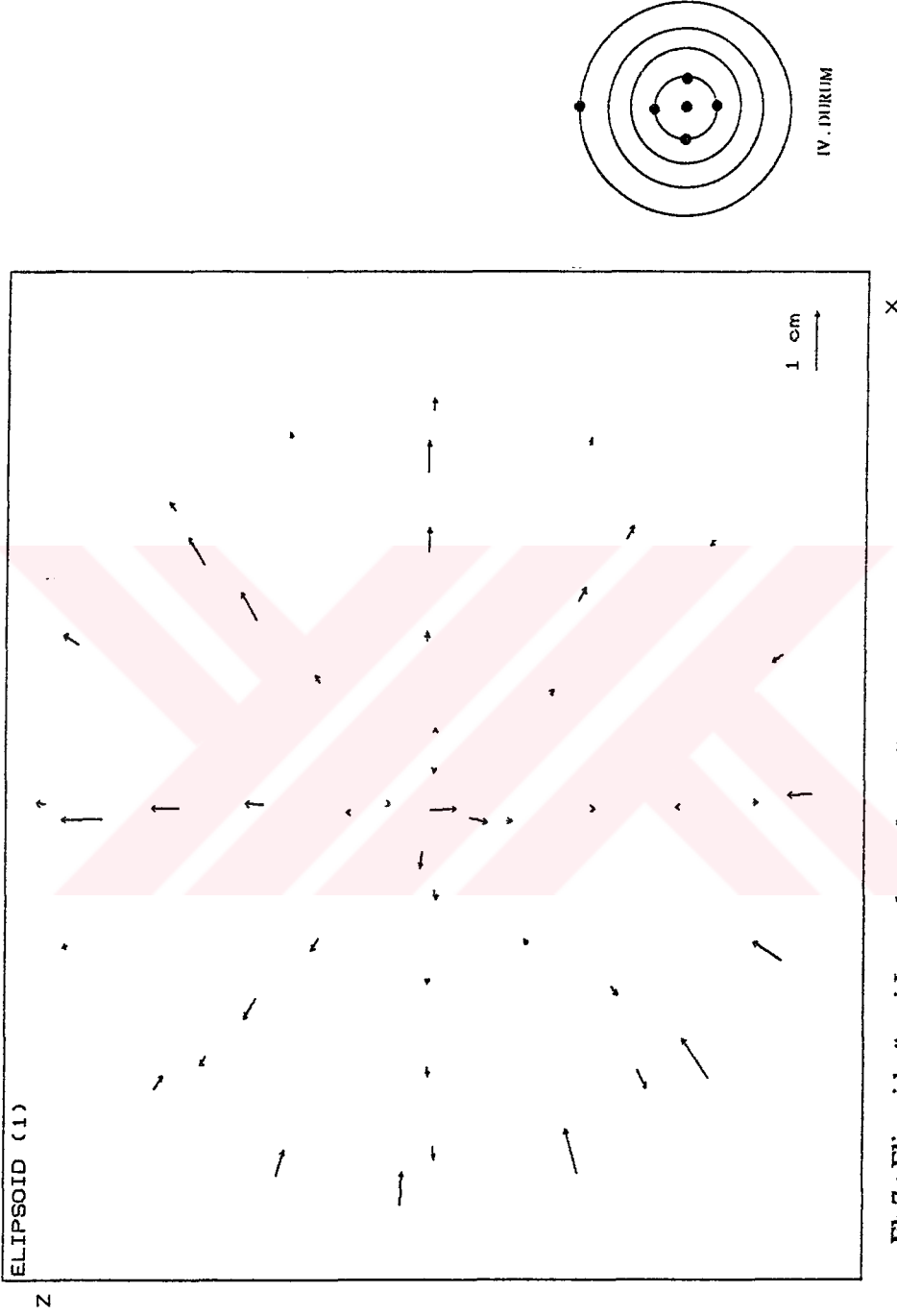
Ek 4 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum I için hata vektörleri (X-Z)



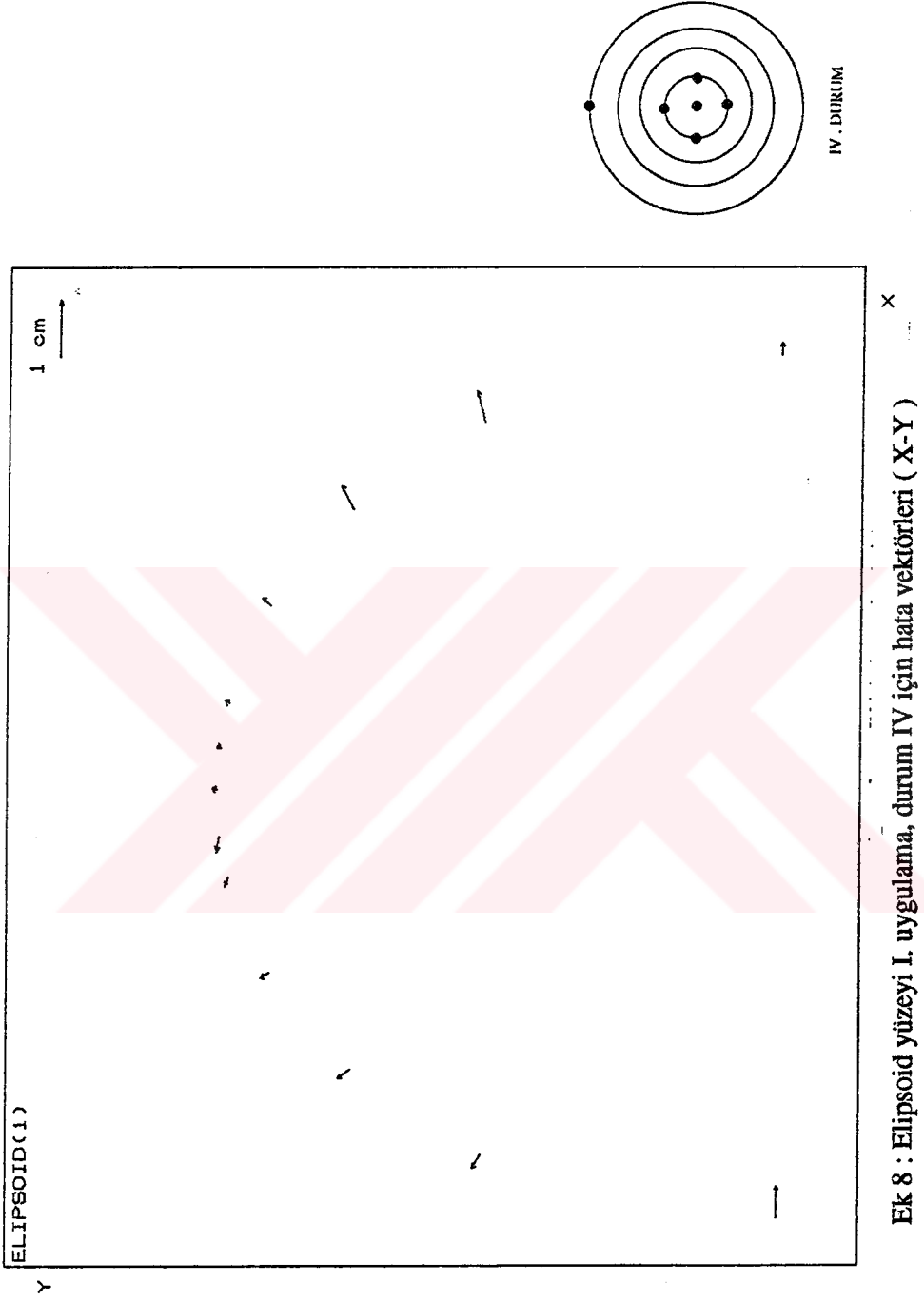
Ek 5 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum I için hata vektörleri (X-Y)



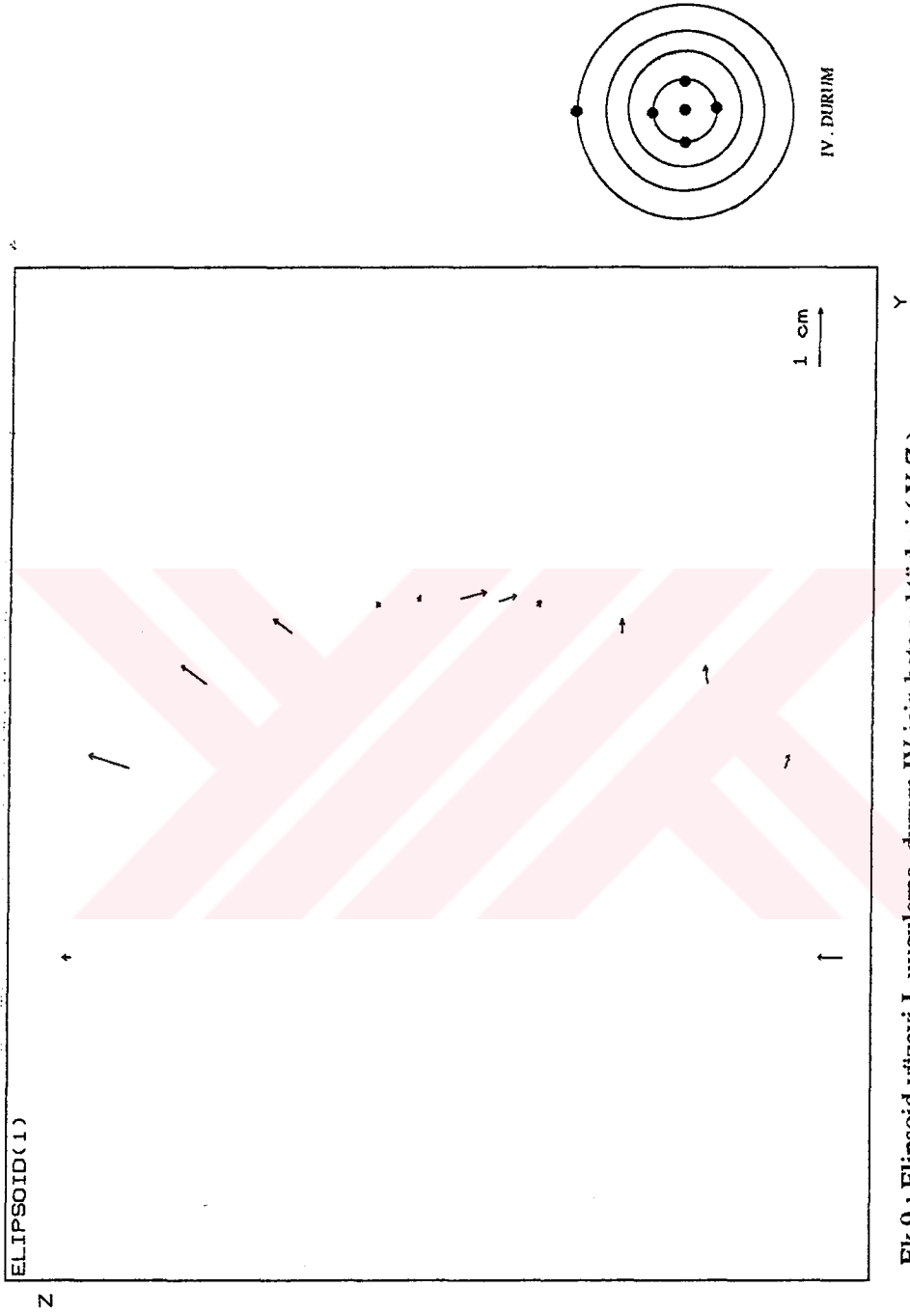
Ek 6 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum I için hata vektörleri (Y-Z)



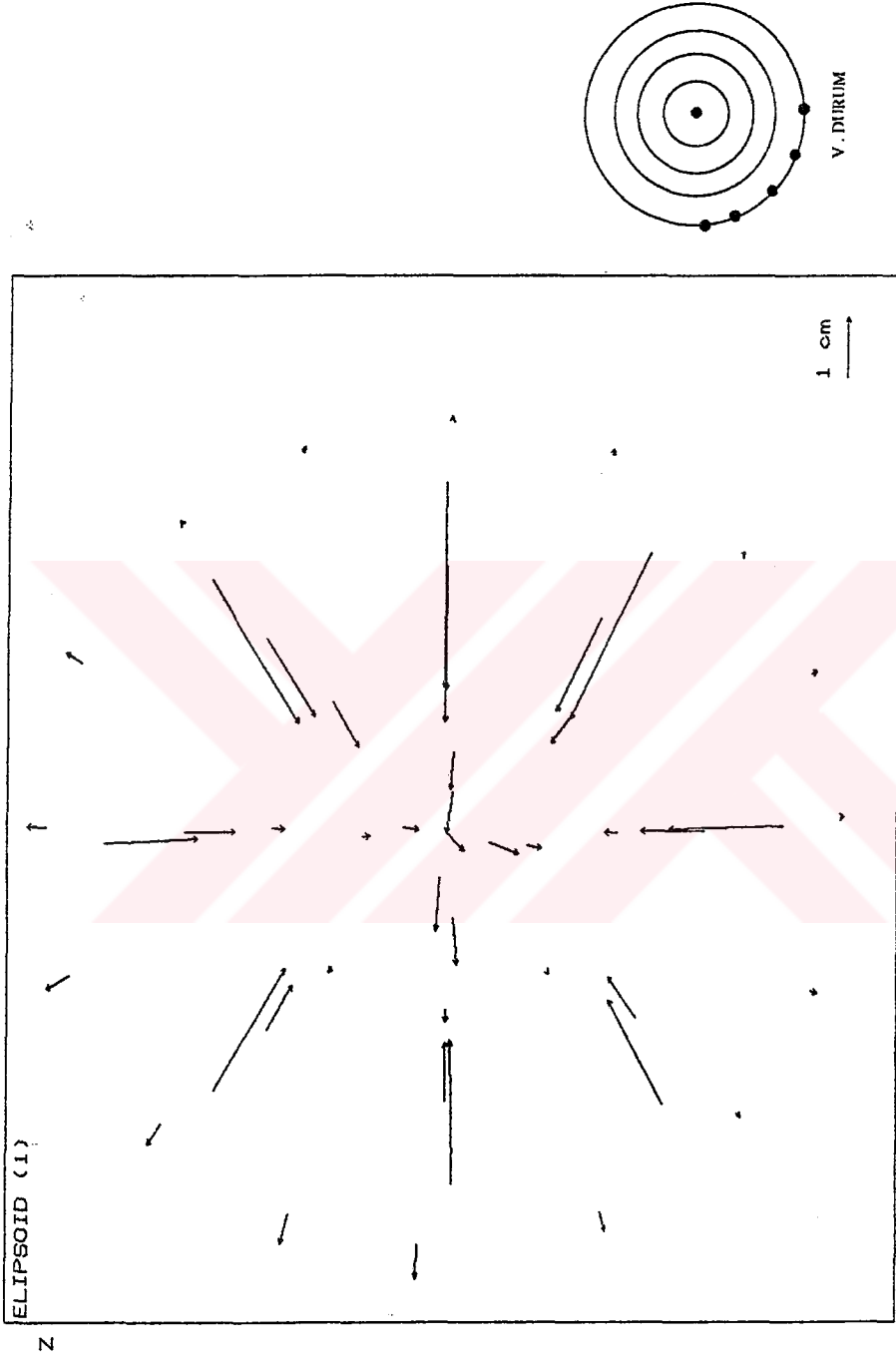
Ek 7 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum IV için hata vektörleri (X-Z)



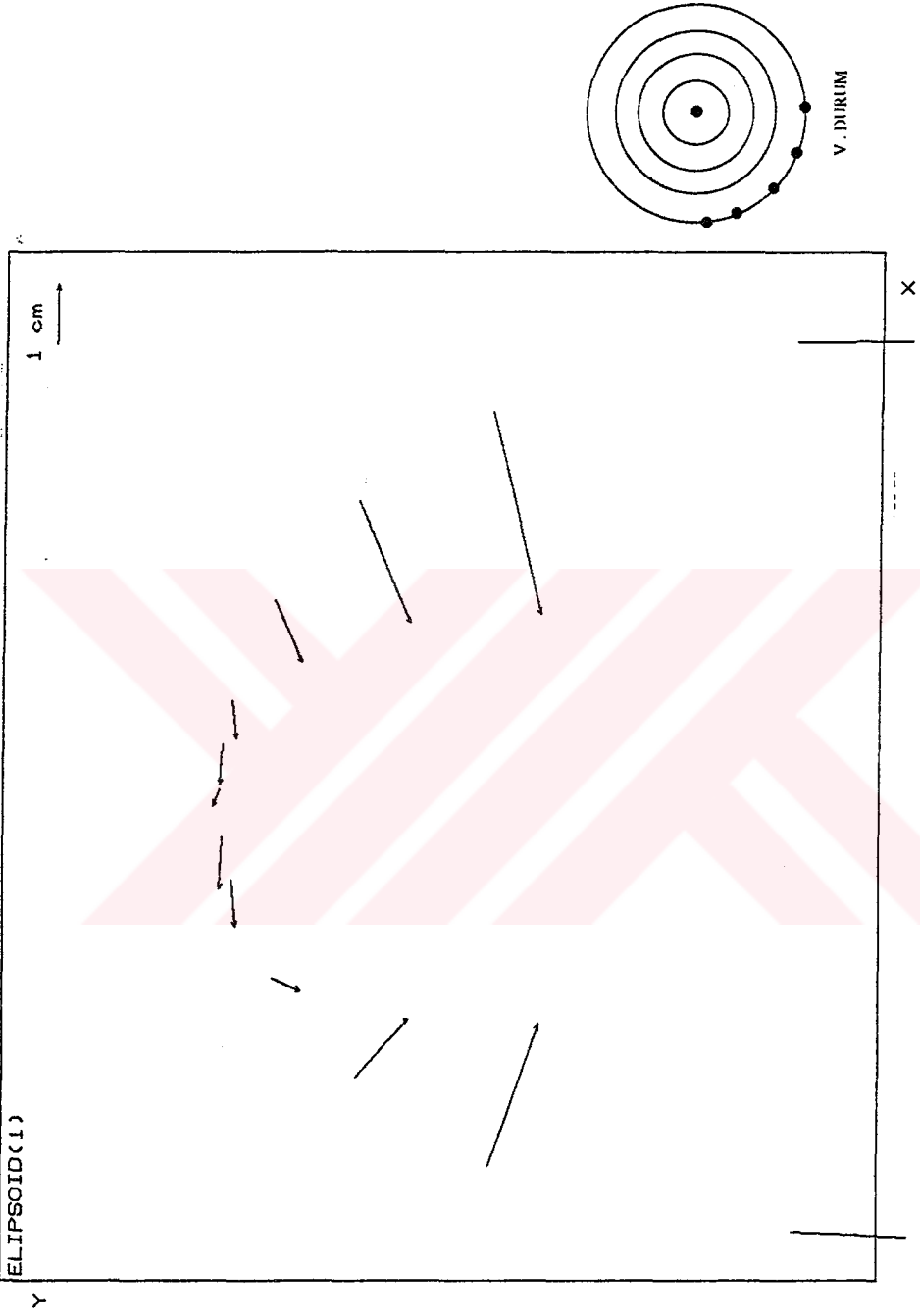
Ek 8 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum IV için hata vektörleri (X-Y)



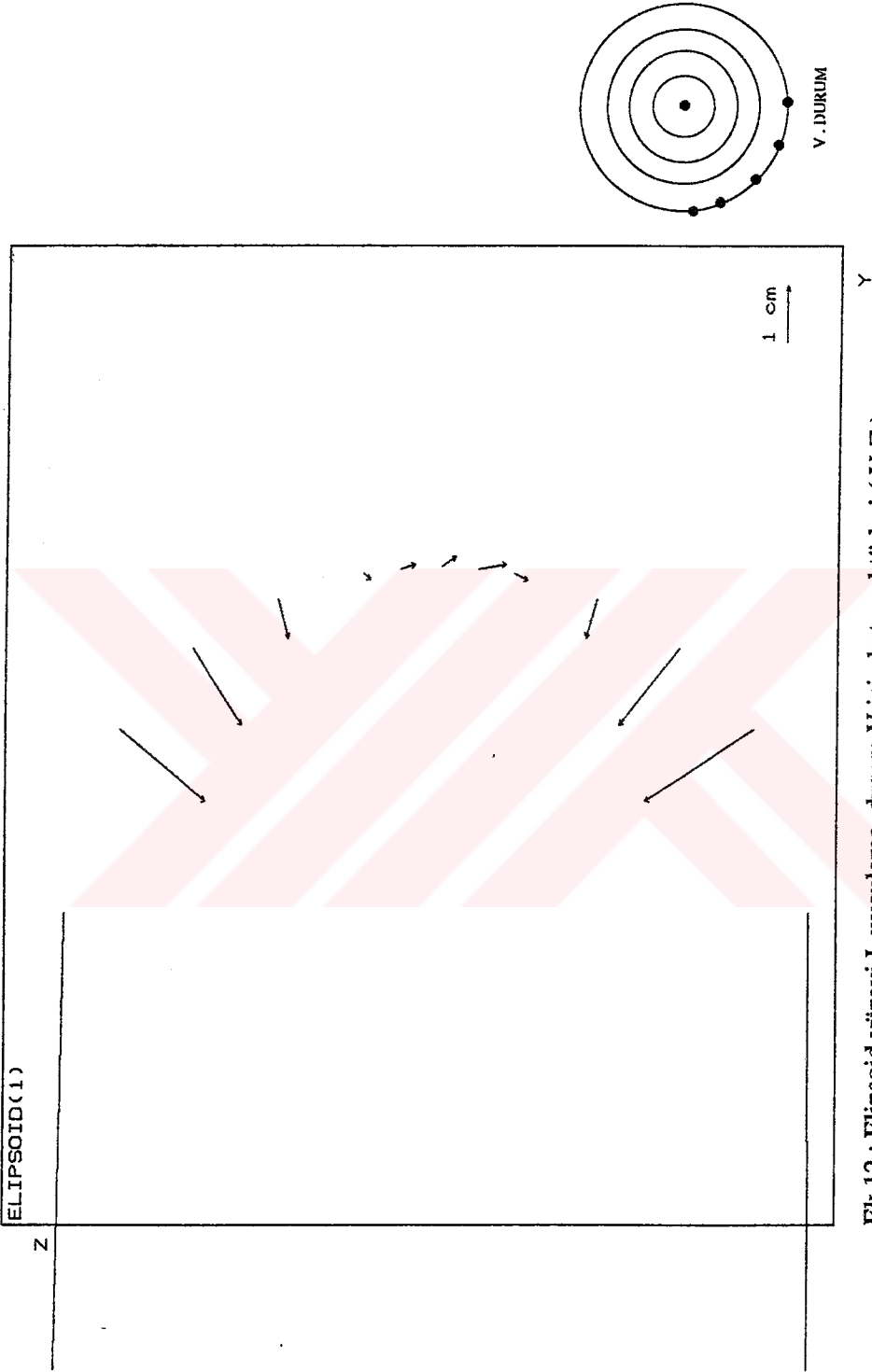
Ek 9 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum IV için hata vektörleri (Y-Z)



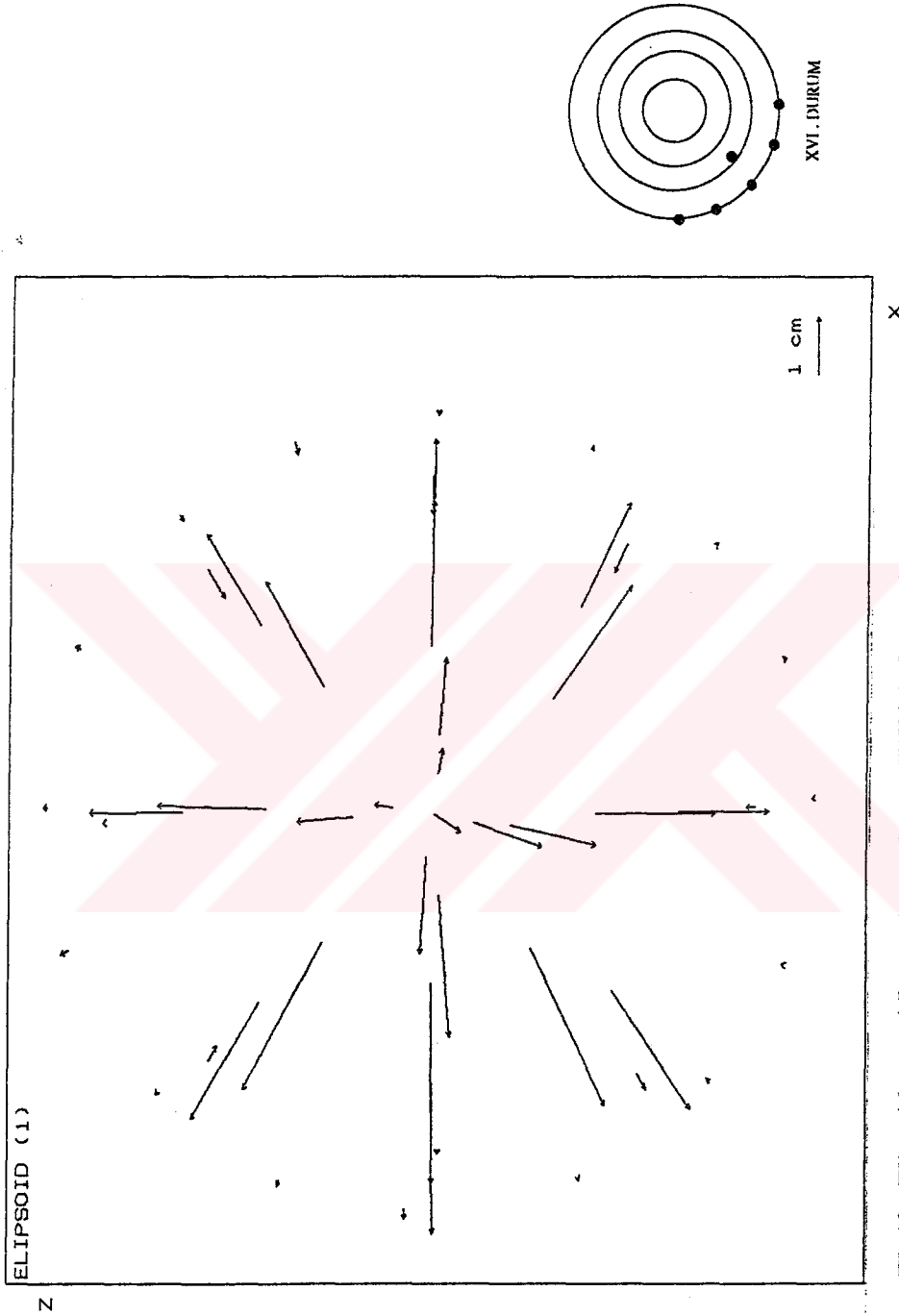
Ek 10 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum V için hata vektörleri (X-Z)



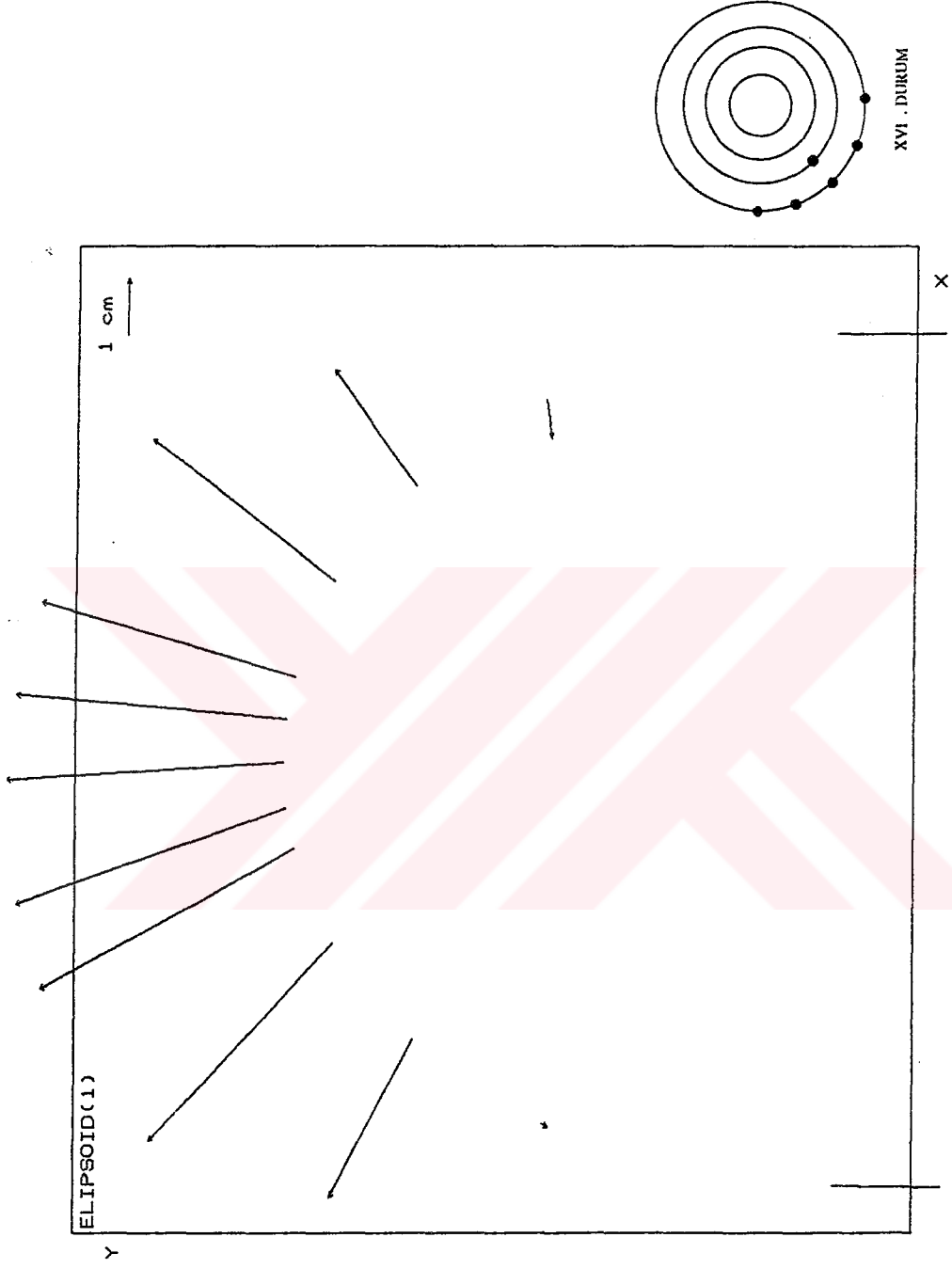
Ek 11 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum V için hata vektörleri (X-Y)



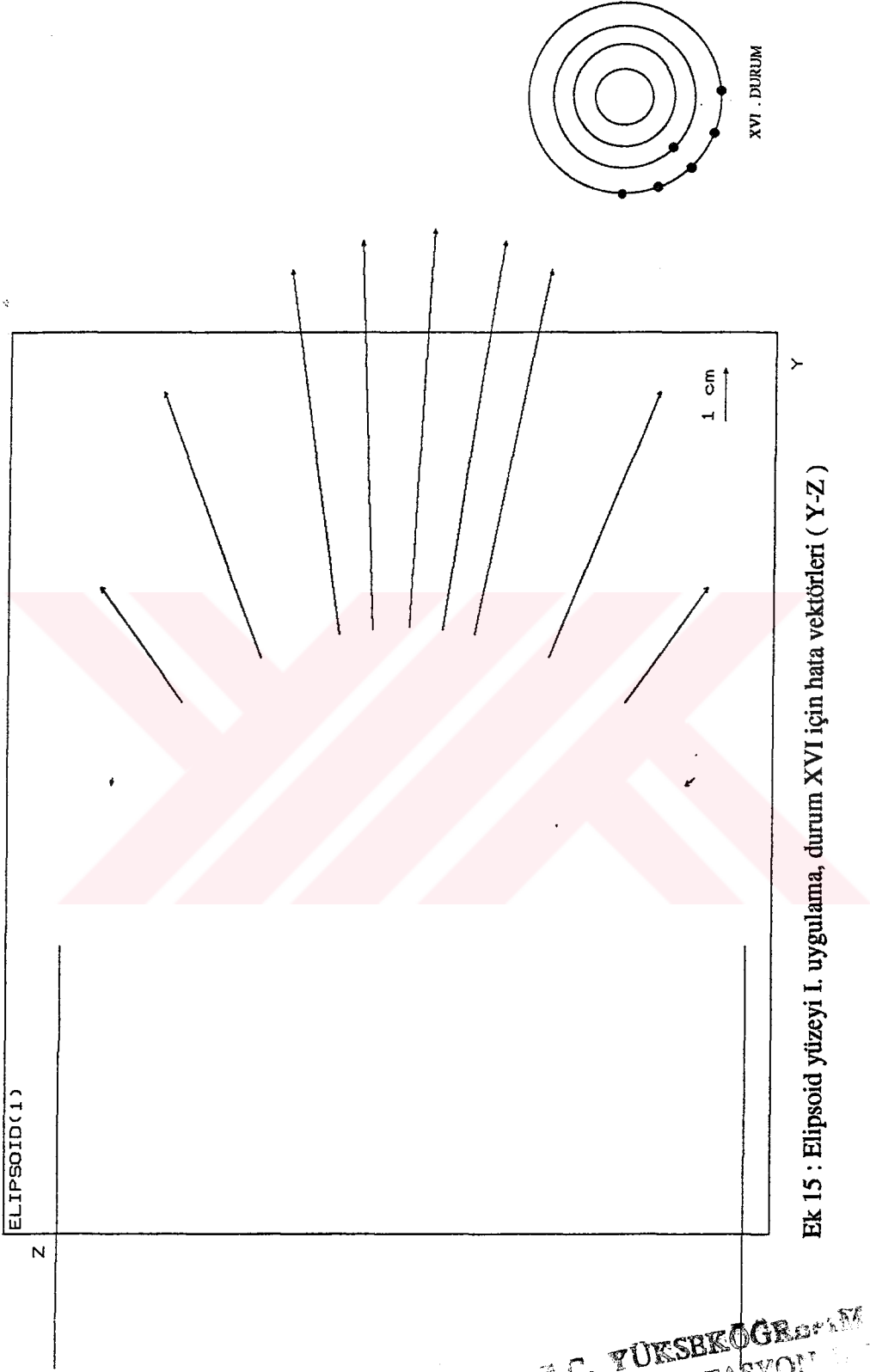
Ek 12 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum V için hata vektörleri (Y-Z)



Ek 13 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum XVI için hata vektörleri (X-Z)

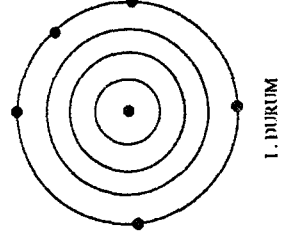
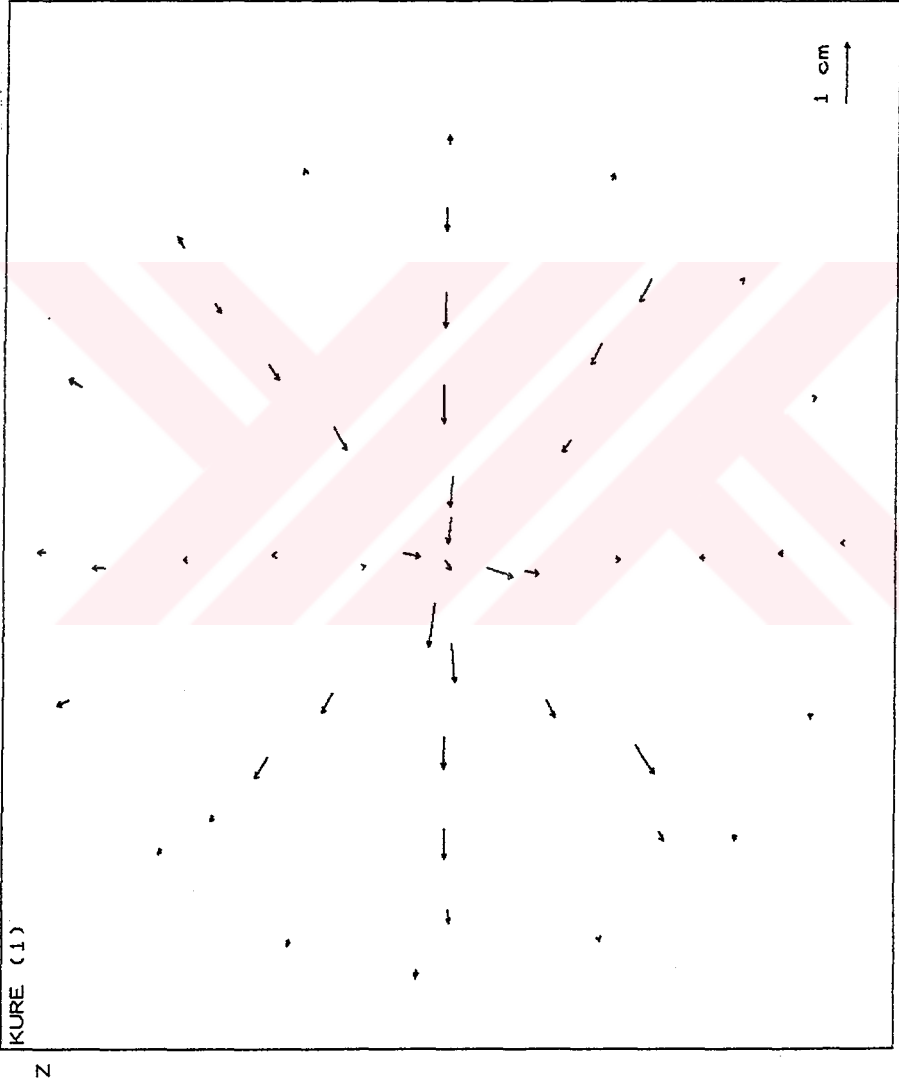


Ek 14 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum XVI için hata vektörleri (X-Y)

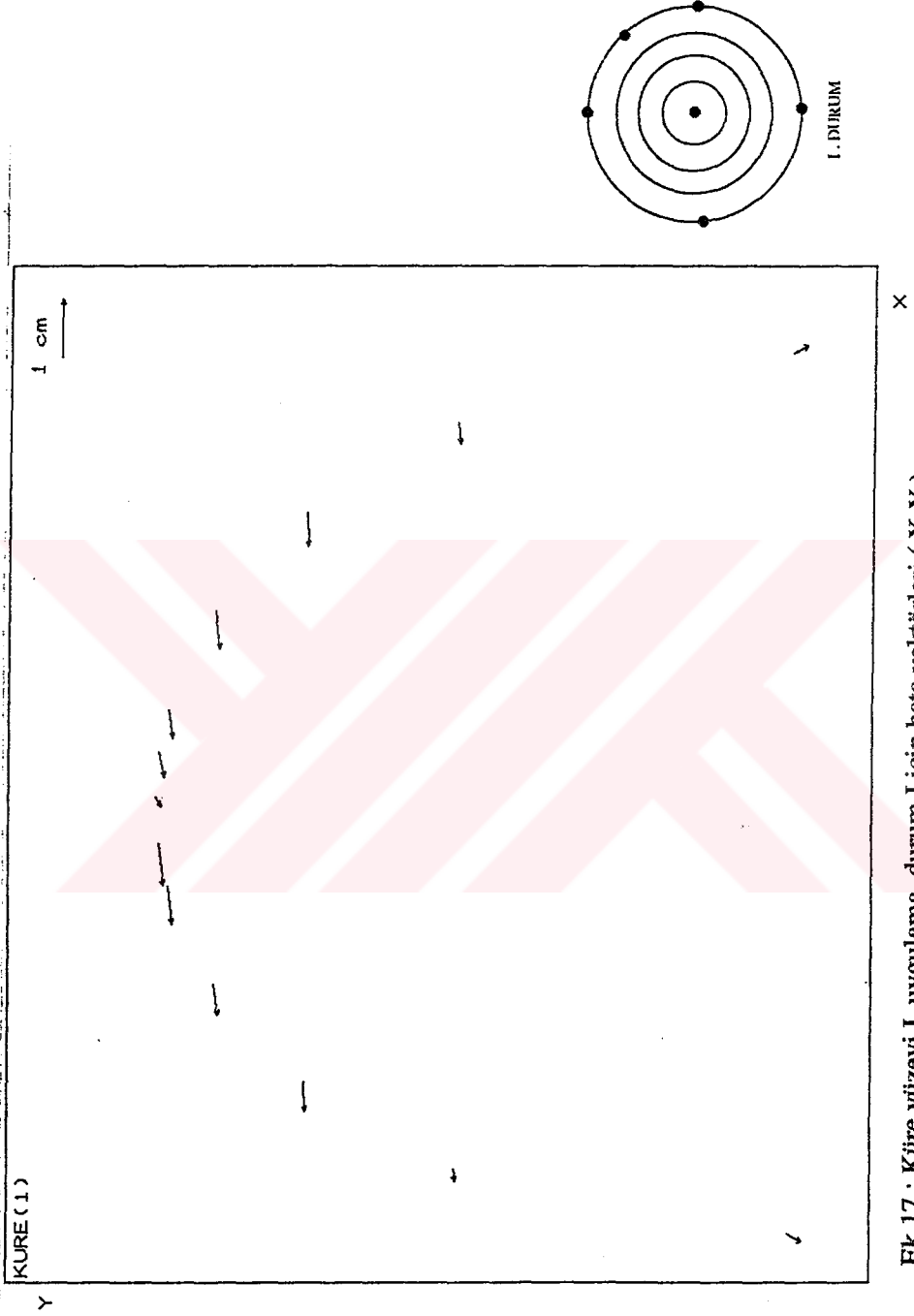


Ek 15 : Elipsoid yüzeyi I. uygulama, durum XVI için hata vektörleri (Y-Z)

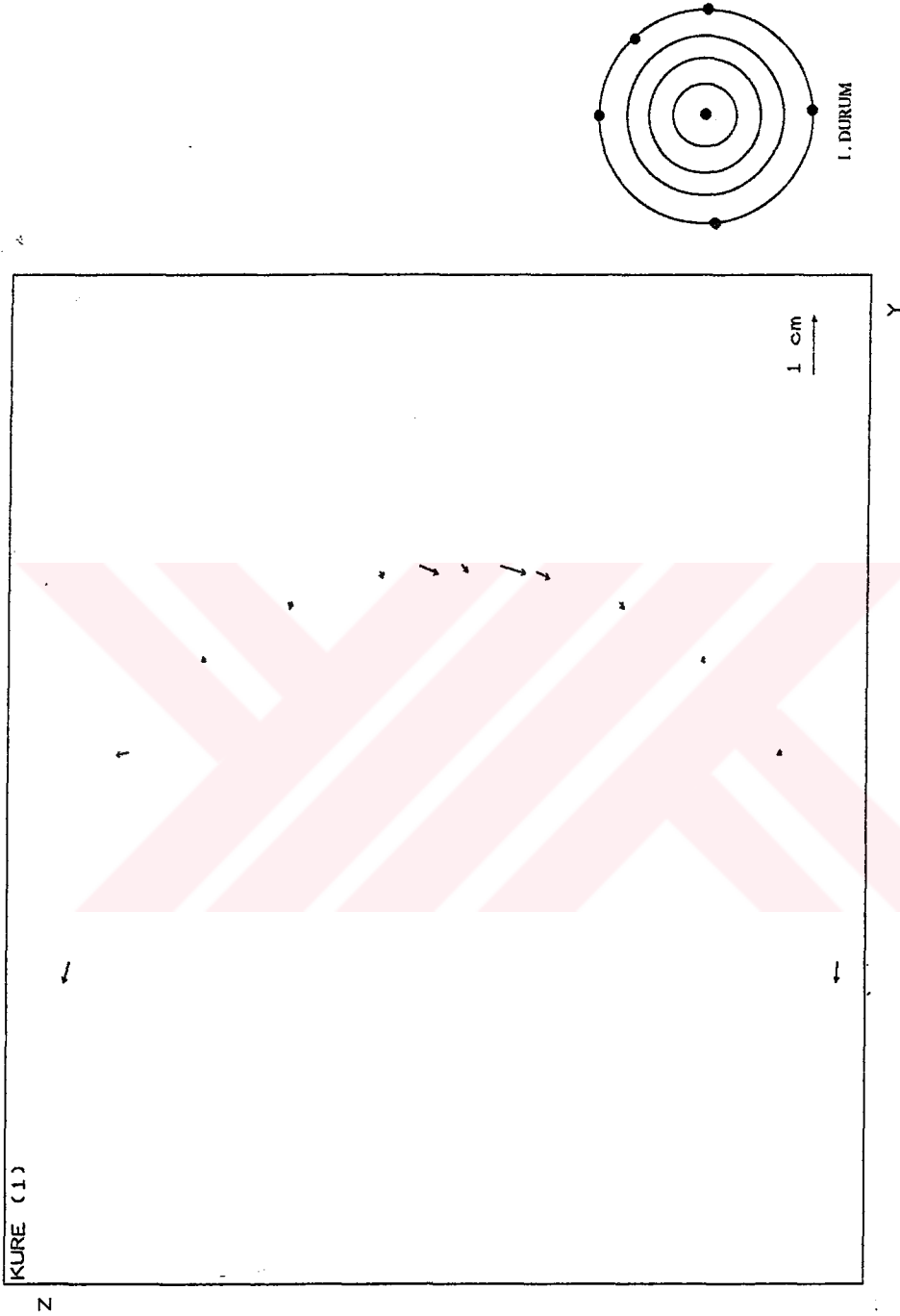
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMANTASYON VE ARŞİVLER GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



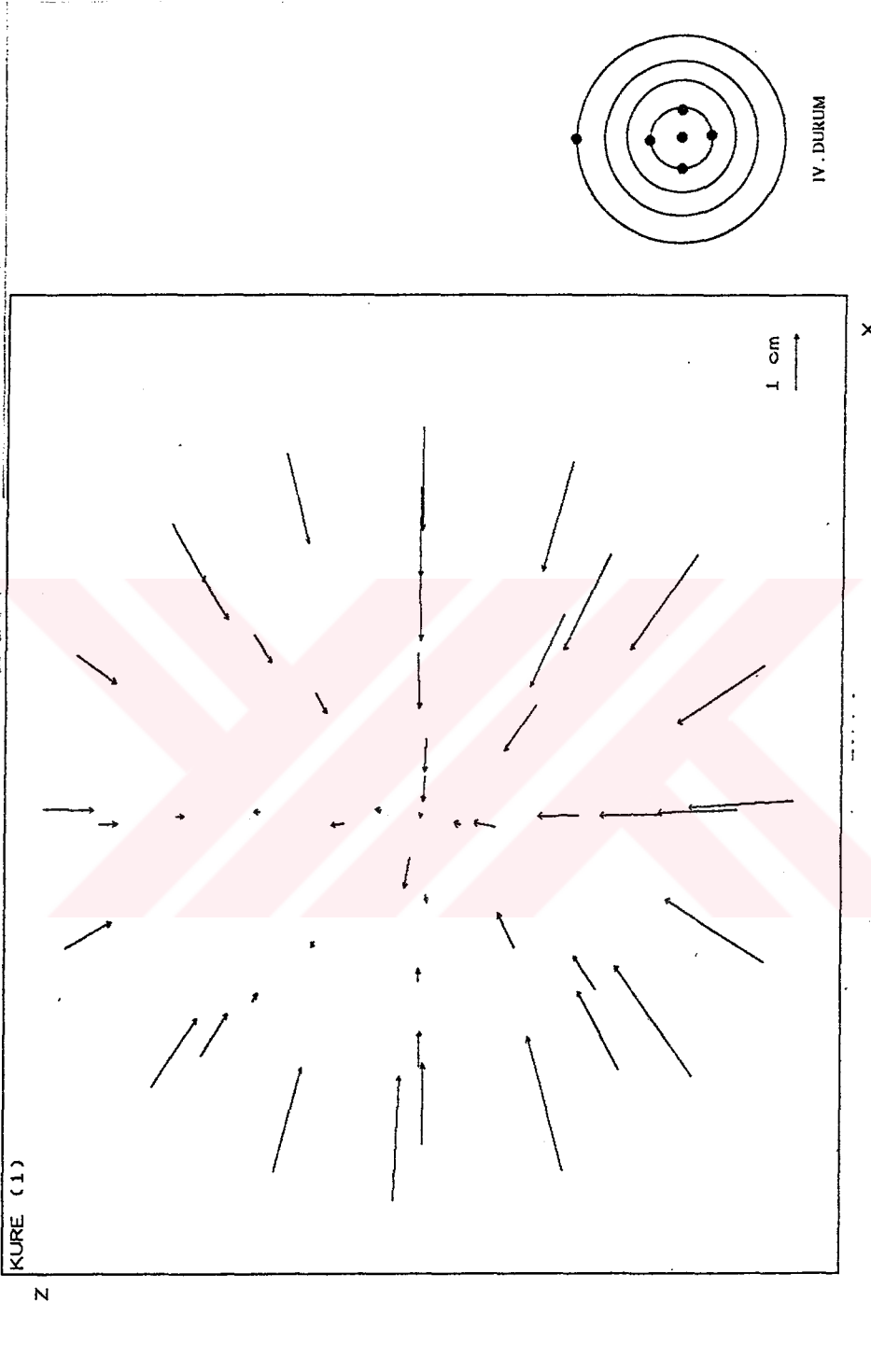
Ek 16 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum I için hata vektörleri (X-Z)



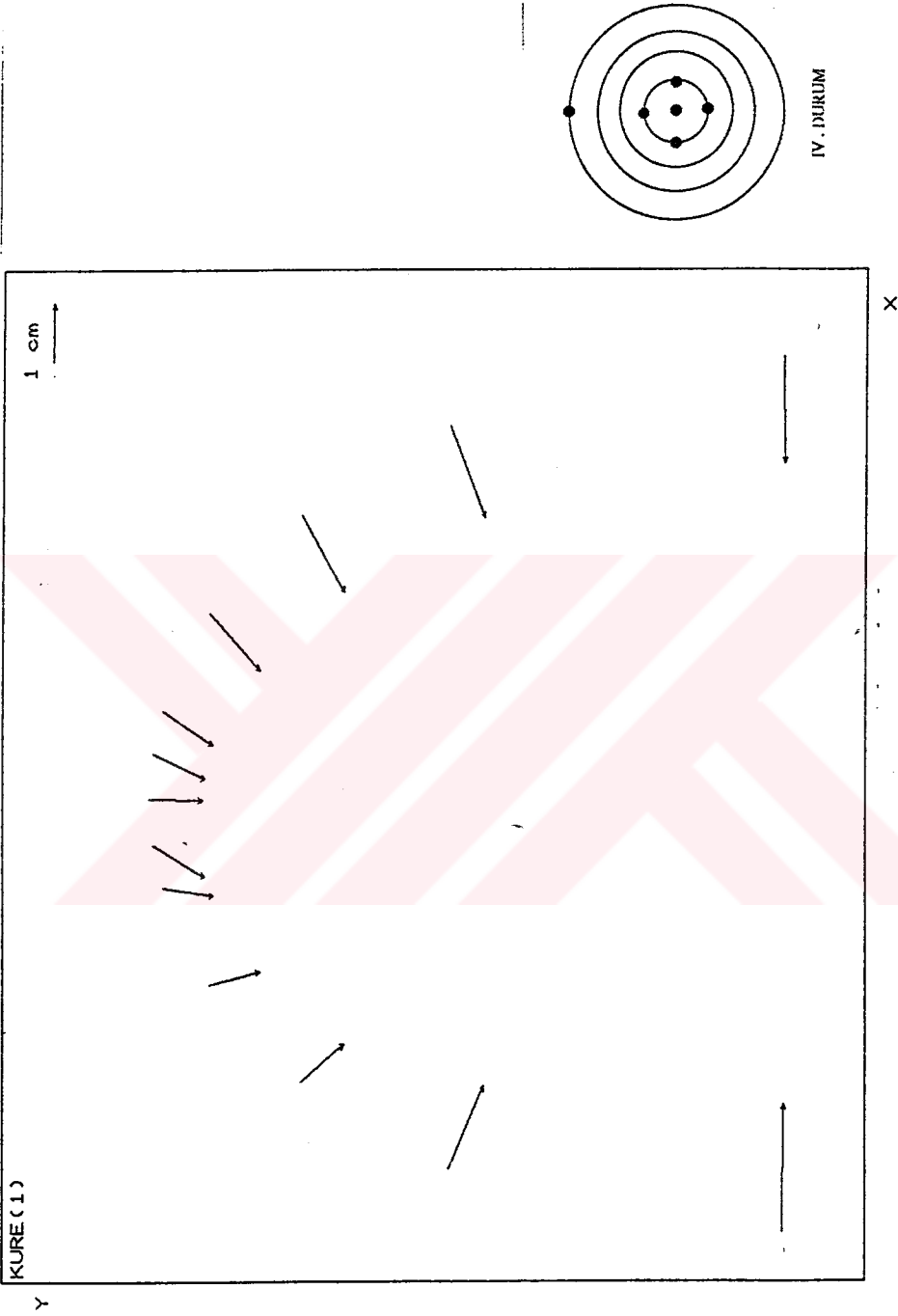
Ek 17 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum I için hata vektörleri (X-Y)



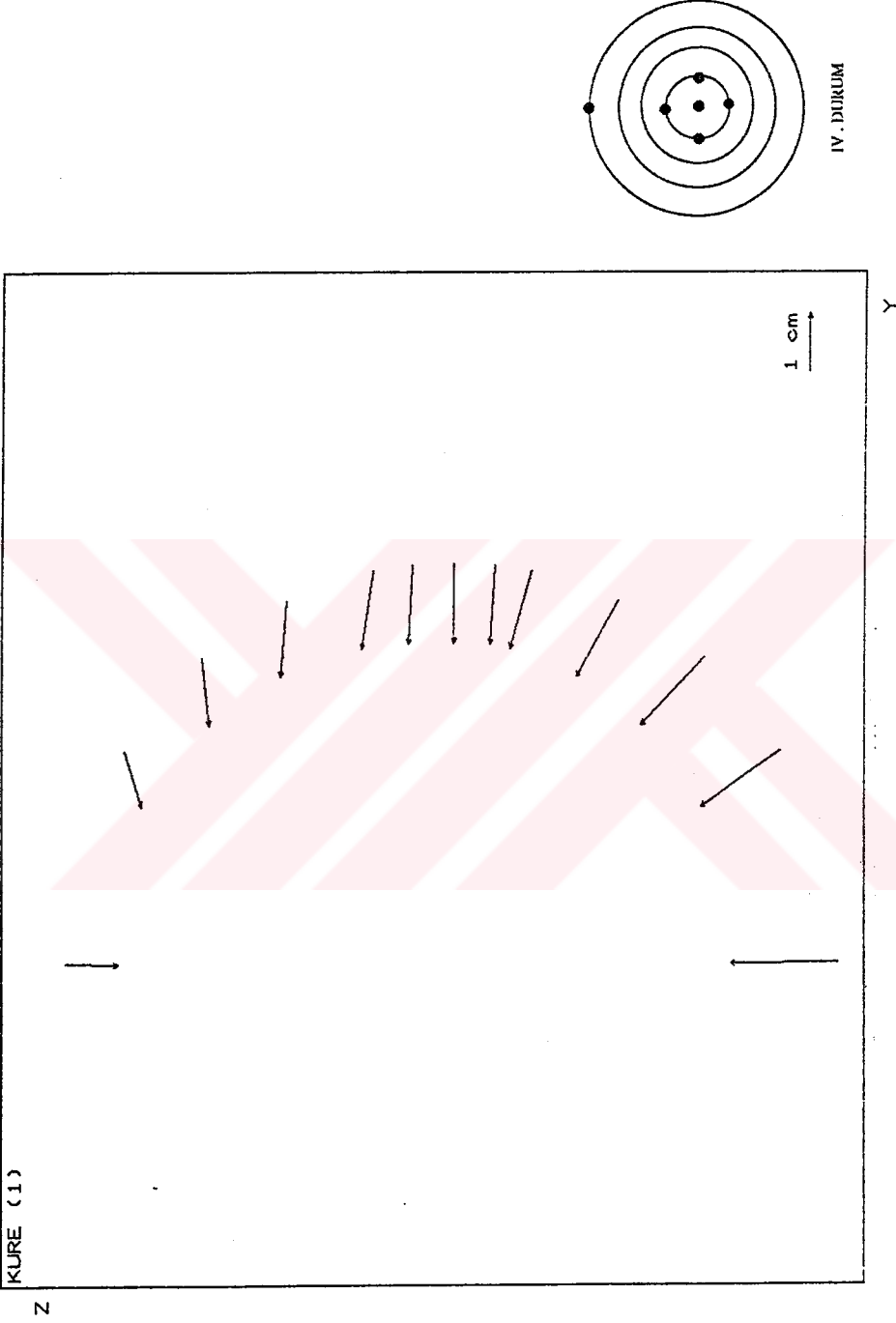
Ek 18 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum I için hata vektörleri (Y-Z)



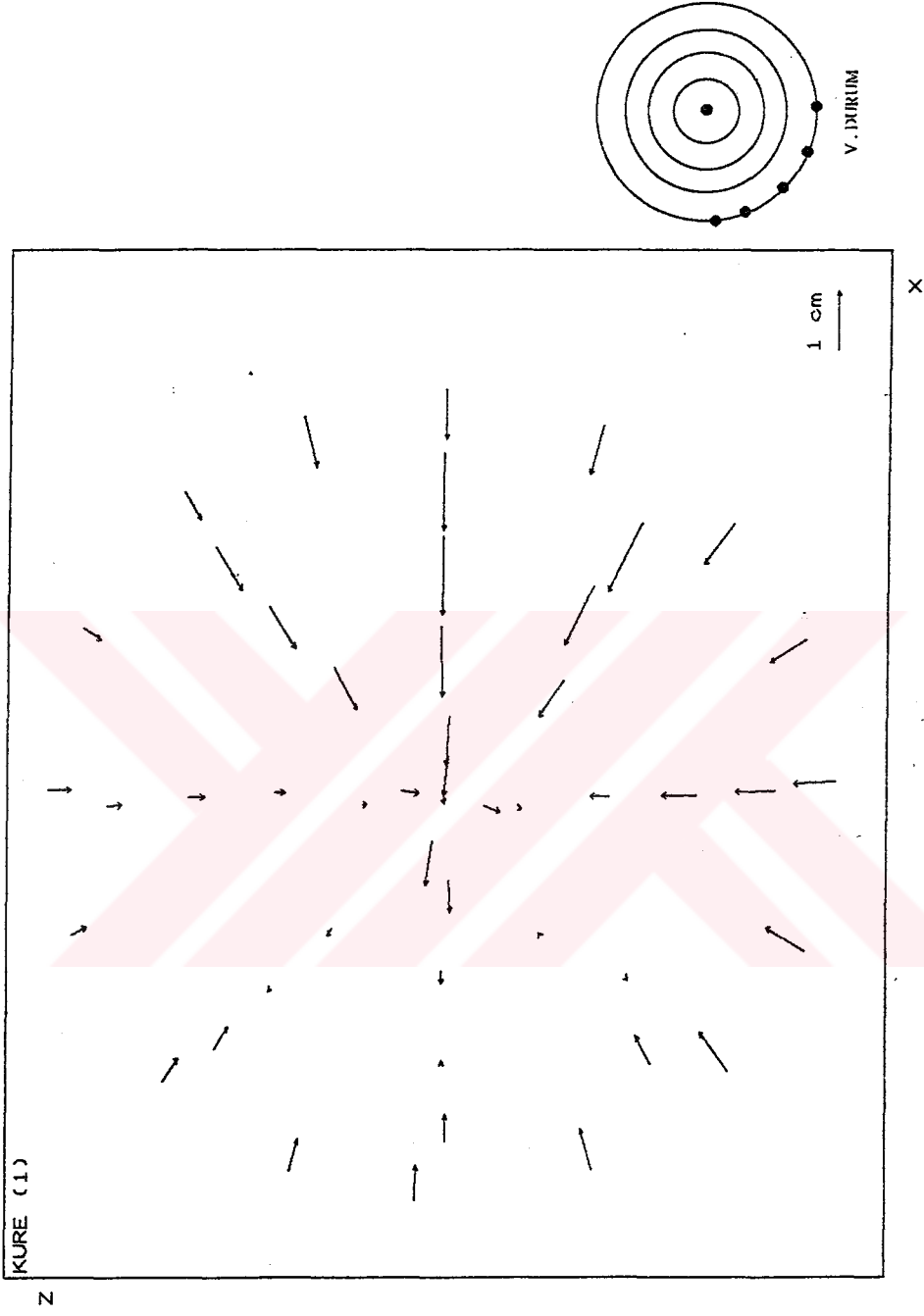
Ek 19 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum IV için hata vektörleri (X-Z)



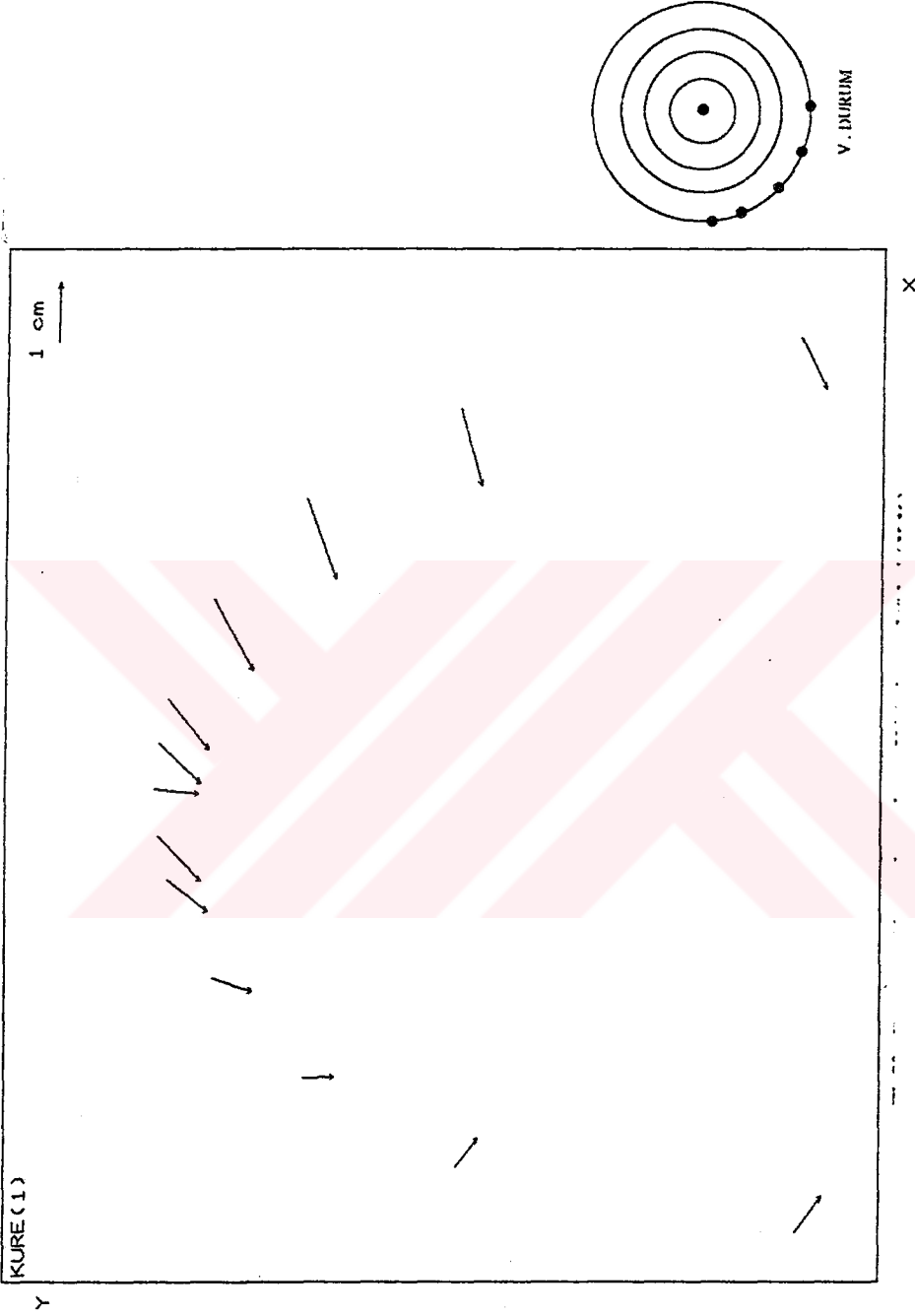
Ek 20 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum IV için hata vektörleri (X-Y)



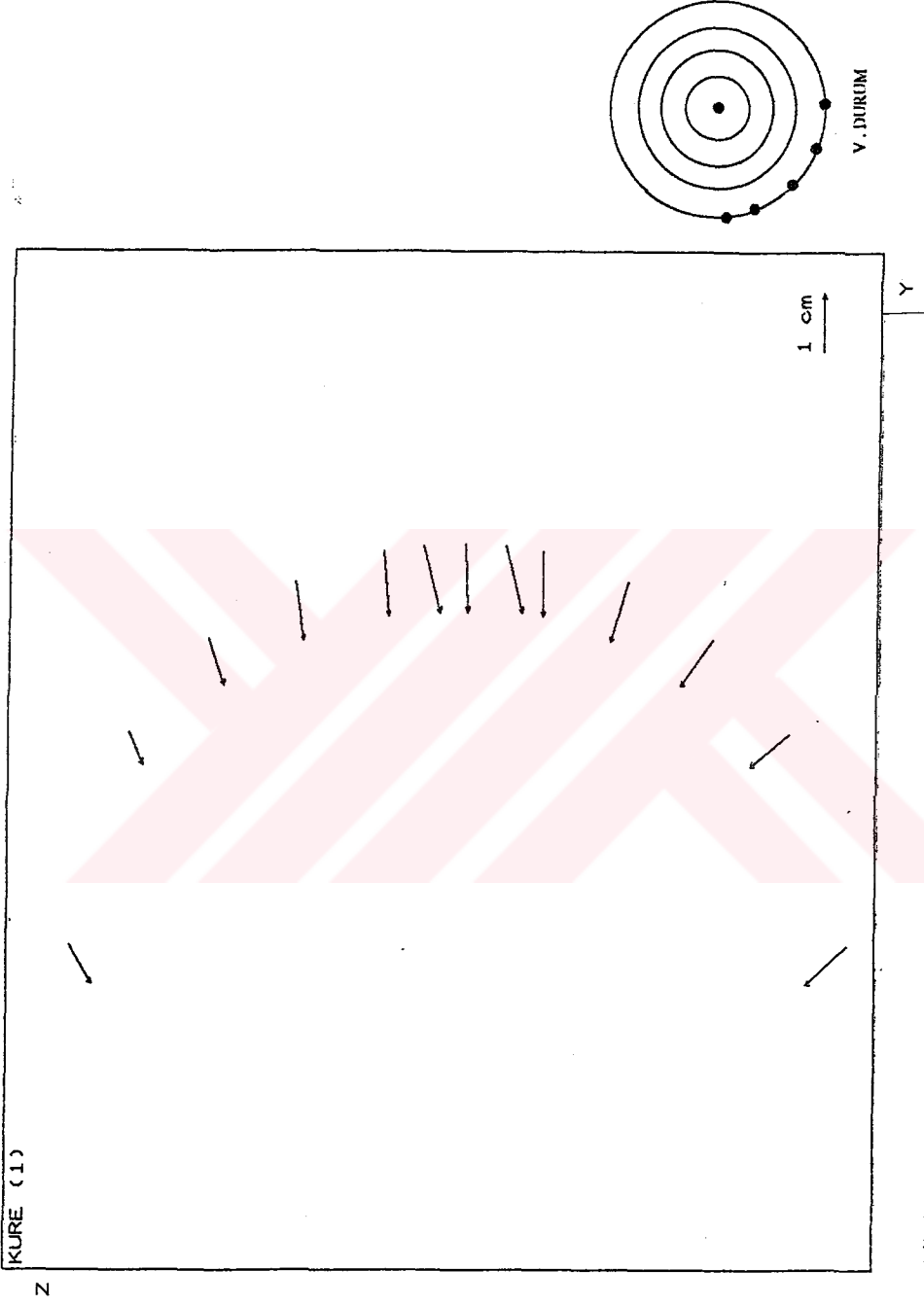
Ek 21 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum IV için hata vektörleri (Y-Z)



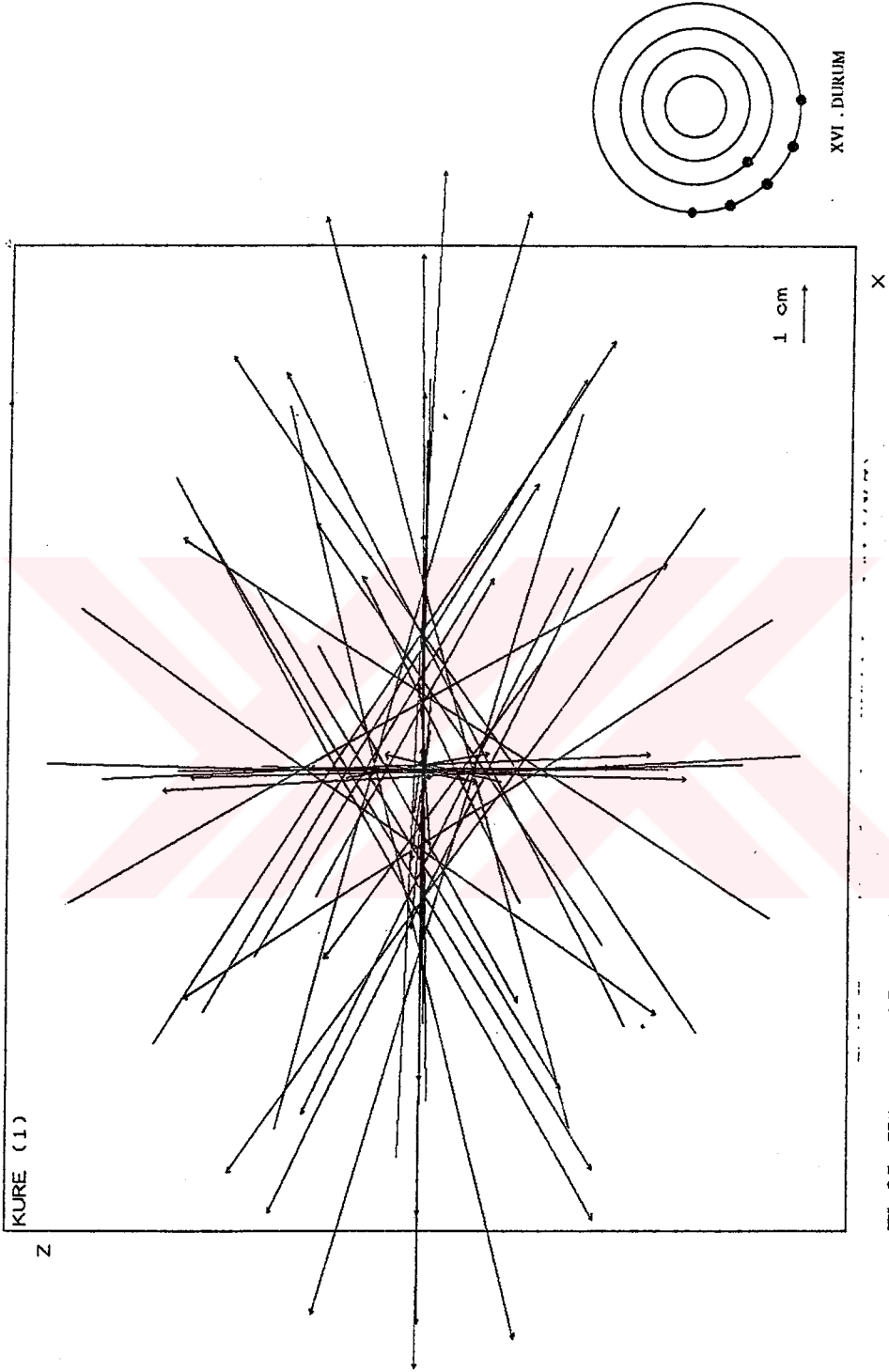
Ek 22 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum V için hata vektörleri (X-Z)



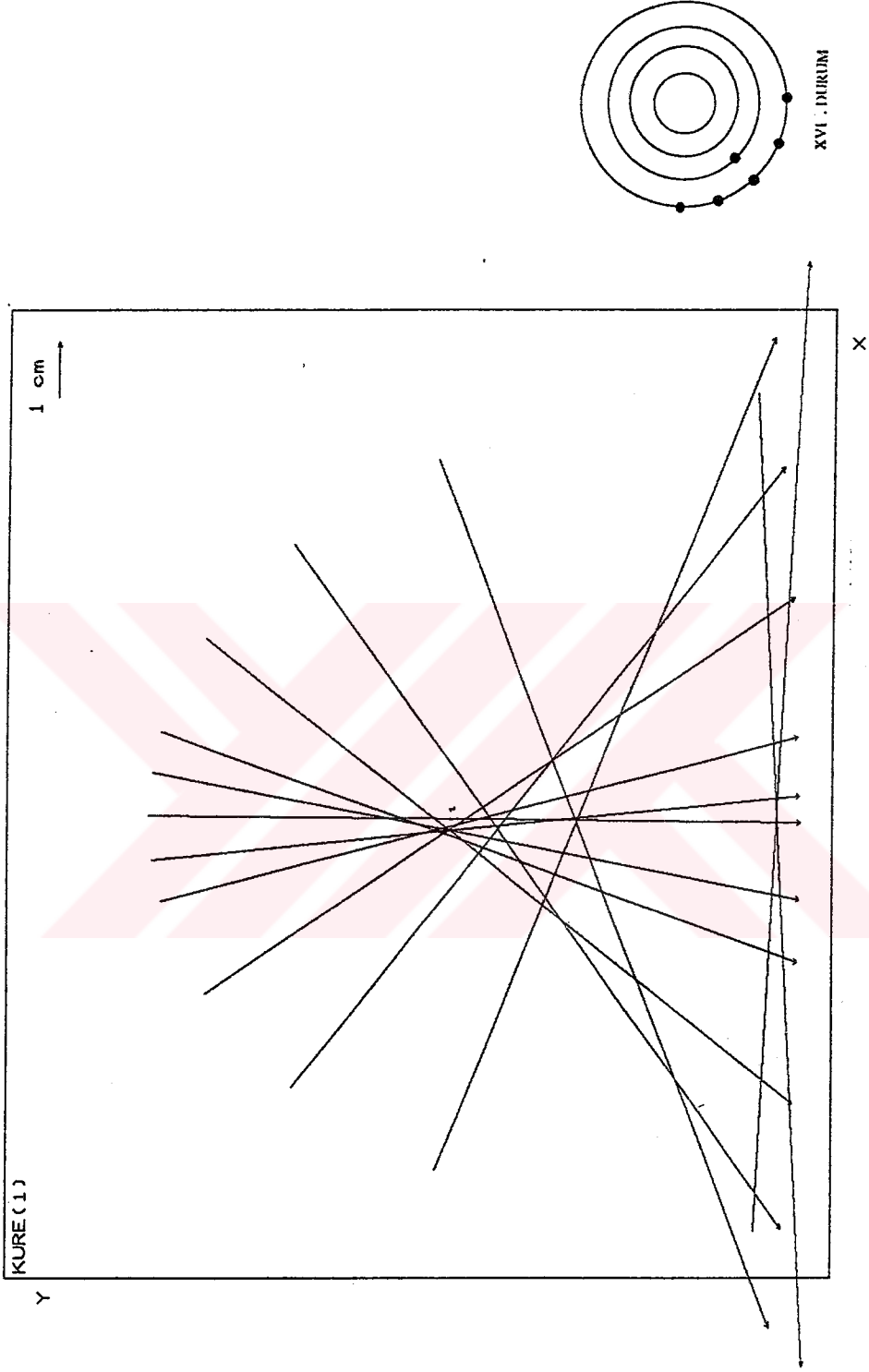
Ek 23 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum V için hata vektörleri (X-Y)



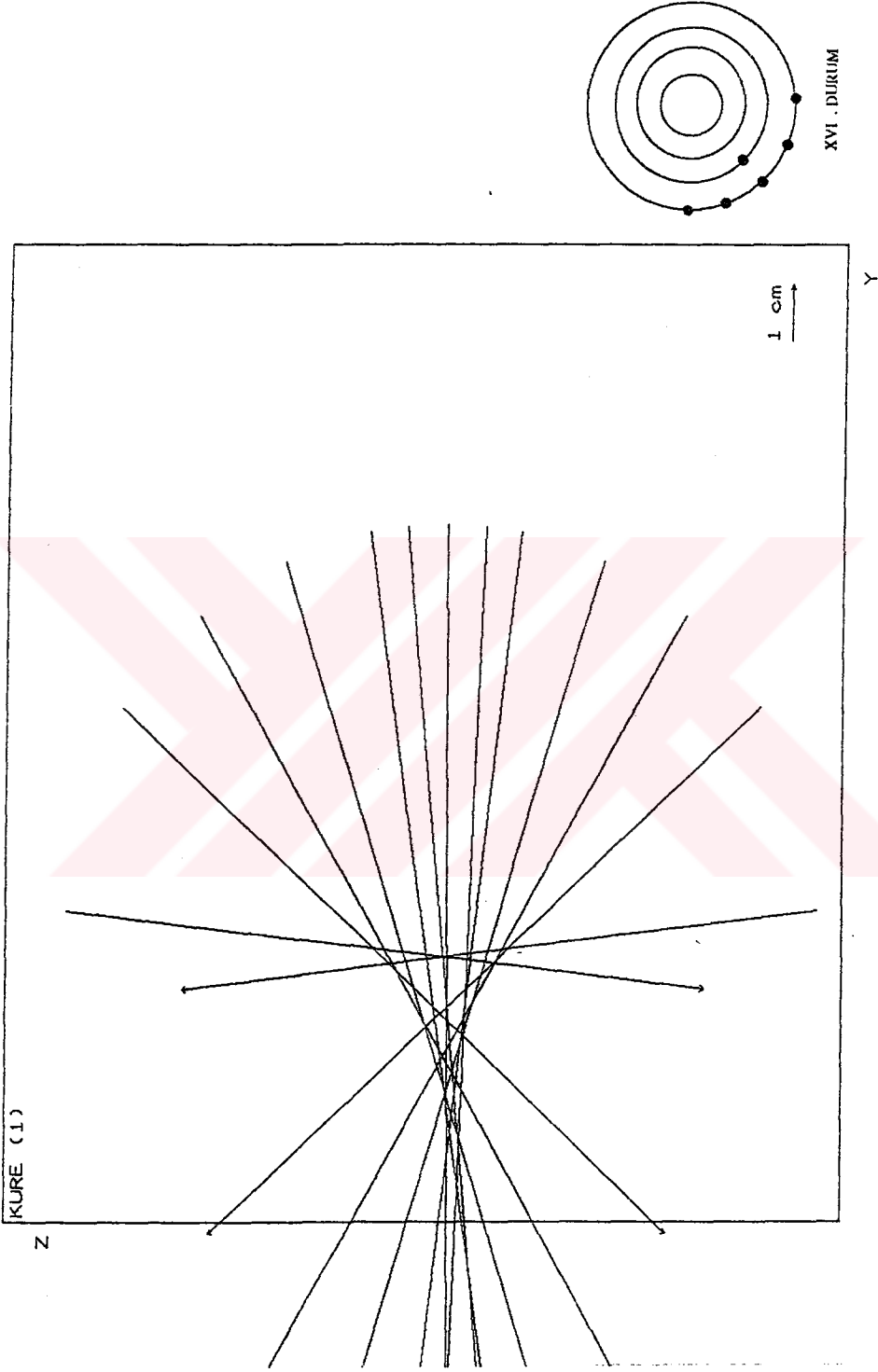
Ek 24 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum V için hata vektörleri (Y-Z)



Ek 25 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum XVI için hata vektörleri (X-Z)



Ek 26 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum XVI için hata vektörleri (X-Y)



Ek 27 : Küre yüzeyi I. uygulama, durum XVI için hata vektörleri (Y-Z)

9. ÖZGEÇMİŞ

1961 yılında Trabzon'un Akçaabat ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Akçaabat'ta tamamladıktan sonra, 1979 yılında KTÜ Jeodezi ve Fotogrametri bölümüne girdi. 1983 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl yüksek lisansa başladı, 1985 yılında bitirdi. 1986 yılında Araştırma Görevlisi olarak aynı bölümde göreve atandı. 1990 yılında doktora programına başladı. Bir yıl İngilizce hazırlık gördü. Halen KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde doktora öğrencisidir.

İS. YÜRSERÖĞELİ
DÖNÜŞÜM VE YENİLENEBİLİR ENERJİLER