

Analog kol, Tri, Yün, Pol Den,
ve Geo. Yön. karş.

Abdullah Pektekin

1976

1.3
İSTANBUL DEVLET MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK AKADEMİSİ
HARİTA - KADASTRO BÖLÜMÜ

**ANALOG KOLON TRİYANGÜLASYON
YÖNTEMİNİN POLİNOMLARLA DENGELENMESİ
ve GEODEZİK YÖNTEMLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Istanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi
Harita - Kadastro Bölümüne
« Doktor Mühendis »
ünvanının verilmesi için kabul edilen tezdır.

Yük. Müh. Abdullah PEKTEKİN

Tezin Başkanlığa Verildiği Tarih : 14 Ocak 1976
Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Şubat 1976
Doktorayı Yöneten Profesör : Prof. Burhan TANSUĞ
Jüri Üyeleri : Prof. Macit ERBUDAK
Prof. Ekrem ULSOY

İSTANBUL - 1976

İ.D.M.M. AKADEMİSİ
KÜTÜPHANESİ

Kayıt numarası: 36017

Demirbaş numarası: 35096

Kot numarası: R 154
2

Ek:

MÜHÜR



X

İSTANBUL DEVLET MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK AKADEMİSİ
HARİTA - KADASTRO BÖLÜMÜ



**ANALOG KOLON TRİYANGÜLASYON
YÖNTEMİNİN POLİNOMLARLA DENGELENMESİ
ve GEODEZİK YÖNTEMLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Istanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi
Harita - Kadastro Bölümünce
« Doktor Mühendis »
ünvanının verilmesi için kabul edilen tezdır.

Yük. Müh. Abdullah PEKTEKİN

Tezin Başkanlığa Verildiği Tarih : 14 Ocak 1976

Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Şubat 1976

Doktorayı Yöneten Profesör : Prof. Burhan TANSUĞ

Jüri Üyeleri : Prof. Macit ERBUDAK

Prof. Ekrem ULSOY

İSTANBUL - 1976

T E Ő E K K Ū R

Bu çalıřmam sŪresince yakın ilgi , deęerli yardım ve teőviklerini esirgemeyen hocalarım Sayın Pof. BURHAN TANSUę , Sayın Prof. MACİT ERBUDAK ve Sayın Prof. EKREM ULSOY ile deęerli arkadařım Doę.Dr. ALİ TUęLUOęLU'na , İ.T.Ū. Elektronik Hesap Bilimleri EnstitŪsŪ mensuplarına teőekkŪrlerimi sunarım.



İ Ç İ N D E K İ L E R

	Sayfa
ÖZET	IV
ZUSAMMENFASSUNG	V
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Araştırmanın Tanım ve Kapsamı	2
2. HAVA TRIYANGÜLASYONUNDA HATA TEORİSİ	5
2.1. Genel Bakış	5
2.2. Etkin Hataların Kısa Analizi	5
2.2.1. Hava Triyangülasyonunda Hata Türleri	6
2.3. Hava Triyangülasyonunda Hata Kaynakları	6
2.3.1. Tanım ve Kapsam	6
2.3.2. Resim Hataları	8
2.3.2.1. Atmosferik Kırılmanın Etkisi	8
2.3.2.2. Alım kamarasının Optik Distorsiyonu	8
2.3.2.3. Fotoğrafik Negatif Katmanların Düzlem Deformasyonu	11
2.3.2.4. Negatif Resimlerden Diapozitif Resimlere Geçişte Kopye Hatası	12
2.3.2.5. Fotoğrafik Katmanların Düz Olmaması	12
2.3.2.6. Optik ve Fotoğrafik Resmin Ayırma Derecesi	13
2.3.2.7. Hareket Netsizliği	14
2.3.2.8. Ölçü Hataları	15
2.3.2.9. Yer Eğriliği ve harita Projeksiyonu	17
2.3.3. Resim Koordinatlarının Hata Özellikleri	17
2.3.3.1. Gözleme Hatası	18
2.3.3.2. Fotoğrafik Katmanların Düzlem Deformasyonu ve Düz Olmaması	19
2.3.3.3. İç Yöneltilmenin Oluşturulması Sırasında Çeşitli Transformasyon Düzenlerinin Resim Koordinatlarına Etkisi	20
2.3.3.4. Çeşitli Resim Açılarında Bulunan Resim Koordinatlarının Tüm Hataları	20

2.3.4.	Model Koordinatlarının Hata Özellikleri	21
2.3.4.1.	Resim Koordinatlarından Model Koordinatlarına Analitik Geçiş	21
2.3.4.2.	Model Koordinatlarına Sistemik Resim Hatalarının Etkisi	22
2.3.4.3.	Yöneltilme Elamanlarının İnceliğine Karşılıklı Yöneltilmede Kullanılan Noktaların Konumunun ve Sayısının Etkisi.	23
2.3.5.	Fotogrametrik Olarak Kullanılan Memleket Koordinatlarının Hata Özellikleri	24
2.3.5.1.	Model Koordinatlarından Memleket Koordinatlarına Transformasyon	25
2.4.	Kolon Triyagülasyonunda Hata Teorisi	27
2.4.1.	Tanım ve Kapsam	27
2.4.2.	Vermeir Hata Teorisi	27
2.4.3.	Kısa Tarihi Gelişim	28
2.4.4.	Hataların Kolona Etkileri	29
2.4.5.	Kolon Deformasyonu	30
2.4.5.1.	Taşıma Hatalarının Kolon Ekseninde Bulunan Noktalara Etkileri	31
2.4.5.2.	Taşıma Hatalarının Kolon Ekseni Dışında Bulunan Noktalara İlave Etkileri	35
2.4.5.3.	Kolon Deformasyonunun Matematik Modeli.	38
2.4.5.4.	Matematik Modelin Polinoma Dönüştürülmesi	
2.4.6.	Kolon Deformasyonlarının İrdelenmesi	43
2.4.6.1.	Matematik Modeldeki Terimlerin Sınıflan..	47
2.4.6.2.	Düz Araziye Ait Formüller	47
2.4.7.	Tesadüfi Taşıma Hataları ve Kolona Etkileri	48
2.4.7.1.	Ağırlık Katsayıları	51
2.4.7.2.	Ortalama Hatalar	52
3.	KOLON DENGELİME YÖNTEMLERİ	57
3.1.	Genel Bakış	57
3.2.	Sınıflandırma	57
3.3.	Sayısal Enterpolasyon Yöntemi İle Kolon Dengelmesi	61
3.4.	Koordinat Sistemleri	62
4.	POLİNOMLARLA KOLON DENGELİMESİ	64

4.1.	Genel Bakış	64
4.2.	Polinomlarla Kolon Dengelemesi Yapılmasına Ait Genel İlke..	65
4.3.	Fürlü Düzeltme Polinomlarının Tartışması	66
4.4.	Yer Kontrol Noktalarının Dağılımı	69
4.5.	Bağımlılığın İhmali	70
4.6.	Dağlık Arazilerde Topoğrafik Düzeltme	71
4.6.1.	Dağlık Arazilerde İterasyon Şeması	71
4.7.	Dengelemede Kullanılan Polinomların Sınıflandırılması ve Bilinmeyen Sayıları	72
5.	DENGELEME İŞLEMİ	75
5.1.	Polinomlarla Kolon Dengelemesi	75
5.1.1.	Hata Denklemleri	75
5.1.2.	Normal Denklemler ve Çözümü	77
5.1.3.	Ortalama Hata Hesapları	79
6.	KOLON TRIYANGÜLASYONUNUN PRESİZYONU	80
6.1.	Presizyon Ölçekleri ve Araştırma Yöntemleri	80
6.1.1.	Presizyon Ölçekleri	80
6.1.2.	Presizyon Araştırma Yöntemleri	83
6.1.2.1.	Amirik Yöntemler	84
6.1.2.2.	Teorik Yöntemler	84
7.	SAYISAL ARAŞTIRMA	87
7.1.	Transformasyon Hesabı	87
7.2.	Dengeleme Hesabı	91
7.2.1.	2. ve 3. Derece Polinomlarla Kolon Dengelemesi	101
7.2.1.1.	Birim Ağırlıklı Ortalama Hataları	102
7.2.1.2.	Mutlak Karesel Ortalama Değerler	112
7.2.1.3.	Rölatif Ortalama Hatalar	112
7.2.2.	Sonuçların İrdelenmesi	114
7.2.3.	Çözümleme Zamanı	124
8.	YÖNTEMİN KLASİK YÖNTEMLE KARŞILAŞTIRILMASI VE SONUÇLAR	126
8.1.	Karşılaştırma	126
8.2.	Sonuçlar	128
	KAYNAKLAR	131
	BİYOGRAFİ	

Ö Z E T

Topoğrafik haritalar yeraltı servetlerinin , ormanların , kıyıların değerlendirilmesi , içme suyu ve trafik tesisleri b.b. maksatlar için vazgeçilmez altlıklardır. 2/1/1961 tarihinde yürürlüğe giren 203 sayılı kanun ile 25/6/1973 tarihli 1757 sayılı Toprak ve Tarım Reformu kanununun uygulanmasında çok kısa zamanda Standart - Topoğrafik - Kadastral (STK) harita standartlarına uygun yapılmasını öngörmektedir. Harita yapımında arazi çalışma koşullarının ağırlığı bir yana fotogrametrik nokta sıklaştırması da denen hava triyagülasyonu ile zamandan % 20 , maliyetten % 50 tasarruf sağlandığı dikkate alınırca , ülkemizin haritaya ilişkin gereksinmelerine zamanında cevap verebilecek hava triyagülasyon yöntemlerinden birisi uygulanması gereklidir.

Sunulan çalışmada , hava triyagülasyonunda hata teorisi ve hata kaynakları incelenmiştir. VERMEIR hata teorisine göre sistematik ve tesadüfi hatalar esas alınarak kolon deformasyonlarını tanımlayıcı polinomlar belirlenmiştir. Kolon dengeleme yöntemi olarak sayısal enterpolasyon (polinomlarla) yöntemi seçilmiştir. Kolonların uzunluğuna , kısalığına , kolondaki yer kontrol noktalarının dağılışına ve sayısına , arazinin durumuna göre 2. ve 3. dereceden polinomlar kullanılarak kolonların dengelemesi yapılmıştır.

Değişik seçeneklere göre yapılan 96 adet kolon dengelemesi sonucunda Burroughs B 3700 bilgisayarı ile aşağı yukarı 10 modelik bir kolonun kesin koordinatları 10 saniyede hesaplanmıştır.

Fotogrametrik yöntemle dengeleme sonucu elde edilen yeni noktaların koordinatları ile geodezik yöntemle belirlenen koordinatların karşılaştırması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada 13 modelik kolonlarda konum(planimetri) için 20 , yükseklik için 27 ; 6 modelik kolonlarda konum için 15 , yükseklik için 19 nokta kullanılmıştır. Dengeleme sonucu bulunan mutlak karesel ortalama değerlerin aritmetik ortalamaları alındığında :

$$M_x = \pm 25.4 \text{ cm} ; M_y = \pm 30.2 \text{ cm} ; M_p = \pm 39.7 \text{ cm} ; M_z = \pm 0,153 . h \text{ ve}$$

rölatif ortalama hataların aritmetik ortalamaları alındığında :

$$\bar{m}_x = \pm 33.6 \text{ cm} ; \bar{m}_y = \pm 19.0 \text{ cm} ; \bar{m}_p = \pm 39.1 \text{ cm} ; \bar{m}_z = \pm 0,096 . h$$

bulunmuştur. Böylece yeni noktaların koordinatları 1/5000 ölçekli STK standartlarına uygun olduğu saptanmıştır.

ZUSAMMENFASSUNG

Topographische Karten sind unverzichtbare Unterlagen zum Zwecke der Bodenschätzen, Wälder, Küsten, der Planung von Wasserversorgungs- und Verkehrsanlagen, usw. Bei der Durchführung des am 2.1.1961 in Kraft getretenen Gesetzes (Nummer 203) und des Boden- und Landwirtschaftsreformgesetzes vom 25.6.1973 (Nummer 1757) ist es vorgesehen, die Karten, die den standardisierten topographischen Katasterkarten (STK) entsprechen, herzustellen. Wenn man ins Auge faßt, daß die Bedingungen bei Feldarbeiten für klassische Aufnahmen meistens sehr schwierig sind und durch die Aerotriangulation 20 % an Zeit, 50 % an Gesamtkosten gespart werden können, so sollte man ein Aerotriangulationsverfahren für die rechtzeitige Erfüllung der Nachfrage an Karten in unserem Lande verwenden.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Fehlertheorien und die Fehlerquellen bei der Aerotriangulation behandelt. Nach der VERMEIR'SCHEN Fehlertheorie wurden systematische, zufällige Fehler zugrunde gelegt und Polynome für die Streifendeformationen definiert. Als Methode für die Streifenausgleichung wurde das numerische Interpolationsverfahren ausgewählt. Die Streifenausgleichungen wurden mit Polynomen 2. oder 3. Grades je nach Länge und Kürze der Streifen und der Verteilung, Anzahl der Paßpunkte in Streifen sowie der Geländeform gerechnet.

Das Ergebnis von 96 Streifenausgleichungen, die nach verschiedenen Alternativen mit der elektronischen Rechenanlage "Burroughs B 3700" gerechnet wurden, ergab, daß für die Bestimmung der Landes-Koordinaten eines Streifens mit 10 Modellen ca. 10 Sekunden ausreichen.

Die nach dem photogrammetrischen Verfahren durch Streifenausgleichung erhaltenen Koordinaten der neuen Punkte wurden mit den Koordinaten, die nach dem geodätischen Verfahren bestimmt sind, verglichen. In diesem Vergleich wurden in den Streifen von 13 Modellen für die Punktlage 20, für die Höhenwerte 27 Punkte, in den Streifen von 6 Modellen für die Punktlage 15 und für die Höhenlage 19 Punkte in Bezug genommen. Nimmt man für das Genauigkeitsmaß die Durchschnittswerte der nach der Streifenausgleichung gefundenen absoluten mittleren Fehler, so findet man für X-Werte $M_x = \pm 25.4$ cm, für Y-Werte $M_y = \pm 30.2$ cm, für Lagegenauigkeit $M_p = \pm 39.7$ cm und schliesslich für die Höhe $M_z = \pm 0,153$ h und wenn man als Genauigkeitsmaß die arithmetischen Mittel der relativen mittleren Fehler nimmt, so ergibt sich entsprechend der obigen Zahlen $\bar{m}_x = \pm 33.6$ cm, $\bar{m}_y = \pm 19.0$ cm, $\bar{m}_p = \pm 39.1$ cm und $\bar{m}_z = \pm 0,096$ h. Somit wurde mit erreichten Resultaten bewiesen, daß die durch das Aerotriangulationsverfahren erhaltene Koordinaten der neuen Punkte den STK im



1. G İ R İ Ő

Bir bölgenin hangi yöntemle haritası yapılırsa yapılsın mutlaka yeter sayıda koordinatları ile belli olan noktalar bulunması zorunludur. Bu noktaların konumları, geodezik veya fotogrametrik ölçme ve hesap yöntemleri ile saptanabilir. Komşu hava fotoğrafları üzerinde geometrik bağıntılardan yararlanarak uygun noktaların koordinatlarını elde etmeye hava triyângülasyonu denir.

1.1. Genel Bilgiler

Bir kolonijersinde yer kontrol noktaları, yükseklik noktaları, hava triyângülasyon noktaları b.b. noktalar bulunur. Bunlardan sadece yer kontrol noktaları ile yükseklik noktalarının koordinatları geodezik yöntemle saptanır. Fotogrametride kullanılan üç boyutlu (stereomodel) bir modelin değerlendirilebilmesi için mebel alanı içinde, normal koşullarda dört yöneltme noktasına gerek vardır. Bu duruma göre geniş bir alanın değerlendirilip haritasının yapılabilmesi için birçok noktaya gereksinime duyulur.

Bu noktaların koordinatları fotogrametrik yöntemle zaman ve maliyet ekonomisi yönlerinden optimum gözümüler vermesine karşın yurdumuzda geodezik yöntem kullanılmaktadır. Oysa Türkiye'de fotogrametri yöntemi 30 yıldır kullanıldığı halde özel bir kullanma sistemi olan hava triyângülasyonu geniş çapta olmamakla beraber 1963 lorde uygulamaya girmiştir /77/,S:1.Ama yöntemin bugüne değin beklenen başarıya ulaştığı söylenemez. Elde edilen bilgilere bakılınca hemen görülen, bu yönteminuygulama oranının seneden seneye düşüşü, belki bu nedene bağlanabilir /81/.

Genel çizgileri ile incelenirse, arazi çalışma koşullarının ağırlığı bir yana, fotogrametrik nokta sıklaştırması da denen hava triyângülasyonu ile zamandan % 20 ve maliyetten % 50 tasarruf sağlanabilir /65/. Bu nedenle birçok ülke fotogrametrik yöntemi geniş kapsamlı olarak uygulamaktadır . Şekil:1,2.

Arazi kadastro, sulama çalışmaları, maden, ulaşım, içme suyu, kanalizasyon, elektrifikasyon çalışmaları ile son zamanlarda ülkemizdeki nüfus patlamasına ve ekonomiye bağlı olarak gelişen kentleşme sorununun çözümü; sahil ve ormanların değerlendirilmesi için topoğrafik harita vazgeçilmez bir altlıktır.

2.1.1961 tarihinde yürürlüğe giren 203 sayılı kanun ile 25.6.1973 tarihli 1757 sayılı Toprak ve Tarım Reformu kanununun uygulamasında, çok kısa zamanda STK standartlarına uygun haritaların yapılması öngörülmektedir.

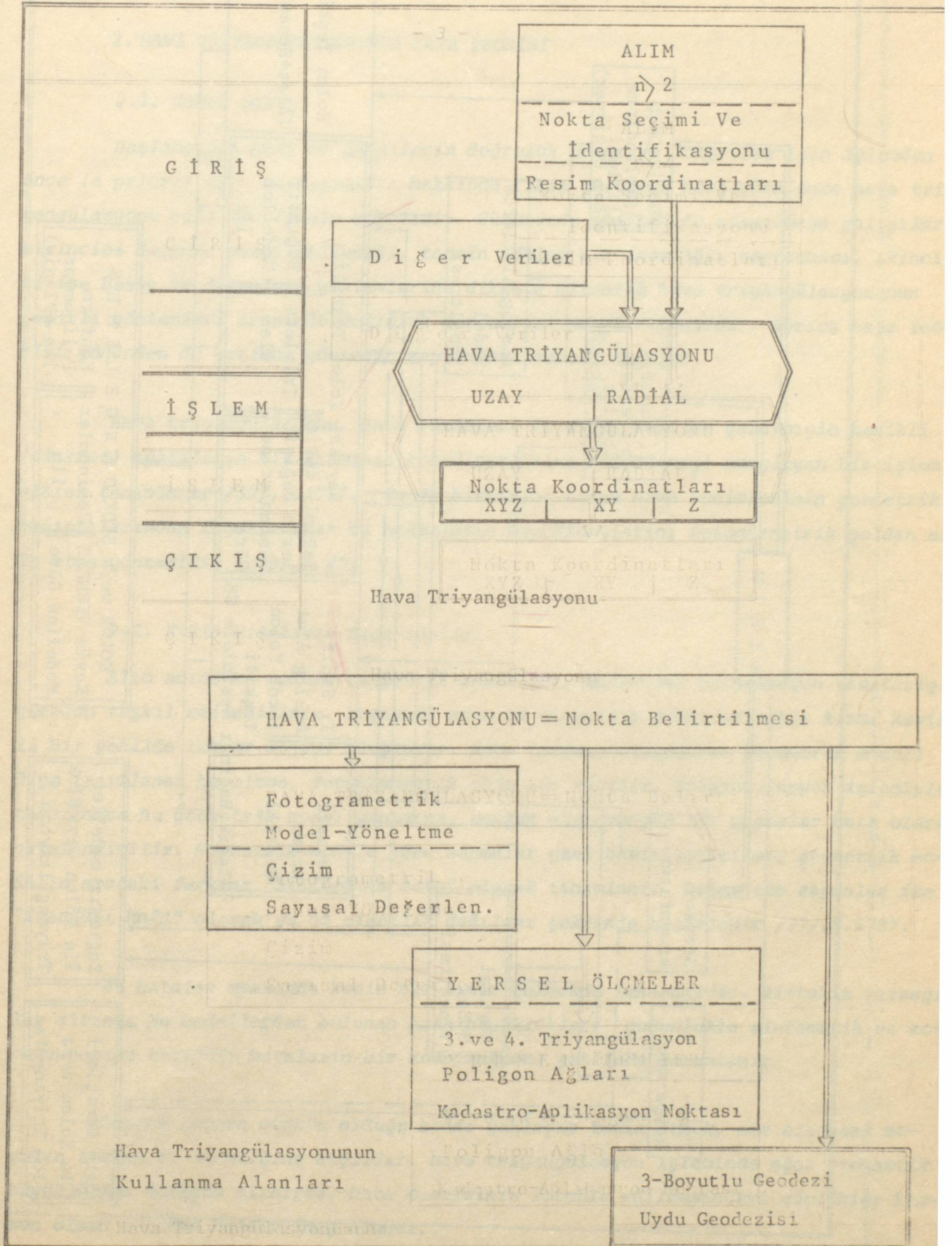
Bu nedenle ülkemizin haritaya ilişkin gereksinmelerine zamanında cevap verebilecek hava triyangülasyonu yöntemlerinin geniş kapsamlı olarak uygulanması ve bunu sağlamak amacıyla bilimsel çalışmalara tezelden başlanması gerekir.

1.2. Araştırmanın Tanım ve Kapsamı

Bu çalışmada, bugüne değin ülkemizde gereğince ele alınmamış olan hava triyangülasyonunun temel bölümünü oluşturan kolon triyangülasyonu incelenecektir. Bunun için önce " Hava triyangülasyonunda hata teorisi " en geniş çizgileri ile incelenmesi gerekir. Ayrıca kolonların kendine özgü hata özelliklerini açıklamak ve sağlam bir yargıya ulaşmak için " Çift hata toplamı teorisi " ele alınmalıdır.

Bu teoriye göre sistematik ve tesadüfi hataların kolona etkileri ayrı ayrı incelenerek kolon deformasyonlarını tanımlayıcı polinomlar belirlenecektir. Kolon deformasyonlarını 2. ve 3. dereceden polinomlara göre polinomsal kolon dengelenmesini bilgisayarla çözümlemek için programlar hazırlanacaktır. Kolonun uzunluğu ve kısalığı, yer kontrol noktalarının oluşturduğu bantlar arası atlanacak; model sayısı, yer kontrol noktalarının kolon boyunca dağılımı, arazinin düz ve dağlık oluşu gözönüne alınarak sayısal örnekler üzerinde araştırma yapılacaktır.

Agrica polinomsal kolon dengeleme yöntemleri arasında değişik olanaklar ve Türkiye koşulları dikkate alınarak bunlar arasında ve STK yönetmeliğine göre yapılmış geodezik nirengi ile presizyon, zaman ve ekonomi yönlerinden kıyaslaması yapılmak suretiyle en uygun yöntem araştırılacaktır.



Şekil: 1.

2. HAVA TRIYANGÜLASYONUNDA HATA TEORİSİ

2.1. Genel Bakış

Başlangıçta bazı ön kabullerin doğruluk oranı ve dengeleme için işlem den önce (a priori) hata varsayımları hakkında fikir yürütmek her şeyden önce hava triyangülasyonu hata teorisinin görevidir. Günümüzde iki hedefe ulaşmaya çalışılır. Birincisi önceden erişilebileceği, tahmin edilen bir inceliğin saptanması, ikincisi ise hesap ve dengeleme yöntemleride dikkate alınarak hava triyangülasyonunun çeşitli yöntemleri arasında doğruluk dereceleri araştırılmasıdır. Ayrıca hata teorisi yönünden de optimum yöntemin saptanması gereği duyulur.

Hava triyangülasyonu, hava resimleri ve diğer veriler yardımıyla kesikli (diskret) noktaların bir kısmının koordinatlarını belirlemeyi amaçlayan bir işlem olarak tanımlanır /37/,S.1737. Ya da birbirine komşu hava resimlerinin geometrik bağıntılarından faydalanarak bu noktaların koordinatlarını fotogrametrik yoldan elde etme yöntemidir /90/,S.48.

2.2. Etkin Hataların Kısa Analizi

Alın anındaki resmin geometrik noktaları, merkezsiz projeksiyon vasıtasıyla yeniden teşkil edilebilir. Teşekkül eden bu geometrik noktaların bir kısmı kesikli bir şekilde tekrar objeyi oluşturur. Hava triyangülasyonunun geometrik modeli diye tanımlanan bu cisim, fotogrametrik obje adı verilir. Triyangülasyon işlemiyle tasarlanan bu geometrik model yapısına, uyum göstermeyen tüm sapmalar hata olarak nitelendirilir. Geometrik modele göre sapmalar yani basitleştirilmiş geometrik modelde aradaki farklar "Sistemik hata" olarak tanımlanır. Diğer tüm sapmalar ise "tesadüfi hata" olarak ya da olasılık dağılımı şeklinde belirlenir /37/,S.1737.

Bu hatalar arasında kesin bir sınır çekmekte imkansızdır. Birtakım varsayımlar altında bu modellerden bulunan hata büyüklükleri çoğunlukla sistemik ve korelasyonsuz tesadüfi hataların bir kombinasyonu şeklinde yorumlanır.

Gerçek değere mümkün olduğu kadar yaklaşım temin etmek, ele alınacak modelin türüne ve inceliğine bağlıdır. Hava triyangülasyon işleminde eğer stokastik büyüklükler dikkate alınır, hata teorisinin formüle edilmesindeki güçlükler kısmen olsun ortadan kaldırılmış olur.

2.2.1. Hava Triyangülasyonunda Hata Türleri.

Hava triyangülasyonunda, çoğu kez ölçüler arasında yapılan çeşitli hatalar 4 ana gruba ayrılır /37/,S.1737.

a) Belirli geometrik modele ilişkin sistematik hatalar. Örneğin, alım kamerasının optik distorsiyonu, sabit ya da periyodik olarak tekrarlanan alet hatalar v.b.

b) Bağımsız olarak normal dağılmış tesadüfi hatalar. Söz gelimi değerlendirme aletini kullanan operatörün stereoskopik nokta taşıma hatası, monoküler veya stereoskopik gözleme suretiyle yapılan ölçü ve yorum hatalar b.b.

c) Büyük bir sahaya öteye beriye dağılmış bölgesel sistematik olan hatalar. Örneğin sistematik olarak meydana gelen film deformasyonları yani görüntü noktasının, fotoğrafın merkezine yada dışa doğru kayması şeklindeki hatalar.

d) c) hatasına karşıt olarak aralarında kuvvetli korelasyon bulunan komşu sahalarda sistematik olarak meydana gelen tesadüfi hatalar da ortaya çıkabilir. En belirgin örnek, tesadüfi hataların çift toplamlarından oluşan *sanki-sistematik* (quasi-sistematik) kolon deformasyonları gösterilebilir.

2.3. Hava Triyangülasyonunda Hata Kaynakları

2.3.1. Tanım ve Kapsam

Hava triyangülasyonunda hata kaynakları deyince resim alımı, değerlendirme aletleri ile ölçülerin yapımı, elde edilen model koordinatlarının transformasyonu, dengeleme ve hesap yöntemlerinde ortaya çıkan ve varsayılan diğer tüm hatalar hatıra gelir.

Fotogrametik işlemlerde, hata etkileri, çoğunlukla fotogrametrik alım ve değerlendirmede merkezi perspektifin matematik modeline dayandırılır. Pratikte fiziki model, buna en iyi yada birazcık uyum gösterebilir. Fotogrametrik olarak tekrar oluşturulan ölçü resmi ile esas obje arasında diğer bir deyimle merkezi projeksiyon ile alım arasında ortaya çıkan, tüm sapmalar matematik model varsayımında hata olarak kabul edilir. Yüksek presizyonlu mercek sistemleri kullanılmasına rağmen fotogrametrik objelerde ve ölçü resimlerindeki hatalar iki gruba ayrılır /86/. Birinci gruba dahil olan hatalar resmin netliğini ve parlaklığını değiştirirler. Mercek hataları diyebileceğimiz bu hatalar;

- a. Sferik aberasyon (açıklık hatası)
- b. Sinus şartına aykırılık
- c. Astigmatizm
- d. Resim alanının kubbeleşmesi
- e. Virgül hatası
- f. Kromatik Aberasyon
- g. Kenarlara doğru parlaklığın bozulması ve gölgelenmesi.

Merkezi projeksiyonun geometrik modeliyle ışın demetlerinin deformasyonu neticesinde fiziki olarak meydana gelen ölçü resmi arasındaki tüm aykırılıklar, ölçü resimlerinde sistematik ve tesadüfi hataları yani ikinci grup hataları oluştururlar. Bunlar;

- a. Objektifin distorsiyonu,
- b. Alım ve banyo işlemi sırasında fotoğrafik emilsiyonun ve onun taşıyıcısının değişmesi,
- c. Baskı plakasının tam düz olmayışı,
- d. Ölçü esnasında ölçü kamaralarının hareketi.

Buraya ölçü hataları diye bilinen alet ve gözleme hatalarında dahil edilir.

Hava triyagülasyonunda hata kaynakları olarak bilinen, resim, alet ve operatörlerden ileri gelen yani bunların kusuru olarak ortaya çıkan fotogrametrik hatalar;

- a. Resim hataları,
 - b. Alet hataları,
 - c. Operatör hataları,
- olarak da adlandırılır.

Fotogrametride hata etkilerini; AHREND /7/, EBERHARD /23/, KUPFER /38/ ve SCHÜNER /66/ ayrıntılarıyla incelemişlerdir. Bilhassa SCHÜNER, fotogrametrik model koordinatlarının doğruluk dereceleri üzerine yapmış olduğu çalışmada hataların teorik ve amprik analizini vermiştir.

Hava triyagülasyon süreci boyunca hata kaynakları ve bunların koordinatlara etkileri genel olarak aşağıdaki gibi üç ana sınıfa ayrılarak incelenecektir.

2.3.2. Resim Hataları

Söz konusu edilen resim hatalarının etkileri, resmin fotoğrafik ve geometrik kalitesini sınırlayıcı değişik iki etken olarak dikkate alınır (Şekil: 3,4).

Yer küreselliği, atmosferik kırılma, kamera distorsiyonu ve film büzülme-leri gibi fiziksel ve sistematik etkenler, resmin ya da merkezsiz izdüşümün geometrik özelliğini bozmaktadır /90/,S.71. Bu sistematik etkiler mümkün mertebe giderilmelidir. Kullanılan triyagülasyon yöntemine göre bu etkileri giderici ve asgariye düşürücü tedbirler işlem sırasında daima dikkate alınmalıdır. Çoğunlukla sistematik hatalar ya hesabi olarak ya da aletlere ilave edilen donatılar yardımıyla yok edilmesi gerekir.

2.3.2.1. Atmosferik Kırılmanın Etkisi

Objeden gelen ışınlar bir doğru yerine atmosfer içersinde kırılmaya uğradıktan sonra kameraya eğri bir yol takip ederek varırlar. Atmosferik kırılma, ışın demetlerinden oluşan geometrik modelde dikkate alınmaz. Dik alımlarda ilk yaklaşımla bunun etkisi sistematik distorsiyon olarak alınabilir. Yine kırılmanın etkisi resmin nadir noktasına göre radial-simetrik olarak etkir. Kırılma hatası ya da ters işaretli düzeltmesi, optik ya da hesabi olarak hava triyagülasyon işlemi sırasında normal atmosfere göre giderilir. Modern aletlerde kırılmadan ileri gelen hatayı gidermek için distorsiyon düzeltmelerine benzer şekilde bir tarafı düz bir tarafı kubbemsi özel hazırlanmış kompensasyon plakaları kullanılır.

SCHUT resim koordinatlarına kırılmanın etkisini hesaplamak için kamoranın odak uzaklığına, uçuş yüksekliğine ve resmin asal noktasından olan radyal mesafeye bağılı olarak basit bir formül vermiştir /64/,/66/,S.11.

2.3.2.2. Alım Kamarasının Optik Distorsiyonu

(Optik İzdüşümün Geometrik Hatası)

Fotogrametride kullanılan alım kameraları optik-mekanik sistemlerden olurlar. Bunların hata etkileri, sistematik radial-simetrik distorsiyon olarak tanırlar. Ayrıca resmin geometrik yapısına en önemli etki yapan objektif hatası kabul edilir. Kamera yapımcıları her kamera ya da kamera tipleri için kamera kalibrasyon raporlarında, çizelge veya grafik şeklinde bunları belirtirler. Distorsiyon hatalarını gidermek için objektiflerin görüş açılarını daraltmak gerekir. Doğru-

lendirmede Porto-Koppe ilkesi dikkate alınarak ya da kompensasyon plakalarının uygulanması ile distorsiyon hataları giderilir. Veyahut da analitik hava triyangülasyonunda düzeltme miktarları, ilaveten yapılan affin transformasyon /37/,S.1739, bir polinom /71/,/58/ ya da lineer enterpolasyon kullanmak suretiyle hesaplanır /22/.

Teğetsel distorsiyon alışılmış kalibrasyon raporlarında belirtilmiyor. Bunlar belirli olmadığı içinde uygun bir düzeltme yapılamıyor. Teğetsel distorsiyonun büyüklüğü ise 5 mikronun altında kaldığını kamera yapımcıları iddia etmektedirler /61/,/66/.

Alım uçuşu esnasında ısı ve daha başka fiziksel etkiler nedeniyle, önceden laboratuvarlarda bulunan kalibrasyonlar birbirine uymadığından mümkün mertebe dış etkenlere bağlı kalınarak distorsiyonların hesap edilmesi önerilmektedir /37/,S.1739.

2.3.2.3. Fotografik Negatif Katmanların Düzlem Deformasyonu

Hava triyangülasyonu için gerekli resimler özel hava kameraları yardımı ile cam yada film üzerine, ışığa duyarlı bir tabaka tarafından tesbit edilir. Emilsiyon taşıyıcısı olarak kullanılan cam, çekme büzülme ve ölçek değiştirmesi göstermeyen buna karşılık ağır ve kırılma tehlikesi olan bir malzemedir. Film ise hafif, hacimsiz, fleksibil (esnek), kırılmayan, ucuz fakat boyut değiştirmesi cama nazaran daha fazladır. Ayrıca camlı kameraların poz sayısı film kameralarına göre daha azdır. Ucuzluğu ve taşıma kolaylığı da dikkate alınarak emilsiyon taşıyıcısı olarak film ve film kameraları tercih edilmektedir. Film yada cam, üzerinde ışığa duyarlı jelatin içine yataklandırılmış gümüş bromür (Klor gümüş, iyod gümüş de olabilir) taneciklerinin oluşturduğu katmanlarla kaplıdır. Optik olarak izdüşürülen görüntü yani objeden gelen ışık ışınları katmanlara daha doğrusu gümüş bromürlere çarpar ve onlar tarafından emilir. Görünmeyen "Latent Resim" oluşur. Gerekli kimyasal işlemlere tabi tutularak hazırlık ve tesbit banyoları yapılır. Sonra negatif fotoğraf denilen siyah gümüşlü resim elde edilir.

Polyester ve asetat filmler üzerinde uygun laboratuvar koşulları altında yapılan araştırmalarda alan değişim hatası her iki filmde yaklaşık olarak aynı bulunmuştur. Polyester filmin tercih nedenleri mekanik yapısı ve rutubete karşı stabil oluşudur. Ayrıca polyester filmin ölçek değişikliği ve alan değişimi azdır. Fotogrametride kullanılan filmlerin alan değişimi katmanların yağ ve ku-

rutulması sonucu oluşan değişmeler ile saptanır /7/.

Polyester film bulunduktan sonra fotoğrafik katmanların deformasyonları daha önceki araştırmalara göre memnuniyet verici şekilde küçülmüştür. Muhtelif araştırmacıların ęalıřmalarına göre modern filmler için resim koordinatlarının değişik ortalama hatalarının ortalaması 5 μ m kadardır /66/,S.16.

Filmin en büyük sakıncası çekme ve bu çekmenin her yönde eşit olmamasıdır. şayet her iki yönde büzülme oranı eşitse büzülmeden ileri gelen deformasyon fotogrametrik değerlendirme esnasında kamera sabitesinin uygun bir miktar değiştirilmesiyle giderilir. Homogen olmıyan çekme durumunu, yeni modern hava kameralarına ilave edilen kareplaka ağlarının filme resmi alınıp. Tüm köşe koordinatları okunur. Projektif transformasyon ya da uygun bir polinom kullanılmasıyla film hatalarının giderilme olanakları araştırılmıştır /52/,/76/,/53/.

2.3.2.4. Negatif Resimlerden Diapozitif Resimlere Geçişte Kopye Hatası

çoğunlukla negatifler üzerinde ölçü yapılmaz. İşaretlenmiş noktalar negatiflerde siyahtır ve iyi bir kontrast sağlanamadığı için siyah olan ölçü markalarının saptanması ve ölçüsü güçlenir. Ölçü resmi olarak çoğu kez kontak kopye yöntemiyle elde edilen diapozitifler kullanılır. Negatif filmlerden diapozitiflere geçişte oluşan hatanın rölatif olarak küçük olması istenir.

Yapılan araştırmalara göre filmlerin yatay olarak kurutulmaması, katmanların elle tutulmaması ve filmlerin yıkanmasında kullanılan suyun temiz olmasına dikkat edilmelidir /63/.

SCHWİDEFSKY tarafından yapılan araştırmaya göre, 81 tane işaretlenmiş noktalı 18 x 18 cm² boyutlarında negatifin, 7 cam kopyesinden ve 75 tane işaretlenmiş nokta ile 23 x 23 cm² boyutlarında negatifin, 8 kopyesinden tüm noktaların kullanılmasıyla yapılan benzer transformasyondan ortalama kopye hatası $\pm 5,8$ μ m bulunmuştur /70/.

2.3.2.5. Fotoğrafik Katmanların Düz Olmaması

Film kameralarında, bir matematik düzlemden mekanik resim düzleminin sapması:

- a) Baskı veya emme plakalarının düz olmasına,
- b) Kullanılan düzlem sistemin uygunluğuna,

c) Film üzerinde bulunan emilsiyon tabakalarının kalınlıklarının eşitliğine,

d) Emilsiyon katmanlarında banyo edilmiş resimlerin yataklama derinliğine bağlıdır /66/,S.18.

Triyagülasyonun hassasiyetine etki eden en büyük etkenlerden birisi fotoğrafik katmanların düz olmamasıdır. Bilhassa analog değerlendirme aletleriyle hava triyagülasyonu yapılırken resim düzlemine bağlı olarak görünen hatalar önemli rol oynar.

BRİNDÖPKE'ye göre cam plakaların düz olmaması 7 μ m, fotoğrafik katmanların düz olmaması 4 μ m olarak bulunmuştur /16/.

Réseau kameralarında, kontsrüksiyonları itibarıyla emilsiyondaki kararmış gümüş bromür taneciklerinin yataklama derinliği ve bölgesel film kabarmaları istisna teşkil etmek üzere aynı anda film deformasyonları ile daha çok ya da az olarak katmanların düzlem olmamasının etkileri elde edilir /66/,S.20.

2.3.2.6. Optik ve Fotoğrafik Resmin Kalitesi (ayırma derecesi)

Tek merceğin içerdığı hataları gidermek için yüzey eğrilikleri, kalınlıkları, cam cinsleri, ara mesafeleri değişik mercekler bir araya getirilerek oluşturulan sisteme objektif denir.

Yapılan titiz hesaplara ve mercek yapımında gösterilen özene rağmen aynı seride bulunan objektifler arasında az da olsa farklara raslanılır. Bundan dolayı imal edilen tüm objektifler imalat ve malzeme kontrolü yapılarak nominal değerden sapmalar saptanır. Bu sapmalar kalibrasyon raporlarında belirtilir.

Objektiflerin muayenesinde ayırma derecesi, distorsiyon hatası ve kontrast iletme fonksiyonu dikkate alınmalıdır.

Alım kamerasıyla elde edilen resmin fotoğrafik kalitesi hakkında fikir yürütmede, en büyük rolü oynayan objektifin ayırma derecesidir. Ayırma derecesi 1 mm de ayırtebilebilen çizgi sayısıdır.

Resim ayırma derecesi de aynen objektiflerdeki gibi olup yalnız tanelerin ufaklığına bağlıdır. Küçük taneler ayırma derecesini arttırır. Fakat inceliği azaltır. Genellikle objektifin ayırma derecesi ile emilsiyonun ayırma derecesi birbirine eşlenik olmalıdır. Resim de ayırma derecesi son zamanlarda 5-10 μ m hassas emilsiyonlarda ise 5 μ m düşürülmüştür /76/.

Hava triyangülasyonundaki hataların azaltılması istenirse ayırma gücü yüksek olan hava kameraları kullanılmalıdır.

Şekil:1'de görüldüğü gibi objenin bir hava kamerasıyla alımından başlayarak diapozitif resmin oluşumuna kadar geçen safhalarda, bir takım fiziki, optik ve kimyasal etkenlerin etkisi altındadır. Resmin fotoğrafik kalitesini sınırlayıcı faktörler sıralanırsa, objenin kontrastı, atmosferik kırılma, objektifi oluşturan merceklerin muhtelif hataları, kamera hataları ve fotoğraf malzemesinin hataları ve filmlerin baskı, banyo, yıkama, kurutma b.b. işlemlerinde yapılan hatalar belli başlılarıdır.

2.3.2.7. Hareket Netsizliği

Ölçü resimlerinin kalitesini azaltıcı diğer bir etken olarak da hareket netsizliğini söyleyebiliriz. Buna etki eden üç bileşen ise şunlardır /66/.

- a) Resim yürümesi,
- b) Lineer titreşimler ve
- c) Dönel titreşimler.

a) Resim yürümesi: Poz verme süresi kısa olursa resim yürümesi önlenmiş olur. Hareketli hava kameralarında obtüratör, poz verme süresince açık olması nedeniyle arazinin bir noktasının izdüşümü nokta olarak değilde doğru olmuş olur. Süratli uçuşlarda resim yürümesi tecviz dışına çıkar. Böylece izdüşümün geometrik özelliği bozulur. Bunun için resim yürümesi resim ayırma derecesinden küçük olmalıdır. Resim yürümesi poz verme süresi, uçağın hızı ve kamera sabitesi ile doğru orantılı, uçuş yüksekliği ile ters orantılı bir değerdir.

b) Lineer titreşim: Kamera gövdesi askı içinde hareketli olup sağa sola dönebilir ve gerekli sapmalar verilebilir. Askı uçağa askı tertibatı ile bağlanır. Askı tertibatının oturtma vidaları tam yönlü olup uçağın titreşimlerini kameradan mümkün olduğu kadar uzak tutmaya yararlar. Böylece resim kalitesindeki azalma önlenmiş olur /35/.

c) Dönel titreşimler: Piston motorlu özel resim uçaklarında 20 den 30 Hz kadar frekanslar etki etmezler /10/. Bu frekanslarda kameranın dönel titreşimi 1/100 saniyelik poz verme aralığında max 150^{CC} olarak bulunmuştur /21/.

1/250 s poz vermede ise bu rotasyonlar en fazla 60^{CC} dir.

El ile kumanda edilen piston motorlu uçaklar için 1/250 s. bir zaman aralığında 30^{CC} lık bir kamera dönmesine eşdeğerdir /17/. Bu açısal ivme ise $f = 20$ olan bir kamerada 10 μ m altında nokta yürümesi oluşturur. Bulunan bu değer ise resim ayırma derecesinden küçük ya da yeni imal edilen emilsiyonların ayırma derecesine eşittir.

2.3.2.3. Ölçü Hataları

Genellikle ölçü işlemi deyince,

1. Operatör (otomatik gözlemler hariç),
2. Ölçülmesi icap eden resim,
3. Kaydedici bir düzeni oluşturan ölçü aygıtları ve
4. Ölçü aletinin bulunduğu ortam (çevrenin etkisi) hatıra gelir /66/.

Bunlardan oluşan hatalar ise ölçü hataları olarak tanımlanır.

Değerlendirme aletini kullanan operatörün yapmış olduğu hatalar, şahsi hatalar ya da gözleme hatası olarak adlandırılır /50/.

Presizyon-komparatörler ve operatörler tarafından yapılan ölçü hatalarını ortaya çıkarılması veya tahmin edilmesi işaretlenmiş noktalarda yapılmalıdır.

Triyangülasyon da, hava fotoğraflarının resim taşıyıcılarına ve alete yerleştirilmeleri sırasında yapılan iç yöneltme hataları, operatörün görüşünün sınırlı olmasında ileri gelen teşhis ve yorum hataları yani idendifikasyon hatalarını sayabiliriz. Ayrıca operatörün dikkatsizliği, dalgınlığı, bilgisizliği, tecrübesizliği, yorgunluğu ve kabiliyetlerinin sınırlı olması ya da yanlış teşhisi nedeniyle meydana gelen hata hataları da dahiledebiliriz. Ölçü resimlerini ya da modelleri mutlak notlukta operatör göremediği için ölçü göstergesini kendi tecrübesine göre bulun bulduğu yere tatabilirler. Böylece bir taahhük ve tutum hatası kaçınılmaz olur. İster istemez triyangülasyonun inceliğine etki eder. Bununla birlikte gücü ve kontrastı yüksek olan resimler kullanılmalıdır. Buraya, karşılıklı yöneltme, mutlak yöneltme

ve bağımlı modellerin yöneltilmeleri sırasında tüm ölçmelerden yani X, Y makina koordinatları ve yükseklik okumalarından meydana gelen hataları da ilave edebiliriz.

Analitik hava triyangülasyonu, mono veya stereo komparatörler yardımıyla tüm noktaların resim koordinatlarını ölçme işlemidir. Modern komparatörlerde mutlak hatalar ortalaması 2 μ m altındadır. Bu hata ise sistematik ve tesadüfi miktarların toplamı şeklindedir. Sistematik hata etkileri kalibrasyonları yapılmış gitter plakaları yardımıyla belirlenir. Sonuç da, hesabî olarak bulunan düzeltmeler dikkate alınır. Pratik havatriyangülasyon işleminde bunlar dikkate alınmaz.

Komparatörlerle ölçme işlemine başlamadan önce belirli bir zaman (söz gelimi yarım saat evvelden) ışıkları yakılarak bekletilir. Sonra aletin iç ısı-sı kontrol tertibatı çalıştırılarak bulunduğu ortamın ısısına uyma olanağının sağlanması gerekir /65/,/51/,S.57. Ayrıca komparatör ölçmeleri sırasında ölçü yapılan odanın sıcaklığı kontrol edilmelidir. Ölçü aletlerinin presizyonu yapım ilkelerine bağlıdır. Yapıdaki ayrıntılara girmeden ADBE komparatör ilkesine göre yapılan ölçü aletlerinin duyarlılığı, birinci derecede ölçü ağlarındaki ölçeğin doğruluğuna bağlıdır /69/.

Stereokomparatörün presizyonu bir takım etkenlerle birlikte ölçü şebekesinin doğruluk derecesine ve ölçüdeki büyütme, analog kıymetlendirme aletlerinde ise incelik derecesi aletteki bilyaların hareket doğruluklarına X ve Y raylarına, lenkerlere ve aletin ayarına bağlıdır /7/.

Fotogrametrik ölçüde tatbik hatası objektifin kalitesine, gözlem nesnesinin kontrast farklarına, ölçü göstergesinin ve ölçü nesnesinin çapına aydınlık derecesine, kalitesine, alım kamerasının odak uzaklığına, filmin kalitesine, uçuş yüksekliğine, gözleme objektifine, operatörün uyum zamanına ve gözlem büyütmesine bağlıdır. Ayrıca gözlenen nesnenin kalitesine ve emilsiyonun tane büyüklüğüne de tabidir /7/,/54/.

Hava triyangülasyon ölçülerinde;

a) Teşhis etme hatasından kaçınmak için resim ve modellerde kullanılan noktalar ya doğal noktalar olmalı ya da nokta işaretleyicisi ile belirtilmiş olmalıdır.

b) Kullanılan ölçü aletlerinin ayar durumları devamlı kontrol edilmelidir.

c) Nokta işaretleyicisi ile işaretlenen noktalar resimlerin orta eksenleri üzerinde olmalıdır /52/,/7/.

2.3.2.9. Yer Eğriliği ve Harita Projeksiyonu

Resim hataları olarak yukarıda sıraladığımız hatalara ilaveten yer eğriliğinin etkisinde dikkate alınmalıdır. İki ayrı koordinat sistemiyle çalışma yapıldığından yer eğriliği problemi ortaya çıkar. Önce karteziyen koordinat sisteminde belirtilmeli sonra geodezik sisteme transforme edilmelidir /37/,S.1741 Yer eğriliğinin etkisi ilk yaklaşımla bağımsız alımların distorsiyon hatası olarak kabul edilir ve giderilir /24/.

Yer eğriliğinin etkisi bağımsız modellerde küçük fakat bağımlı modellerde yani hava poligon yöntemine göre bir kolonun ölçüsü yapılırsa bu etki büyür.

Dağlık arazilerde ve uzun kolonlarda, kolon boyunca örneğin kolon eksenini X ise ΔX kapanma hatası artar. Bu hataya bağlı kalınarak kolonların ne kadar uzunlukta veya kaç modelden oluşan kolon kullanılacağı önceden saptanır. 20 den fazla modelden oluşan uzun kolonlarda yüksekliklerdeki düşme, aletin Z ve bz aralığını aşabilir. Sınırlayıcı bu durumları ve yer eğriliğinin etkisini gidermek için değişik yöntemler geliştirilmiştir /90/,/22/,/19/.

Fotogrametride en iyi şekilde resim hatalarının tanımlanması fotogrametrik hata teorisi olarak gelecekte daima uğraşı ve araştırma konusu olarak devam edecektir.

2.3.3. Resim Koordinatlarının Hata Özellikleri

Uçuş yüksekliğine göre değişen resim ölçeği, ölçü ya da gözleme durumu fotoğrafik katmanların deformasyonu, iç yöneltme elemanlarının saptanması ve yapılan birtakım transformasyon işlemleri, resim koordinatlarını etkilemektedir. Bu etki, muhtelif açıklıklı hava kameraları ile değişik resim boyutları ve filmler türleri kullanılarak yapılan görgül yani görerek ya da deneyerek ve kuramsal araştırma sonucu ortaya çıkarılmıştır. Böylece istenilen noktaların resimden ölçülen resim koordinatları bir miktar değişmeye uğrar. Esas koordinat yerine hatalı değer elde etmemize neden olur.

Koordinat ölçme inceliği genel olarak fotoğrafik resmin tanımına yani optik izdüşümün hassasiyetine, objektif ve emilsiyonun ayırma derecesine, resim malzemesinin boyutlarını koruyabilme durumuna bağlıdır /13/,S.82. Ayrıca ölçme inceliği bağıl olarak da elde mevcut ölçü aletine ya da arzu edilen inceliği veren aletin seçimine de bağlıdır.

Pratik çalışma koşulları altında ortalama resim koordinat hatası 4 µm ile 15 µm arasında bulunmuştur /37/,S.1743.

2.3.3.1. Gözleme Hatası

Ölçü ya da gözleme inceliği çoğu kez tekrarlanan ölçülerden belirlenir. Çift ölçüden elde edilen bir gözlemin ortalama hatası:

$$m_M = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (2331.1)$$

formülü ile bulunur.

Burada d, aynı bir noktanın eşit incelikte iki gözleminin farkıdır.

N tekrarlama sayısı olmak üzere birçok ölçü için

$$m_M = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2331.2)$$

ve

$$v = 1 - \frac{[l]}{N} \quad (2331.3)$$

dir. $\frac{1}{N}$ birçok ölçünün aritmetik ortalaması ve 1 tek bir gözlemin sonucudur.

Resim koordinatlarının ölçüsünde kullanılan resimler çok defa ölçü aletinde türlü konumlarda olması mümkündür. Sonuçları mukayese etmeden önce koordinatları bir ölçüden diğerine bir benzer transformasyon ile dönüştürülmesi gerekir.

Benzer transformasyondan sonra ortalama kalıntı hata,

$$m_O = \sqrt{\frac{[V_x^2 + V_y^2]}{2n-4}} \quad (2331.4)$$

genel olarak ise

$$m_M = \sqrt{\frac{d_x^2 + d_y^2}{2(2n-4)}} \quad (2331.5)$$

şeklindedir. Ölçü hataları resimdeki noktaların konumuna bağlıdır. Gözleme inceliği büyüyen resim açısı ile azalır /66/,S.28.

REGENSBURGER yapmış olduğu incelemede VEB Carl-Zeiss aletlerini üniversal ölçü aleti olarak dikkate almış ve kare ağı ölçülerini benzer transformasyon ile dönüştürerek, aşağıdaki aletler için ortalama koordinat hatalarını bulmuştur /52/.

Koordinaten meßgerät (Koordinat ölçme aleti)	3030 ; $m_o = \pm 1\mu m$
Stereo komparatör	1818 ; $m_o = \pm 3\mu m$
Stereoplanigraph	; $m_o = \pm 7\mu m$ ($z = 2c_k$)

2.3.3.2. Fotoğrafik Katmanların Düzlem Deformasyonu ve Düz Olmaması

Fotogrametrik işlem sırasında Réseau konstrüksiyon ilkeleri de dikkate alınarak katmanların düzlem deformasyonları ve katmanların düz olmaması nedeniyle poz verme esnasında ortaya çıkan hataları, réseau kameraları ile çekilen resimler kullanılarak bulunur.

Analitik hava triyangülasyonunda, film deformasyonlarının etkilerini gidermek için son zamanlarda imal edilen Réseau kameraları kullanılır. Resim ölçme sırasında 4 réseau gösterge noktasının koordinatları ya da istenen incelikte bir sonuç için altı veya daha çok yada tüm kare ağı noktalarının koordinatları okunarak benzer transformasyon veya yüksek dereceden polinom ile dengeleme yapılır. Ayrıca dengeleme sonucunda kaba hatalar da ortaya çıkarılır /90/,S.71, /45/.

Réseau göstergelerinin kopyelerinin ortalama konum (planimetri) hatası olarak $10.2 \mu m$ ve film deformasyonlarından, düz olmamasından, kopye hatasından ve ölçme hatasının bir kısmı dahil edilerek bir réseau noktasının ortalama konum hatası olarak resmin ortasında $7,2 \mu m$ bulunmuştur /66/,S.5.

Bu hatalar çoğunlukla sistemattiktir. Bazan da bölgesel sistemattik ve tesadüfi karakterde olabilir /37/,S.1742. Herşeyden öncede bu hatalar için affinite söz konusudur.

2.3.3.3. İç Yöneltilmenin Oluşturulması Sırasında Çeşitli Transformasyon Düzenlerinin Resim Koordinatlarına Etkisi

Hava triyangülasyonu ya analitik olarak yalnız komparatörde ölçülen resim koordinatları ve uçuş sırasında fotoğrafa kayıt edilen yöneltilme verilerine ya da analog yöntemle ortak alanları bulunan bindirilmiş resim çiftleriyle stereo değerlendirme aletlerinde oluşturulan modellerden istifade edilir.

Bu işlemler yapılırken örneğin resimlerden okunan koordinatlar uygun bir başlangıça dönüştürülmesi gerekir. Düzlem benzer transformasyonda, 4 parametrenin tayini için X ve Y koordinatları belirli ortak 2 nokta matematik olarak yeterli olmasına karşılık, kaba hatayı önlemek için fazla koordinatı bilinen noktalarla En Küçük Kareler Yöntemine göre dengeleme ile parametreler bulunur. Böylece olanak dahilindeki bir kaba hata önlediği gibi gerçeğe yakın değerler bulmamıza yardımcı olur. Bazan da bu dönüşümler ihtiyaca göre affin ya da projektif transformasyon ile de yapılabilir. Dönüşüm yapılırken bulunan parametrelerin hatası /37/, bir i resminin koordinat hatası ve ardışık i ve j resimlerinin koordinat hatalarının korelasyon katsayısı hesaplanabilir /66/,S.37,/28/, S.314,/88/,S.444;/89/.

2.3.3.4. Çeşitli Resim Açılarında Bulunan Resim Koordinatlarının Tüm Hataları

Yukarıda bahsedilen film deformasyonları, ölçü ve kopye hatası b.b. ilaveten resim koordinatlarına etki eden tüm hatalar ise;

- 1- Projeksiyon merkezinin koordinatlarını belirtmek için yapılan uzay geriden kestirmesi,
- 2- Resim hatalarının içerdiği kuvvetli fiziki ve cebrik korelasyondaki ağırlık kabulleri,
- 3- Uzay geriden kestirmede resim noktalarında bulunan kalıntı hatalar sayılabilir.

2.3.4. Model Koordinatlarının Hata Özellikleri

Verilen bir ışın demeti arazi noktalarına göre öyle yerleştirilmelidir. noktalar ile bu noktalara karşı gelen ışınlar arasında en kısa mesafelerin kareleri toplamı, minimum olsun şeklinde RINNER uzay geriden kestirmesinin, fotogrametrik yöneltme ödevini tanımlamıştır /55/.

İstasyon noktası havada olduğu zaman dış yöneltme elemanları ölçülmez. Bilinmeyenler çift nokta geriden kestirmesine göre analog ya da analitik yöntem ile bulunur. Ardışık iki istasyon noktasından yapılmış alımların dış yöneltme elemanlarının tayini iki aşamada yapılır. Önce karşılıklı yöneltme ile 5 bilinmeyen, ikinci aşamada mutlak yöneltme işlemi ile geriye kalan 7 bilinmeyen çözülür. Böylece iki istasyon noktasına ait 12 bilinmeyen iki aşamada belirtilir. İki ışın demetinin en az 5 homolog ışınlarının kesiştirilmesiyle fotogrametrik model oluşur. Beş ışının kesişmesini sağlamak için bir ışın demetinin üç defa döndürülmesi ve ışın demetlerinin tepe noktasından bir tanesinin iki defa kaydırılması gerekir. Diğer bir deyişle 5 noktadaki y paralaksının giderilmesidir. Bu yapılan işlem KARŞILIKLI yöneltmeden başka birşey değildir. Böylece alımı yapılmış objenin benzeri bir model elde edilmiştir. Fakat bu model ölçeksizdir ve tam olarak objeyi tanımlamaz. Mutlak yöneltme yapılarak modele gerçek ölçeği verilir. Bu son model araziye çakışmakta olan ölçülebilir fotogrametrik bir modeldir.

2.3.4.1. Resim Koordinatlarından Model Koordinatlarına Analitik Geçiş

Karşılıklı analitik yöneltme HALLERT tarafından tanımlandığı şekilde belirlenir /33/. Model koordinatlarının ortalama hatası, normal stereo fotogrametrideki resim ölçeği, model ölçeği olarak değiştirilir ve hata yayılma kanunu uygulanarak bulunur.

Resim hatalarının büyük bir kısmı sistematik olduğu biliniyor. Bundan dolayı tesadüfi hatalar için hata yayılma kanunu uygulanır. Model koordinatlarına sistematik kısımların etkisini önceden tahmin etmek olanaksızdır.

Réseau kameraları ile yapılan ölçülerin düzeltilmeden sonra (örneğin afin transformasyona göre) modeller için ortalama koordinat hataları verilmiştir /44/, /52/.

MEIER'e göre /44/,

	<u>mX</u>	<u>mY</u>	<u>mZ</u>
	<u>µm</u>	<u>µm</u>	<u>µm</u>
*)			
NW	1.9	3.7	12.5
WW	2.5	4.8	9.5
ÜWW	3.8	8.5	8.7

Resimlerin kenarlarında ve ortasında yapılan ölçülerin büyüklükleri incelik bakımından hiçbir zaman aynı değildir. Resim ortası ile kenarları arasındaki resim koordinatlarının incelik farkı aşağı yukarı 1:2 dir. Bu oran, modelde ise yaklaşık olarak X ve Y koordinatları için 1:4 ve Z koordinatı için $1:\sqrt[3]{2}$ civarındadır.

2.3.4.2. Model Koordinatlarına Sistematik Resim Hatalarının Etkisi

Model koordinatlarına sistematik resim hatalarının etkilerini belirtebilmek için kare açılı noktalarının resim koordinatları, kamera sabiteleri ve geniş açılı resimler için bağımsız modeller kullanılmalıdır. Kontrol noktası olarak kullanılan 5 réseau noktasının olması icap eden değerlerine model, uzay benzer transformasyon yardımıyla uyğturulur.

Sistematik hataların modele etkisini, maalesef tam olarak belirlemek olanaksızdır. Model ortası ile kenarları arasında incelik farkı, X doğrultusunda aşağı yukarı 1:2, Y doğrultusunda 1:4 ve Z doğrultusunda 1:1,5 değerindedir. Çeşitli alım kameraları, bu oranları pek etkilemezler. Mutlak yöneltmeden sonrada önemli bir değişiklik ortaya çıkmaz /23/,S.16.

Normal açılı kameralarda model kenarlarında sistematik model hataları tesadüfi model hatasına göre takriben 2 misli, model ortasında sistematik ve tesadüfi model hataları aynı büyüklüktedir. Geniş açılı kameralarda tesadüfi ve sistematik hatalar model kenarında aşağı yukarı eşit, model ortasında sistematik hata takriben tesadüfi büyüklüğün yarısı kadardır. Çok geniş açılı kameralarda tesadüfi hataların sistematik hatalara oranı sistematik hatalar lehine

*) NW Normal açılı alım, WW Geniş açılı alım, ÜWW Çok geniş açılı alım

değişir /66/,S.50.

Sistemik hata kısımlarının giderilmesi ile incelik artımı (örneğin réseau yardımıyla) küçük açılı kameralarda daha etkilidir. Aynı bu neticeye MEIER de ulaşmıştır /44/.

Sistemik hatanın tesadüfi hataya ortalama oranı değişik kameralar için verilmiştir /66/, S.50.

Normal açılı kameralar için : ms:mz = 1:0.75

Geniş açılı kameralar için : ms:mz = 1:1.8

Çok geniş açılı kameralar için : ms:mz = 1:2.3

2.3.4.3. Yönelme Elemanlarının İnceliğine Karşılıklı Yönelmede Kullanılan Noktaların Konumunun ve Sayısının Etkisi

Analog ve analitik hava triyngülasyonu yöntemiyle bulunan kontrol noktalarının inceliği; hava triyngülasyonu ve yönelme yöntemine ayrıca yönelme bilinmeyenlerinin hesabında kullanılan nokta düzenine, sayısına ve başkaca arazinin yaklaşık olarak düz olmasına bağlıdır.

Bir yönelme yönteminin üstünlüğüne karar vermek ve modelde bulunan kalıcı hataları tahmin etmek için model koordinatlarına, yönelme elemanlarının hata etkileri hesaplanması istenir. Yönelme yönteminin etüdü ve erişilen sıhhat derecesi hakkında bir fikir edinebilmek ve hassasiyeti artırabilmek için değişik yönelme elemanlarının sonuca etkilerini, model koordinatlarındaki ortalama hataları ve artık hataları bilmek gerekir. BACHMANN /14/ ve HALLERT'in /32/ hata teorisi esas alınarak muhtelif araştırmalar yapılmıştır /52/, /13/, S.268.

Evvela yönelme bilinmeyenlerinin ağırlık katsayıları (Q_{byby} , Q_{bzbz} , $Q_{\alpha\alpha}$, $Q_{\phi\phi}$, $Q_{\omega\omega}$) nokta sayısına ve dağılımına bağlı olarak hesap edilir. Sonrada model koordinatlarının ağırlık katsayıları (Q_{xx} , Q_{yy} , Q_{zz}) yönelme elemanlarının ağırlık katsayılarının fonksiyonu olarak belirtilir. Ortalama model koordinat hataları aşağıda ki gibi hesap edilir.

$$m_x = \sqrt{Q_{xx}} \cdot m_o$$

$$m_y = \sqrt{Q_{yy}} \cdot m_o$$

$$m_z = \sqrt{Q_{zz}} \cdot m_o$$

$$m_o = \sqrt{\frac{[vv]}{n-5}}$$

(2343.1)

Pratik araştırmalar göstermiştir ki yöneltme yönteminin kaideye uymıyan yani düzensiz hata dağılımlı nedeniyle modelde quasi-sistemik hata etkileri görülür. Model koordinatlarının ağırlık katsayılarını elde etmek için model sahasına kurala uygun dağıtılmış nokta bulunmalıdır. Genel olarak 6 nokta yerine 9,12 bazan 20 ve daha fazla nokta alınarak model koordinatları için ortalama hatalar bulunursa, 6 noktaya karşılık 20 noktada yapılan hesaplamalarda incelik artımı % 30 yükselir /36/.

Karşılıklı yöneltme elemanlarının inceliği ölçü noktalarının sayıları ile artar. Yalnız l sayısının artması ile hesap süresi uzar. İncelik ile ekonomi arasında optimal bir bağıntı bulunmalıdır.

2.3.5. Fotogrametrik olarak Kullanılan Memleket Koordinatlarının Hata zellikleri

Modelin yneltmesinden sonra fotogrametrik noktalar, memleket koordinat sistemine dönüştürülür. Memleket sistemiyle fotogrametrik modeli irtibatlandırmak için her iki koordinat sistemindeki ortak noktalar kullanılır. Modelde ve memleket sisteminde eşlenik olan yer kontrol noktasının sayı ve konumuna göre uygulanacak transformasyon şekli seçilir. Transformasyon parametreleri bulunduktan sonra geri kalan fotogrametrik noktaların memleket sistemindeki koordinatları bulunur.

Bu noktaların memleket koordinatlarındaki inceliği:

- Fotogrametrik nokta kümesindeki noktaların inceliğine,
- Memleket sistemindeki yer kontrol noktalarının inceliğine,
- İdentifikasyonun usulüne uygun şekilde yapılmasına yani güvenilir olmasına,
- Fotogrametrik nokta kümesindeki yer kontrol noktalarının konumuna bağlıdır /66/,S.53.

2.3.5.1. Model Koordinatlarından Memleket Koordinatlarına Transformasyon

Fotogrametride kullanılan düzlem ve uzay transformasyonların muhtelif şekilleri ve çözüm yöntemleri vardır. Çoğunlukla standart şekil olarak benzer transformasyon uygulamalı fotogrametride tercih edilir.

Fotogrametride bilindiği gibi koordinat sistemleri; resim koordinatları, makina ya da model koordinatları ve kolon koordinatlarıdır. Örneğin stereokomparatör yardımıyla resim koordinatları okunur uzay bir transformasyonla kolon koordinatlarına, buradan tekrar bir transformasyon ile memleket koordinat sistemine dönüştürülür. Uygulamada birtakım aşamalardan sonra gerçekleştirilen bu uzun işleme "analitik değerlendirme" ismi verilir /75/.

Tüm geodesik ödevlerin çözümlerinde olduğu gibi söz konusu koordinatı bilinen noktaların sayısı problemin çözümü için yeterli minimum sayıdan çok olmalıdır. Fazla bilinenler muhtemel bir kaba hatayı önleyeceği gibi gerçeğe daha yakın değerler bulmamıza yardım ederler. Transformasyon parametreleri En Küçük Kareler Yöntemi kullanılarak hesaplanır /89/,/26/.

Transformasyonların inceliği hakkında bir hüküm verebilmek için aynı fiziksel koşullar altında ölçülerin ortalama hataları ve kalıntı hataları benzer ve affin transformasyonlar kullanılarak hesap edilmiştir /40/. Ayrıca transformasyon parametrelerinin ortalama hataları /87/, X,Y,Z koordinatları için ağırlıklar ve TIENSTRA kaidesi dikkate alınarak Q_{xx} , Q_{yy} , Q_{zz} ağırlık kovaryansları (tersi) bulunur /40/. Yer kontrol noktalarının koordinatlarının m_x, m_y, m_z ortalama hataları hesap edilir.

Model kenarları ile model ortası arasında koordinat incelik farkı X koordinatı için maksimum 3:1, Y koordinatı için 4:1 oranı elde edilmiştir /66/, S.56.

2.3.5.2. Kontrol Noktalarının İnceliği

Kontrol noktalarının gerekli inceliği, memleket koordinatlarından istenilen inceliğine bağlıdır /79/,Mad:139,142. Resim ölçeğinin uygun seçimiyle koordinat hatalarını oluşturan hatalardan yersel ölçü ve fotogrametri hatalarının fotogrametrik kesimi tayin edilebilir. Kontrol noktası hatalarının

büyüklüğü için bir tolerans tayini gerekir. Bu tolerans ise fotogrametrik in-
celiğe uygun bir oranda olmalıdır. Bu hataların herbirinde tüm hatalardan eşit
büyüklükte kısımlar bulunması istenirse;

$$\begin{aligned} m_T &= m_G : \sqrt{2} \\ m_t &= m_H : \sqrt{2} \end{aligned} \quad (2352.1)$$

alınmalıdır. Burada:

m_G = Kontrol noktasının tüm ortalama konum hatasını,
 m_H = " " " " yükseklik konum hatasını,
 m_T = Yersel kontrol noktasının ortalama konum hatasını,
 m_t = Yersel kontrol noktasının ortalama yükseklik hatasını
göstermektedir.

Bir model sahası içersinde benzer transformasyon ile uyuşum sağlandıktan sonra sonuç farklar kontrol noktası hatalarıdır. Ortalama kontrol noktası hataları, tüm noktalar için büyüklükler eşit ve ağırlıklar /66/,S.61. alınarak;

$$\begin{aligned} m_x^2 &= m_T^2 \cdot Q_{xx} \\ m_y^2 &= m_T^2 \cdot Q_{yy} \\ m_h^2 &= m_t^2 \cdot Q_{hh} \end{aligned} \quad (2352.2)$$

tanımlanır. Modelde 5 kontrol noktası kullanılarak,

$$m_x = m_y \approx 0,53 \cdot m_T \quad (2352.3)$$

4 kontrol noktası için,

$$m_x = m_y \approx 0,60 \cdot m_T \quad (2352.4)$$

$$m_h \approx 0,65 \cdot m_t$$

(2352.1) ve (2352.2) ifadelerine göre yersel kontrol noktası belirlenmesine uygun tolerans dahilinde olabilen hata kısımları bulunur. 5 kontrol noktası dikkate alınırsa;

$$\begin{aligned} m_{x,y} &\approx m_G \cdot 1,30 \\ m_h &\approx m_H \cdot 1,15 \end{aligned} \quad (2352.5)$$

4 kontrol noktası için:

$$m_{x,y} \approx m_G \cdot 1,20$$

(2352.6)

$$m_h \approx m_H \cdot 1,10$$

Model sahasında 5 kontrol noktasına göre kontrol noktalarının konum koordinatlarının ortalama koordinat hatası ($m_{x,y}$) % 30, 4 kontrol noktasında % 20 ve kontrol noktalarının ortalama yükseklik hatası (m_h) 5 kontrol noktasında % 15, 4 kontrol noktasında % 10 civarında kabul edilir. Bu hatalar, tüm hatalardan daha büyük olabilirler /66/.

Türkiye'de hava triyangülasyonu noktalarının doğruluğu ve yersel ni-rengi ile mukayesesi hakkında şimdiye kadar yeterli araştırma yapılmamıştır. Sadece bazı kuruluşlar ihtiyaçları için çalışmalar yapmışlardır /90/,S.22;/38/.

2.4. Kolon Triyangülasyonunda Hata Teorisi

2.4.1. Tanım ve Kapsam

Şimdiye kadar triyangülasyonu yapılmış kolonlar esas alınarak kolon ve blok dengeleme yöntemleri geliştirilmiş, bir kolonun karışık yapısı nedeniyle kolon koordinatları bir takım hataların etkisi altında olduğu ve kolon deformasyonuna sebep olduğu görülmüştür. bunu açıklamak için kolon triyangülasyonunda hata teorisine ihtiyaç duyulmuştur.

Kolonların kendine özgü hata özelliklerini açıklamak için "çift hata toplamı teorisi" ortaya atılmıştır (GOTTHARDT 1944. /27/, REOLOFS 1949./57/, VERMEIR 1954 ./84/, ACKERMANN 1965. /3/.

2.4.2. Vermeir Hata Teorisi

Burada hata teorisi olarak VERMEIR hata modeli, esas alınmıştır. Bu teoride;

1- Resim koordinatlarının hata özellikleri dikkate alınarak hata yayılma kanunu ile kolon koordinatlarının hata özellikleri elde edilmesi söz konusu değildir.

2- Daha gerçek şekilde akla yakın basitleştirilmiş bir hata modeli alınmıştır. Fakat bu hata modeli ya ayrıntılı düşüncelerden oluşturulmuş ya da çeşitli modellere karşılık kontrolü yapılmıştır.

3- Vermeir teorisinde, tesadüfi hatalar bağımsız ve aynı incelikte kabul edilmiştir.

4- Vermeir'in hata teorisinde, kolon oluşumundan ziyade modellerin bağlantısı esas alınmıştır. Bu görüş ise bağımsız modellerle kolon triyângülasyonu yapısında uygundur. Böylece hava poligonunun diğer yöntemleri için de hata teorisi yönünden, yeterli bir tanım yapılmış olur.

5- Uygulanan basitleştirme nedeniyle, kolon koordinat hataları, yani kolon deformasyonları, model bağlantı hataları ile ortaya çıktığı kabul edilmektedir. Modellerin kendilerinin düzeltilmesi diye birşey dikkate alınmaz yani karşılıklı yöneltme, hata nedeni olarak görünmez. Gerçekte ise karşılıklı yöneltme bağlantı hatalarının oluşmasına yardım eder /37/,S.1745.

Böylece VERMEIR hata teorisinin model deformasyonlarını ve bölgesel bağlantıların ayrıntılarını içermediği açıktır. Bu teori daha çok uzun kolonların dengelemesi için belirli tanımların bulunacağı bir model vermektedir.

2.4.3. Kısa Tarihi Gelişim

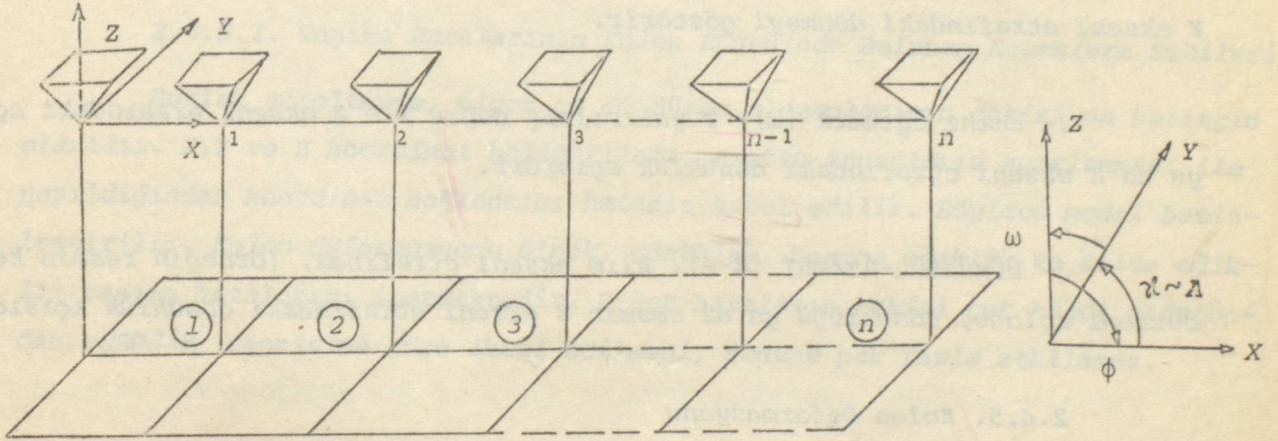
Yukarıda kısaca izah edilen VERMEIR hata teorisi ve diğer çift hata teorilerine ilaveten meşhur fotogrametri otoriteleri tarafından hava triyângülasyonunda hata teorisi, birtakım varsayımlar ve teknik ihtiyaçlardan hareket ile değişik şekillerde ele alınmış ve incelenmiştir.

Bunlardan O.v.GRUBER 1935. /29/, sadece kolon deformasyonlarına, sistematik hataların etki edeceğini, ZARZYCKI 1952 /92/, sistematik hataların değişik kaynaklarını inceleyerek bunların, nadir noktalarının yükseklik ve konum koordinatlarına etkisini göstermişlerdir. THOMPSON 1953 /80/ Kolon deformasyonlarının kuvvetli korelasyonları sebebiyle veya onların pseudo sistematik görünümlü resimlerden dolayı kolon deformasyonları, tesadüfi olanlardan çok zor ayrılır. SCHERMERHORN 1939 /59/, 1941 /60/, BACHMANN 1946 /14/, HALLERT 1955 /32/ hata teorisini değişik biçimde ele alarak örneğin HALLERT, sistematik ve tesadüfi

kataları incelerken ilk defa kendisi tarafından geliştirilen sayısal karşılıklı yöneltme yöntemini kullanmış ve taşıma elemanları için ağırlık katsayılarını vermiştir. Bunlardan ayrıca BRANDENBERGER 1951 /15/, BRUCKLACHER 1959 /19/, FÜRSTNER 1960 /25/, ve V.d.WEELE, ZELLER ve WİSER'in hata teorisine tarihi gelişim itibariyle kayde değer katkıları olmuştur.

2.4.4. Hataların Kolona Etkileri

VERMEİR'e göre bir triyangülasyon kolonu bağımsız, birbirine bağlanmış, karşılıklı yöneltmesi yapılmış resim çiftlerinden oluşur. Diğer bir deyişle model, resim çiftlerinden kolon ise ardışık sürekli modellerden elde edilir (Şekil: 5).

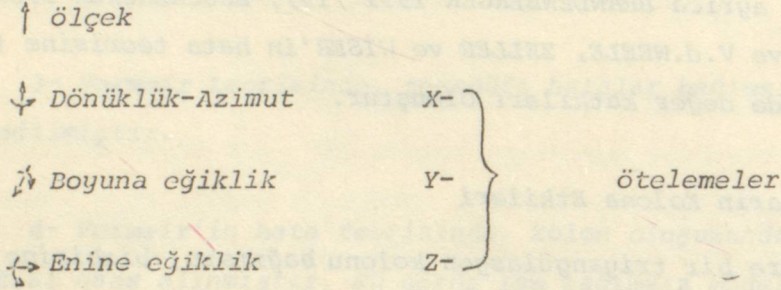


Şekil: 5.

Karşılıklı yöneltme, stereo değerlendirme aletlerinde optik-mekanik ya da sayısal yapıldığı gibi bilhassa son zamanlarda analitik olarak yapılmaktadır.

Kolonu oluşturan modellerin birbiriyle bağlantısı, mutlak yöneltme elemanlarının $(X, Y, Z, S, A, \phi, \Omega)$ bir modelden bir sonraki modele taşınması ve koordinat bağlantısı şeklinde gerçekleştirilir. Bu bağlantı işlemi ya analog ya da

analitik yöneltme yöntemlerine göre aşağıdaki elemanlar ile yapılır.



Genellikle uygulamada, uzay koordinat yani kolon koordinat sisteminin X eksenini, uçuş doğrultusu olarak alınır ise, bağlantıda kullanılan dönmeler için şekil 5. göre aşağıdaki tanımlar yapılır.

1- Boyuna Eğiklik (ϕ): Alım eksenini ile YZ düzlemi arasındaki açı ya da Y eksenini etrafındaki dönmeyi gösterir.

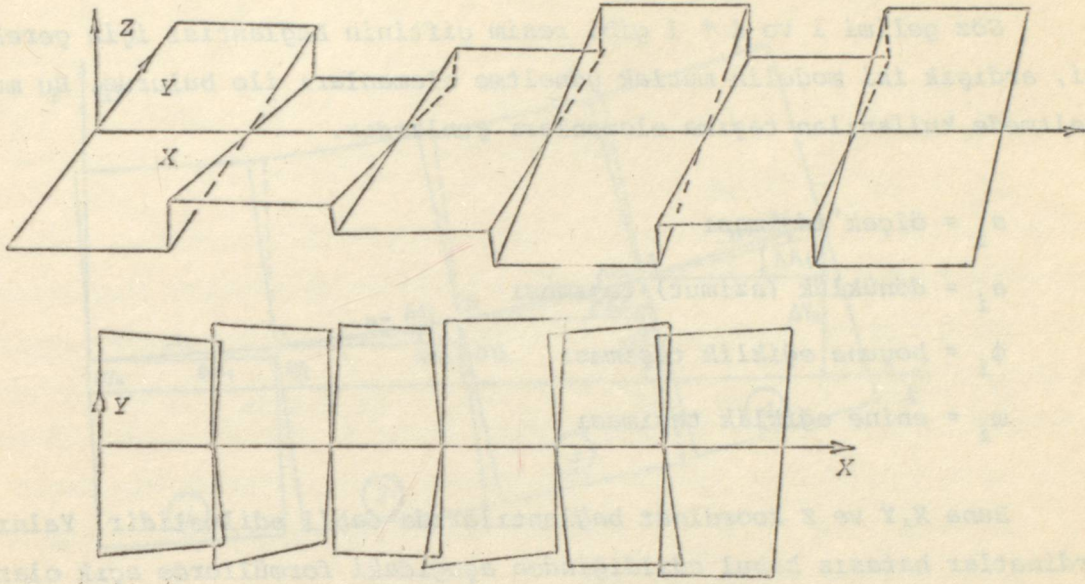
2- Enine Eğiklik (ω): Y yatırılmış doğru ile Z eksenini arasındaki açı ya da X eksenini etrafındaki dönüklük açısıdır.

3- Dönüklük-Azimet ($\alpha-A$): Alım eksenini etrafında, (örneğin resmin kendi düzlemi içinde) dönüklüğü ya da resmin Z eksenini etrafındaki dönüklük açısıdır.

2.4.5. Kolon Deformasyonu

Kullanılan yönteme bağlı olarak birtakım kaçınılmaz hatalar yapılır. İki modelin bağlantısı yapılırken ölçüler arasında koordinat aykırılıkları görülür (Şekil: 6). Modellerin birbirine eklenmesi ile meydana gelen kolon koordinat sisteminde mutlak yöneltme elemanlarının taşınması sırasında yapılan kaçınılmaz hatalar nedeniyle uyumsuzluklar belirir. Kolonda bulunan bir noktanın triyangülasyon koordinatları ile geodezik yöntemle belirtilen arazi koordinatları arasında farklar ortaya çıkar. Böylece kolondaki tüm noktaların koordinatları arazi koordinatlarına uymaz. Buna KOLON DEFORMASYONU denir (Şekil: 7).

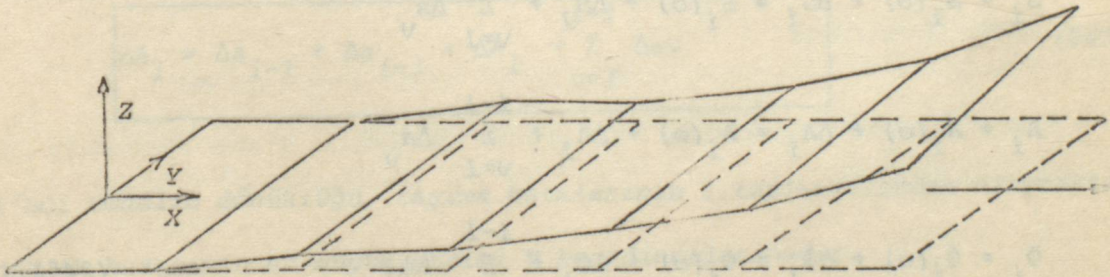
Ayrıca resim hataları, aletsel hatalar ve diğer hataların bu farklar üzerine etkisi vardır.



Şekil: 6.

2.4.5.1. Taşıma Hatalarının Kolon Ekseninde Bulunan Noktalara Etkileri

Mutlak yöneltmede, ölçek ve döndürme elemanlarının etkisi en belirgin olanıdır. X, Y ve Z koordinat bağlantıları, alette sayaçların ayarlanması ile yapıldığından koordinat bağlantısı hatasız kabul edilir. Böylece model basitleştirilir. Kolon deformasyonu ölçek, dönüklük, boyuna eğiklik ve enine eğiklik taşıma hatalarını içermektedir. Diğer hataların etkisi çok küçük olduğundan, VERMEİR teorisine göre ihmal edilmesi, sonucu pek fazla etkilemez.



Şekil: 7.

Söz gelimi i ve $i + 1$ gibi resim çiftinin bağlantısı için gerekli değerleri, ardışık iki modelin mutlak yöneltme elemanları ile buluruz. Bu mutlak yöneltmede kullanılan taşıma elemanları şunlardır.

s_i = ölçek taşıması

a_i = dönüklük (azimut) taşıması

ϕ_i = boyuna eğiklik taşıması

ω_i = enine eğiklik taşıması

Buna X, Y ve Z koordinat bağlantılarında dahil edilmelidir. Yalnız bu koordinatlar hatasız kabul edildiğinden aşağıdaki formüllerde açık olarak görünmezler.

i gibi resim çiftinin mutlak yöneltme elemanları ise

S_i = ölçek, A_i = Dönüklük (azimut)

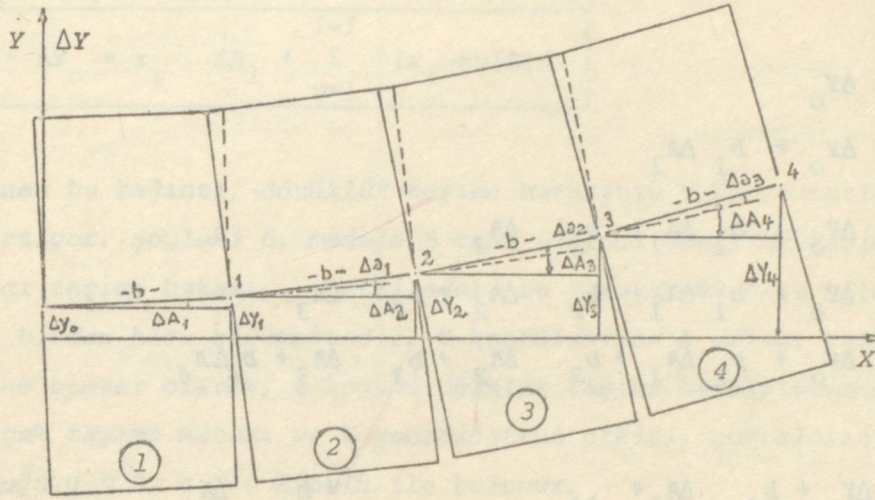
ϕ_i = Boyuna eğiklik, Ω_i = Enine eğiklik şeklinde gösterebiliriz. Bu elemanlar, birinci resim çiftinin ve bunu izleyen resim çiftlerinin keyfi alınmış ($S_1, A_1, \phi_1, \Omega_1$) başlangıç yöneltme elemanları ve birbirini izleyen bağlantı $s_v, a_v, \phi_v, \omega_v$; $v = 1, \dots, (i-1)$ elemanlarının fonksiyonları olarak tanımlanır. Fonksiyonları, (o) indeksli yaklaşık değerlerin ve Δ düzeltmelerinin toplamı şeklinde yazmak ve şekil: 8'den istifade ile çıkarmak istiyoruz.

$$S_i = S_i(o) + \Delta S_i = S_i(o) + \Delta S_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v$$

$$A_i = A_i(o) + \Delta A_i = A_i(o) + \Delta A_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta a_v$$

$$\phi_i = \phi_i(o) + \Delta \phi_i = \phi_i(o) + \Delta \phi_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \phi_v \quad (2451.1)$$

$$\Omega_i = \Omega_i(o) + \Delta \Omega_i = \Omega_i(o) + \Delta \Omega_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \omega_v$$



Şekil: 8.

$\Delta a_1, \Delta a_2, \Delta a_3, \dots$ dönüklük taşıma hataları olduğuna göre Azimut hata

sı:

$$\Delta A_1 = \Delta A_1 = \Delta A_1$$

$$\Delta A_2 = \Delta A_1 + \Delta a_1 = \Delta A_1 + \Delta a_1$$

$$\Delta A_3 = \Delta A_2 + \Delta a_2 = \Delta A_1 + \Delta a_1 + \Delta a_2$$

$$\Delta A_4 = \Delta A_3 + \Delta a_3 = \Delta A_1 + \Delta a_1 + \Delta a_2 + \Delta a_3$$

$$\Delta A_i = \Delta A_{i-1} + \Delta a_{i-1} = \Delta A_1 + \Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_{i-1}$$

$$\Delta A_i = \Delta A_{i-1} + \Delta a_{i-1} = \Delta A_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta a_v \quad (2451.2)$$

i 'nci modelin dönüklüğü, taşıma hatalarının 1.toplamlarından oluşmaktadır. Dönüklük hatasının en büyük etkisi Y koordinatlarındadır.

İlk modeldeki Y koordinat hatasına ΔY_0 denirse ve Şekil: 8 dikkate alınırsa,

$$\Delta Y_0 = \Delta Y_0$$

$$\Delta Y_1 = \Delta Y_0 + b_1 \Delta A_1$$

$$\Delta Y_2 = \Delta Y_0 + b_1 \Delta A_1 + b_2 \Delta A_2$$

$$\Delta Y_3 = \Delta Y_0 + b_1 \Delta A_1 + b_2 \Delta A_2 + b_3 \Delta A_3$$

$$\Delta Y_4 = \Delta Y_0 + b_1 \Delta A_1 + b_2 \Delta A_2 + b_3 \Delta A_3 + b_4 \Delta A_4$$

$$\Delta Y_i = \Delta Y_0 + b_1 \Delta A_1 + \dots + b_i \Delta A_i$$

$$\Delta Y_i = \Delta Y_0 + \sum_{\mu=1}^i b_{\mu} \cdot \Delta A_{\mu} \quad (2451.3)$$

i'nci nadir noktasındaki *Y* koordinat hatasıdır. (2451.2) no.lu eşitlik (2451.3) de yerine konursa aşağıda ki bağıntı elde edilir.

$$\Delta Y_i = \Delta Y_0 + \sum_{\mu=1}^i b_{\mu} (\Delta A_1 + \sum_{\nu=1}^{i-1} \Delta a_{\nu}) \quad (2451.4)$$

b sabit baz uzunluklu şematik ideal modeller kabul edilirse, ($b_1 = b_2 = \dots = b$)

$$\Delta Y_i = \Delta Y_0 + ib \Delta A_1 + b \sum_{\mu=1}^i \sum_{\nu=1}^{i-1} \Delta a_{\nu} \quad (2451.5)$$

elde edilir. *Y* koordinat hatası, dönüklük taşıma hatalarının çift toplamlarından oluştuğunu gösteriyor.

Baz uzunlukları birbirine eşit alınırsa, Şekil: 8 den aşağıdaki ifadeler yazılır /4/, S.14.

$$\Delta Y_0 = \Delta Y_0$$

$$\Delta Y_1 = \Delta Y_0 + b \cdot \Delta A_1$$

$$\Delta Y_2 = \Delta Y_0 + 2b \cdot \Delta A_1 + b \cdot \Delta a_1$$

$$\Delta Y_3 = \Delta Y_0 + 3b \cdot \Delta A_1 + 2b \cdot \Delta a_1 + b \cdot \Delta a_2$$

$$\Delta Y_4 = \Delta Y_0 + 4b \cdot \Delta A_1 + 3b \cdot \Delta a_1 + 2b \cdot \Delta a_2 + b \cdot \Delta a_3$$

$$\Delta Y_i = \Delta Y_0 + b(i\Delta a_i + (i-1)\Delta a_1 + (i-2)\Delta a_2 + \dots + 2\Delta a_{i-2} + \Delta a_{i-1})$$

$$\Delta Y_i = \Delta Y_0 + x_i \Delta A_1 + \sum_{v=1}^{i-1} (x_i - x_v) \Delta a_v \quad (2451.6)$$

Bulunan bu bağıntı, dönüklük taşıma hatasının Y koordinatlarına etkisini belirtiyor. Şöyleki 6. modele 5 tane birinci dönüklük taşıma hatası, 4 tane ikinci taşıma hatası, ... etki eder. Bu hata küçük olsa bile Y koordinat hatası birden bire büyümektedir. Y koordinatına A azimut taşıma hatasının etkisine benzer olarak, ϕ boyunu eğiklik taşıma hatası ve z koordinatına etkisi S ölçek taşıma hatası ve X koordinatına etkisi, noktaların eksen üzerinde bulunduğu $y \approx 0$, $z \approx 0$ kabulü ile bulunur.

$$\Delta \Phi = \Delta \Phi_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \phi_v \quad (2451.7a)$$

$$\Delta Z_i = \Delta Z_0 + x_i \Delta \Phi_1 + b \sum_{\mu=1}^i \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \phi_v \quad (2451.7b)$$

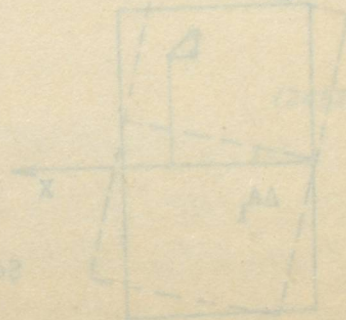
$$\Delta S_i = \Delta S_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v \quad (2451.8a)$$

$$\Delta X_i = \Delta X_0 + x_i \Delta S_1 + b \sum_{\mu=1}^i \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v \quad (2451.8b)$$

Çizelge: 1. de bu hatalar toplu olarak gösterilmiştir.

2.4.5.2. Taşıma Hatalarının Kolon Ekseni Dışında Bulunan Noktalara İlave Etkileri

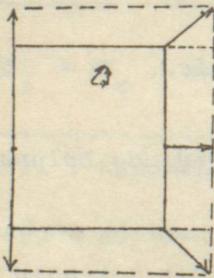
Taşıma hatalarının kolon ekseni dışındaki bir noktanın X koordinatına (Çizelge. 1) de gösterilen terimlerden başka ΔA , $\Delta \Phi$, Y koordinatına, ΔS , $\Delta \Omega$ ve Z koordinatına, ΔS , $\Delta \Omega$ taşıma hataları etkiler /37/S.1753/4/, A:S.17,/30/.



Taşıma Hatası	1. Toplam	2. Toplam Eksen Noktalarının Koordinat Hataları
Δs_v ($v=1..i-1$)	i Modelindeki Ölçek Hatası $\Delta S_i = \Delta S_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v$	$\Delta X = \Delta X_0 + X \cdot \Delta S_1 + b \cdot \sum_{\mu=1}^i \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v$ $\Delta X = \Delta X_0 + X \cdot \Delta S_1 + \sum_{v=1}^{i-1} (x - x_v) \cdot \Delta s_v$
Δa_v ($v=1..i-1$)	i Modelindeki Dönüklük Hatası $\Delta A_i = \Delta A_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta a_v$	$\Delta Y = \Delta Y_0 + X \cdot \Delta A_1 + b \cdot \sum_{\mu=1}^i \sum_{v=1}^{i-1} \Delta a_v$ $\Delta Y = \Delta Y_0 + X \cdot \Delta A_1 + \sum_{v=1}^{i-1} (x - x_v) \cdot \Delta a_v$
$\Delta \phi_v$ ($v=1..i-1$)	i Modelindeki Φ Hatası $\Delta \Phi_i = \Delta \Phi_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \phi_v$	$\Delta Z = \Delta Z_0 + X \cdot \Delta \Phi_1 + b \cdot \sum_{\mu=1}^i \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \phi_v$ $\Delta Z = \Delta Z_0 + X \cdot \Delta \Phi_1 + \sum_{v=1}^{i-1} (x - x_v) \cdot \Delta \phi_v$

Çizelge: 1. Kolon ekseninde bulunan noktalara taşıma hatalarının etkisi

a- i modelindeki ölçek hatasının Y ve Z koordinatlarına ilave etkisi

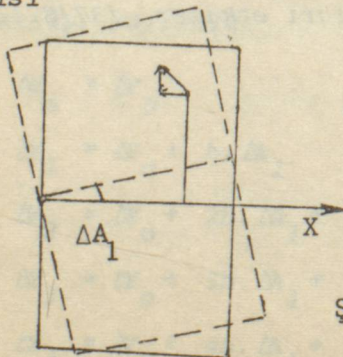


$$\Delta Y = Y \cdot \Delta S_i = Y \cdot (\Delta S_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v) \quad (2452.1a)$$

$$\Delta Z = Z \cdot \Delta S_i = Z \cdot (\Delta S_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v) \quad (2452.1b)$$

Şekil: 9.

b- i modelindeki dönüklük hatasının X ve Z koordinatlarına ilave etkisi

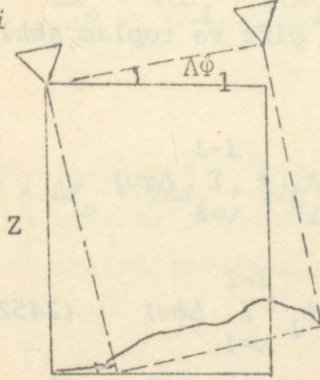


$$\Delta X = -Y \cdot \Delta A_i = -Y \cdot (\Delta A_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta a_v) \quad (2452.2a)$$

$$\Delta Z = 0 \quad (2452.2b)$$

Şekil: 10.

c- i modelindeki boyuna eğiklik hatasının X ve Z koordinatlarına ilave etkisi

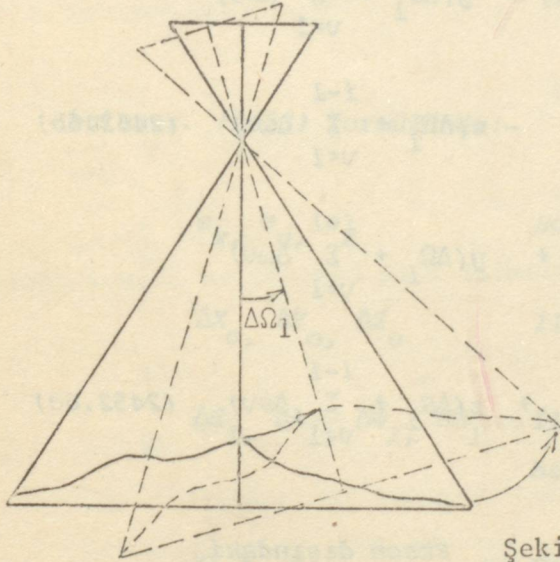


$$\Delta X = z \cdot \Delta \Phi_i = z(\Delta \Phi_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \phi_v) \quad (2452.3a)$$

$$\Delta Y = 0 \quad (2452.3b)$$

Şekil: 11.

d- i modelindeki enine eğiklik hatasının X, Y ve Z koordinatlarına ilave etkisi /4/, S.17-19.



$$\Delta \Omega_i = \Delta \Omega_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \omega_v \quad (2452.4a)$$

$$\Delta X = 0 \quad (2452.4b)$$

$$\Delta Y = -z \cdot \Delta \Omega_i = -z(\Delta \Omega_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \omega_v) \quad (2452.4c)$$

$$\Delta Z = y \cdot \Delta \Omega_i = y(\Delta \Omega_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \omega_v) \quad (2452.4d)$$

Şekil: 12.

ΔS , ΔA , $\Delta \Phi$, $\Delta \Omega$ mutlak yöneltme elemanlarının X, Y, Z koordinatlarına tüm etkisi (2451.3), (2452.1), (2452.2), (2452.3), (2452.4) eşitliklerinden ilgili terimler alınarak bulunur.

$$\Delta X = (\Delta X_o + b \sum_{\mu=1}^i \Delta S_{\mu}) - Y \Delta A_i + Z \Delta \Phi_i \quad (2452.5a)$$

$$\Delta Y = (\Delta Y_o + b \sum_{\mu=1}^i \Delta A_{\mu}) + Y \Delta S_i - Z \Delta \Omega_i \quad (2452.5b)$$

$$\Delta Z = (\Delta Z_o + b \sum_{\mu=1}^i \Delta \Phi_{\mu}) + Y \Delta \Omega_i + Z \Delta S_i \quad (2452.5c)$$

Eksen (Y=Z=0)

Eksen dışında

(2452.5) formüllerinde (2451.6), (2451.7b), (2451.8b), (2452.1), (2452.2), (2452,3), (2452.4)'deki değerler konursa çift ve toplam şeklinde kolon deşormasyonu bulunur.

$$\Delta X_i = (\Delta X_o + x_i \Delta S_1 + b \sum_{\mu=1}^i \sum_{v=1}^{i-1} \Delta S v) - y(\Delta A_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta a v) + z(\Delta \phi_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \phi v) \quad (2452.6a)$$

$$\Delta Y_i = (\Delta Y_o + x_i \Delta A_1 + b \sum_{\mu=1}^i \sum_{v=1}^{i-1} \Delta a v) + y(\Delta S_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta S v) - z(\Delta \Omega_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \omega v) \quad (2452.6b)$$

$$\Delta Z_i = (\Delta Z_o + x_i \Delta \phi_1 + b \sum_{\mu=1}^i \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \phi v) + y(\Delta \Omega_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta \omega v) + z(\Delta S_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta S v) \quad (2452.6c)$$

Eksen noktalarının
koordinat hataları

Eksen dışındaki
noktaların koordinat
hataları

Kolon deşormasyonu, bu ifadelerde görüldüğü gibi kolon ekseninde bulunan noktaların koordinat hataları, taşıma hatalarının çift toplamlarından, eksen dışında bulunan noktalarda ise taşıma hatalarının tek toplamlarından oluşmaktadır.

2.4.5.3. Kolon Deşormasyonunun Matematik Modeli

Taşıma hatalarının koordinatlara müşterek etkisi, son ifadede çift toplamlar yerine (2451.6) daki benzerleri konursa ve (v) nadir noktası numarası ve (i) model numarası olmak üzere:

$$\Delta X = \Delta X_0 + x\Delta S_1 - y\Delta A_1 + z.\Delta\Phi_1 + \sum_{v=1}^{i-1} (x-x_v)\Delta s_v - y \sum_{v=1}^{i-1} \Delta a_v + z \sum_{v=1}^{i-1} \Delta\phi_v + e_x$$

(2453.1a)

$$\Delta Y = \Delta Y_0 + y\Delta S_1 + x\Delta A_1 - z.\Delta\Omega_1 + y \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v + \sum_{v=1}^{i-1} (x-x_v) \Delta a_v - z \sum_{v=1}^{i-1} \Delta\omega_v + e_y$$

(2453.1b)

$$\Delta Z = \Delta Z_0 + z\Delta S_1 - x\Delta\Phi_1 + y.\Delta\Omega_1 + z \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v - \sum_{v=1}^{i-1} (x-x_v) \Delta\phi_v + y \sum_{v=1}^{i-1} \Delta\omega_v + e_z$$

(2453.1c)

bulunur. (2453) formülünde:

e_x, e_y, e_z

Bölgesel tatbik hataları,

$\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$

ilk modeldeki koordinat hataları,

$\Delta S_1, \Delta A_1, \Delta\Phi_1, \Delta\Omega_1$

ilk modelin mutlak yöneltme elemanlarındaki hatalar,

$X, Y, Z..$

Herhangi bir noktanın arazi sistemine dönüştürülmüş triyagülasyon koordinatları

$X_v...$

Nadir noktası koordinatlarıdır.

(2453.1) no.lu eşitlikler, kolon deformasyonunda dikkate alınan hatalar ile koordinatlar arasındaki bağıntıyı verirler. Kolon deformasyonunun matematik olarak formüle edilmesidir. Bu formüller, kolon deformasyonuna uyan matematik modeldir.

2.4.5.4. Matematik Modelin Polinoma Dönüştürülmesi

Kolonun oluşumu sırasında sistematik karakterde, sabit taşıma hataları bulunabilir. Bunlar örneğin resim hataları, stereodeğerlendirme aletlerindeki izdüşüm hataları, sistematik olup büyük bir kısmı sabittir. Genellikle

sabit kabul edilen taşıma hataları, kolon deformasyonunda en önemli kısmını oluşturur.

Taşıma hataları sabit ya da tesadüfi hatalar varsayımıyla hareket edilirse kolon deformasyonları değişik araştırma konusu olabilir. Bu hatalar sabit ve eşit kabul edilirse (2453.1) formülleri basitleştirilir.

$$\Delta s_1 = \Delta s_2 = \Delta s_3 = \dots = \Delta s_n = \Delta s$$

$$\Delta a_1 = \Delta a_2 = \Delta a_3 = \dots = \Delta a_n = \Delta a$$

$$\Delta \phi_1 = \Delta \phi_2 = \Delta \phi_3 = \dots = \Delta \phi_n = \Delta \phi$$

$$\Delta \omega_1 = \Delta \omega_2 = \Delta \omega_3 = \dots = \Delta \omega_n = \Delta \omega$$

(2453.1) formüllerindeki tek ve çift toplamlar x in birinci ve ikinci dereceden fonksiyonu şeklinde yazılabilir.

$$\sum_{v=1}^{i-1} (x-x_v) \Delta s_v = (x-x_1) \Delta s_1 + (x-x_2) \Delta s_2 + \dots + (x-x_{i-1}) \Delta s_{i-1}$$

$$= \left(\sum_{1}^{i-1} x - \sum_{1}^{i-1} x_v \right) \Delta s \quad ; \quad x_v = b.v$$

$$= x(i-1) \Delta s - (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{i-1}) \Delta s$$

$$= x(i-1) \Delta s - b.i \frac{(i-1)}{2} \Delta s$$

$$\approx \Delta s (i-1) \left(x - \frac{x}{2} \right) \approx \Delta s (i-1) \left(x - \frac{x_i}{2} \right) \quad x \approx x_i$$

$$\approx \Delta s . i . \frac{x}{2} = \Delta s . \frac{x^2}{2.b} = \left(\frac{\Delta s}{2b} \right) x^2 \quad i-1 \approx i$$

x e göre ikinci dereceden fonksiyon haline gelir. Diğer çift toplamlar da aynı şekilde ikinci dereceden fonksiyon haline getirilir.

$$\sum_{v=1}^{i-1} (x-xv)\Delta sv = \left(\frac{\Delta s}{2b}\right) x^2 \quad (2454.1a)$$

$$\sum_{v=1}^{i-1} (x-xv)\Delta av = \left(\frac{\Delta a}{2b}\right) x^2 \quad (2454.1b)$$

$$\sum_{v=1}^{i-1} (x-xv)\Delta\phi v = \left(\frac{\Delta\phi}{2b}\right) x^2 \quad (2454.1c)$$

Tek toplamlar ise;

$$\sum_{v=1}^{i-1} \Delta sv = (i-1)\Delta s$$

$i = \frac{x}{b}$ konursa,

$$\sum_{v=1}^{i-1} \Delta sv = \frac{x-b}{b} \Delta s = \frac{\Delta s \cdot x}{b} - \Delta s \approx \left(\frac{\Delta s}{b}\right) \cdot x \text{ bulunur.}$$

Diğer tek toplamlar aynı şekilde x'e göre birinci dereceden fonksiyon şeklinde yazılabilir.

$$\sum_{v=1}^{i-1} \Delta sv = \left(\frac{\Delta s}{b}\right) \cdot x ; \quad \sum_{v=1}^{i-1} \Delta\phi v = \left(\frac{\Delta\phi}{b}\right) \cdot x$$

$$\sum_{v=1}^{i-1} \Delta av = \left(\frac{\Delta a}{b}\right) \cdot x ; \quad \sum_{v=1}^{i-1} \Delta\omega v = \left(\frac{\Delta\omega}{b}\right) \cdot x \quad (2454.2)$$

(2454.1) ve (2454.2) eşitlikleri (2453.1) de yerine konursa,

$$\begin{aligned} \Delta X &= \Delta X_0 + x \cdot \Delta S_1 - y \cdot \Delta A_1 + z \cdot \Delta\phi_1 + x^2 \cdot \frac{\Delta s}{2b} - x y \cdot \frac{\Delta a}{b} + x z \cdot \frac{\Delta\phi}{b} + e_x \\ \Delta Y &= \Delta Y_0 + y \Delta S_1 + x \cdot \Delta A_1 - z \cdot \Delta\phi_1 + x y \frac{\Delta s}{b} + x^2 \frac{\Delta a}{2b} - x z \frac{\Delta\omega}{b} + e_y \quad (2454.3) \\ \Delta Z &= \Delta Z_0 + z \Delta S_1 - x \cdot \Delta\phi_1 + y \Delta\omega_1 + x z \frac{\Delta s}{b} - x^2 \frac{\Delta\phi}{2b} + x y \frac{\Delta\omega}{b} + e_z \end{aligned}$$

$$\Delta X_0 = a_0 \quad ; \quad \Delta Y_0 = b_0 \quad ; \quad \Delta Z_0 = c_0$$

$$\Delta S_1 = a_1 \quad ; \quad \Delta \Lambda_1 = b_1 \quad ; \quad \Delta \Phi_1 = c_1 \quad ; \quad \Delta \Omega_1 = d_1$$

$$\frac{\Delta S}{2b} = a_2 \quad ; \quad \frac{\Delta a}{2b} = b_2 \quad ; \quad \frac{\Delta \Phi}{2b} = c_2 \quad ; \quad \frac{\Delta \omega}{2b} = d_2$$

şeklinde gösterilir, bunların karşılıkları (2454,3) de yerine konursa bu formüller aşağıdaki şekli alırlar.

$$\Delta X = a_0 + a_1 x - b_1 y + c_1 z + a_2 x^2 - 2 b_2 xy + 2 c_2 xz + e_x \quad (2454.3a)$$

$$\Delta Y = b_0 + b_1 x + a_1 y - d_1 z + b_2 x^2 + 2 a_2 xy - 2 d_2 xz + e_y \quad (2454.3b)$$

$$\Delta Z = c_0 + c_1 x + d_1 y + d_1 z + c_2 x^2 + 2 d_2 xy + 2 a_2 xz + e_z \quad (2454.3c)$$

Formüllerin çıkarılışında esasen ihmal edilen model deformasyonlarının büyüklük derecesine bağlı olarak küçük ihmallere sokulmuştur. Bu formüllerle taşıma hataları sabit ve eşit olduğu varsayımından hareket edilmiştir. Böylece sabit taşıma hataları 2. derece polinomlarla ifade edilen sistematik kolon deformasyonlarına sebep olurlar, $a_0, b_0, c_0, a_1, b_1, c_1, d_1$ parametreleri kolon başlangıcındaki ilk modelin, mutlak yöneltme elemanlarındaki hataların etkileridir. Bunların kolon deformasyonu üzerine etkileri yoktur. a_2, b_2, c_2, d_2 parametreleri ise sabit taşıma hatalarından ileri gelen sistematik kolon deformasyonunu ifade ederler. Bu son dört parametre von Gruber katsayıları olarak tanınır. Veyahut 7 parametreye koordinat sistemindeki başlangıç şartları, diğer 4 parametreye ise gerçek deformasyonlar şeklinde tarif edilirler /37/,S.1756. Toplam 11 parametrenin, 7 tanesi yöneltme, 4 tanesinde gerçek kolon deformasyonu parametresidir.

(2454.3) formüllerini aşağıdaki şekilde gruplara ayırarak yazabiliriz.

$$\begin{array}{l} \Delta X = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \\ \quad - y(b_1 + 2b_2 x) \\ \quad + z(c_1 + 2c_2 x) \end{array} \left| \begin{array}{l} = \Delta X \text{ eksen} \quad (1) \\ - y \Delta \Lambda(x) \quad (2) \\ + z \Delta \Phi(x) \quad (3) \end{array} \right.$$

$$\Delta Y = b_0 + b_1 + b_2 x^2 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} = \Delta Y \text{ eksen} \quad (1)$$

$$+ y(a_1 + 2a_2 x) \quad + y\Delta S(x) \quad (2)$$

$$- z(d_1 + 2d_2 x) \quad - z\Delta\Omega(x) \quad (3)$$

$$\Delta Z = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 \quad = \Delta Y \text{ eksen} \quad (1) \quad (2454.4)$$

$$+ y(d_1 + 2d_2 x) \quad + y\Delta\Omega(x) \quad (2)$$

$$+ z(a_1 + 2a_2 x) \quad + z\Delta S(x) \quad (3)$$

Son bulunan formüllerin çizgi ile ayrılan ikinci kısmındaki eşitleri, (2452.5) ve (2452.6) ifadelerinden başka birşey değildir.

(2452.5), (2452.6), (2454.4) eşitliklerinde görüldüğü gibi bir modelin mutlak yöneltme ΔS , ΔA , $\Delta\Phi$, $\Delta\Omega$ elemanları, Δs , Δa , $\Delta\phi$, $\Delta\omega$ taşıma hatalarının birinci toplamlarından oluşur. Eksen noktalarının ΔX , ΔY , ΔZ koordinat hataları, modellerin mutlak yöneltme elemanlarının ΔS , ΔA , $\Delta\Phi$ hatalarının diğer bir toplamalarından yani karşılık olan taşıma elemanlarının ikinci toplamlarından oluştuğu görülmektedir. Modellerin ölçek, azimut ve boyuna eğiklikleri için ΔS , ΔA , $\Delta\Phi$ hataları, bulunan kolon deformasyonu ifadesinde eksen noktasındaki hataların birinci farklarından meydana gelmektedir. $\Delta\Omega$ enine eğikliğin ilavesiyle bu büyüklüklerin birinci farkları, Δs , Δa , $\Delta\phi$, $\Delta\omega$ taşıma hatalarını verirler.

2.4.6. Kolon Deformasyonlarının İrdelenmesi

Eksen deformasyonları $f_x(x)$, $f_y(x)$, $f_z(x)$ sürekli ve türevi alınabilir bağımsız fonksiyonlardır. Bu durumda yukarıda son bulunan bağıntıda, farklar yerine türevler ve fark katsayıları yerine türev katsayıları kabul edilerek yapılan değişikliklerden sonra aşağıdaki ifade geçerli olur /37/,S.1754)

$$\Delta X = f_x(x) - y f' y(x) + z f' z(x)$$

$$\Delta Y = f_y(x) + y f' x(x) - z f\Omega(x) \quad (246.1)$$

$$\Delta Z = f_z(x) + y f\Omega(x) + z f' x(x)$$

Yapılan bu değişikliklerden sonra (246.1) denklemleri, kolon dengeleme yöntemi için genel ifade şeklini alır, aynı şekilde kolon deformasyonları elde

edilir ve bunlara göre düzeltilmesi istenir.

(2454.4) eşitliğinde $y = z = 0$ alınarak kolon eksenini için koordinat deformatasyonları bulunur.

$$\begin{aligned}\Delta X_{ek} &= f_x(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \\ \Delta Y_{ek} &= f_y(x) = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \\ \Delta Z_{ek} &= f_z(x) = c_0 + c_1 x + c_2 x^2\end{aligned}\tag{246.2}$$

Bu bağımsız fonksiyonlardan kolon ekseninin dışındaki noktaların deformatasyonları için tüm diğer terimler çıkarılır.

$$\begin{aligned}\Delta S(x) &= \frac{\partial(\Delta X_{ek})}{\partial x} = f'_x(x) = a_1 + 2a_2 x \\ \Delta A(x) &= \frac{\partial(\Delta Y_{ek})}{\partial x} = f'_y(x) = b_1 + 2b_2 x \\ \Delta \Phi(x) &= \frac{-\partial(\Delta Z_{ek})}{\partial x} = f'_z(x) = c_1 + 2c_2 x \\ \Delta \Omega(x) &= = d_1 + 2d_2 x\end{aligned}\tag{246.3}$$

(246.3) dekiler (246.1) ifadesinin sağ tarafında konursa kolon deformatasyonunun polinomsal eşitliği elde edilir. Benzer olarak da diğer eksen fonksiyonlarından da bulunur.

$$\begin{aligned}\Delta S(x) &= \frac{\partial(\Delta Y)}{\partial y} = \frac{\partial(\Delta Z)}{\partial z} \\ \Delta A(x) &= \frac{\partial(\Delta X)}{\partial y} \\ \Delta \Omega(x) &= \frac{\partial(\Delta Z)}{\partial y} = -\frac{\partial(\Delta Y)}{\partial z} \\ \Delta \Phi(x) &= \frac{\partial(\Delta X)}{\partial z}\end{aligned}\tag{246.4}$$

Deformatasyonların ikinci türevleri ve aynı şekilde enine eğiklik fonksiyonunun birinci türevi, tüm sistemin kuruluşuna benzer olarak sürekli fonk-

siyonlardaki eğrilik değerlerine karşılık taşıma hatalarını vermek mecburiyetindedir.

$$\Delta s(x) = \frac{\partial S(x)}{\partial x} = \frac{\partial^2(\Delta X)}{\partial x^2} = f''_x(x) = 2a_2 = \text{Sabit}$$

$$\Delta a(x) = \frac{\partial \Delta A(x)}{\partial x} = \frac{\partial^2(\Delta Y)}{\partial x^2} = f''_y(x) = 2b_2 = \text{Sabit}$$

(246.5)

$$\Delta \phi(x) = \frac{\partial \Delta \Phi(x)}{\partial x} = \frac{\partial^2(\Delta Z)}{\partial x^2} = f''_z(x) = 2c_2 = \text{Sabit}$$

$$\Delta \omega(x) = \frac{\partial \Delta \Omega(x)}{\partial x} = f'_\Omega(x) = 2d_2 = \text{Sabit}$$

Başlangıçta (2454.3) nolu formül çıkarılırken taşıma hatalarının eşit ve sabit kabul edilmişti. Böylece (246.5) formülleri ile taşıma hatalarının sabit olduğu görülmektedir. Eğer taşıma hataları sabit değilse birinci dereceden fonksiyon kabul edilirse (2454.3) formülleri üçüncü dereceden olurdu. Diğer bir deyişle (246.2) de eksen noktasındaki koordinatların deformasyonları için, seçilen bağımsız fonksiyonlar üçüncü dereceden alınır ise (2454.3) ifadesi yani kolon deformasyonu formülleri 3. dereceden elde edilir. Yine eksen deformasyonlarını ifade eden fonksiyonlar bağımsızdır. Eksen dışındaki deformasyonlar ise bu fonksiyonlara bağlı olup $\Delta \Omega$ ilavesiyle elde edilir. Ayrıca bu 3. dereceden alınan fonksiyonun ikinci türevi birinci dereceden olup taşıma hatalarını verecektir.

Sonuç olarak taşıma hataları sabit ve eşit kabul edilirse kolon deformasyonu 2. dereceden olur. Taşıma hataları sabit değilse bir fonksiyon olarak alınırsa kolon deformasyonunu tanımlıyan polinomun derecesi, taşıma hatalarını ifade eden fonksiyonun iki üst derecesinde bulunur.

Kolon deformasyonunu üçüncü dereceden polinomlarla ifade etmek için eksen deformasyonuna uygun aşağıdaki bağımsız fonksiyonlar alınmalıdır.

$$f_x(x) = \Delta x_{ek} = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots$$

$$f_y(x) = \Delta y_{ek} = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 + \dots$$

(246.6)

$$f_z(x) = \Delta z_{ek} = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + \dots$$

(246.3) formüllerine göre bağımsız bu fonksiyonların birinci türevleri bulunur ve uygun $\Delta\Omega$ enine çikliğide dikkate alınarak (246.1) de, bu ifadeler konursa 3. dereceden polinom şeklinde kolon deformasyonu elde edilir.

$$\Delta S(x) = f'(x) = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + \dots$$

$$\Delta \Lambda(x) = f'(y) = b_1 + 2b_2x + 3b_3x^2 + \dots$$

(246.7)

$$\Delta \Phi(x) = f'(z) = c_1 + 2c_2x + 3c_3x^2 + \dots$$

$$\Delta \Omega(x) = d_1 + 2d_2x + 3d_3x^2 + \dots$$

$$\Delta X = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots = \Delta Xek \quad (1)$$

$$- y(b_1 + 2b_2x + 3b_3x^2 + \dots) = - y\Delta \Lambda(x) \quad (2)$$

$$+ z(c_1 + 2c_2x + 3c_3x^2 + \dots) = + z\Delta \Phi(x) \quad (3)$$

$$\Delta Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + \dots = \Delta Yek \quad (1)$$

$$+ y(a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + \dots) = + y\Delta S(x) \quad (2)$$

$$- z(d_1 + 2d_2x + 3d_3x^2 + \dots) = - z\Delta \Omega(x) \quad (3) \quad (246.8)$$

$$\Delta Z = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots = \Delta Zek \quad (1)$$

$$+ y(d_1 + 2d_2x + 3d_3x^2 + \dots) = + y\Delta \Omega(x) \quad (2)$$

$$+ z(a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + \dots) = + z\Delta S(x) \quad (3)$$

Burada 15 parametre olup 7 tanesi yöneltme, 8 tanesinde gerçek kolon deformasyonunu tanımlıyan üçüncü derece polinomlar bulunmuş olur. Uygulamada genellikle bu deformasyon polinomları, kolon dengelemesinde de en çok tercih edilenidir. İleride polinomlar ile kolon dengelemesi bahsinde geniş bilgi verilecektir.

2.4.6.1. Matematik Modeldeki Terimlerin Sınıflandırılması

(2454.4) ve (246.8) formüllerinde, terim gruplarının koordinatlara etkisini ifade etmektedir. Bu terimlerden:

(1) ile gösterilen gruplar mutlak yöneltme hatalarının kolon eksenini boyunca etkilerini, (2) ve (3) ile gösterilen gruplar aynı hataların kolon eksenini dışındaki noktaların ilave etkileri belirtmektedir.

(2454.4) ve (246.8) formüllerinde Δx , Δy , Δz deformasyonları arasında kuvvetli bir korelasyon olduğu görülür. Bu ilişki yöneltme hatalarının kolon eksenini dışındaki ilave etkilerinden ileri gelir.

2.4.6.2. Düz Araziye Ait Formüller

(2454.4) eşitliğinde $z = \text{sabit}$ ya da $z = 0$ alındığı zaman uygulamada düz kabul edilen bir arazi için sistematik kolon deformasyonu elde edilir.

(2454.4) ve (246.8) formüllerinde (3) ile gösterilen gruplar ortadan kalkar.

$$\Delta x = a_0 + a_1 x - b_1 y + a_2 x^2 - 2b_2 xy \quad (2462.1a)$$

$$\Delta y = b_0 + b_1 x + a_1 y + b_2 x^2 + 2a_2 xy$$

$$\Delta z = c_0 + c_1 x + c_2 y + c_3 x^2 + c_4 xy \quad (2462.1b)$$

Δz eşitliğinde d_1 yerine c_2 , c_2 yerine c_3 , $2d_2$ yerine c_4 alınmıştır. Artık son ifadelerde konum ile, yükseklik deformasyonları arasında bir ilişki olmayıp birbirlerinden bağımsızdırlar. Diğer bir deyişle, konum ve yükseklik deformasyon formüllerinde ortak hiç bir parametre yoktur. Böylece Δx , Δy konum koordinatları için 6 ve yükseklik için 5 bağımsız parametre ile konum ve yükseklik deformasyonları tanımlanmış olur.

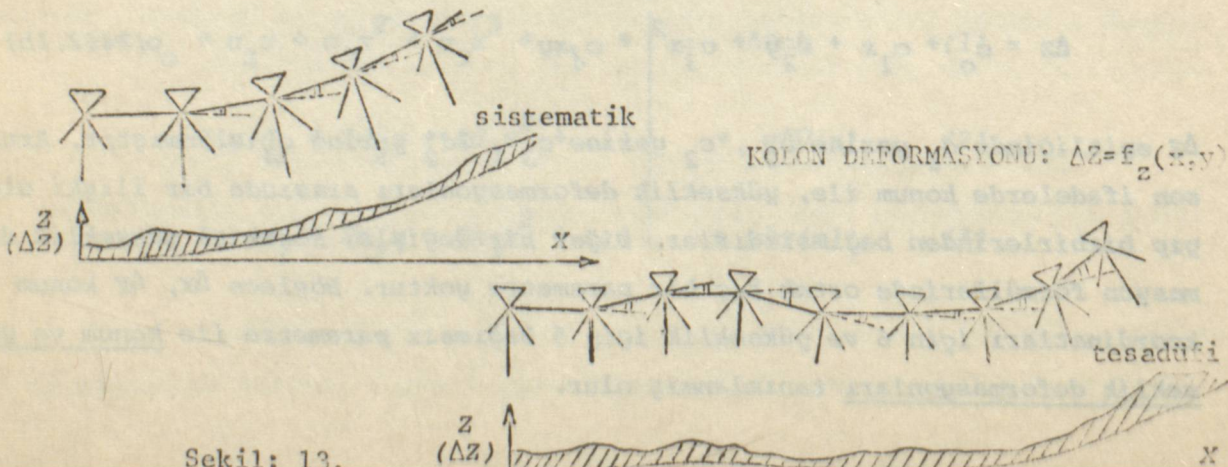
Uygulamada, sabit taşıma hatalarına uygun ikinci derece polinomlar yardımıyla kolon deformasyonlarının uyuşup uyuşmadığı yani hesap edilip edilmeyeceği sorusuna cevap verilmesi kalıyor. Bu konuya ilişkin ilk araştırmalar 1935 yılında O.v.GRUBER tarafından yapılmış olup kolon deformasyonlarında, bu gibi sistematik hataların daima etkili olacağı gösterilmiştir. /29/.

2.4.7. Tesadüfi Taşıma Hataları ve Kolona Etkileri

Kolon Deformasyonlarına tesadüfi ya da düzensiz (kaideye uymayan) taşıma hatalarının etkileri, sabit taşıma hataları gibi aynı şekilde gösterilemez. Düzensiz hataların büyüklük ve işaretlerini önceden söylemek olanaksız olup bu hataların gerek büyüklük gerekse işaretleri tesadüfi kanunlarına bağlıdır. Ancak bu tür hatanın etkisi GAUSS'un en küçük kareler kuramı tatbik edilerek bulunur.

Çeşitli hataların etkileri, belirtilmeden artık kolon deformasyonları, polinomlarla ya da benzer fonksiyonlarla genellikle tanımlanması ve önceden söylenmesi olanaksızdır. Yalnız tesadüfi hataların ikinci toplamlarının etkileri, şimdilik kolon ekseninin bükülmesi gibi kabul edilmektedir. /37/,S.1758. Çizelge: 2'de tesadüfi hataların çift toplamları verilmiştir. Ayrıca Şekil 13, 14'de sistematik ve tesadüfi ya da düzensiz hataların kolona etkileri görülmektedir.

Genellikle hava triyangülasyonunda, elemanter tesadüfi ϵ_i hata serilerinin iki defa toplanması ile a_i sistematik görünümdeki hatalar ortaya çıkmaktadır /13/,S.366)



Şekil: 13.

n	bΔφ	bΣΔφ	bΣΣΔφ	z.Δs	z.ΣΔs	Δz
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.6
2	-0.6	-0.9	-1.2	0.0	-0.3	-1.5
3	+1.2	+0.3	-0.9	+0.6	+0.3	-0.6
4	+0.6	+0.9	0.0	-0.6	-0.3	-0.3
5	-0.3	+0.6	+0.6	-1.2	-1.5	-0.9
6	0.0	+0.6	+1.2	0.0	-1.5	-0.3
7	-0.3	+0.3	+1.5	-1.2	-2.7	-1.2
8	-0.9	-0.6	+0.9	+2.7	0.0	+0.9
9	-0.6	-1.2	-0.3	+1.2	+1.2	+0.9
10	0.0	-1.2	-1.5	+0.3	+1.5	0.0
11	+0.3	-0.9	-2.4	+1.5	+3.0	+0.6
12	-1.5	-2.4	-4.8	-0.3	+2.7	-2.1
13	+1.2	-1.2	-6.0	-0.3	+2.4	-3.6
14	-0.9	-2.1	-8.1	+0.6	+3.0	-5.1
15	+0.3	-1.8	-9.9	+1.8	+4.8	-5.1
16	+0.6	-1.2	-11.1	+0.9	+5.7	-5.4
17	-0.6	-1.8	-12.9	-0.3	+5.4	-7.5
18	+1.2	-0.6	-13.5	0.0	+5.4	-8.1
19	+1.5	+0.9	-12.6	-1.2	+4.2	-8.4
20	0.0	+0.9	-11.7	-1.2	+3.0	-8.7
21	-0.9	0.0	-11.7	+0.9	+3.9	-7.8
22	-1.5	-1.5	-13.2	+2.1	+6.0	-7.2
23	+0.3	-1.2	-14.4	+0.3	+6.3	-8.1
24	+0.3	-0.9	-15.3	-0.6	+5.7	-9.6
25	-1.2	-2.1	-17.4	0.0	+5.7	-11.7

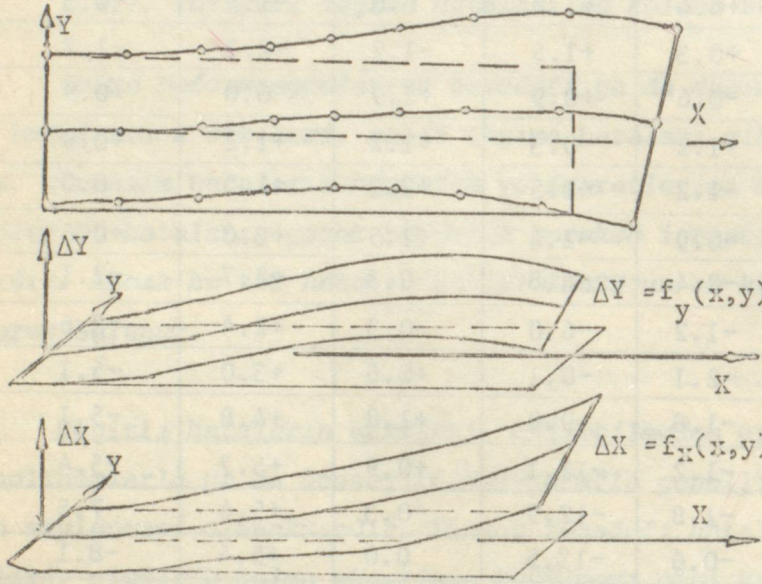
Birimler:mm/100; b = 90 mm , z = 153 mm ; σ_{Δφ}=0.6 , σ_{Δs} = 0.7·10⁻⁴

Çizelge: 2. Δφ ve Δs tesadüfi taşıma hataları için ve onların Δz hatasına {Δz:(7)=(4)+(6)} etkisini gösterir örn.

$$a_i = \left[\begin{matrix} \epsilon_i \\ \epsilon_i \\ \epsilon_i \\ \vdots \\ \epsilon_i \end{matrix} \right]_1^i = i \cdot \epsilon_1 + (i-1)\epsilon_2 + (i-2)\epsilon_3 + \dots + \epsilon_i \quad (247.1)$$

Bu hatalar yani çizelge:2. ye dikkat edilirse, çift toplamlar (4) ve Δz hataları (7) belirli sistematik özelliklere sahip olduğu görülmektedir /37/,S.1759.

Tesadüfi hataların iki defa toplanmaları halinde sistematik görünüm arzedeceğini önce GOTTHARDT /27/ zarlarla ve ROELOFS /57/ kura çekerek istatistikî deneylerle ispat etmişlerdir. Sonraları MORITZ /46/ hata teorisi yönünden bu görüşleri doğrulamıştır /13/, S.367. Kolon boyunca etkiyen tesadüfi hataların ikişerli toplamları ile meydana gelen hatalar, koordinat hata eğrisi ne düzenli bir şekilde etki yaptıklarını GOTTHARDT ve ROELOFS birbirinden habersiz olarak yapmış oldukları çalışmalarda göstermişlerdir.



Şekil: 14.

KOLON DEFORMASYONU:
{ $\Delta X = f_x(x, y)$; $\Delta Y = f_y(x, y)$ }

Tesadüfi hataların ikinci toplamları ile meydana gelen sistematik görünümdeki bu tesadüfi hata büyüklükleri, *sanhi-sistematik* (*quasi-sistematik*) adını alırlar. Diğer bir deyişle başlangıcı düzensiz olup fakat etkisi düzenli olan ikinci toplamlardan oluşturulan bu yeni hata türüne fotogrametride *sanhi-sistematik* olarak adlandırılmaktadır /11/.

Tesadüfi hataların çift toplamları için karakteristik olan özelliklerden bir kısmı şunlardır.

— Küçük taşıma hatalarında dahi ikinci toplamlar çabucak çok büyüğe değerlere ulaşabilir.

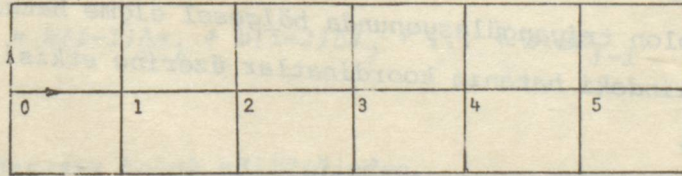
— Eğer VERMEIR sisteminde olduğu gibi bölgesel düzensizlikler hesaba katılmaz ise küçük mesafelerde yani birkaç model sahası dahilinde eğriler oldukça küçük eğrilikli düzgün bir gidış gösterirler. Böylece ani doğrultu değişimleri olmadığı görülür.

- Uzun mesafelerde yani 20, 30 yada daha çok modelin içerdiği kolonlarda eğrilerin özellikleri için önceden hiçbirşey söylenemez. Tesadüfi müstakil hataların büyüklük ve işaret sırasına bağlı olarak eğriler çok defa büyük eğrilik ve doğrultu değişimleri gösterirler yada küçük aralıklarla büyük bir uzunlukda nisbeten stabil görünen bir durum arzederler /37/,S.1758.

Demekki kısa mesafelerde düzensiz kolon deformasyonları sistematik bir şekil aldığı görülmektedir. Son iki özellik ise uzun mesafelerde "pseudo sistematik" kolon deformasyonu şeklindedir.

2.4.7.1. Ağırlık Katsayıları

Tesadüfi taşıma hataları nedeniyle kolon deformasyonunun sadece nicelik (kantitatif) yönünden tasvir edilen hata özellikleri, hata yayılma kanunu ile elde edilen incelik ve korelasyon değerleriyle de nitelik (kalitatif) doğruluğu saptanmış bulunuyor. Sistematik hatalara ilaveten tesadüfi taşıma hatalarının kolon koordinatlarına etkilerini, belirtmek için ölçüler ya da komşu bağlantı noktaları arasında kuvvetli korelasyonun dikkate alınmasıyla, kabul edilen hata modeli kolon deformasyonuna uyum gösterir. Böylece korelasyonun hesaba katılmasıyla stokastik model bütünlüğüne kavuşur. Dengeleme sonucu gerçeğe daha yakın değerler elde edilir /73/. Ölçülerin korelasyonlarını ifade eden ağırlık katsayıları belirtilmeli ve dengeleme sırasında göz önünde bulundurulmalıdır.



$$*) \sigma_o = 1, \quad b = 1, \quad \sigma \Delta \phi = \frac{\sigma_o}{b} = 1, \quad G^{zz} = \sigma_o = 1$$

$$\text{Eksen noktası:} \quad y = 0; \quad z = \sqrt{3}$$

*) σ_o = Birim Ağırlığın ortalama Hatası.

$$Q^{ZZ} + Q^{ZZ} + G^{ZZ} = Q^{ZZ}$$

(Çift toplam. $\Delta\phi$) (Tek toplam. Δs) (Ayar Hatası) (Toplam)

0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	1	1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	1	0 1 0 0 0 0 0
0 0 1 2 3 4 5	0 0 3 3 3 3 3	1	0 0 5 5 6 7 8
0 0 2 5 8 11 14	0 0 3 6 6 6 6	1	0 0 5 12 14 17 20
0 0 3 8 14 20 26	0 0 3 6 9 9 9	1	0 0 6 14 24 29 35
0 0 4 11 20 30 40	0 0 3 6 9 12 12	1	0 0 7 17 29 43 52
0 0 5 14 26 40 55	0 0 3 6 9 12 15	1	0 0 8 20 35 52 71

Şekil:15. Kolonda birkaç seçilmiş noktalar için Q^{ZZ} ağırlık katsayılar matrisinin oluşturulması için bir örnek.

Hava triyagülasyonu yapılmış bir kolonun birkaç noktası için ağırlık katsayıları Şekil: 15. göre mutlak yöneltme elemanlarının yani taşıma hatalarının ağırlık katsayılarının fonksiyonu olarak hesap edilir.

Bir kolon üzerindeki noktaların koordinatlarının karışık kofaktörleri, özellikle komşu noktalar arasında kuvvetli korelasyon olduğunu gösterir. Yukarda çift toplamlardan oluşan kofaktörler matrisi bunu sayısal şekilde gösteriyor. Sadece birinci matris tesadüfi boyuna eğiklik hatalarının çift toplamlarına, ikinci matris ise tesadüfi taşıma hatalarının tek toplamlarına işaret etmektedir. Son terim ise, ayar-tatbik hatasının etkisini belirleyen G^{ZZ} birim matrisinden başka birşey değildir /37/ , S.1761.

Analog kolon triyagülasyonunda bölgesel ölçme hatalarının yani ölçü markasının tatbikindeki hatanın koordinatlar üzerine etkisi (ex , ey , ez) dikkate alınmalıdır.

$$\sigma_{ex} \approx \sigma_{ey} \approx 10\mu\text{m} \text{ dan } 20\mu\text{m} \text{ kadar (Resim ölçeğinde)}$$

$$\sigma_{ez} \approx 0.1 \% 0 \text{ den } 0.2 \% 0 \text{ kadar (uçuş yüksekliğinin)}$$

2.4.7.2. Ortalama Hatalar

(2451.2), (2451.7a), (2451.8a), (2452.4a) bağıntılarına hata yayılma kanunu uygulanarak mutlak yöneltme elemanlarının ortalama hatalarını hesap edebiliriz. Önce hata yayılma kanunu uygulanırken *Tienstra* kuralı da dikkate

alınarak taşıma elemanlarının ağırlık katsayıları bulunur. Yalnız tüm taşıma hataları bağımsız, aynı doğrulukta ve ayrıca b baz uzunluğu sabit kabul edilerek aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$\Delta S_i = \Delta S_1 + \sum_{v=1}^{i-1} \Delta s_v \text{ eşitliğinin}$$

ağırlık katsayısı: $Q^{SS} = (i-1) \sigma^2 \Delta s$ olur.

Diğer elemanlar için:

$$Q^{SS} = (i-1) \sigma^2 \Delta s \approx \frac{x}{b} \cdot \sigma^2 \Delta s \quad \sigma_S \approx \sqrt{x}$$

$$Q^{AA} = (i-1) \sigma^2 \Delta a \approx \frac{x}{b} \cdot \sigma^2 \Delta a \quad \sigma_A \approx \sqrt{x} \quad (2472.1)$$

$$Q^{\Phi\Phi} = (i-1) \sigma^2 \Delta \phi \approx \frac{x}{b} \cdot \sigma^2 \Delta \phi \quad \sigma_{\Phi} \approx \sqrt{x}$$

$$Q^{\Omega\Omega} = (i-1) \sigma^2 \Delta \omega \approx \frac{x}{b} \cdot \sigma^2 \Delta \omega \quad \sigma_{\Omega} \approx \sqrt{x}$$

Aynı şekilde (2451.6), (2451.7b), (2451.8b) ifadelerine hata yayılma kanunu uygulanarak kolondaki herhangi bir noktanın X, Y, Z koordinatlarının Q^{xx} , Q^{yy} , Q^{zz} ağırlık katsayıları ve ortalama hataları belirtilir.

$$\Delta X_i = b(i-1)\Delta s_1 + b(i-2)\Delta s_2 + \dots + b \cdot \Delta s_{i-1}$$

ΔX_0 ve ΔS_1 hatasız kabul edildiğinden,

$$\Delta X_2 = b(\Delta s_1)$$

$$\Delta X_3 = b(2\Delta s_1 + \Delta s_2)$$

$$\Delta X_4 = b(3\Delta s_1 + 2\Delta s_2 + \Delta s_3)$$

$$\Delta X_5 = b(4\Delta s_1 + 3\Delta s_2 + 2\Delta s_3 + \Delta s_4)$$

Bu eşitliklerden aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$\begin{aligned} Q^{x_2x_2} &= b^2 \cdot 1 \cdot Q^{\Delta s \cdot \Delta s} & \sigma_{x_2} &\approx b \cdot \sqrt{1} \cdot \sigma \Delta s \\ Q^{x_3x_3} &= b^2 \cdot 5 \cdot Q^{\Delta s \cdot \Delta s} & \sigma_{x_3} &\approx b \cdot \sqrt{5} \cdot \sigma \Delta s \\ Q^{x_4x_4} &= b^2 \cdot 14 \cdot Q^{\Delta s \cdot \Delta s} & \sigma_{x_4} &\approx b \cdot \sqrt{14} \cdot \sigma \Delta s \\ Q^{x_5x_5} &= b^2 \cdot 30 \cdot Q^{\Delta s \cdot \Delta s} & \sigma_{x_5} &\approx b \cdot \sqrt{30} \cdot \sigma \Delta s \end{aligned} \quad (2472.2)$$

kolon eksenini için uygun olmıyan hata yayılma kanunu ile bulunur.

$$\begin{aligned} Q^{xx} &= \frac{Q^{\Delta s \cdot \Delta s}}{6b} \cdot x(x-1)(2x-1) \approx x^3 \cdot Q^{\Delta s \cdot \Delta s} \\ \sigma^x &= \sqrt{Q^{xx}} \cdot \sigma_0 \approx \sqrt{x^3} \cdot \sigma \Delta s, \text{ ve } \sigma \Delta s = \sqrt{Q^{\Delta s \Delta s}} \cdot \sigma_0 \end{aligned} \quad (2472.3)$$

ve benzer şekilde

$$Q^{ss} = \frac{Q^{\Delta s \Delta s}}{b} (x-1) \approx x \cdot Q^{\Delta s \Delta s}, \quad \sigma^s = \sqrt{Q^{ss}} \cdot \sigma_0 \approx \sqrt{x} \cdot \sigma \Delta s \quad (2472.4)$$

bulunur. Genel olarak eksen dışındaki bulunan tüm noktaların koordinatlarının ağırlık katsayıları, yöneltme elemanlarının ağırlık katsayılarının fonksiyonu olarak hesap edilir /4/,A:S.35.

$$\begin{aligned} Q^{xx} &= \frac{Q^{\Delta s \Delta s}}{6b} \cdot x(x-1)(2x-1) + \frac{Q^{\Delta a \Delta a}}{b} (x-1) \cdot y^2 + \frac{Q^{\Delta \phi \Delta \phi}}{b} (x-1) \cdot z^2 + G^{xx} \\ Q^{yy} &= \frac{Q^{\Delta s \Delta s}}{b} \cdot (x-1)y^2 + \frac{Q^{\Delta a \Delta a}}{6b} \cdot x(x-1)(2x-1) + \frac{Q^{\Delta \omega \Delta \omega}}{b} (x-1) z^2 + G^{yy} \\ Q^{zz} &= \frac{Q^{\Delta s \Delta s}}{b} \cdot (x-1)z^2 + \frac{Q^{\Delta \phi \Delta \phi}}{6b} \cdot x(x-1)(2x-1) + \frac{Q^{\Delta \omega \Delta \omega}}{b} (x-1)y^2 + G^{zz} \end{aligned} \quad (2472.5)$$

$$\sigma_x \approx \sqrt{x^3} \quad \sigma_y \approx \sqrt{x^3} \quad \sigma_z \approx \sqrt{x^3}$$

Yukardaki (2472.5) denklemlerine G^{xx} , G^{yy} , G^{zz} kofaktörler ile ifade edilen, tatbik hatasının etkileride, eklenmiştir.

(2472.4) ve (2472.5) denklemleri incelenirse;

- Tesadüfi taşıma hatalarına bağlı olarak ölçeğin, azimutun, Φ , Ω nın ortalama hataları X in kare kökü ile orantılı olarak kolon boyunca artar.

- Koordinat hatalarında çift toplamların etkisi sonucu daha çok etkiler. Böylece taşıma hatalarına bağlı olarak bir kolondaki noktaların ortalama koordinat hataları $x^{3/2}$ ile orantılı olarak artar. Bu çift toplamı etkileyen son derece elverişsiz hata kanunudur ve bağımsız hava triyagülasyonu yapılan bir kolonda ortalama hatalar (her hangi bir dengelemeden önce) hızla ortar /4/, A:S.36.

Tesadüfi taşıma hatalarının büyüklüğü hakkında şu ana kadar çok az bilgi vardır. 1967 yılından beri geniş açılı alımlar için aşağıda verilen, ortalama taşıma hataları ile hesap edilmektedir /37/,S.1762.

$$\begin{aligned} \Delta S \text{ için : } \sigma_{\Delta S} &= 0,0001 \text{ den } 0,0002 \text{ kadar} \\ \Delta \phi, \Delta \omega \text{ için : } \sigma_{\Delta \phi} = \sigma_{\Delta \omega} &= 0,5^C \dots 1^C \text{ kadar} \quad (2472.6) \\ \Delta a \text{ için : } \sigma_{\Delta a} &= 0,5^C \dots 1^C \text{ kadar} \end{aligned}$$

Bir örnek ile ortalama hatanın kolon boyunca etkisini gösterelim.

$$\sigma_{\Delta S} = 0,00015 = 0,15\% ; \quad \sigma_x = \frac{b}{\sqrt{6}} \cdot \sqrt{x(x-1)(2x-1)} \cdot \sigma_{\Delta S}$$

x	5b	10b	20b	30b
σ_x	0,00075b	0,0025b	0,0074b	0,0139b
	=0,75 %0b	2,5 %0 b	7,4 %0b	13,9 %0b

Burada hava triyagülasyonunda önceden basitleştirilmiş olarak alınan VERMEIR modeline göre sistematik taşıma hatalarının kolon koordinatları üzerine etkisini belirleyen kolon deformasyonlarını formüle etmeye çalıştık. Sonra da tesadüfi hatalar, seçilen bu hata modelinde yani her modelde ölçek, boyuna ve enine eğiklikler ile dönüklük değerlerini sanki-gözleme olarak ele aldık. Tesadüfi taşıma hatalarının çift toplamlarından oluşturulan sistematik görünümdeki bu tesadüfi hataların etkileride sistematik karakterde olduğundan hareketle ve bunların da kendi aralarında korelasyonsuz oldukları varsayımıyla, kolon deformasyonlarına ilaveten taşıma hatalarının ve kolon koordinatlarının ortalama hatalarını belirledik.

Kolon hataları için literatürde yayınlanmış örnekler VERMEIR teorisinin dış görünüşüne göre aykırılık göstermezler. Fakat hangi koşullar altında ve ne şekilde sistematik ve tesadüfi hataların ortaya çıkacağı eskidenberi tartışma konusudur.

Kolonların en önemli hata özelliklerini, kolon deformasyonlarını açıklamak için uygun ve yeter görünen VERMEIR'in basitleştirilmiş teorisi şimdiye kadar deneysel-istatistiksel olarak kontrol edilmemiştir /37/,S.1763.

Burada yeri gelmişken söylemek gerekir ki hava triyangülasyonunda tesadüfi hatalar ile sistematik hataların büyüklüklerini ve etkilerini birbirinden kesin olarak ayırmak olanaksızdır. Bundan dolayıdır ki, En Küçük Kareler Yöntemine uyan bir hata teorisi kurmak olanaksız görünmektedir. Hakikaten şimdiye kadar yapılan araştırmalarda birtakım ön kabuller ile işe başlanıldığından sonuçta yöneltme yöntemine ve bu varsayımlara bağlı hata teorisine ulaşılır. Bu sebeplerden hava triyangülasyonu için hata teorisinde bir genelleştirmeye gidilememektedir. Artık, her bir yöntem için bir hata teorisi söz konusu olacaktır. Demekki hava triyangülasyonunun hata etkilerini belirleyici modeller değiştikçe heran hata teorisi değişecektir. Ayrıca hava triyangülasyonunda hata özellikleri, bağımsız alınan kolonun geometrik yapısına bağlıdır. Kullanılan dengeleme ve hesap yöntemleriyle kolon deformasyonları etkisiz hale getirilemez.

Hata teorisinin incelenmesi ve teknik ihtiyaçlara gerekli incelikte cevap vermesi bakımından esaslar üzerindeki çalışmalar yeterli değildir. Hava triyangülasyonunun en genel durumu şu anda yeter derecede açık olmayıp araştırmaya muhtaçtır. Gelişmesi son safhaya yada sonuca geldiği söylenemez. Sonuç olarak denilebilir ki çeşitli kuruluşlar tarafından elde edilen sonuç ve bilgiler uygulama için yavaş yavaş yoluna girmektedir /6/.

Hava triyangülasyonunda bilgi yada benzer şekilde ölçme sonunda elde edilen veriler, büyük bilgisayarlar yardımı ile gerekli dengelemeler olarak dahilinde olduğu gibi doğru ve tam olması bir yana ayrıca uygulama ve ekonomik yönden önem taşımaktadır.

3. KOLON DENGELEME YÖNTEMLERİ

3.1. Genel Bakış

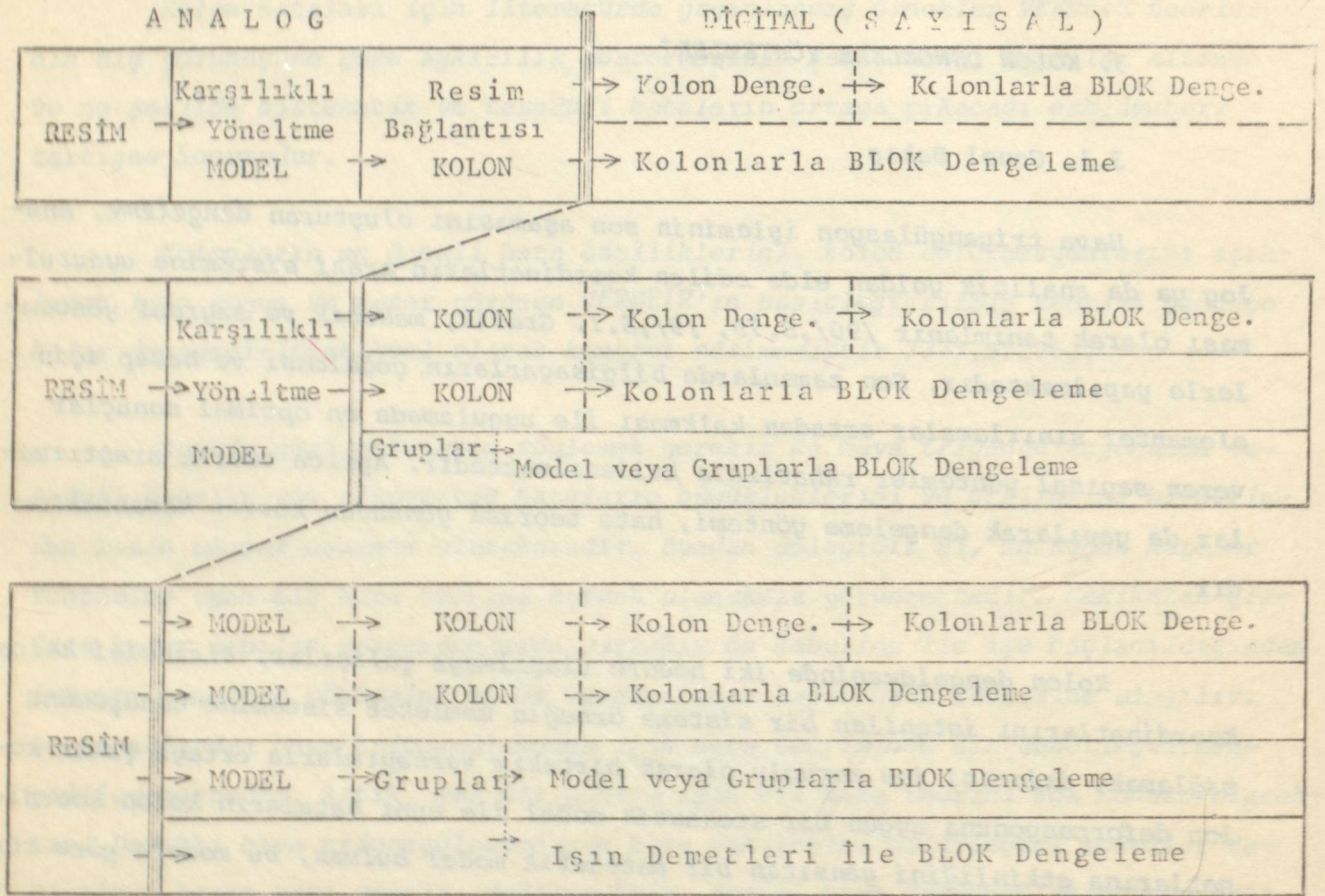
Hava triyangülasyon işleminin son aşamasını oluşturan dengeleme, analog ya da analitik yoldan elde edilen koordinatların arazi sistemine uydurulması olarak tanımlanır /90/,S.79, /9/,S.1. Grafik, mekanik ve sayısal yöntemlerle yapılmaktadır. Son zamanlarda bilgisayarların çoğalması ve hesap için elemanter sınırlamalar ortadan kalkması ile uygulamada en optimal sonuçlar veren sayısal yöntemler rahatlıkla kullanılmaktadır. Ayrıca teorik araştırmalar da yapılarak dengeleme yöntemi, hata teorisi yönünden kuvvet kazanmaktadır.

Kolon dengelemesinde iki hedefe ulaşılmaya çalışılır. Birincisi kolon koordinatlarını istenilen bir sisteme örneğin memleket sistemine dönüşümünü sağlamak, ikincisi ise zorunlu olarak birtakım varsayımlarla ortaya çıkan kolon deformasyonuna uygun bir stokastik model ile aynı hataların kolon koordinatlarına etkinliğini yansıtan bir matematik model bulmak, bu modele göre tüm triyangülasyon koordinatlarını düzeltmektir.

Hava triyangülasyonunda uygulanacak dengeleme yöntemi seçilirken, yer kontrol noktalarının sayısı ve dağılımı, dengelemede çözülecek bilinmeyen sayıları, dengeleme sonucu bulunan koordinatlardan istenilen inceliği ve ayrıca eldeki mevcut olanaklar (personel ve aletlerin kapasitesi vb) dikkate alınmalıdır. Diğer bir söyleyişle hava triyangülasyonunda uygulanan yöntem ekonomi, zaman presizyon ve elverişlilik yönlerinden büyük bir etkendir.

3.2. Sınıflandırma

Uygulamada, esasları ve ayrıntıları itibariyle birbirinden farklı olan birçok hava triyangülasyon yöntemleri mevcuttur. Hava triyangülasyonunun genel görünüşü ile birlikte işlemlerin akışı şekil: 16.dan izlenebilir. Ayrıca üzerinde ölçmelerin yapıldığı fotogrametri birimi esas alınır, bu yöntemler, analog, yarı analitik, analitik olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Şekil 17).

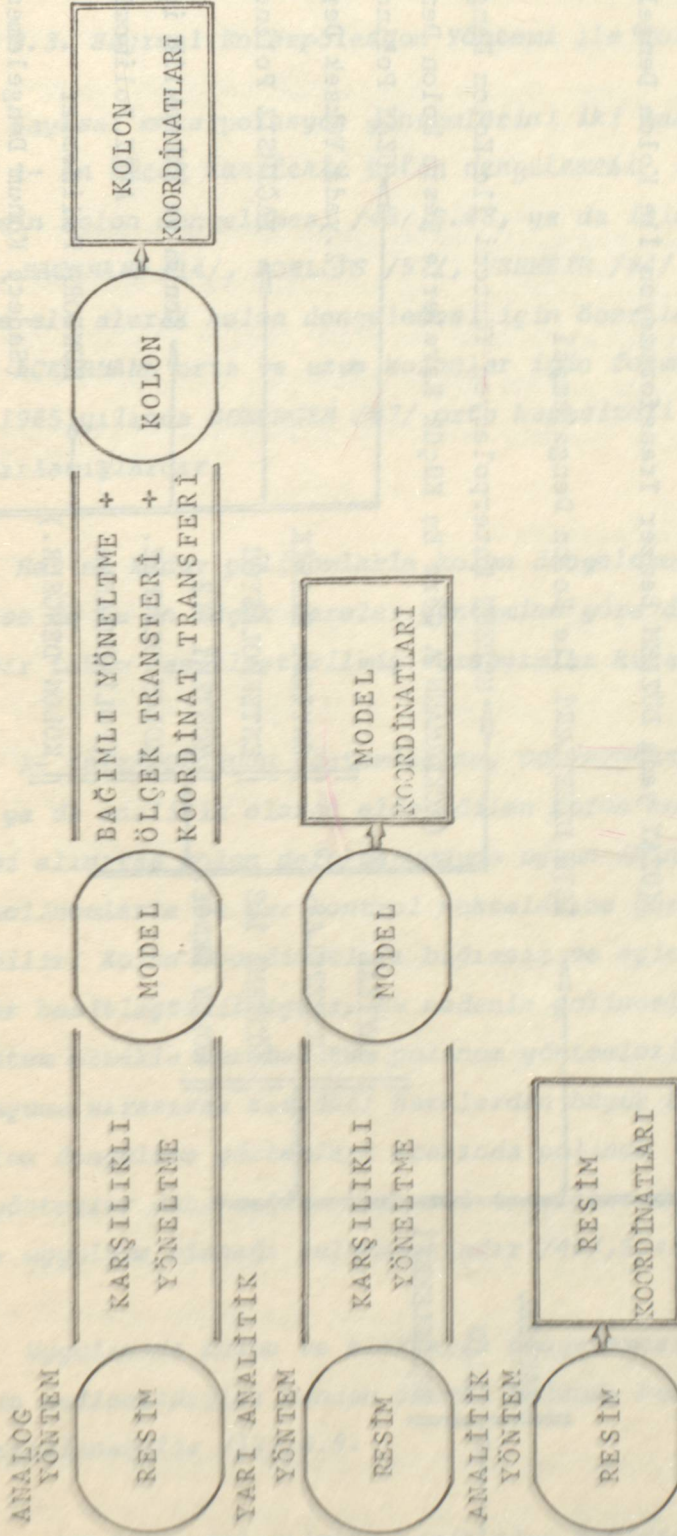


Şekil: 16.

Günümüzde şekil: 17. de görüldüğü gibi, triyançülasyon yöntemlerinin oluşumuna uygun kolon, model ve resimleri birim alan dengeleme yöntemleri: kolon dengelemesi (enterpolasyon yöntemi), bağımsız modeller ve ışın demetleri yöntemi olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Ayrıca dengelemenin yapılaş şekline göre de grafik, mekanik ve sayısal olarak da ayrılmaktadır (Şekil: 18). KUBİK ve KURE'nin fotogrametri yöntemi ile harita yapan 89 ülkedeki 267 kuruma yönelttikleri araştırma anketine cevap gönderen 90 kurumdan /42/ elde edilen sonuçlara göre 25 kurum (% 28) hava triyançülasyonunu uygulamadıklarını bildirmişlerdir. Diğer kurumların uyguladığı dengeleme yöntemleri yüzde olarak

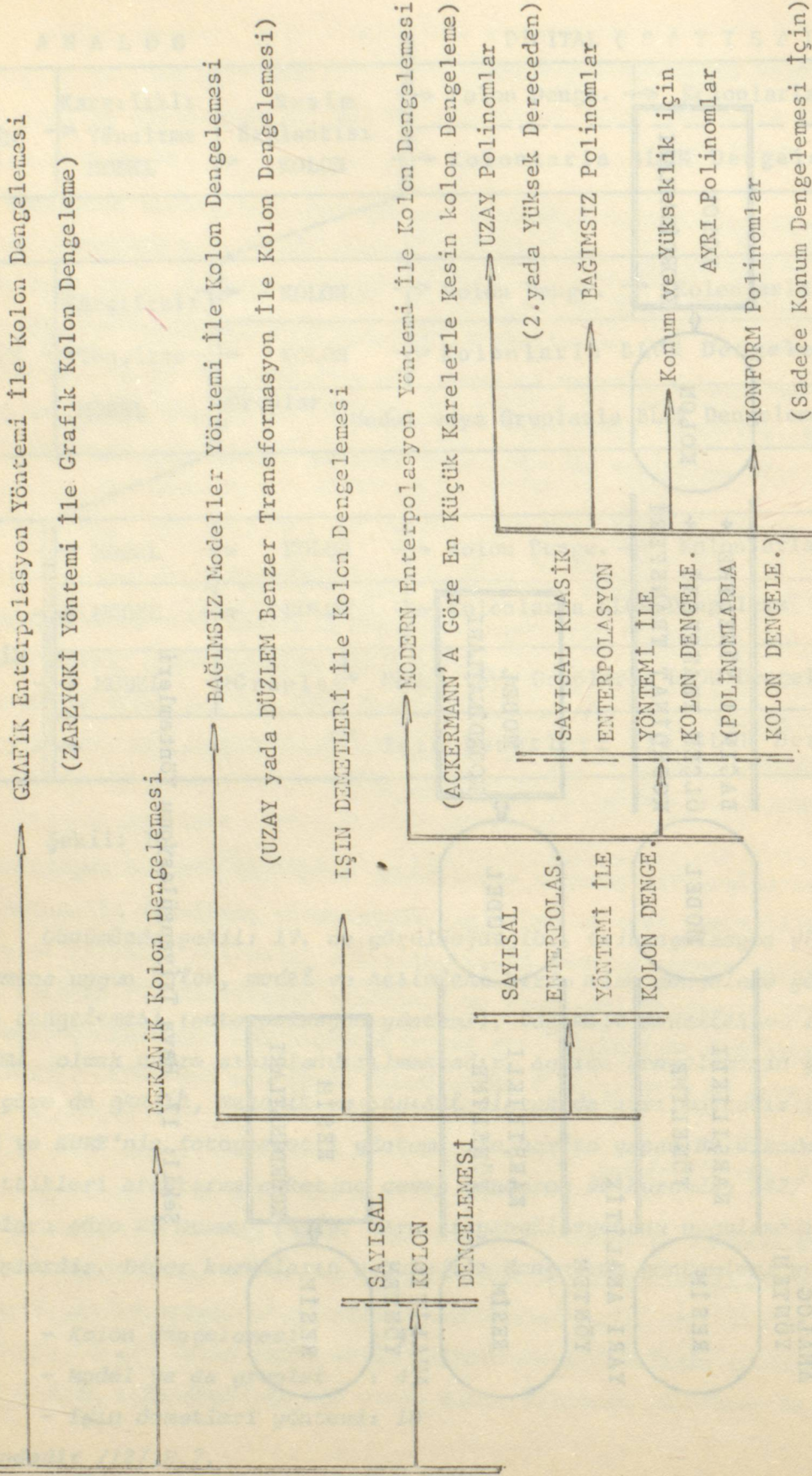
- Kolon dengelemesi : 47
- Model ya da gruplar : 43
- Işın demetleri yöntemi: 10

şeklindedir /12/,s.7.



Şekil: 17. Hava Triyângülasyonu Yöntemleri

HAVA TRİYANGÜLASYONUNDA KOLON DENGELEME YÖNTEMLERİ



Şekil: 18.

Burada sadece polinomlarla kolon dengeleme yöntemi incelenecektir. Diğer yöntemler bu çalışmanın dışında kalacaktır.

3.3. Sayısal Enterpolasyon Yöntemi ile Kolon Dengelemesi

Sayısal enterpolasyon yöntemlerini iki ana bölüme ayırabiliriz:

1- En küçük karelerle kolon dengelemesi /90/,S.90,/30/, ya Ackermann'a göre kesin kolon dengelemesi /45/,S.48, ya da isimleri ile anılmaktadır. Bu yöntemi, BACHMANN /14/, ROELOFS /57/, VERMEIR /84/ ve ACKERMANN /1/ değişik biçimlerde ele alarak kolon dengelemesi için önerilerde bulunmuşlardır. 1961 yılında ACKERMANN orta ve uzun kolonlar için formülleri biraz basitleştirerek ve 1965 yılında SOEHNEN /67/ orta kapasiteli bilgisayarlar için programlar hazırlamışlardır.

Her ne kadar polinomlarla kolon dengelemesi en küçük karelerle yapılmakta ise de bu en küçük kareler yöntemine göre dengeleme yapmak değildir. Çünkü bir takım basitleştirilmiş varsayımlar kuramsal olarak sağlam değildir.

2- Enterpolasyon yöntemlerine, polinomlarla dengeleme adı da verilir. Analog ya da analitik olarak elde edilen kolon koordinatları elemanter ölçüler gibi alınırsa kolon deformasyonuna uygun ikinci ya da daha yüksek dereceden polinomlarla ve yer kontrol noktalarına göre arazi sistemine dönüşüm yapılabilir. Kolon koordinatları bağımsız ve eşit ağırlıklı kabul edilerek hesaplar basitleştirilmiştir. Bu nedenle polinomlarla dengeleme, yaklaşık bir yöntem olmakla beraber tüm polinom yöntemleri sistematik hataları ve kolon oluşumu sırasında tesadüfi hatalardan büyük bir kısmını düzeltmesi bakımından kolon dengeleme yöntemleri arasında polinom yöntemleri en uygun olanıdır. Kesin yöntemler daha sağlam kuramsal temellere dayanmasına rağmen büyük bir çevrede uygulama olanağı bulamamaktadır /45/,S.43.

Uygulamada kolon ve blokların dengelemesinde çoğunlukla polinom yöntemlerin kullanıldığını bundan önceki bölümde belirtmiştik. Nedenleri şu şekilde sıralanabilir /12/,S.9:

- Yöntemin anlaşılması basit olup programlaması kolaydır.
- Hazırlanmış hesap programları mevcuttur.

- Programlar bellek ve hız kapasitesi bakımından hesap tesislerinden fazla istekte bulunmamaktadır. Bundan dolayı orta ve küçük büyüklükte bilgisayarlara kolaylıkla uygulanabilir olmasıdır.
- Enterpolasyon yöntemi diğer yöntemlere göre hava triyagülasyonu genelineğine daha uygun olduğu psikolojik bir neden olarak gösterilebilir.

Uygulamada hava triyagülasyonu, çoğunlukla baz değiştirmeli üniversal aletlerle hava poligonu yöntemi ile yapılmaktadır. Elde edilen kolon koordinatları, yer kontrol noktaları ve uygun olarak seçilen polinomlarla kolon dengeleme yöntemleri gözden geçirilecektir. Ayrıca analog yöntem için geliştirilen polinom yöntemi analitik yöntem içinde uygulanabilir.

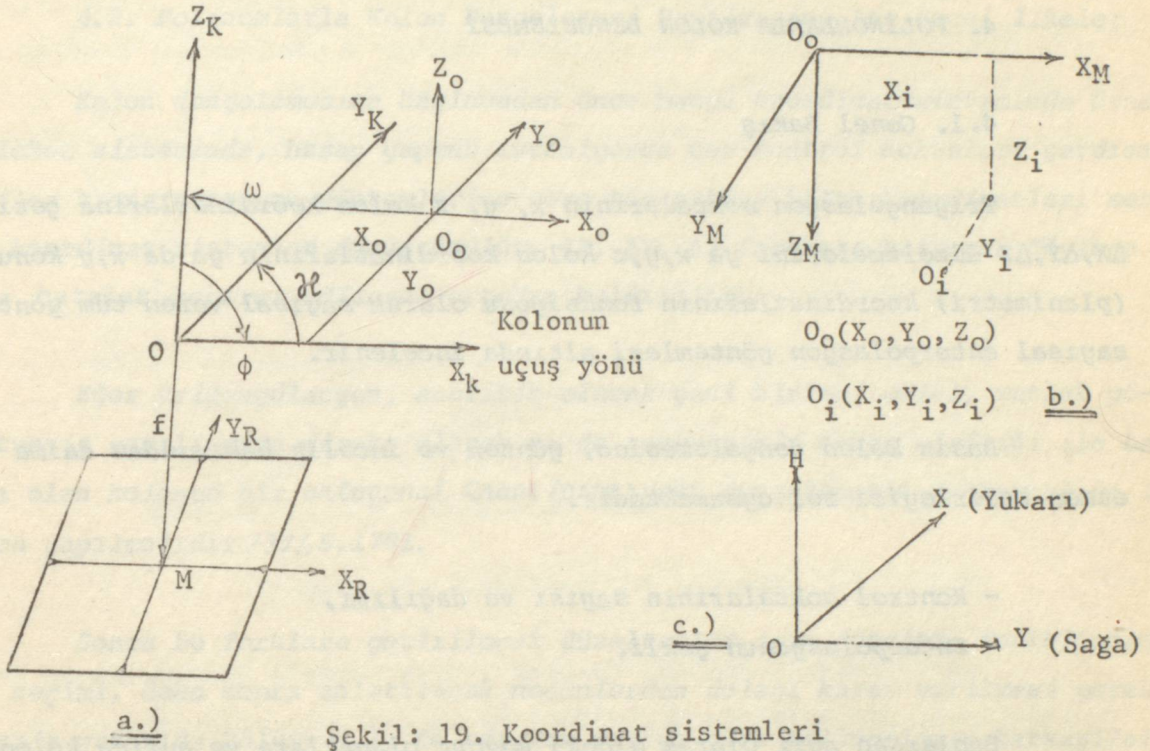
3.4. Koordinat Sistemleri

İster kolon, ister blok hava triyagülasyonu kullanılsın asıl amaç, model yada resimler üzerinde okunan noktaların koordinatlarını yer kontrol noktaları yardımıyla memleket koordinat sistemine dönüştürmektir. Çoğunlukla kolon dengelemesinde kullanılan koordinat sistemleri aşağıda verilmiştir.

1- Resim Koordinat Sistemi= Başlangıç noktası, resim çerçeve göstergelerini birleştiren doğruların kesim noktası olan M ve eksen doğrultuları, bu resim çerçeve göstergelerinden geçen doğrulara paralel seçilen dik koordinat sistemidir. Ayrıca M resim orta noktasından resim düzlemine dik olan f odak uzaklığının ilavesiyle üçlü (X_R, Y_R, f) yani uzay koordinat sistemi elde edilir (Şekil: 19-a).

2- Kolon Koordinat Sistemi= Burada başlangıç noktası herhangi bir nokta olabileceği gibi kolonu oluşturan ilk resmin orta noktası olmak üzere ve kolon eksenleri birinci resmin koordinat sistemine paralel olarak alınan uzay koordinat sistemidir (Şekil: 19-a).

3- Makina Koordinat Sistemi= Her aletin kendine özgü koordinat sistemi olamkla beraber örneğin, Wild A7 stereo değerlendirme aletinde Şekil: 19-b. deki gibidir.



4- Memleket Koordinat Sistemi= Şekil:19-c'de görüldüğü gibi X,Y konum koordinatları elipsoide ve H yüksekliği ise geoide göre tanımlanmış bir koordinat sistemidir. Çoğunlukla uygulamada X koordinatına yukarı değer, Y koordinatına sağa değer ve H değerine ise yükselik adı verilmektedir.

4. POLİNOMLARLA KOLON DENGELEMESİ

4.1. Genel Bakış

Triyangülasyon noktalarının x, y, z kolon koordinatlarına getirilecek $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ düzeltmelerini ya x, y, z kolon koordinatlarının ya da x, y konum (planimetri) koordinatlarının fonksiyonu olarak sayısal veren tüm yöntemler sayısal enterpolasyon yöntemleri altında incelenir.

Basit kolon dengelemesine, yöntem ve incelik bakımından daima iki etmen belirleyici rol oynamaktadır.

- Kontrol noktalarının sayısı ve dağılımı,
- Enterpolasyonun şekli.

Bunlardan ayrı olarak eldeki mevcut olanaklara ve ayrıca kolonda standardlaştırılmış şematik kontrol noktası dağılımına, örneğin kolonun enine kesiti boyunca kolonun başında, ortasında ve sonunda ya da kolonun ilk ve son modelindeki kontrol noktalarına bağlıdır.

Kolon dengelemesi için bilhassa 2. ve 3. derece polinomlar uygulamada, örneğin X için aşağıdaki polinomlar kullanılır.

$$\Delta X = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 xz + \dots \quad (41.1)$$

Sayısal enterpolasyon yöntemi ile kolon dengelenmesinde aşağıdaki sıra izlenir / 37, S.1780.

- 1) Düzeltme formülleri (polinom) seçilir.
- 2) En küçük kareler yöntemine göre dengeleyerek ($\Delta X = X - x, \Delta Y = Y - y, \Delta Z = H - z$) kontrol noktalarının kapanmaları yardımıyla a_1 katsayıları belirtilir.
- 3) Kontrol noktalarındaki kalıntı kapanmalar saptanır ve kaba hatalar işaretlerine göre incelenir.
- 4) Polinomlar yardımıyla $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ koordinat düzeltmeleri ve dengelenmiş koordinatlar $x + \Delta X, y + \Delta Y, z + \Delta Z$ hesaplanır.

4.2. Polinomlarla Kolon Dengelemesi Yapılmasına Ait Genel İlkeler

Kolon dengelemesine başlamadan önce hangi koordinat sisteminde örneğin memleket sisteminde, hesap yapmak isteniyorsa yer kontrol noktaları yardımıyla seçilen transformasyon yöntemlerine göre tüm makina kolon koordinatları memleket koordinat sistemine dönüştürülür. ΔX , ΔY , ΔZ farkları bulunur. Böylece kaba hatalar kontrol edilerek ortadan kaldırılır.

Eğer triyagülasyon, analitik olarak yani birinci model, mutlak yöneltmesiz yapılıyorsa direkt olarak ya da sonuçta bir sonuç eğriliği ile bağıntılı olan kolonun bir ortogonal transformasyonu dengelemenin ön hazırlığı için hemen yapılmalıdır /37/S.1781.

Sonra bu farklara getirilecek düzeltmeler için düzeltme fonksiyonlarının seçimi, daha sonra anlatılacak nedenlerden dolayı karar verilmesi gerekiyorsa yukarıda Bölüm: 4.1. de verilen sızraya göre polinomların katsayıları sayısal olarak belirtilmelidir. Bir k kolonunda yersel kontrol noktaları, P_t ($t = 1, \dots, k$) ve aşağıda tanımlanan, ΔX_t , ΔY_t , ΔZ_t bulunmuş iseler a_α , b_β , c_γ ($\alpha, \beta, \gamma = 1, \dots, m$) polinom katsayılarının tayini için ilk bağıntılar şunlardır.

$$X-x = \Delta X_t = \text{Pol}_x (x_t, y_t, z_t, a_\alpha) \quad (42.1)$$

$$Y-y = \Delta Y_t = \text{Pol}_y (x_t, y_t, z_t, b_\beta)$$

$$H-z = \Delta Z_t = \text{Pol}_z (x_t, y_t, z_t, c_\gamma)$$

Pratikte a_α , b_β , c_γ katsayıları (42.1) sistemi ile belirtilir ($3k$)m). (42.1) eşitliği yerine (42.2) eşitliği ile verilen hata denklemleri geçerlidir.

$$(\Delta X + v_x)_t = \text{Pol}_x (x_t, y_t, z_t, a_\alpha)$$

$$(\Delta Y + v_y)_t = \text{Pol}_y (x_t, y_t, z_t, b_\beta) \quad (42.2)$$

$$(\Delta Z + v_z)_t = \text{Pol}_z (x_t, y_t, z_t, c_\gamma)$$

(42.2) nolu lineer hata denklemlerinden stokastik bağımsızlığın ve eşit ağırlıkların kabulü ile doğrudan doğruya m tane normal denklem oluşturulur. Bunların ilerde açıklanacağı şekilde çözümü ile a_α , b_β , c_γ polinom katsayıları bulunur. Sonra (42.2) eşitliklerine göre kontrol noktaları için v_{xt} , v_{yt} , v_{zt} artık kapanmalar elde edilir. Tüm $P(x,y,z)$ kolon noktaları için Δx , Δy , Δz kolon düzeltmeleri ve aynı zamanda kolon dengelemesinin sonucu olarak memleket koordinatları aşağıdaki gibi hesaplanılır.

$$\begin{aligned} X &= x + \Delta x = x + \text{Pol}_x(x,y,z,a_\alpha) \\ Y &= y + \Delta y = y + \text{Pol}_y(x,y,z,b_\beta) \\ H &= z + \Delta z = z + \text{Pol}_z(x,y,z,c_\gamma) \end{aligned} \quad (42.3)$$

4.3. Türlü Düzeltme Polinomlarının Tartışması

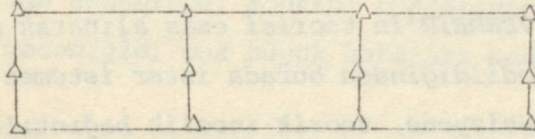
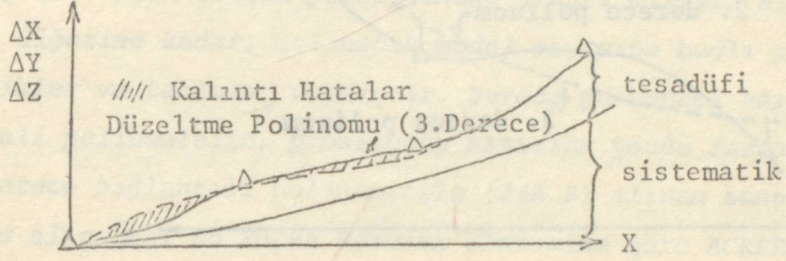
Türlü kontrol noktası durumları için değişik enterpolasyon formüllerinin kullanılması gerektiğinin saptanması ve bu saptanan polinomun en iyi olup olmadığının araştırılması gerekmektedir.

Herhangi kontrol noktası durumları için daima optimal enterpolasyonu verecek en iyi polinom mevcut değildir. Belirli bir kontrol noktası düzeni için polinomlar arasında diğer enterpolasyon ilkelerine göre daha hassas sonuçlara yöneltilebileceği olanağının, açık bırakılması ile bir optimal polinomun verilip verilmeyeceği sorusuna cevap verilmesi kalıyor.

(246.1) eşitliğine göre kolon ekseninin düzeltmelerini belirleyen $f_x(x)$, $f_y(x)$, $f_z(x)$ fonksiyonları ile enterpolasyon fonksiyonları karakterize edilmiştir. Bu hale göre $f(x)$ düzeltme fonksiyonu için 2. ve 3. derecedeki polinomlar kullanılır. Burada ki tartışma sadece $f(x)$ polinomu ile ilgili olmalıdır. Bunun için ilk planda yer kontrol noktası dağılımının belirtilmiş olması arzu edilir. O halde hangi durumlar için hangi kaidelerin konacağı, açıklığa kavuşması gerekir.

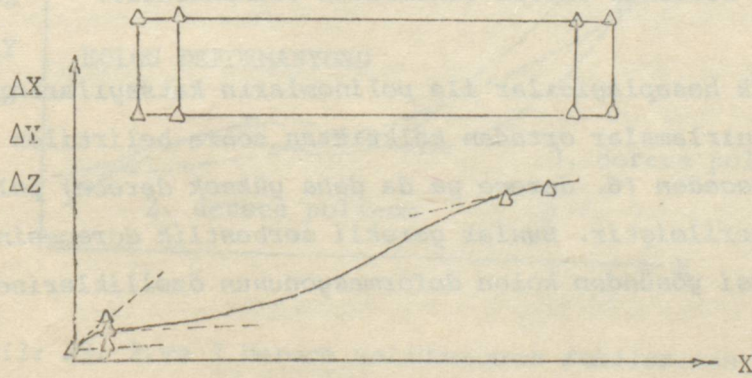
Kolon ekseninin boyuna kesitine dik doğrultuda, gerekli sayıda model atlamak suretiyle kümelenmiş ya da genellikle kolonun başında ortasında sonunda enine kesiti boyunca sıralanmış yer kontrol noktaları kümesine kontrol noktası bandı ismi verilir (Şekil 20, 21).

Kolon üzerinde kontrol noktası bantları arası 6-8 baz uzunluğuna kadar ya da kolonda üç kontrol noktası bandı varsa 2. dereceden, kontrol noktası bantları arası daha büyük uzunlukta yani 4 kontrol noktası bandı için 3. dereceden polinomlar, dengelemede düzeltme fonksiyonu olarak kullanılır (Şekil: 20).



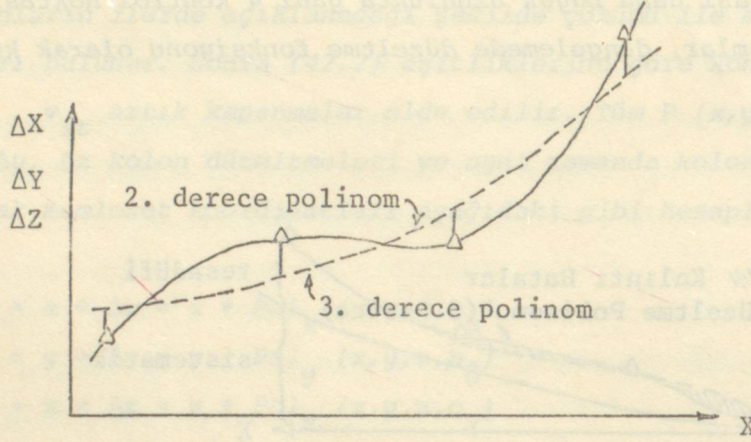
Şekil: 20. 3. dereceden bir düzeltme polinomunun etkisi

Kolonun birinci ve sonuncu modelleri dolu kontrol nokta durumunda ise f_x fonksiyonu 3. derece olmalıdır (Şekil: 21). Burada bölgesel hatalarını yarıltma tehlikesi büyüktür.



Şekil: 21. Bir kolonun başında ve sonunda ki modellerde bulunan kontrol noktaları ve 3. dereceden düzeltme polinomu.

3. derece polinomlar hata teorisi yönünden kolon deformasyonuna, 2. dereceye göre daha uyuşum göstermektedir (Şekil: 22).



Şekil: 22. 2. ve 3. derece polinomların karşılaştırılması.

Kolon deformasyonu, VERMEİR'in teorisi esas alınarak sadece niteliksel gözlemler söz konusu edildiğinden burada ister istemez birtakım ifadelerin doğrulanması ve presizyonu, teorik incelik bağıntılarının araştırılması ile ortaya çıkarılabilir.

Kontrol noktası bantları arası 6 ya da daha çok baz uzunluğunda ve 4 kontrol noktası bandından daha fazla bantlı uzun kolonlar için 2. derece ya da 3. derece polinomlar kolon deformasyonlarını tanımlamaya yeterli değildir. Alçak dereceden polinomlar yeterli serbestlik derecesine haiz olmadığından yani bu kontrol noktaları ile oldukça itimad edilir belirli kolon deformasyonlarını fleksibil olarak tanımlamak olanaksızdır.

Elektronik hesaplayıcılar ile polinomların katsayılarını hesaplamak için elemanter sınırlamalar ortadan kalktıktan sonra belirtilen sebeplerden dolayı yüksek dereceden (6. derece ya da daha yüksek derece) polinomların kullanılmaları önerilmiştir. Bunlar gerekli serbestlik derecesine haiz olmakla; hata teorisi yönünden kolon deformasyonunun özelliklerine sahip değildir.

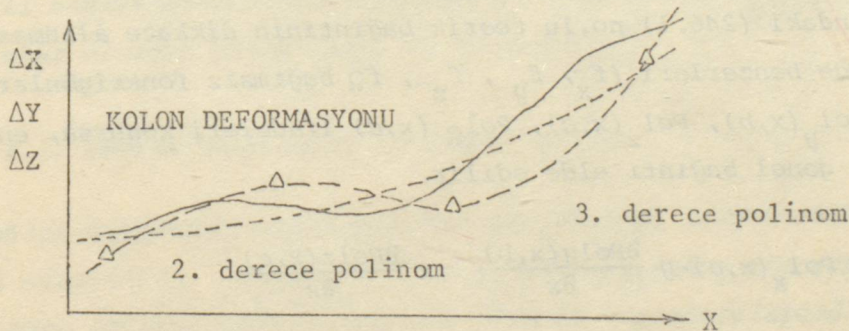
Genel olarak kolondaki bantların sayısı n ise, kullanılacak polinom $(n-1)$ dereceden ya da güvenlik nedeniyle $(n-2)$ dereceden alınması ile suz özellikleri zayıflatmakta isede, tamamen ortadan kaldıramamaktadır /47 .

Hata teorisine göre incelik yönünden kolon dengelemesi araştırmaları yapılmış 4. ya da daha yüksek derecedeki polinomların uygun olmadığı doğru- lanmıştır. Uygulamada ise en çok 3. derece polinomlar kullanılmaktadır.

ACKERMANN /2/ uzun kolonlarda, ikinci toplamlardan oluşan hataların etkisini dikkate alarak 2. dereceden 6. dereceye kadar polinomlarla yapılan kolon dengelemesinin teorik presizyonunu araştırmıştır. Bir kontrol noktası bandından diğerine kadar, atlanacak model sayısına bağlı olarak, türlü hatalar için grafikler ve tablolar vermiştir. Burada şu sonuca varılmıştır. Daha yüksek dereceli polinomların, presizyonu artırıcı yönde fazla etkisi olmamakta- dır. 3. derece bağlantılı polinomlarla (246.8) alınan sonuçlar, VERMEİR hata te- orisi esas alınarak, En Küçük Kareler Yöntemine göre ACKERMANN tarafından geliştirilen modern sayısal enterpolasyon yöntemi diye anılan kesin kolon dengelemesine, en yakın sonuçlar verdiği söylenebilir. Yüksek dereceli poli- nomlarla yapılan dengeleme, kontrol noktasının seyrek olduğu bölgelerde, faz- la esnekliği nedeniyle, çok büyük hatalara neden olabilir.

4.4. Yer Kontrol Noktalarının Dağılımı.

Kolonlarda şematik kontrol noktası düzenlemesi yerine tersine uygu- lamada çoğu kez kontrol noktaları düzensiz düzenleme ya da gevşek bir küme- lenme gösterirler. Bu durumda 2. derecedeki polinom, 3. derecedeki polinomdan daha iyi bir şekilde kolon deformasyonuna yaklaşım gösterebilir.



şekil: 23. 2.ve 3.Derece Polinomların Etkilerinin Karşılaştırılması.

Kontrol noktası bantları arası 4 modelden az ise e_x , e_y , e_z tatbik hataları, yani ölçü markasının tatbik hatası, identifikasyon hatası, yersel koordinat hatası ve model bükülmesi nedeniyle hata teorisi bakımından karma-

şıklıklar ortaya çıkabilir. Bunlardan dolayı kontrol noktasındaki aykırılıklar hemen civarındaki düzeltme yüzeyi için temsil edilemezler. Kontrol noktaları ne kadar yoğun olursa ve polinom ne kadar çok serbestlik derecesine sahip ise düzeltme fonksiyonu o kadar kuvvetli yanıtıcı olarak etki eder. Bunun için genel kaide; belirlenecek polinom alçak dereceye indirgenmelidir. Bağımsız modellerin enterpolasyon ile dengelenmesinde birçok kontrol noktası da olsa sadece lineer polinomlar kullanılır /37/,S.1786 .

Uygulamada en çok kolon boyunca uygun dağılmış 3. ve 4. bantlı şemalar kullanılır. Bu hallerde polinomun seçimi özel bir zorluk çıkarmaz. 2. ve 3. dereceden bağıntılı polinomlar kullanılır.

Bir kolonun iki ucunda ve ortasında belirli model aralıkları ile uygun, sayıda yer kontrol noktası olması gerekir. Yer kontrol noktalarının oluşturduğu bir bant ile ardışık bant aralıkları kısa olmalıdır. Diğer bir deyişle bantlar arası atlanacak model sayısı ne kadar sık olursa kolon dengelemesinde alınan sonuçlar o kadar hassas olmaktadır /5/.

Kolon boyunca yer kontrol noktalarının uygun olmıyan bir dağılımı, sistemin yapısını bozabilmektedir /6/,S.203.

4.5. Bağımlılığın ihmali

Sayısal enterpolasyon yöntemlerinde düzeltme fonksiyonu olarak ΔX , ΔY , ΔZ arasındaki (246.1) no.lu teorik bağıntısının dikkate alınması gerekir. Bu formüllerde de benzerleri (f_x , f_y , f_z , f_Ω bağımsız fonksiyonlar) yerine $Pol_x(x,a)$, $Pol_y(x,b)$, $Pol_z(x,c)$, $Pol_\Omega(x,d)$ ifadeleri konursa, enterpolasyon yöntemi için genel bağıntı elde edilir.

$$\Delta X = Pol_x(x,a) - y \frac{\partial Pol_y(x,b)}{\partial x} + z \frac{\partial Pol_z(x,c)}{\partial x}$$

$$\Delta Y = Pol_y(x,b) + y \frac{\partial Pol_x(x,a)}{\partial x} - z Pol_\Omega(x,d) \quad (45.1)$$

$$\Delta Z = Pol_z(x,c) + y Pol_\Omega(x,d) + z \frac{\partial Pol_x(x,a)}{\partial x}$$

Uygulamada (45.1) formüllerine göre çok az çalışılır. Dengeleme işlemi, ΔZ yüksekliği, $\Delta X, \Delta Y$ konumundan ayrı olarak yapılır. Böylece geniş bir normal denklem sisteminin ortaklaşa çözümünden kaçınılmış olunur.

Konum ve yükseklik dengelenmesi birbirinden ayrı olarak aşağıdaki bağıntılara göre belirlenir.

$$\begin{aligned}\Delta X &= Pol_x(x, a) - y \frac{\partial Pol_y(x, b)}{\partial x} + [z \cdot Pol_\phi(x, e)] \\ \Delta Y &= Pol_y(x, b) + y \frac{\partial Pol_x(x, a)}{\partial x} - [z \cdot Pol_\Omega(x, f)] \\ \Delta Z &= Pol_z(x, c) + y Pol_\Omega(x, d) + [z \cdot Pol_S(x, g)]\end{aligned}\quad (45.2)$$

Bu formüller (son terimlersiz) düz araziler ya da model eğiklik hatasının az olduğu zaman geçerlidir. Bunlarda konum ve yükseklik koordinat hataları pratik olarak birbirinden bağımsızdırlar.

4.6. Dağlık Arazilerde Topoğrafik Düzeltme

Dağlık arazilerde topoğrafik düzeltmenin yapılması şarttır. (45.2) eşitliğinde köşeli parantez içinde verilen terimler topoğrafik düzeltmeyi göstermektedir. Bunların ilavesi ile konum ve yükseklik arasında ki bağımlılık korunmuş olur. Bağımsız fonksiyon olduklarından bu şekilde topoğrafik düzeltmelerin belirtilmesi tehlikelidir. Genellikle, yükseklik farkları çok fazla olan yeterli sayıda kontrol noktası mevcut olması halinde uygulanabilir. Bu varsayımlar olmadan çözüm zayıf ve belirsizdir.

4.6.1. Dağlık Arazilerde İterasyon Şeması

Dağlık arazilerde enterpolasyon dengelenmesi için teorik tam bir yöntem topoğrafik düzeltmenin iteratif olarak dikkate alınması ile yapılır. (45.2) ifadesine göre (köşeli parantez içinde bulunan terimlersiz) dağlık arazilerde dengeleme için aşağıdaki iterasyon şeması verilebilir.

1) Geçici olarak birlikte konum dengelenmesi (a_α, b_α polinom katsayılarının belirlenmesi)

2) z Koordinatlarının ölçük düzeltilmesi: $\Delta Z = z \cdot \frac{\partial Pol_x(x, a)}{\partial x}$

3) Kesin yükseklik dengelenmesi (c_Y, d_δ katsayılarının belirlenmesi)

4) Konum koordinatlarının topoğrafik düzeltmesi:

$$\Delta X = z \frac{\partial \text{Pol}_Z(x, c)}{\partial x}; \quad \Delta Y = -z \cdot \text{Pol}_\Omega(x, d)$$

5) Kesin konum dengelenmesi: İterasyon yöntemine grafik yöntemle karşılık- ters işlem sırasında yani geçici yükseklik dengelenmesi ile de başlanılır. Bu ters çevirme ile sonuçta ya sadece konum ya da sadece yükseklik dengelenmesi ile de başlanılır. Bu ters çevirme ile sonuçta ya sadece konum ya da sadece yükseklik dengelenmesi hedef alındığına dikkat edilmelidir /37/,S.1789)

Ayrıca bu iterasyon şeması polinom yöntemiyle sınırlı olmayıp herhangi bir kolon ve blok dengelenmeleri içinde geçerlidir.

4.7. Dengelemede Kullanılan Polinomların Sınıflandırılması ve Bilinmeyen Sayıları

Kolon dengelenmesi için çok çeşitli polinomlar varsa da uygulamada çoğunlukla aşağıdaki polinomlar kullanılır / 68 /,S.52.

1- Uzay Polinomlar

Kolon deformasyonlarını ifade eden bağıntılı fonksiyonlar, yani uzay polinomlar dengelenmede kullanıldığı zaman ΔX , ΔY ve ΔZ müştereken düşünülür. Böylece 2. derece için 11, ya da 3. derece için 15 parametre aynı anda çözümlenmelidir.

2. Derece

3. Derece

$$\begin{array}{l} \Delta X = a_0 + a_1 x - b_1 y - c_1 z + a_2 x^2 - 2b_2 xy - 2c_2 xz \\ \Delta Y = b_0 + a_1 y + b_1 x - d_1 z + 2a_2 xy + b_2 x^2 - 2d_2 xz \\ \Delta Z = c_0 + a_1 z + c_1 x + d_1 y + 2a_2 xz + c_2 x^2 + 2d_2 xy \end{array} \left| \begin{array}{l} +a_3 x^3 - 3b_3 x^2 y - 3c_3 x^2 z \\ +3a_3 x^2 y + b_3 x^3 - 3d_3 x^2 z \\ +3a_3 x^2 z + c_3 x^3 + 3d_3 x^2 y \end{array} \right. \quad (47.1)$$

Bu formüller VERMEİR teorisi esas alınarak sadece sistematik taşıma hatalarının var olduğu ve koordinat bağlantı hatalarının ihmal edilmesi varsayımından hareketle bulunmuştu.

2. Bağımsız Polinomlar

Bağımsız polinomlarda ΔX , ΔY ve ΔZ lerden herbiri için ayrı ayrı denklem yazılarak, 2. derece için 5, ya da 3. derece için 7 parametre bulunur.

<u>2. Derece</u>	<u>3. Derece</u>	
$\Delta X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy$	$+a_5x^3 + a_6x^2y$	
$\Delta Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy$	$+b_5x^3 + b_6x^2y$	(47.2)
$\Delta Z = c_0 + c_1x + c_2y + c_3x^2 + c_4xy$	$+c_5x^3 + c_6x^2y$	

3. Konum ve Yükseklik için Ayrı Polinomlar

Bu durumda konum ve yükseklik ayrı ayrı polinomlarla yani ΔX ve ΔY müstereken 6 veya 8, ΔZ ise bağımsız olarak 5 veya 7 parametre ile çözülür.

<u>2. Derece</u>	<u>3. Derece</u>	
$\Delta X = a_0 + a_1x - b_1y + a_2x^2 - 2b_2xy$	$+a_3x^3 - 3b_3x^2y$	
$\Delta Y = b_0 + a_1y + b_1x + 2a_2xy + b_2xy$	$+3a_3x^2y + b_3x^3$	(47.3)
$\Delta Z = c_0 + c_1x + c_2y + c_3x^2 + c_4xy$	$+c_5x^3 + c_6x^2y$	

4. Konum Dengelmesi için Konform Polinomlar

Bunlar 3. duruma benzerdir, fakat ΔX ve ΔY için transformasyon konform olduğu düşünülür. Konform fonksiyonlar, COUCHY-RIEMANN-diferansiyel denklemleri ile tanımlanır.

$$\frac{\partial X}{\partial y} = -\frac{\partial Y}{\partial x}; \frac{\partial X}{\partial x} = \frac{\partial Y}{\partial y} \quad (47.4)$$

$$X = x + \Delta X; Y = y + \Delta Y \quad (47.5)$$

(47.4) ve (47.5) formüllerine uygun transformasyon denklemleri aşağıdadır.

<u>2. Derece</u>	<u>3. Derece</u>	
$\Delta X = a_0 + a_1x - b_1y + a_2(x^2 - y^2) - 2b_2xy$	$+a_3(x^3 - 3xy^2) - b_3(3x^2y - y^3)$	
$\Delta Y = b_0 + a_1y + b_1x + 2a_2xy + b_2(x^2 - y^2)$	$+a_3(3x^2y - y^3) + b_3(x^3 - 3xy^2)$	(47.6)

Düzeltilmeler	Arazi Durumu		Düşünceler
	DÜZ	DAĞLIK	
	Bilinmiyen Sayıları		
$\Delta X, \Delta Y$ ve ΔZ	$4n+3$	$4n+3$	$\Delta X, \Delta Y$ ve ΔZ tin birarada dengelenmesi halinde
ΔX ve ΔY	$2n+2$	$3n+4$	ΔX ve ΔY nin birlikte
ΔZ	$2n+1$	$3n+1$	ΔZ tin bağımsız olarak dengelenmesi halinde
ΔX	$2n+1$		$\Delta X, \Delta Y$ ve ΔZ tin birbirinden bağımsız olarak dengelenmesi halinde
ΔY	$2n+1$		
ΔZ	$2n+1$		

Çizelge: 3.

Ayrıca polinomların derecesine, arazi durumuna ve dengelemenin yapılış biçimine göre de sınıflandırılmaktadır /37/,S.1790, /13/,S.377, /45/,S.46.

Dengelemede kullanılan polinomun derecesine n denirse, bu polinomun derecesine arazi durumuna ve dengelemenin yapılış şekillerine bağlı olarak çözülmesi gerekli bilinmiyen sayıları çizelge 3. den bulunabilir /30/.

5. Dengeleme İşlemi

5.1. Polinomlarla Kolon Dengelemesi

Enterpolasyon yöntemi ile yani polinomlarla hava triyagülasyonu dengelemesi yapmak için önceden her iki sistemde bulunan ortak noktalar kullanılarak Helmert transformasyonuna göre makina-kolon koordinatları istenilen bir sisteme dönüştürülmesi gerekir. Bilindiği gibi Helmert transformasyonu,

$$\begin{aligned} X &= ax - by + c \\ Y &= bx + ay + d \end{aligned} \quad (51.1)$$

şeklinde olup dönüştürülmesi söz konusu edilen (X, Y) ve (x, y) koordinat sistemleridir. Buradaki a, b, c, d transformasyon parametreleri çoğu kez doğrudan doğruya belirlenemez. Her iki sistemde ikiden fazla ortak nokta varsa En Küçük Kareler Yöntemine göre dengeleme yapmak suretiyle bu parametreler hesaplanabilir.

Kolon deformasyonunu matematik olarak özetlemiş olduğumuz Bölüm 4'de, sözü edilen polinomlardan hangisi alınırsa alınsın ve aynı bölümde çizelge ...3'de ki dengeleme yöntemlerinden hangisi uygulanırsa uygulansın, aşağıda matematik modeli oluşturan ifadede $\Delta X, \Delta Y$ ve ΔZ koordinat deformasyonları ölçüleri, polinomlar ise bilinmeyenlerin fonksiyonu şeklindedir.

$$\begin{aligned} \Delta X &= a_0 + a_1x - b_1y + a_2x^2 - 2b_2xy + a_3x^3 - 3b_3x^2y - z(c_1 + 2c_2x + 3c_3x^2) \\ \Delta Y &= b_0 + b_1x + a_1y + b_2x^2 + 2a_2xy + b_3x^3 + 3a_3x^2y - z(d_1 + 2d_2x + 3d_3x^2) \\ \Delta Z &= c_0 + c_1x + d_1y + c_2x^2 + 2d_2xy + c_3x^3 + 3d_3x^2y + z(a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2) \end{aligned} \quad (51.2)$$

Bu polinomlarda; ölçü + hatası = bilinmeyenlerin fonksiyonu şeklinde olup Endirekt Ölçüler Dengelemesi yöntemine göre koordinatlar dengelenebilir.

5.1.1. Hata Denklemleri

Konum ve yükseklik dengelemesi ayrı ayrı yapılırsa, dağlık araziler için iteratif bir yöntem uygulanmalıdır. Polinomlarla enterpolasyon yöntemine

göre kolon dengelemesi yapmak için, kolon deformasyonlarını tanımlayan 2. ve 3. derece polinomlar kullanılır. Burada 3. derece polinomlar esas alınmıştır.

$$\Delta X = a_0 + a_1 x - b_1 y + a_2 x^2 - 2b_2 xy + a_3 x^3 - 3b_3 x^2 y \quad (511.1a)$$

$$\Delta Y = b_0 + b_1 x + a_1 y + b_2 x^2 + 2a_2 xy + b_3 x^3 + 3a_3 x^2 y \quad (511.1b)$$

$$\Delta Z = c_0 + c_1 x + d_1 y + c_2 x^2 + 2d_2 xy + c_3 x^3 + 3d_3 x^2 y \quad (511.1c)$$

x , y ve z kolon koordinatları stokastik büyüklükler gibi ve X , Y ve Z yer kontrol noktalarının koordinatları hatasız kabul edilmiştir /45/,S.46. Örneğin yükseklik dengelemesi için (511.1c) eşitliğinden, Endirekt Ölçüler Dengelemesine göre hata denklemleri, ara işlemleri yapmadan doğrudan doğruya lineer formda yazılmak istenirse, /82/,S.62.

$$v_{z_1} = c_0 + c_1 x_1 + d_1 y_1 + c_2 x_1^2 + 2d_2 x_1 y_1 + c_3 x_1^3 + 3d_3 x_1^2 y_1 - \Delta Z_1$$

$$v_{z_2} = c_0 + c_1 x_2 + d_1 y_2 + c_2 x_2^2 + 2d_2 x_2 y_2 + c_3 x_2^3 + 3d_3 x_2^2 y_2 - \Delta Z_2 \quad (511.2)$$

⋮

$$v_{z_n} = c_0 + c_1 x_n + d_1 y_n + c_2 x_n^2 + 2d_2 x_n y_n + c_3 x_n^3 + 3d_3 x_n^2 y_n - \Delta Z_n$$

olur. Matris gösterimi ile hata denklemleri aşağıdadır.

$$\begin{bmatrix} v_{z_1} \\ v_{z_2} \\ \vdots \\ v_{z_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & 2x_1 y_1 & x_1^3 & 3x_1^2 y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & 2x_2 y_2 & x_2^3 & 3x_2^2 y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & 2x_n y_n & x_n^3 & 3x_n^2 y_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ d_1 \\ c_2 \\ d_2 \\ c_3 \\ d_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta Z_1 \\ \Delta Z_2 \\ \vdots \\ \Delta Z_n \end{bmatrix} \quad (511.3)$$

Kısaca: $v = A \cdot c - l$

şeklinde olup burada v , c , l vektörleri ve A katsayılar matrisi şunlardır.

Düzeltilme vektörü : $[v^T = v_{z_1}, v_{z_2}, v_{z_3}, \dots, v_{z_n}]$

Bilinmeyen vektörü : $[c^T = c_0, c_1, d_1, c_2, d_2, c_3, d_3]$

Sabit büyüklükler : $[l^T = \Delta Z_1, \Delta Z_2, \dots, \Delta Z_n]$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & 2x_1y_1 & x_1^3 & 3x_1^2y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & 2x_2y_2 & x_2^3 & 3x_2^2y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & 2x_ny_n & x_n^3 & 3x_n^2y_n \end{bmatrix}$$

Yüksekliği belirli her yer kontrol noktası için bir adet hata denklemi yazılır. Yükseklik için 7 bilinmeyen olduğundan, dengeleme ile bu parametrelerin tayin edilebilmesi için en az 8 yüksekliği bilinen noktaya ihtiyaç vardır. n adet yükseklik (yer kontrol) noktası için n tane hata denklemi yazılmalıdır. Burada:

$$\Delta Z = Z_{\text{arazi}} - Z_{\text{Fot}} = Z_A - Z_F$$

Genel olarak, $\Delta X = X_A - X_F$, $\Delta Y = Y_A - Y_F$ şeklindedir.

$X_A, Y_A, Z_A \dots$ Geodezik yöntemle tayin edilen memleket sistemindeki koordinatlar

$X_F, Y_F, Z_F = (x, y, z)$ fotogrametrik yöntemle tayin edilen ve memleket sistemine dönüştürülen koordinatlar.

5.1.2. Normal Denklemler ve Çözümü

(511.2) eşitliğine göre normal denklemler yazılır. Ölçü olarak triyângülasyondan bulunan koordinatlar bağımsız ve eşit ağırlıkta kabul edilirse, $P = E$ olacağından normal denklemlerin katsayıları hesaplanabilir.

c_0	c_1	d_1	c_2	d_2	c_3	d_3	-1
\underline{n}	$[x]$	$[y]$	$[x^2]$	$2[xy]$	$[x^3]$	$3[x^2y]$	$[\Delta Z]$
	$[x^2]$	$[xy]$	$[x^3]$	$2[x^2y]$	$[x^4]$	$3[x^3y]$	$[x\Delta Z]$
		$[y^2]$	$[x^2y]$	$2[xy^2]$	$[x^3y]$	$3[x^2y^2]$	$[y\Delta Z]$
			$[x^4]$	$2[x^3y]$	$[x^5]$	$3[x^4y]$	$[x^2\Delta Z]$ (512.1a)
				$4[x^2y^2]$	$2[x^4y]$	$6[x^3y^2]$	$2[xy\Delta Z]$
					$[x^6]$	$3[x^5y]$	$[x^3\Delta Z]$
						$9[x^4y^2]$	$3[x^2y\Delta Z]$

matrisiyel olarak,

$$A^T.A.c - A^T.l = 0 \quad (512.1b)$$

gösterilir. Normal denklemlerin çözümü ile matematik modeldeki bilinmeyen parametreler En Küçük Kareler Yöntemine göre belirlenmiş olur.

$$c = (A^T.A)^{-1}.A^T.l \quad (512.2)$$

veya $A^T.A = N$ ve $A^T.l = n$ denirse

$$c = N^{-1}.n \quad (512.3)$$

olur. Buradan $c_0, c_1, d_1, c_2, d_2, c_3, d_3$ parametreleri bulunur.

(512.3) normal denklem sistemi $AX = B$ biçimindedir. Bu doğrusal denklem sisteminde, A matrisine karşılık En Küçük Kareler Yöntemine göre bulunan N katsayılar matrisi diyebileceğimiz matris simetriktir. Denklem sisteminin çözümü elle çözülmeyecek kadar karmaşık olmaktadır. Uygulama da bütün kurulumlarda bulunan bilgisayarların kapasitesine uygun ve N matrisinin simetri özelliği de dikkate alınarak, bellek yeri ve işlem zamanından kazanma olanağı sağlayan, özel sayısal çözümlene yöntemleri geliştirilmiştir.

Bulunan parametreler (511.1c) polinomunda yerine konarak ΔZ Düzelt miktarları bulunur.

$$\Delta Z_{\text{Düzelt}} = c_0 + c_1 x_i + d_1 y_i + c_2 x_i^2 + 2d_2 x_i y_i + c_3 x_i^3 + 3d_3 x_i^2 y_i \quad (512.4)$$

$$\Delta Z_{\text{Denge}} = Z_F + \Delta Z(x,y) = Z_F + \Delta Z_{\text{Düzelt}} \quad (512.5)$$

Aynı şekilde konum dengelemesi için (511.1a) ve (511.1b) nolu denklemlere göre $a_0, b_0, a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3$ olmak üzere 8 bilinmeyen bulunduğundan dengeleme için en az X ve Y yer koordinatları bilinen 5 noktaya ihtiyaç vardır. Yukarıda izlenen sıraya göre hata denklemleri ve normal denklemler kurularak 8 bilinmeyen bulunur. Bunlar aşağıdaki polinomlarda yerine konarak $\Delta X_{\text{Düzelt}}, \Delta Y_{\text{Düzelt}}$ elde edilir.

$$\Delta X_{\text{Düzelt}} = a_0 + a_1 x_i - b_1 y_i + a_2 x_i^2 - 2b_2 x_i y_i + a_3 x_i^3 - 3b_3 x_i^2 y_i \quad (512.6)$$

$$\Delta Y_{\text{Düzelt}} = b_0 + b_1 x_i + a_1 y_i + b_2 x_i^2 + 2a_2 x_i y_i + b_3 x_i^3 + 3a_3 x_i^2 y_i$$

$$\begin{aligned} X_{Denge} &= X_F + \Delta X(x,y) = X_F + \Delta X_{Düzeltil} \\ Y_{Denge} &= Y_F + \Delta Y(x,y) = Y_F + \Delta Y_{Düzeltil} \end{aligned} \quad (512.7)$$

Dağlık arazilerde yani uçuş yüksekliğinin % 15 den büyük yükseklik farkı olan yerlerde iteratif bir yöntem uygulanarak topografik düzeltme getirilir. Günümüzde çoğunlukla dağlık arazilerde dengeleme işlemi Bölüm 4.6.1 de verilen iterasyon şemasına göre yapılmaktadır.

Yukarda izlenen sıraya göre ΔX , ΔY birlikte ve ΔZ düzeltmesi bağımsız çözülebileceği gibi üçü müştereken çözülebilir. Genel bir biçimde matrisiyel çözüm verilmiştir /88/,S.454.

5.1.3. Ortalama Hata Hesapları

Endirekt ölçüler dengelemesine göre birim ağırlığın ortalama hatası

$$m_o^2 = \frac{v^T P v}{n-u} \quad (513.1)$$

şeklindedir.

Burada $P = E$ olduğundan dengelemeden sonra noktaların koordinat hataları yada bir ölçünün karesel ortalama hatası bulunur.

$$m_z^2 = \frac{[vz v z]}{n_1 - 1}; \quad m_x^2 = m_y^2 = \frac{[v_x v_x] + [v_y v_y]}{2n_2 - 2} \quad (513.2)$$

Aynı şekilde kalıntı hatalar cinsinden konum hatası istenirse;

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \sqrt{2} \cdot m_x \quad (513.3a)$$

$$m_p^2 = \frac{[v_x v_x] + [v_y v_y]}{n_2 - 2} \quad (513.3b)$$

n_1 = Dengelemede kullanılan yüksekliği belli nokta sayısıdır.

n_2 = Dengeleme kullanılan (X,Y belli) yer kontrol noktalarının sayısı

v_x , v_y , v_z Dengelemeye giren noktalardaki kalıntı hatalardır. (512.1a) ve ortalama hatalardaki köşeli parantezler Gauss gösterimi ile toplamları ifade etmektedir.

6. KOLON TRIYANGÜLASYONUNUN PRESİZYONU

6.1. Presizyon Ölçekleri ve Araştırma Yöntemleri

Çoğunlukla kolon triyangelasyonunun presizyonu herşeyden önce;

1- Mutlak doğruluğu belirleyen kolondaki yer kontrol noktalarının oluşturduğu bantlar arası mesafeye yani atlanacak model sayısına, diğer bir deyişle bu noktaların dağılımına ve sayısına,

2- Değişik ölçme ve dengeleme yöntemlerinin presizyonuna,

3- Normal, geniş ve çok geniş açık alımlarla yapılan çalışmalara, resim ölçüğüne, bağlı olarak incelenmektedir.

Ayrıca arazinin yapısı (düz veya dağlık oluşu), yer kontrol noktalarının işaretlerinin niteliği, memleket sistemindeki yer kontrol noktalarının inceliği, kullanılan aletin cinsi ve presizyonu, kameranın cinsi, operatörün yetişkin olup olmadığı yani tecrübesi, bindirme oranları, resmin geometrik ve fotoğrafik kalitesi gibi daha birçok değişkenlerde işlemlerin her aşamasında sonucu bozucu bir faktör olarak etki ederler.

6.1.1. Presizyon Ölçekleri

Fotogrametride kullanılan başlıca presizyon ölçekleri şunlardır.

a) Bir ölçünün ya da Birim Ağırlığının Ortalama Hatası: Aşağıda σ_0 ile gösterilen genel formülle tanımlanır.

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{r} v^T \cdot G^{-1} \cdot v \quad (6.11.1)$$

Bu ifade de:

r = Fazla ölçü sayısını (serbestlik derecesi, Redundanz),

v = Düzeltme vektörünü,

G = Varyans matrisini

gösterir. Çoğu kez kullanılan Endirekt Ölçüler dengelemesinde, fazla ölçü sayısı $r = n - u$ şeklinde olup n ölçü sayısını, u ise bilinmeyen sayısıdır.

Ölçüler arasında farklı ağırlık ya da korelasyon söz konusu ise genel olarak birim ağırlığının karesel ortalama hatası denilir. Ölçüler bağımsız ve aynı ağırlıkta ise $G = E$ olacağından, bir ölçünün karesel ortalama hatası adını alır. Örneğin; x koordinatı için:

$$\sigma_x^2 = \sigma_o^2 = \frac{v^T v}{r} \text{ şekline gelir.} \quad (611.2)$$

b) Dengelenmiş Koordinatların Karesel Ortalama Hataları

Dengelemeden sonra her koordinatın karesel ortalama hataları $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ -yeni noktaların ortalama koordinat hataları- birim ağırlığın ortalama hatasına (σ_o) ve dengelenmiş koordinatların ağırlık katsayılarına (Q_{xx}, Q_{yy}, Q_{zz}) bağlı olarak hesaplanılır.

$$\sigma_x = \sigma_o \cdot \sqrt{Q_{xx}}; \sigma_y = \sigma_o \cdot \sqrt{Q_{yy}}; \sigma_z = \sigma_o \cdot \sqrt{Q_{zz}} \quad (611.3)$$

Genellikle;

$$\sigma_i = \sigma_o \cdot \sqrt{Q_{ii}} \quad (i = x, y, z \text{ ayrı ayrı uygulanır}) \quad (611.4)$$

şeklinde tanımlanır.

Ağırlık katsayıları genel hata yayılma kanunu kullanılarak "TIENSTRA KADDESİ" ne göre bulunur /36/. Fakat uygulamadaki pratik zorluklar nedeniyle daima normal denklemler matrisinin inversinden istifade ile hesaplanılır /37/, S.1932.

Bir kolonun ya da blok dengelenmiş noktalarının doğruluğu için,

- Ya maksimum ortalama hatalar (σ_{max})

- Ve/veya bu hatalardan bulunan karesel ortalama değerler (μ)

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum \sigma^2}{n}} \quad (n = \text{ortalama hataların sayısı}) \quad (611.5)$$

kullanılır.

c) Mutlak Doğruluk - Mutlak Ortalama Değer

Bir kolon ya da blok dengelemesinden sonra geodezik olarak belirlenen arazi koordinatları hatasız kabul edilirse, fotogrametrik yöntemle dengeleme sonucu elde edilen kontrol ve diğer karşılaştırma noktaları arasındaki aykırılıklar gerçek hataları, bunların karesel ortalamasından bulunacak değerlerde mutlak karesel ortalama değeri verirler. Bu kolon ya da blokun dış doğruluğu veya mutlak doğruluğu olarak adlandırılır /22/, S.39. Çoğunlukla test ve

simülasyon çalışması ile elde edilebileceği gibi dengelenmiş koordinatların maksimum ortalama hataları (σ_{max}) ve karesele ortalama değerleri (μ), mutlak doğruluk olarak kabul edilir /90/,S.102.

Bu değerler kolonun ya da blokun iç yapısı hakkında bilgi vermediği gibi terk edilen korelasyon nedeniyle komşu noktalar arasında koordinat farklarının inceliği hakkında bilhassa hiçbir yorumda bulunmazlar. Ayrıca,

$$\frac{\sigma_{max}}{\mu} , \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}} \quad (611.6)$$

oransal değerlerde kullanılır. Bunlara göre örneğin, kolon dengelemesinden sonra doğruluğun, homogen olup olmadığı hakkında bir fikir söylenebilir.

d) Rölatif Doğruluk - Rölatif Ortalama Hata

Rölatif doğruluk kavramı mutlak doğruluğa göre çok anlamlıdır. Çoğunlukla rölatif doğruluk : bir büyüklüğün ortalama hatasının kendi büyüklüğüne oranı olarak tanımlanır. Fakat bu şekilde bir tanım hava triyângülasyonunda kullanılmaz. Ayrıca ölçek hassasiyeti, uçuş yüksekliğinin bindesi şeklinde verilen mutlak doğruluk, rölatif doğruluk olarak nitelendirilmemelidir. Çoğu kez rölatif doğruluk komşuluk doğruluğu yani uzaklık doğruluğu ya da komşu alanlardaki koordinat farklarının inceliği olarak anlaşılır. JERİE ise, blok triyângülasyonunda rölatif doğruluğu, çok özel bir anlamda kullanmıştır. Buna göre rölatif doğruluk, dengelemek için kullanılan birimlerin (resimler, modeller, bölümler, kolonlar) ve dengelenen triyângülasyon noktaları arasındaki artık hataların hangi büyüklükte olduğuna ya da diğer bir söyleyişle bu birimlerin triyângülasyon noktalarına hangi derecede uyum gösterdiğine dair bir ölçektir. Bunun içinde dengelemeden sonra kontrol noktalarıyla birlikte tüm bağlantı noktalarındaki v artık hatalar diyebileceğimiz bu farkların karesel ortalama değeri ölçüt olarak alınır /37/,S.1929.

$$\mu_r = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n_v}} \quad (n_v = \text{büyüklüklerinin sayısı}) \quad (611.7)$$

Genellikle rölatif doğruluk kolonun ve blokun iç doğruluğu olarak tanımlanır /22/,S.39. Bu hatanın küçük ya da büyük olması yapılan orijinal ölçünün niteliğini yansıtmaz. Küçük olması serbestlik derecesi zayıf olduğunu gösterir.

Rölatif doğruluk bloklar için yaklaşık olarak $0,5.\sigma_0$ değerinde olup daha küçük artakalan gözlem hatalarına göre birbirine uyan modellerde bu değer yüksek bir doğruluk sayılır.

$$\mu_r \approx 0,5.\sigma_0 = 10 \text{ m}\mu \quad (611.8)$$

Eğer rölatif doğruluk (611.7) formülüne göre hesaplanırsa σ_0 ile μ_r arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\mu_r}{\sigma_0} = \sqrt{\frac{vv}{n}} / \sqrt{\frac{vv}{r}} = \sqrt{\frac{r}{n}}$$

Bu ifade ile rölatif doğruluk σ_0 bağılı olarak belirtilmektedir.

Yukarda tanımlanan hata ölçekleri sadece bir koordinat için sözkonusu olabileceği gibi planimetri ve bir uzay noktası için de:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} ; \sigma_L = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2} \quad (611.9)$$

σ_p , σ_L ölçekleri de uygun olabilir.

6.1.2. Presizyon Araştırma Yöntemleri

Hava Triyagülasyonunu presizyon araştırma yöntemlerinde aşağıdaki önerilere dikkat edilmelidir /37/,S.1929.

Hava triyagülasyonu genel olarak ölçülen resim koordinatlarından ve özel olarak yardımcı verilerden hareketle hesaplanır. Buradan bir hesap süreci sonunda tüm triyagülasyon noktalarının koordinatları saptanır. Bu hesap süreci ile hata yayılma kanunu ilkelerine göre resim koordinatlarının koordinatları saptanır. Bu hesap süreci ile hata yayılma kanunu ilkelerine göre resim koordinatlarının veya yardımcı verilerin tesadüfi ya da sistematik hata özellikleri eski yada yeni bulunmuş yöntemlerle saptanmasıdır. Şimdiye kadar bu yöntemler:

- Resim koordinatlarının hata özellikleri hakkında nicelik değerlerinin çok az bilinmesi,

- Hata yayılma kanunu için çok basit kabullerde dahi, hesap masraflarının çok yüksek olması nedenleriyle hiç kullanılmamaktadır.

Günümüzde bunların yerine *ampirik* ve *teorik* olmak üzere iki ana grupta toplanan yöntemler ele alınmaktadır. Değişik biçimde bu yöntemlere göre denetlenmiş blok veya kolonların presizyon araştırması yapılır.

6.1.2.1. Ampirik Yöntemler

Triangülasyon sonucu bulunan değerlerin ya bağımsız olarak birbirleriyle kontrol edilmesi ya da geodezik yöntemle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması suretiyle yani yapılan pratik testler yardımıyla presizyon araştırmaları aşağıdaki gibi yapılır.

1) *Test Blok*= Proje uygulamalarına geçmeden önce seçilen yönteme göre yer kontrol noktaları belirli olan bir bölgede deneme yapılarak bulunan sonuçlar, geodezik yöntemle elde edilen koordinatlarla karşılaştırılır. Böylece seçilen triangülasyon yönteminin mutlak doğruluğu hakkında bir fikir sahibi olunur.

2) *Repetisyon Yöntemi*= Seçilen yöntem, yine belirli bölgede birbirinden bağımsız yeteri sayıda ölçü ve hesap tekrarı ile denenir. Bulunan sonuçlar birbiriyle karşılaştırılırsa, kullanılan yöntemin inceliği hakkında bir fikir edinilir.

6.1.2.2. Teorik Yöntemler

Ampirik yöntemler, pahalı ve bölgesel koşullara bağlı olması nedeniyle doğruluk hakkında yeteri kadar bilgi edinmek olanaksızdır. Ayrıca bölgesel şartlara göre bulunan sonuçları genellemek sakıncalı olur. Artık çoğunlukla geliştirilen teorik yöntemler kullanılarak doğruluk araştırmaları yapılmaktadır.

1) *Simülasyon Yöntemi*= Simülasyon - kelime manası benzetmedir. Olaylar, işlemler ve sistemler modellerle temsil edilebilir. Model, çoğu kez yapısını ve doğasını; öğrenme, tahmin, planlama, programlama ve sonuçları kontrol amacıyla kullanılır. Model kurmada bir benzetmedir. Bir olay matematik ya da istatistik bir ifadeye, denkleme benzetilir.

Matematiksel ve istatistiksel olarak bir modelin oluşturmadiğimiz olayların yapısını ve doğasını incelemek için olayı yapay olarak canlandırmağa, kağıt üzerine getirmeye, modelsiz olarak olay üzerinde kontrol kurma gayretlerinin tümüne *simülasyon* diyebiliriz /39/,S.209.

Son yıllarda sistem planlaması ve analizinde yöneylem araştırması önem kazanması ile "*fotogrametrik sistem*" de bir model ile temsil edilmesi düşünölmüştür. Böylece gerçek olaya uyabilen bir benzeşimle teorik model üzerinde sistemin başlangıcından sonuna kadar farklı eleman ve faktörleri değiştirerek incelenmesi ancak simülasyon programının kontrolu altında değerlendirilir ve elemanların değişimleri gözlenebilir.

Fotogrametrik sistem olarak tanımlanan bir model, arazi noktasından bir ışının gelmesi ile başlar. Gerekli aşamalardan sonra ölçü yapılacak resim oluşur. Ölçü ve işlemlerin her safhasında birtakım bozucu faktörler dikkate alınırsa, sayısal bir arazi modelindeki noktaların resim koordinatları gerçeğe yakın bir benzeşimle, bu olayı simüle edebilen bir modeli yansıtabilir. Uygulamanın isteğine uygun sistematik ve tesadüfi hata parametreleri hata teorisi yapısına göre belirlenir. Değişik parametreler önceden yazılmış simülasyon programına giriş detası olarak verilirse, hayali ölçölmüş resim koordinatları elde edilir. Bunlara göre elektronik hesap makinaları yardımıyla blok dengelemesi yapılır. Bulunan koordinatlar ile arazi koordinatları karşılaştırılarak mutlak doğruluk hakkında yorumlanabilen bilgiler elde edilir.

Hava triyangölasyonunda sadece presizyonu hakkında etüdüler için değil, bilhassa bunları etkileyen değişkenlerin ekonomik biçimde seçilmesine aynı zamanda yardımcı olmaktadır /90/,S.104.

Bilgisayar ile blok ve kolonların hata davranışları ile birlikte, diğer tüm istekler simülasyon yardımıyla teorik olarak araştırılması yapılır.

2) *Analitik Yöntem*= İsteklere uygun basitleştirilmiş hata teorisine göre model kabulleri esas alınarak günümüzde elektronik hesap olanaklarının

artmasıyla teorik olarak doğruluk araştırmaları büyük önem kazanmıştır. alışmalar seçilen modelin türüne yani fonksiyonel ve stokastik olarak alınış biçimine bağlıdır. Dengelemeye giren ölçülerin ağırlık katsayıları, genel hata yayılma kanunu kullanılarak bulunabileceği gibi bu ölçülerin normal denklem matrisinin inversine göre de belirlenir. Yeni noktaların ortalama hataları (σ), birim ağırlığın ortalama hatasına (σ_0) ve dengelenmiş noktaların ağırlık katsayılarına bağlı olarak hesaplanacağını Bölüm: 6.1.1. de göstermiştik.

Hem teorik hem amprik yöntemlerle çalışmak sonuçları karşılaştırmak yönünden faydalıdır. Teorik yöntemler, amprik yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar vermesi kabul edilen matematik ve stokastik modele ait kabullere bağlıdır. Bu karşılaştırma sonunda değerlerin birbirine yakınlığı, varsayımların doğruluğu ya da uygunluğu anlamına gelir /90/,S.105.

7. SAYISAL ARAŞTIRMA

Genellikle uygulamada hava poligonu yöntemi olarak adlandırılan analog kolon triyangülasyonunda aşağıdaki işlemler sırayla yapılır.

1- Hazırlık çalışmaları: Resim çekimi ile ölçmelerin yapılmasına kadar geçen tüm işlemlerdir.

2- Ölçü işlemleri: Analog aletlerde ilk modelin karşılıklı ve mutlak yöneltmeleri yapıldıktan sonra hava poligonu yöntemiyle kolonu oluşturan modellerde, 6 taşıma noktası ile en çok 4 bölge kontrol noktasının kolon koordinatları ölçülür.

3- Hesaplamalar: Hesaplamalar, ölçülen kolon koordinatlarının arazi sistemine dönüştürülmesi ve sonra dengelenmesi şeklinde iki aşamada yapılır.

Önce kolon koordinatları, arazi koordinatlarından yararlanarak istenilen hesap koordinat sistemine (burada kolon koordinatları arazi koordinat sistemine) dönüştürülür. Çoğunlukla konum koordinatları için Helmert transformasyonu, yükseklik için lineer bir transformasyon uygulanır. Sonra polinomlarla dengeleme yapmak suretiyle yeni triyangülasyon noktalarının koordinatları hesaplanır.

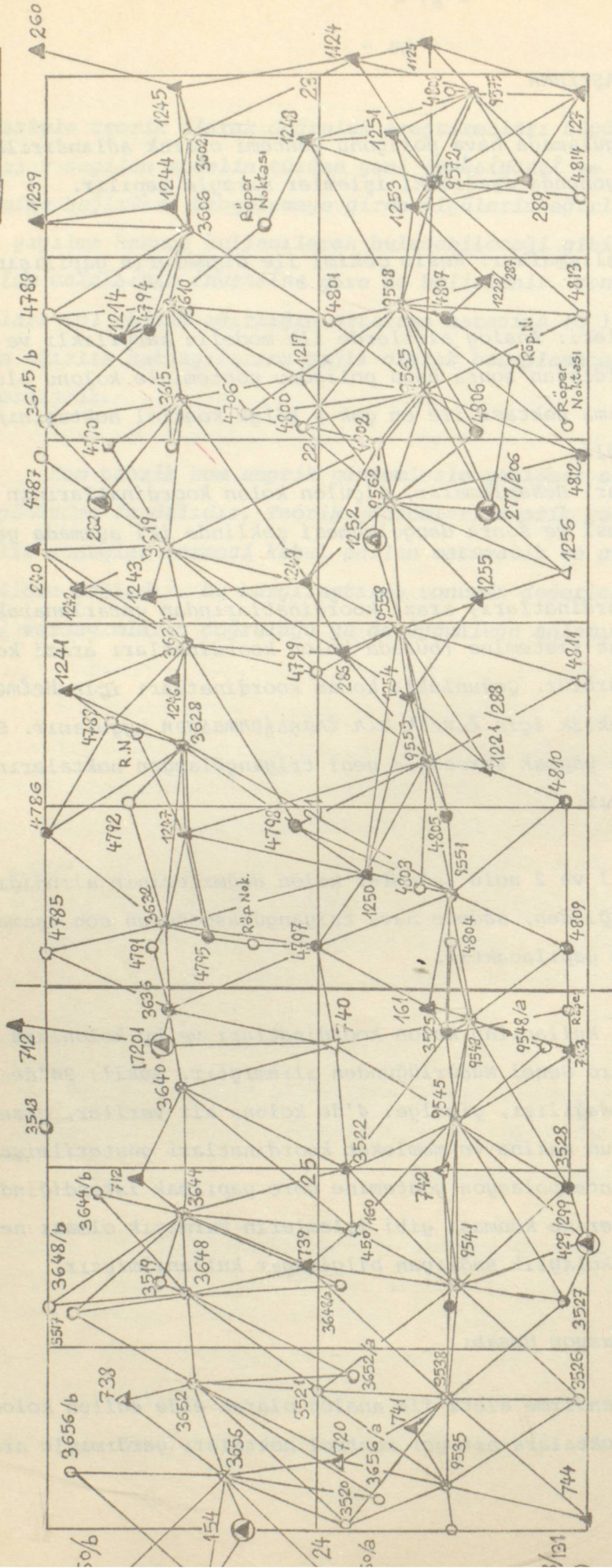
Bu çalışmada, 1 ve 2 nolu işlemler kolon değerlerinin alındığı kurumca gerçekleştirildiğinden, sadece hava triyangülasyonunun son aşamasını oluşturan 3 nolu işlem yapılacaktır.

Araştırma için kullanılan kolon koordinatları ve bu kolonlara ait veriler Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Şekil: 24'de kolondaki noktaların genel dağılışı, çizelge: 4'de kolona ait veriler, çizelge: 5'de sadece 5 nolu kolonun makina ve memleket koordinatları gösterilmiştir. Dengeleme polinomsal enterpolasyon yöntemine göre yapılmak istendiğinden, katsayıların hesabı, yerine konması gibi işlemlerin karmaşık olması nedeniyle, çözümlemede büyük kolaylık sağlayan bilgisayar kullanılmıştır.

7.1. Transformasyon Hesabı

Wild-A7 değerlendirme aleti ile analog olarak elde edilen kolon koordinatları, ortak noktalara ait yer kontrol noktaları yardımıyla arazi

KOLON : 4



KOLON : 5

- ▲ Yer Kontrol Noktaları
- Yükseklik Noktaları
- ◻ Havai Triangulasyon Noktaları (Yeni Noktalar)
- ◻ Resim Orta Noktaları

Şekil: 24. Kolonda noktaların genel dağılışı

Uçuş Yönü	: Doğu - Batı
Resim Ölçeği	: 1/21000
Resim Boyutları	: 18x18 cm ²
Resim Sayısı	: Kolon-4 : 15 , Kolon-5 : 13
Resimlerde Boyuna Bindirme	: Alımda : % 90 , Değerlendirmede: %60
Hava Kamarasının Cinsi	: Wild RC-8, No: 574
Kamera Odak Uzaklığı	: 114,24 mm
Arazideki Baz Uzunluğu	: 1512 m
Uçağın Denizden Yüksekliği	: 3500 m
Arazinin Ortalama Yüksekliği	: 1100 m
Uçağın Araziden Yüksekliği	: 2400 m
Arazinin eğimi	: % 5 den fazla
Ölçüde Kullanılan Alet	: Wild A7 , No: 632
Filmin Cinsi	: Agfa - Gewaert
Hesabın Yapıldığı Bilgisayar	: TRANSFORMASYON : IBM - 1130 (İ.D.M.M.A.) DENGELEME : Burroughs B 3700 (İ.T.Ü.)

NOT : Resimlerin ait oldukları bölge ve pafta isimleri gizlilik nedeniyle belirtilmemiştir. Ayrıca nokta numaraları ve arazi koordinatları da değiştirilerek yazılmıştır.

Çizelge : 4.

Sıra No	Nokta No	MAKİNA KOORDİNATLARI			MEMLEKET KOORDİNATLARI		
		X (mm)	Y (mm)	Z (m)	Y (m)	X (m)	Z (m)
1	1125	5242.700	5039.380	903.90	45821.500	2101.200	903.95
2	744	2940.200	4562.180	1204.50	28249.700	623.980	1245.19
3	1124	5220.020	5166.910	898.60	45768.260	3071.580	898.64
4	1251	5106.190	5050.730	956.70	44814.930	2309.370	956.45
5	289	5066.870	4878.090	917.45	44366.380	1059.610	917.35
6	742	3484.760	4814.200	1084.75	32529.520	2011.710	1107.69
7	741	3063.120	4813.820	1109.30	29390.600	2388.130	1145.27
8	739	3312.050	4993.550	1072.20	31405.460	3502.890	1099.27
9	1248	5043.740	5208.800	1032.30	44493.600	3543.380	1032.43
10	1253	5000.000	5000.000	945.00	43978.860	2027.930	944.98
11	743	3667.010	4681.060	1136.80	33766.430	855.960	1156.53
12	1250	4001.890	4984.940	1074.90	36534.300	2817.130	1086.22
13	1252	4503.350	4961.260	1003.50	40246.550	2188.450	1007.94
14	286	4290.740	5005.890	983.60	38703.540	2712.560	990.86
15	1254	4233.140	4881.120	939.70	38162.250	1835.690	947.30
16	1221	4118.690	4808.240	960.05	37244.070	1396.130	969.95
17	740	3648.360	5007.940	1203.50	33922.870	3307.210	1222.67
18	161	3737.530	4877.740	1232.05	34469.340	2256.900	1249.49
19	450	3358.880	4948.180	1108.05	31712.990	3122.810	1134.00
20	1255	4377.040	4832.400	916.55	39189.410	1343.090	922.43
21	1222	4907.240	4909.400	919.00	43205.910	1437.510	919.28
22	1256	4456.020	4751.640	854.65	39704.450	670.240	860.03
23	1249	4422.760	5110.220	1000.65	39780.910	3370.380	1006.07
24	1257	5218.420	4833.490	801.70	45454.290	590.150	801.47
25	4808	5203.230	4984.910	814.60			
26	4814	5025.860	4795.730	828.15			
27	4813	4854.590	4776.630	877.00			
28	4807	4841.980	4941.850	915.10			915.61
29	4806	4641.910	4938.360	980.05			
30	4796	4622.040	5195.920	1078.80			
31	4812	4657.910	4776.640	884.25			887.29
32	4802	4631.990	5036.970	1004.60			
33	1217	4664.710	5145.900	1078.70			
34	4811	4269.680	4709.360	890.00			
35	4799	4250.110	5075.550	968.85			
36	4805	4061.070	4860.900	1001.50			1011.66
37	4810	4036.230	4699.460	944.45			
38	4798	4035.450	5026.690	1030.85			1041.85
39	4803	3961.180	4908.760	1051.90			
40	4797	3869.100	5043.270	1201.65			1216.64
41	4804	3855.360	4857.710	1162.40			
42	4809	3900.080	4796.580	1080.50			1094.73
43	9548	3686.790	4654.470	1126.10			
44	3525	3674.930	4832.670	1193.75			1212.37
45	3522	3465.760	4958.380	1099.10			1122.84
46	3528	3493.440	4645.470	1155.55			1179.51
47	3527	3321.790	4627.950	1039.05			1068.44
48	3521	3068.330	4952.710	1205.30			
49	3524	3291.300	4789.820	991.90			1020.84
50	3520	2889.390	4910.120	1181.40			

Çizelge: 5. 5 nolu kolonun model koordinatları

koordinat sistemine dönüşüm yapılacaktır. Dönüşüm ise, konum için HELMERT transformasyonu, yükseklik için lineer bir transformasyon kullanılmıştır. Transformasyon işlemlerini bilgisayarla hesaplamak için, Fotran-IV lisanında programlanması hazırlanmıştır. Kolon dengelmesi için ilk aşamaya oluşturan dönüşüm hesaplarını yapmak üzere hazırlanan programın akış diyagramı Şekil: 25'de verilmiştir.

Kolon koordinatları, kolonun baş ve son modellerinde bulunan ya da kolona uygun dağılmış yer kontrol noktaları yardımıyla memleket koordinatlarına dönüştürülür. Memleket sistemine dönüştürülen kolon koordinatları tüm triyagülasyon hatalarını içerdiği için kaba hatalar varsa ayıklanır. Olanak dahilinde ise bunlar düzeltilir ya da kolon dengelmesi yaparken bu hatalı noktalar işleme sokulmamalıdır.

Değişik biçimde ve sayıda nokta alınarak transformasyon parametreleri, dengelenmiş olarak hesaplanmıştır (çizelge: 6,7). Bu dönüşümlere ait ortalama hatalar çizelge: 8'de verilmiştir. Böylece transformasyonun inceliği ve diğer özellikleri hakkında bilgi edinilmiş olunur.

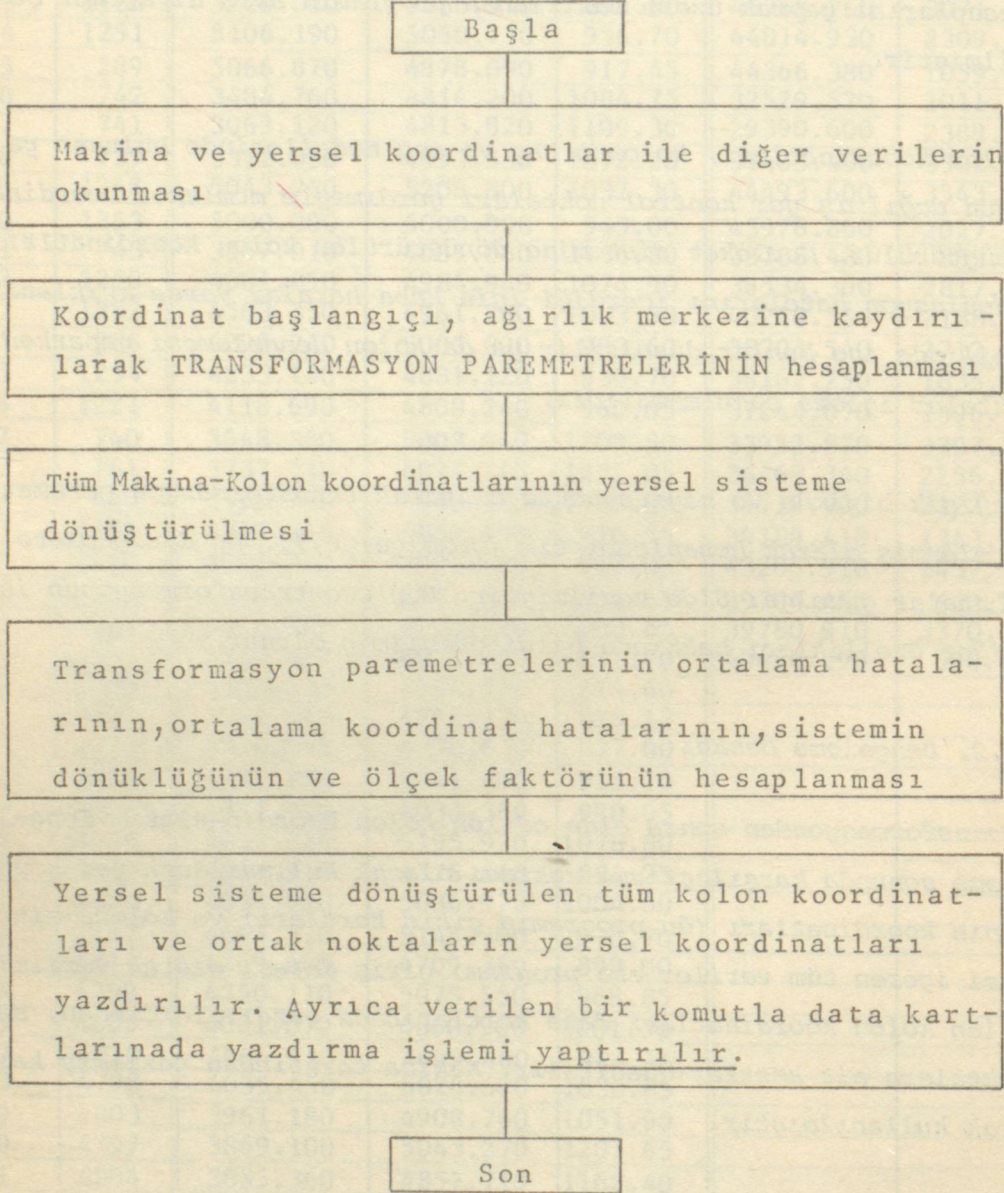
7.2. Dengelme Hesabı

Transformasyondan sonra elde edilen kolon koordinatları, dengelmede ve dengelme sonunda karşılaştırma noktası olarak kullanılacak yer kontrol noktalarının koordinatları (ön programın çıkış kartları) ve kolona ait diğer özellikleri içeren tüm veriler ana programa giriş datası olarak verilmiştir. Dönüştürülen kolon koordinatları data kartlarında yazdırıldığından, sadece hatalı noktalara ait kartlar düzeltilir. Makina tarafından yazılmış kartlar data olarak kullanılmıştır.

Bilgisayara bir problemi çözdürmek istediğimiz zaman önce problemin yapısını yansıtıcı matematik modelin kesin olarak belirlenmiş olması şarttır. Önceden ne isteyeceğiz ve buna karşılık ne veriyoruz kavramlarının çok iyi düşünülerek saptanması gerekmektedir. Problemden, istenenler verilenlere bağlı olarak, iyi bir mantık düzeni kurmak için incelenecek yollar saptanmalıdır. Yanlış düşünülerek bilgisayara verilmiş bir problemin sonuçları da yanlış olur.

" Ön Program " İçin Akış Diyagramı

(TRANSFORMASYON HESABI)



Şekil: 25.

Sıra No	Nokta NO	Memleket Sistemine Dönüştürülen Koordinatlar					
		X (m)	ΔX (m)	Y (m)	ΔY (m)	Z (m)	ΔZ (m)
1	1125	2101.200	0.000	45821.500	0.000	903.950	0.000
2	744	625.509	1.529	28248.423	-1.277	1242.496	-2.694
3	1124	3071.147	-0.433	45767.692	-0.568	899.024	0.384
4	1251	2308.853	-0.517	44815.394	0.464	958.999	2.549
5	289	1058.985	-0.625	44366.905	0.525	920.398	3.048
6	742	2010.584	-1.126	32530.138	0.618	1113.771	6.081
7	741	2388.130	0.000	29390.600	0.000	1145.270	0.000
8	739	3501.688	-1.201	31406.075	0.615	1104.068	4.798
9	1248	3542.054	-1.326	44493.042	-0.558	1035.629	3.199
10	1253	2026.955	-0.975	43979.023	0.163	949.050	4.070
11	743	854.916	-1.044	33766.916	0.486	1162.818	6.288
12	1250	2815.258	-1.872	36534.306	0.006	1095.399	9.179
13	1252	2186.572	-1.878	40246.415	-0.135	1015.735	7.795
14	286	2710.654	-1.906	38703.752	0.212	999.339	8.479
15	1254	1833.679	-2.011	38162.350	0.100	956.388	9.088
16	1221	1394.322	-1.808	37244.499	0.429	978.624	8.674
17	740	3305.429	-1.781	33922.952	0.082	1229.825	7.155
18	161	2255.620	-1.279	34469.383	0.044	1256.906	7.416
19	450	3121.653	-1.157	31713.804	0.814	1139.146	5.146
20	1255	1341.132	-1.958	39189.762	0.352	930.866	8.436
21	1222	1436.102	-1.408	43206.673	0.763	924.578	5.298
22	1256	668.607	-1.633	39704.928	0.478	867.665	7.635
23	1249	3368.312	-2.067	39780.788	-0.122	1014.213	8.143
24	1257	590.211	0.061	45454.990	0.700	802.150	0.680
25	4808	1731.267		45478.498		815.300	
26	4814	482.795		43987.277		831.774	
27	4813	495.100		42694.907		883.446	
28	4807	1736.572		42750.073		921.754	6.144
29	4806	1891.078		41257.363		990.001	
30	4796	3826.589		41341.780		1089.077	
31	4812	672.605		41230.594		893.937	6.647
32	4802	2634.198		41272.466		1014.715	
33	1217	3415.686		41614.342		1088.275	
34	4811	521.927		38279.447		906.086	
35	4799	3265.941		38464.096		985.258	
36	4805	1838.367		36863.012		1021.024	9.364
37	4810	613.716		36904.694		963.559	
38	4798	3095.820		36821.831		1050.796	8.946
39	4803	2284.808		36162.487		1073.068	
40	4797	3369.331		35598.279		1224.337	7.697
41	4804	2000.194		35328.582		1185.314	
42	4809	1504.726		35606.384		1102.678	7.947
43	9548	639.104		33890.195		1151.792	
44	3525	1976.538		33962.655		1219.637	7.267
45	3522	3101.174		32518.749		1128.434	5.594
46	3528	746.524		32442.546		1184.428	4.918
47	3527	770.936		31148.771		1070.757	2.317
48	3524	2003.597		31067.795		1024.110	3.270
49	3521	3417.494		29554.687		1241.184	
50	3520	3261.831		28184.020		1220.233	

Not: Transformasyonda; 1 ve 7 Sıra Nolu Noktalar Kullanılmıştır.

Sıra No	Nokta No	Memleket Sistemine Dönüştürülen Koordinatlar					
		X (m)	ΔX (m)	Y (m)	ΔY (m)	Z (m)	ΔZ (m)
1	1125	2101.432	0.232	45821.492	-0.007	903.371	-0.579
2	744	625.271	1.291	28248.660	-1.040	1242.026	-3.164
3	1124	3071.369	-0.213	45767.658	-0.602	898.446	-0.194
4	1251	2309.055	-0.315	44815.393	0.463	958.427	1.977
5	289	1059.189	-0.420	44366.943	0.563	919.827	2.477
6	742	2010.449	-1.261	32530.287	0.767	1113.276	5.586
7	741	2387.903	-0.226	29390.775	0.175	1144.795	-0.475
8	739	3501.505	-1.385	31406.195	0.735	1103.580	4.310
9	1248	3542.233	-1.146	44493.010	-0.590	1035.059	2.629
10	1253	2027.138	-0.792	43979.039	0.179	948.482	3.502
11	743	854.827	-1.131	33767.083	0.653	1162.314	5.784
12	1250	2815.225	-1.905	36534.386	0.086	1094.879	8.659
13	1252	2186.649	-1.801	40246.470	-0.080	1015.191	7.251
14	286	2710.682	-1.878	38703.810	0.270	998.805	7.945
15	1254	1833.702	-1.988	38162.438	0.188	955.857	8.557
16	1221	1394.324	-1.805	37244.610	0.540	978.098	8.148
17	740	3305.317	-1.893	33923.049	0.179	1229.322	6.652
18	161	2255.536	-1.364	34469.503	0.163	1256.398	6.908
19	450	3121.482	-1.329	31713.931	0.941	1138.656	4.656
20	1255	1341.189	-1.901	39189.853	0.443	930.328	7.898
21	1222	1436.270	-1.240	43206.714	0.804	924.015	4.735
22	1256	668.686	-1.554	39705.031	0.581	867.123	7.093
23	1249	3368.363	-2.017	39780.815	-0.095	1013.627	7.603
24	1257	590.451	0.301	45455.029	0.739	801.572	0.102
25	4808	1731.494		45478.506		814.723	
26	4814	482.995		43987.336		831.205	
27	4813	495.264		42694.980		882.885	
28	4807	1736.723		42750.112		921.194	5.584
29	4806	1891.186		41257.414		989.450	
30	4796	3826.678		41341.777		1088.529	
31	4812	672.727		41230.679		893.386	6.096
32	4802	2634.298		41272.496		1014.164	
33	1217	3415.787		41614.347		1087.724	
34	4811	521.969		38279.571		905.553	
35	4799	3265.956		38464.142		984.726	
36	4805	1838.354		36863.116		1020.501	8.841
37	4810	613.718		36904.831		963.035	
38	4798	3095.791		36821.900		1050.274	8.424
39	4803	2284.771		36162.587		1072.552	
40	4797	3369.265		35598.355		1223.824	7.184
41	4804	2000.137		35328.699		1184.801	
42	4809	1504.682		35606.512		1102.162	7.432
43	9548	639.022		33890.366		1151.287	
44	3525	1976.443		33962.788		1219.133	6.763
45	3522	3101.026		32518.867		1127.940	5.010
46	3528	746.402		32442.731		1183.932	4.422
47	3527	770.776		31148.971		1070.269	1.829
48	3524	2003.421		31067.961		1023.623	2.783
49	3521	3417.260		29554.831		1240.709	
50	3520	3261.560		28184.185		1219.766	

Not: Transformasyonda; 1,2,3,7,8,24 Sıra Nolu Noktalar Kullanılmıştır.

Çizelge: 7. 5 nolu kolonun 6 nokta ile transformasyonu

Kolon Nosu	Kolondaki M o d e l Sayısı	Transfor.da Kullanılan Nokta Sayı.	Ortalama Koordinat Hataları		Sistemin Dönüklüğü ϵ G. c. cc.	Ölçek Faktörü λ	Not
			Konum Ha. m_p (m)	Yük. Ha. m_z (m)			
5	12	2	-	-	7 67 64	7.4996	(1125-741)
5	12	2	-	-	7 67 06	7.4991	(1125-744)
5	12	6	± 1.26	± 2.70	7 67 47	7.4995	.
5	12	10	1.32	4.20	7 67 51	7.4996	
5	6	2	-	-	7 68 92	7.4997	
5	6	6	0.40	0.72	7 69 09	7.4998	
5	6	10	0.38	0.83	7 69 12	7.4997	
4	14	2	-	-	-1 24 89	7.4883	
4	14	6	2.47	2.13	-1 24 62	7.4883	.
4	14	10	2.39	2.05	-1 24 24	7.4887	
4	6	2	-	-	-1 23 89	7.4934	
4	6	6	0.67	1.09	-1 23 83	7.4936	
4	6	10	0.88	0.90	-1 24 00	7.4942	

Çizelge: 3.

Çözümü bilgisayarla yapılacak olan ve bilgisayar diliyle yazılmış problemlere *problem-programlar* denilmektedir. Bir problemin bilgisayara verilmesi ve sonuçların alınmasına kadar geçirdiği bütün aşamalar ise *programlama kavramı* altında tanımlanır /20/,S.1.

Bilgisayara, programlanmış problemleri çözdürmeden önce program, gereği kadar test edilmiş olmalıdır. Bilhassa tüm programı oluşturulan alt programlar ayrı ayrı önceden çözülmüş basit problemlere göre kontrol edilmelidir.

Programlamadan sonra büyük bir külfet olan data kartlarının (burada transformasyon sonucu elde edilen kolon koordinatları) hazırlanması ve kontrol edilerek makinaya verilmesidir. Transformasyon sonucunu, makinadan çıkışta data kartlarına yazdırılmış olduğundan data yazması ve yazma hatası yok edilmiştir.

Programda, kolondaki nokta ve model sayısı pratik olarak sınırlan-

bilir. Kolonda ne kadar fotogrametrik nokta, dengelemede ve karşılaştırma noktası olarak kaç nokta veriliyor ise önceden belirlenmesi gerekir. İlaveten konum ve yükseklik dengelemesinde, değişik sayıda yer kontrol noktaları ve yüksekliği belirli noktalar ile dengeleme olanağı vardır. Program, şekil 26'da görüldüğü gibi ana program ve ona bağlı alt programlardan oluşmaktadır. Alt programların yaptığı görevler ve özellikleri de kısaca Şekil: 26'da görülmektedir.

Polinomlarla kolon dengelemesi yapmak için hazırlanan programın ana hatları kısaca aşağıda özetlenmiştir:

- Arazinin durumuna ve kolon boyunca yer kontrol noktalarının dağılımına göre düzeltme polinomu seçilmiştir. Bölüm 4.7'de (47.1), (47.3) nolu ifadelerdeki 2. ve 3. derece polinomlar kullanılmıştır. Burada önce 2. derece polinomlarla dengelemede, z li terimler alınmamıştır. Dağlık arazilerin 3. derece polinomlarla kolon dengelenmesinde, z li terimler dikkate alınarak topografik düzeltme miktarları, iteratif yöntem uygulanarak programa göre hesaplanmıştır.

- Transformasyondan sonra bulunan kolon koordinatları ile hatasız kabul edilen yer kontrol noktaları arasındaki farklardan ΔX , ΔY , ΔZ kapanmaları bulunmuştur (çizelge 6,7).

- En Küçük Kareler Yöntemi ve endirekt ölçüler dengelemesi uygulanarak Bölüm: 5'de anlatılan sıraya göre hata denklemleri, normal denklemler kurulmuş ve a_i , b_i , c_i , d_i katsayıları hesaplatılmıştır.

- Bu katsayılar yardımıyla koordinatlara getirilecek düzeltme miktarları hesaplanıp düzeltilmiş koordinatlar ($x + \Delta X$, $y + \Delta Y$, $z + \Delta Z$) bulunduktan sonra kontrol noktalarındaki kalıntı kapanmalar saptanmıştır.

- Dengelemeden sonra da, kalıntı hatalar işaret ve büyüklüklerine göre incelenerek kaba hatalar varsa ve bu hatalar parametre hesabına esas (dengelemede kullanılan noktalar) alınmış ise, kontrol edilerek düzeltilmelidir. Düzeltme olanağı yoksa dengelemeden çıkarılmalıdır. Yerine başka nokta alınarak hesap tekrar edilmelidir.

- Gerekli hesap kontrolleri yaptııldıktan sonra dengelemeden sonraki ortalama hatalar ve karesel ortalama değerler programda hesap edilmiştir.

- Dağlık arazilerin dengelenmesi için, 3. derece z ilaveli terimler kullanılarak iteratif çözüm uygulanmıştır (Şekil: 27).

SUBROUTINE TIME(TME,TME)

İşlemin başlangıcı ile sonucu arasında geçen süreyi saniye cinsinden hesaplar. Bu alt program SİSTEME kataloglanmıştır.

SUBROUTINE GMTRA(A,R,N,M)

Bir matrisin transpozisini bulmaya yarar. Bir A matrisinin satırlarını aynı numaralı sütunlar yapmak suretiyle oluşturulan A^T transpoze matrisi, bu alt programa göre hesaplanır.

SUBROUTINE MATMPY(A,B,C,M,N,R)

İki matrisin çarpımını yapar. A ve B gibi iki matrisin çarpımı için A matrisinin sütun sayısının B matrisinin satır sayısına eşit olması gerekir.

SUBROUTINE MINV(A,N,D,L,M)

Standart GAUSS - JORDAN yöntemi ile genel bir matrisin tersini bulmak için kullanılır. Verilen matrisin determinantı da bulunur. Kolonlar halinde yerleştirilmiş olması lazımdır.

SUBROUTINE POL(.,.,.,....)

POLİNOMLARLA KOLON DENGELEMESİ yapmak için hazırlanan alt program. İstenilen polinoma adabte edilebilir.

ANA PROGRAM

CALL ALTPRG1(TIME)

CALL ALTPRG2(POL)

CALL ALTPRG1(TIME)

SUBROUTINE ALTPRG1

SUBROUTINE ALTPRG2

CALL ALTPRG3(GMTRA)

CALL ALTPRG4(MATMPY)

CALL ALTPRG4(MATMPY)

CALL ALTPRG5(MIN)

CALL ALTPRG4(MATMPY)

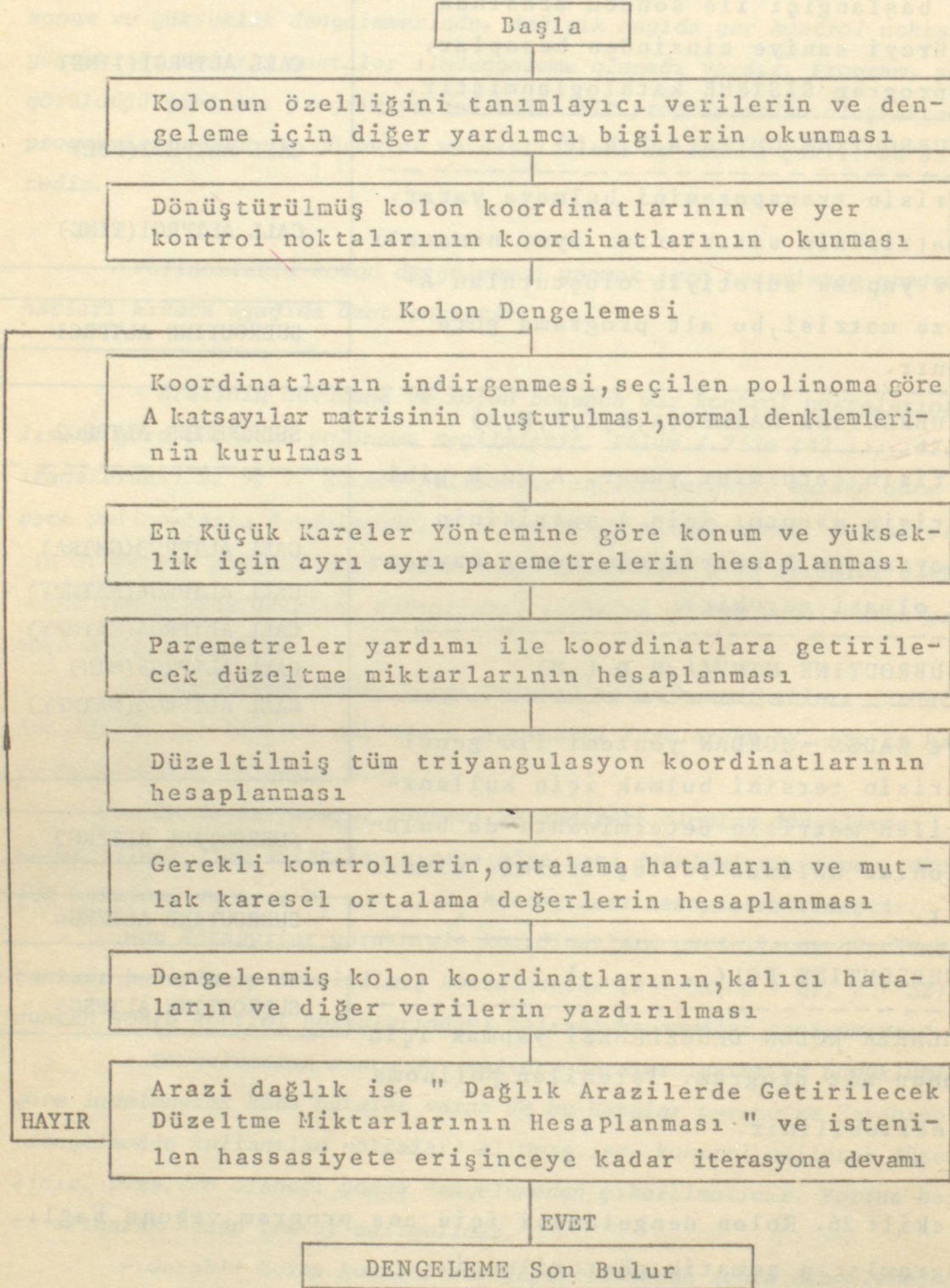
SUBROUTINE ALTPRG3

SUBROUTINE ALTPRG4

SUBROUTINE ALTPRG5

Şekil: 26. Kolon dengelemesi için ana program vebuna bağlı alt programların şematik gösterilmesi.

" Ana Program " İçin Akış Diyagramı
(KOLON DENGELEMESİ)



Şekil: 27.

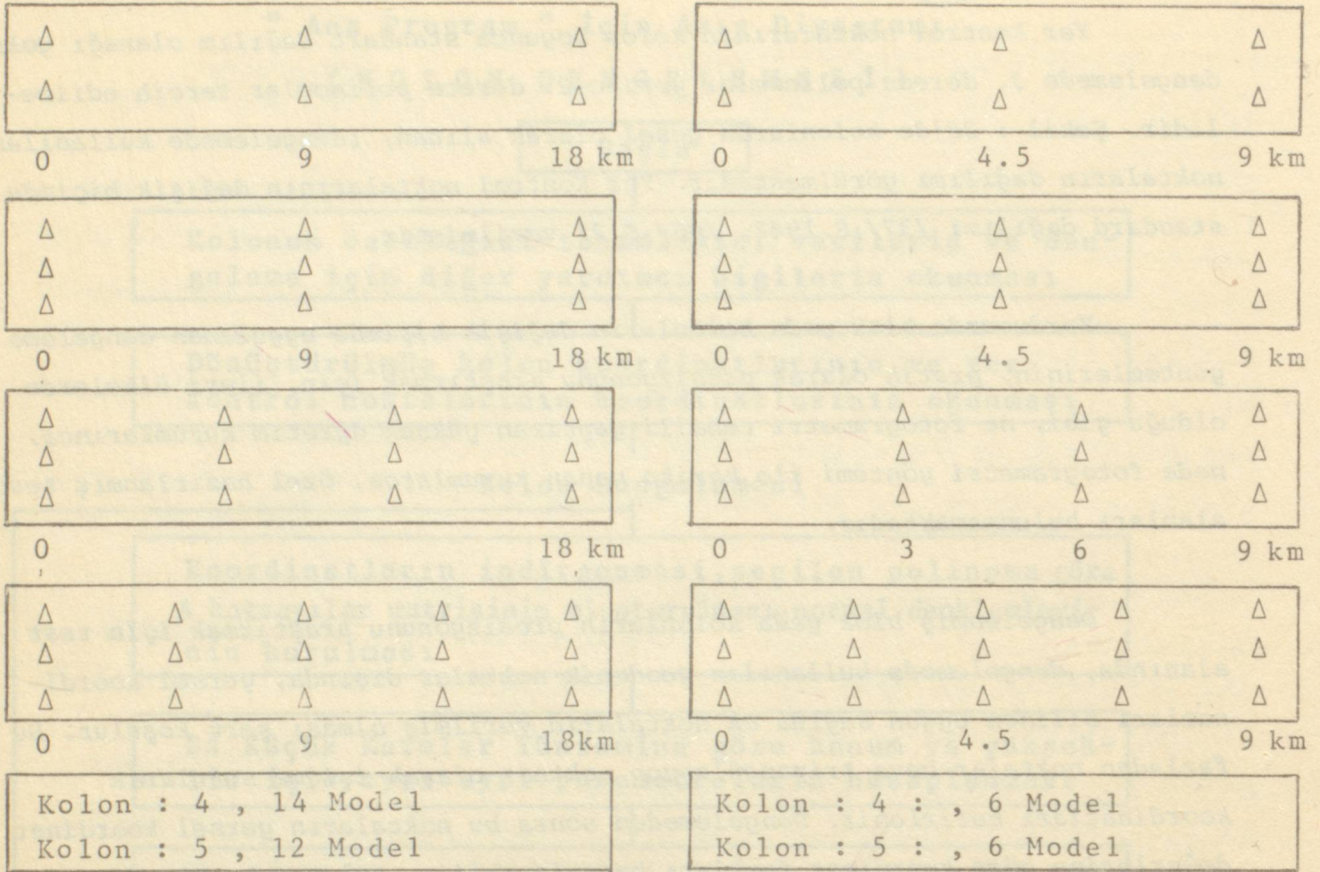
Yer kontrol noktalarının kolon boyunca standart dağılım olanağı yoksa dengelemede 3. derece polinomlar yerine 2. derece polinomlar tercih edilmiştir. Şekil : 28'de kolonlarda genel olarak alınan, (dengelemede kullanılan) noktaların dağılımı görülmektedir. Yer Kontrol noktalarının değişik biçimde standard dağılımı /37/,S.1942, /86/,S.27 verilmiştir.

Yurdumuzda blok yada kolonların değişik biçimde uygulanan dengeleme yöntemlerinin, pratik olarak presizyonunu araştırmak için, ileri ülkelerde olduğu gibi, ne fotogrametri tahsili yaptıran yüksek öğretim kurumlarınca, nede fotogrametri yöntemi ile harita yapan kurumlarca, özel hazırlanmış test alanları bulunmamaktadır.

Dengelenmiş blok yada kolonların presizyonunu araştırmak için test alanında, dengelemede kullanılan geodezik noktalar dışında, yersel koordinatları bilinen uygun sayıda ek noktaların verilmiş olması şart koşulur. Bu fazladan noktalar hava triyângülasyon noktası olarak işleme sokularak koordinatları belirlenir. Dengelemeden sonra bu noktaların yersel koordinat değerlerine göre koordinat farkları hesaplanabilir. Bulunan bu koordinat farkları fotogrametrik nokta belirlemesinin gerçek hatası olarak ele alınabilir. Böylece ilgili noktaların doğruluğu için bir tahminde bulunmaya olanak sağlarlar. Eğer yer kontrol noktaları, test alanına homogen ve yeteri kadar sıklıkla dağılmışlar ise, ilgili kolon ve blok içinde bulunan diğer kontrol edilmemiş noktalar için de geçerlidirler /37/,S.1930.

Fotogrametrik ve geodezik koordinatlardan elde edilen koordinat farklarının, fotogrametrik koordinat hatası olarak yorumlanmasında dikkat edilecek husus, geodezik karşılaştırma noktalarının koordinat doğruluğunun, gerçek değer olarak geçerli olabilmesi için, geodezik koordinat belirleme doğruluğunun çok yüksek olması gerekmektedir.

Pratik uygulamalar göstermiştir ki geodezik kontrol ölçülerinin doğruluğu yeterli değildir. Presizyon hakkında açıkca fikir verebilmek için pratik denemelerle ilgili test alanının, yersel kontrol ölçmelerinin, çok dikkatli yapılması şarttır.



Şekil: 28. Dengelemede kullanılan noktaların genel dağılımı

Ülkemizde kolon yada blokların presizyonunu incelemek için bir test sahası olmadığından araştırmada Tapu ve Kadastro penel Müdürlüğünden (1/5000 ölçekli-STK- haritalarınının yapımı için hazırlanan) alınan 4 ve 5 nolu kolonlar kullanılmıştır. Dengeleme ise, hazırlanan polinomlarla kolon dengelemesi programlarına göre aşağıda sıralanan tertiplere uygulanmıştır.

1- Transformasyon işlemi, değişik sayıda nokta kullanılarak yapılmıştı. Bulunan bu değişik sonuçlara göre kolon dengelemesi (2, 6, 10 noktaya göre transformasyon),

2- Kolonda bulunan model sayısına (kolonun uzunluğuna ve kısırlığına) göre dengeleme,

3- Kolonda bulunan bantlar arası atlanacak model sayısına (nokta sayısı) göre dengeleme,

4- Konum ve yükseklik dengelemesinde kullanılan aynı yer kontrol noktaları dışında, sadece yüksekliği belirli ek noktalar ile yükseklik dengelemesi (Konum ve yükseklik dengelemesinde eşit sayıda nokta ile, yükseklik dengelemesinde fazla nokta ile dengeleme),

5- Yukarıda düşünülen tüm gruplamalara göre 2. ve 3. derece polinomlar kullanılarak dengeleme yapılmıştır.

Transformasyon sonucubulunan ve ölçü diyebileceğimiz x, y değerleri ile, $\Delta X, \Delta Y$ ve ΔZ kalıntı hatalarının mümkün merteye birbirine eşit duruma getirmek ya da istenilen bir değerde küçültmek suretiyle tüm çözümler tekrarlanmıştır. Bunları, doğrudan ve indirgeyerek (veya normal denklemlerin katsayılarını normlaşturma) çözüm diye adlandırılmıştır. Bu şekilde hesaplamaların faydası, çok büyük ve küçük sayılar ile işlem yaparken hesaplama yanlısını ortadan kaldırmaktır.

Bilgisayarlarla işlem yaparken çoğu kez yuvarlama yanlısı (round off) ve duyarlılık yanlısı ile karşılaşılır. Makinada işlem sırasında duyarlık yanlısı, yuvarlama yanlısı gibi bir makina sayısının uzunluğunun belirli olması yüzünden ortaya çıkar. Bu tip yanlışlar özellikle birbirine çok yakın iki sayının çıkarılması sırasında ya da bölünene göre çok küçük bölene, bölme işlemi yapıldığı zaman söz konusudur. Makinadan ilerigelen duyarlık yanlısı yuvarlama yanlısına göre çok daha önemlidir. Genellikle küçük bir sayı ile bölme veya çok büyük bir sayı ile çarpma işlemi yapıldığı zaman sonuçlardaki yanlışlar büyük olabilecektir /91/,S.20.

Bilgisayarda, böyle yanlışların önüne geçmek için önleyici tedbirler alınmalıdır. Bu amaçla birçok yöntemler geliştirilmiştir. En basit yöntem çift duyarlıklı sayılar kullanılmaktadır. Bu yöntem pahalı bir yöntemdir. Çünkü çift duyarlıklı sayılarla yapılan işlemler, bazı bilgisayarlarda, aşağı yukarı 8 kat fazla zaman almaktadır /91/ ,S.22. Bundan dolayı problemlerin teknik ve matematik yapısına uygun yöntemler uygulanmalıdır.

7.2.1. 2. ve 3. Derece Polinomlarla Kolon Dengelemesi

4. ve 5. nolu kolonların 2. ve 3. derece polinomlarla dengelemesi için 3 seri halinde hesaplamalar yapılmıştır. Her seride 30 değişik şekilde

kolon dengelemesi bulunmaktadır. Aşağıda bu serilerin kolon dengelemesine ait sonuçları ortaya konacak ve irdellemeleri yapılacaktır.

- Aynı kolona ait değişik sayıda nokta ile hesaplanan transformasyon sonuçlarına göre dengeleme yapılmıştır. 2 ve 6 nokta ile yapılan transformasyon sonuçları kullanılarak polinomlarla dengeleme yapılmış, sonuçların değişmediği saptanmıştır.

- 2. Derece polinomlarla 4 ve 5 nolu kolonların değişik biçimlerde dengelemesi yapılmıştır. 12 modelli, 5 nolu kolonun indirgeyerek, konum için 9, yükseklik dengelemesi içinde 15 nokta ile çözümü çizelge: 9 da verilmiştir. Aynı kolonun konum için 12, yükseklik dengelemesinde 18 nokta ile 2. derece polinomlarla dengelemesi çizelge: 10 da ve 3. derece polinomlarla dengelemesi (indirgeyerek) çizelge: 11'de, çizelge: 12'de de doğrudan çözüme göre dengelenmiş kesin koordinatların sonuçlarından birer örnek verilmiştir.

Bu çizelgelerde, dengelemeden sonraki kolonun kesin koordinatları ve kalıcı hatalar görülmektedir.

7.2.1.1. Birim Ağırlığın Ortalama Hataları

Dengelemeden sonra dengelemeye giren noktalar yardımıyla birim ağırlığın ortalama hatası konum için (513.2) ve yükseklik için (513.3) formüllerine göre hesaplanmıştır. Örneğin çizelge: 11'in sonuçlarına göre:

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{v_x v_x + v_y v_y}{n-4}} = \pm \sqrt{\frac{0.2141 + 0.2280}{12-4}} = \pm 23.5 \text{ cm } (11.2 \mu\text{m})$$

$$m_z = \pm \sqrt{\frac{v_z v_z}{n-7}} = \pm \sqrt{\frac{0.560}{18-7}} = \pm 22.6 \text{ cm } (\% 0,094 . h)$$

bulunur. Parantez içindeki değerler konum hatası için resim ölçeğinde mikron olarak, yükseklik hatası, araziden olan uçuş yüksekliği cinsinden belirtilmiştir. Tüm hesaplara ait birim ağırlığın ortalama hataları çizelge: 15, 16 ve 17 de, gösterilmiştir. Bu çizelgelerde, 2. ve 3. derece polinomlar için indirgeyerek doğrudan, konum ve yükseklik dengelemesinde aynı ve değişik sayıda nokta kullanmak suretiyle elde edilen sonuçlar özet olarak verilmiştir.

Nokta Nosu	Denge.de Kulla.lan Noktalar	5 Nolu Kolonun D E N G E L E N M İ Ő Koordinatları					
		X (m)	V _x (m)	Y (m)	V _y (m)	Z (m)	V _z (m)
1125	-	2101.228	0.028	45821.548	0.048	903.864	-0.086
1124	-	3071.247	-0.333	45768.233	-0.027	898.631	-0.009
1257	-	590.358	0.208	45454.281	-0.009	801.612	0.142
286	-	2712.673	0.113	38703.669	0.129	990.631	-0.229
1221	-	1391.341	0.211	37244.433	0.363	970.052	0.102
1250	-	2817.207	0.077	36534.141	-0.159	1086.664	0.444
740	-	3306.866	-0.344	33922.591	-0.279	1222.581	-0.089
741	-	2387.676	-0.454	29390.610	0.010	1145.139	-0.131
744	-	624.475	0.495	28249.625	-0.075	1245.317	0.127
4812	-	674.278		41230.200		887.175	-0.115
4798	-	3097.793		36821.653		1041.934	0.084
4809	-	1506.576		35606.402		1094.580	-0.150
3522	-	3102.162		32518.400		1122.813	-0.027
3528	-	747.578		32443.066		1179.403	-0.107
3524	-	2004.030		31067.921		1020.885	0.045
4807	-	1737.860		42749.899		916.482	0.872
4805	-	1840.358		36862.934		1012.414	0.754
4797	-	3371.143		35597.997		1215.857	-0.783
3525	-	1978.027		33962.653		1212.634	0.264
3527	-	771.466		31149.454		1067.658	-0.782
289	-	1059.654	0.044	44366.458	0.078	917.729	0.379
1255	-	1343.119	0.029	39189.594	0.184	922.607	0.177
1254	-	1835.713	0.023	38162.238	-0.012	947.746	0.446
1249	-	3370.254	-0.126	39780.826	-0.084	1005.822	-0.248
1256	-	670.539	0.299	38704.662	0.212	859.786	-0.244
743	-	856.387	0.427	33767.239	0.809	1156.238	-0.292
1251	-	2309.374	0.004	44815.494	0.564	956.882	0.432
1253	-	2027.818	-0.112	43978.970	0.110	945.533	0.553
1248	-	3542.762	-0.618	44493.651	0.051	1032.681	0.251
1222	-	1437.231	-0.279	43206.398	0.488	919.996	0.716
1252	-	2188.445	-0.005	40246.324	-0.226	1007.873	-0.067
161	-	2257.229	0.329	34469.297	-0.043	1249.403	-0.087
742	-	2011.619	-0.091	32530.187	0.667	1108.365	0.675
450	-	3122.319	-0.491	31713.428	0.438	1134.654	0.654
739	-	3502.204	-0.686	31405.525	0.065	1099.973	0.703
4808	-	1731.452		45478.350		814.581	
4814	-	483.601		43986.616		828.582	
4813	-	496.373		42694.350		878.353	
4806	-	1892.764		41257.227		983.015	
4796	-	3828.290		41342.068		1081.778	
4802	-	2635.894		41272.489		1007.591	m _p =±41.8cm
1217	-	3417.321		41614.569		1081.329	
4811	-	523.963		38279.312		897.733	m _z =±19.6cm
4799	-	3267.966		38464.019		976.376	
4810	-	615.724		36904.706		955.195	
4803	-	2286.723		36162.376		1064.565	
4804	-	2001.988		35328.528		1177.267	
9548	-	640.614		33890.562		1145.137	
3521	-	3417.073		29554.112		1240.492	
3520	-	3260.577		28183.515		1222.646	

Çizelge: 9. Dengelenmiş kolon koordinatları (İndirgeyerek, 2.derece poli.la çözüm;konumda 9, yükseklikte 15 nokta kullanıldı)

Nokta Nosu	Denge.de Kulla.lan Noktalar	5 Nolu kolonun D E N G E L E N M İ Ş Koordinatları					
		X (m)	Y (m)	Z (m)	V _x (m)	V _y (m)	Z (m)
1125	-	2101.203	45821.545	903.862	0.003	0.045	-0.088
1124	-	3071.221	45768.225	898.596	-0.359	-0.035	-0.144
1257	-	590.331	45454.281	801.653	0.181	-0.009	0.183
1256	-	670.505	39704.607	859.762	0.265	0.157	-0.268
1255	-	1343.078	39189.538	922.571	-0.012	0.128	0.41
1254	-	1835.668	38162.180	947.703	-0.022	-0.070	0.403
1221	-	1396.304	37244.373	970.012	0.174	0.303	0.062
1250	-	2817.151	36534.088	1066.615	0.021	-0.212	0.395
286	-	2712.617	38703.614	990.577	0.057	0.074	-0.283
740	-	3306.808	33922.554	1222.552	-0.402	-0.316	-0.118
741	-	2387.670	29390.613	1145.163	-0.460	0.013	-0.107
744	-	624.533	28249.622	1245.329	0.553	-0.078	0.139
4812	-	674.242	41230.154	887.162			-0.128
4798	-	3097.732	36821.601	1041.882			0.032
4809	-	1506.544	35606.345	1094.542			-0.188
3522	-	3102.115	32518.374	1122.800			-0.140
3528	-	747.584	32443.020	1179.378			-0.132
3524	-	2004.019	31067.900	1020.881			0.041
4807	-	1737.820	42749.864	916.457			0.849
4805	-	1840.316	36862.877	1012.371			0.711
4797	-	3371.080	35597.950	1215.812			-0.828
3525	-	1977.996	33962.606	1212.603			-0.233
3527	-	771.484	31149.419	1067.642			-0.798
289	-	1059.623	44366.441	917.740	0.013	0.061	0.390
1252	-	2188.396	40246.272	1007.828	-0.054	-0.278	-0.112
1249	-	3370.193	39780.774	1005.757	-0.187	-0.136	-0.313
743	-	856.377	33767.185	1156.206	0.419	0.755	-0.324
1254	-	2309.342	44815.477	956.863	-0.028	0.547	0.413
1253	-	2027.781	43978.946	945.513	-0.149	0.086	0.533
1248	-	3542.725	44493.626	1032.623	-0.655	0.026	0.193
1222	-	1437.194	43206.367	919.984	-0.316	0.457	0.704
161	-	2257.189	34469.249	1249.369	0.289	-0.091	-0.121
742	-	2011.596	32530.151	1108.346	-0.114	0.631	0.656
450	-	3122.277	31713.410	1134.652	-0.533	0.420	0.652
739	-	3502.154	31405.515	1099.978	-0.736	0.055	0.708
4808	-	1731.424	45478.344	814.587			
4814	-	483.570	43986.598	828.604			
4813	-	496.340	42694.317	878.359			
4806	-	1892.719	41257.181	982.879			
4796	-	3828.231	41342.021	1081.704			
4802	-	2635.843	41272.442	1007.541		m _p = ±37.2cm	
1217	-	3417.266	41614.523	1081.264			
4811	-	523.934	38279.251	897.704		m _z = ±22.5cm	
4799	-	3267.904	38463.965	976.316			
4810	-	615.700	36904.643	955.161			
4803	-	2286.676	36162.322	1064.521			
4804	-	2001.949	35328.475	1177.228			
9548	-	640.610	33890.507	1145.105			
3521	-	3417.038	29554.125	1240.527			
3520	-	3260.559	28183.548	1222.705			

Çizelge: 10. Dengelenmiş kolon koordinatları (İndirgeyerek, 2.derece poli.la, konumda 12, yükseklikte 18 nokta kullanıldı.)

Nokta Nosu	Denge.de Kulla.lan Noktalar	5 Nolu Kolonun D E N G E L E N M İ Ő Koordinatları					
		X (m)	Y (m)	Z (m)	V _x (m)	V _y (m)	V _z (m)
1125	-	2101.242	45821.508	903.862	0.042	0.008	-0.088
1124	-	3071.413	45768.075	898.696	-0.167	-0.185	0.056
1257	-	590.120	45454.561	801.541	-0.030	0.271	0.071
1256	-	670.470	39704.397	859.830	0.230	-0.053	-0.200
1255	-	1343.025	39189.360	922.597	-0.065	-0.050	0.167
1254	-	1835.648	38162.097	947.694	-0.042	-0.153	0.394
1221	-	1396.362	37244.326	970.045	0.232	0.256	0.095
1250	-	2817.168	36534.220	1086.545	0.038	-0.080	0.325
286	-	2712.502	38703.536	990.498	-0.058	-0.004	-0.362
740	-	3307.036	33922.976	1222.517	-0.174	0.106	-0.153
741	-	2387.993	29390.509	1145.284	-0.137	-0.091	0.014
744	-	624.110	28249.675	1245.189	0.130	-0.025	-0.001
4812	-	674.104	41229.899	887.203			-0.087
4798	-	3097.726	36821.717	1041.781			-0.069
4809	-	1506.664	35606.471	1094.581			-0.149
3522	-	3102.484	32518.660	1122.819			-0.021
3528	-	747.713	32443.349	1179.424			-0.086
3524	-	2004.312	31067.894	1020.935			0.095
4807	-	1737.628	42749.595	916.442			0.832
4805	-	1840.368	36862.895	1012.372			0.712
4797	-	3371.132	35598.259	1215.726			-0.914
3525	-	1978.177	33962.959	1212.629			0.259
3527	-	771.559	31149.533	1067.651			-0.789
289	-	1059.418	44366.286	917.684	-0.194	-0.094	0.334
1252	-	2188.221	40246.019	1007.794	-0.229	-0.531	-0.146
1249	-	3369.985	39780.625	1005.637	-0.395	-0.285	-0.433
743	-	856.539	33767.448	1156.277	0.579	1.018	-0.253
1251	-	2309.282	44815.203	956.859	-0.088	0.273	0.409
1253	-	2027.632	43978.660	945.493	-0.298	-0.200	0.513
1248	-	3542.736	44493.113	1032.662	-0.644	-0.487	0.232
1222	-	1436.995	43206.110	919.964	-0.515	0.200	0.683
161	-	2257.337	34469.614	1249.378	0.437	0.274	-0.111
742	-	2011.864	32530.403	1108.378	0.154	0.883	0.687
450	-	3122.707	31713.648	1134.709	-0.103	0.658	0.709
739	-	3502.670	31405.656	1100.062	-0.220	0.196	0.792
4808	-	1731.380	45478.482	814.572			
4814	-	483.336	43986.582	828.554			
4813	-	496.133	42694.107	878.360			
4806	-	1892.527	41256.869	982.961			
4796	-	3827.971	41341.660	1081.596			
4802	-	2635.628	41272.127	1007.487			
1217	-	3417.019	41614.123	1081.182		m _p =±23.5cm	
4811	-	523.991	38279.079	897.801			
4799	-	3267.779	38463.949	976.189		m _z =±22.6cm	
4810	-	615.817	36904.562	955.259			
4803	-	2286.748	36162.442	1064.495			
4804	-	2002.056	35328.702	1177.241			
9548	-	640.765	33890.743	1145.187			
3521	-	3417.644	29554.175	1240.736			
3520	-	3261.147	28183.163	1223.010			

Çizelge: 11. Dengelenmiş kolon koordinatları (İndirgeyerek, 3.derece poli.la, konumda 12, yükseklikte 18 nokta kullanıldı.)

Nokta Nosu	Denge.de Kulla.lan Noktalar	5 Nolu Kolonun D E N G E L E N M İ Ş Koordinatları					
		X (m)	Y (m)	Z (m)	V _x (m)	V _y (m)	V _Z (m)
1125	-	2101.284	45821.528	903.861	0.084	0.028	-0.089
1124	-	3071.442	45768.168	898.699	-0.139	-0.092	0.059
1257	-	590.148	45454.452	801.538	-0.002	0.162	0.068
1256	-	670.545	39704.310	859.830	0.305	-0.140	-0.200
1255	-	1343.040	39189.345	922.596	-0.050	-0.065	0.166
1254	-	1835.642	38162.133	947.687	-0.048	-0.117	0.387
1221	-	1396.466	37244.336	970.040	0.336	0.266	0.090
1250	-	2817.066	36534.308	1086.546	-0.064	0.008	0.326
286	-	2712.352	38703.646	990.493	-0.208	0.106	-0.367
740	-	3306.889	33922.961	1222.538	-0.321	0.091	-0.132
741	-	2387.889	29390.270	1145.289	-0.241	-0.330	0.019
744	-	624.326	28249.785	1245.193	0.346	0.085	0.003
4812	-	674.110	41229.791	887.211			-0.079
4798	-	3097.569	36821.827	1041.774			-0.076
4809	-	1506.825	35606.495	1094.587			-0.143
3522	-	3102.371	32518.565	1122.821			-0.190
3528	-	748.110	32443.405	1179.432			-0.078
3524	-	2004.405	31067.826	1020.904			0.064
4807	-	1737.524	42749.591	916.448			0.838
4805	-	1840.417	36862.934	1012.368			0.708
4797	-	3370.955	35598.335	1215.744			-0.896
3525	-	1978.298	33962.969	1212.650			0.280
3527	-	771.938	31149.612	1067.624			-0.816
289	-	1059.385	44366.214	917.688	-0.225	-0.166	0.338
1252	-	2188.097	40246.078	1007.800	-0.353	-0.470	-0.170
1249	-	3369.730	39780.804	1005.633	-0.650	-0.106	-0.437
743	-	856.891	33767.480	1156.288	0.931	1.051	-0.242
1251	-	2309.232	44815.247	956.863	-0.138	0.317	0.413
1253	-	2027.544	43978.682	945.499	-0.386	-0.178	0.519
1248	-	3542.622	44493.278	1032.668	-0.758	-0.322	0.238
1222	-	1436.916	43206.073	919.971	-0.594	0.163	0.691
161	-	2257.392	34469.631	1249.407	0.492	0.291	-0.083
742	-	2011.987	32530.381	1108.372	0.277	0.861	0.682
450	-	3122.569	31713.489	1134.714	-0.241	0.499	0.714
739	-	3502.435	31405.432	1100.061	-0.455	-0.027	0.791
4808	-	1731.394	45478.465	814.571			
4814	-	483.240	43986.445	828.559			
4813	-	496.115	42693.971	878.370			
4806	-	1892.415	41256.893	982.969			
4796	-	3827.675	41341.892	1081.600			
4802	-	2635.444	41272.231	1007.492			
1217	-	3416.766	41614.310	1081.189		m _p =±32.5cm	
4811	-	524.168	38279.007	897.798			
4799	-	3267.557	38464.104	976.177		m _Z =±22.2cm	
4810	-	616.066	36904.529	955.255			
4803	-	2286.749	36162.498	1064.493			
4804	-	2002.136	35328.735	1177.258			
9548	-	641.157	33890.778	1145.197			
3521	-	3417.305	29553.742	1240.781			
3520	-	3260.691	28182.583	1223.058			

Çizelge: 12. Dengelenmiş kolon koordinatları (Doğrudan, 3. derece poli.la, konumda 12, yükseklikte 18 nokta kullanıldı.)

Nokta No	Kolon 4			Kolon 5			Ortalamalar			Farklar		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	V _x (cm)	V _y (cm)	V _z (cm)
1124	3071.531	45768.144	898.681	3071.247	45768.233	898.631	3071.389	45768.188	898.656	14.2	7.2	2.5
1248	3543.426	44493.592	1032.317	3542.762	44493.651	1032.094	3543.094	44493.622	1032.499	33.2	3.0	18.2
286	2712.859	38703.542	991.036	2712.673	38703.669	990.631	2712.756	38703.606	990.834	8.3	6.4	20.2
4798	3097.105	36821.799	1041.595	3097.793	36821.653	1041.934	3097.350	36821.726	1041.765	24.5	7.3	17.0
3522	3102.551	32517.391	1122.783	3102.162	32518.400	1122.813	3102.356	32517.896	1122.798	19.4	50.4	1.5
4797	3370.519	35598.311	1216.472	3371.143	35597.997	1215.857	3370.831	35598.154	1216.165	31.2	15.7	30.8
740	3306.732	33921.934	1222.586	3306.866	33922.591	1222.581	3306.799	33922.262	1222.584	6.7	32.8	0.3
739	3503.049	31404.686	1099.954	3502.204	31405.525	1099.973	3502.626	31405.110	1099.964	42.2	34.3	1.0
4796	3829.033	41341.972	1082.179	3828.291	41342.068	1081.778	3828.662	41342.020	1081.978	37.1	4.8	20.0
4799	3267.490	38464.067	976.964	3267.966	38464.019	976.376	3267.728	38464.044	976.670	23.8	2.5	29.4
3521	3418.729	29554.134	1240.663	3417.073	29554.112	1240.492	3417.901	29554.123	1240.578	82.8	1.1	8.6
1217	3418.298	41614.245	1081.600	3417.321	41614.569	1081.329	3417.810	41614.407	1081.325	46.4	16.2	13.6
									[vv]	16100	5487	3510

2.Derece Polinomlarla Dengeleme (İndirgeyerek, Konumda 9, Yükseklikte 15 Nokta Kullanılmıştır)

$$\bar{m}_x = \pm 36.6 \text{ cm} \quad \bar{m}_y = \pm 21.4 \text{ cm} \quad \bar{m}_p = \pm 42.4 \text{ cm} \quad \bar{m}_z = \pm 17.1 \text{ cm}$$

1124	3071.615	45768.267	898.681	3071.418	45768.083	898.599	3071.516	45768.175	898.640	9.8	9.2	4.1
1248	3543.356	44493.694	1032.264	3542.842	44493.479	1032.766	3543.099	44493.586	1032.515	25.7	10.8	25.1
1217	3418.075	41614.326	1081.395	3417.273	41614.492	1081.477	3417.674	41614.410	1081.436	40.1	8.4	4.1
4796	3828.808	41342.057	1082.001	3828.236	41342.001	1082.030	3828.522	41342.029	1082.016	28.6	2.8	1.6
286	2712.649	38703.438	991.021	2712.671	38703.722	990.671	2712.660	38703.580	990.846	1.1	14.2	17.5
4799	3267.332	38464.000	976.956	3267.958	38464.111	976.576	3267.645	38464.056	976.766	31.3	5.6	19.0
4798	3097.072	36821.589	1041.850	3097.883	36821.852	1042.126	3097.478	36821.720	1041.988	40.6	13.2	13.8
									[vv]	5808	684	1524

2.Derece Polinomlarla Dengeleme (İndirgeyerek, Konumda 9, Yükseklikte 12 Nokta Kullanılmıştır)

$$\bar{m}_x = \pm 28.8 \text{ cm} \quad \bar{m}_y = \pm 9.9 \text{ cm} \quad \bar{m}_p = \pm 30.5 \text{ cm} \quad \bar{m}_z = \pm 14.8 \text{ cm}$$

Çizelge: 13. Kolonlar arası rölatif hataların hesaplanması

Nokta No	Kolon 4			Kolon 5			Ortalamalar			Farklar		
	X m	Y m	Z m	X m	Y m	Z m	X m	Y m	Z m	Vx cm	Vy cm	Vz cm
1124	3071.634	45768.319	898.764	3071.964	45767.964	898.700	3071.574	45768.142	898.732	6.1	17.8	3.2
1248	3543.341	44493.539	1032.168	3542.781	44492.911	1032.701	3543.061	44493.225	1032.434	28.0	31.4	26.6
1217	3418.116	41614.162	1081.407	3416.953	41613.913	1081.270	3417.534	41614.038	1081.338	58.2	12.5	6.9
4796	3828.853	41341.902	1082.011	3827.900	41341.455	1081.692	3828.376	41341.678	1081.852	47.6	22.4	16.0
286	2712.786	38703.786	991.013	2712.446	38703.432	990.589	2712.616	38703.609	990.801	17.0	17.7	21.2
4799	3267.453	38463.989	976.970	3267.706	38463.870	976.286	3267.580	38463.930	976.628	12.6	6.0	34.2
4798	3097.222	36821.702	1041.654	3097.676	36821.723	1041.859	3097.449	36821.712	1041.756	22.7	1.0	10.2
4797	3370.805	35598.276	1216.606	3371.076	35598.329	1215.780	3370.940	35598.302	1216.193	13.6	2.6	41.3
740	3307.100	33921.950	1222.763	3306.990	33923.174	1222.539	3307.045	33922.562	1222.651	5.5	61.2	11.2
3522	3102.854	32517.424	1122.849	3102.449	32518.990	1122.816	3102.652	32518.207	1122.831	20.2	78.3	1.5
739	3503.281	31404.722	1099.926	3502.586	31406.081	1100.032	3502.934	31405.402	1099.979	34.8	68.0	5.3
3521	3418.780	29554.352	1240.501	3417.497	29554.735	1240.648	3418.138	29554.544	1240.574	64.2	19.2	7.4
									[v]	13384	17173	4661

3. Derece Polinomlarla Dengeleme (İndirgöyerek, Konumda 9, Yükseklikte 15 Nokta Kullanılmıştır)

$$\bar{m}_x = \pm 33.4 \text{ cm}$$

$$\bar{m}_y = \pm 37.8 \text{ cm}$$

$$\bar{m}_p = \pm 50.8 \text{ cm}$$

$$\bar{m}_z = \pm 19.7 \text{ cm}$$

1124	3071.952	45767.902	898.749	3071.573	45768.167	898.700	3071.762	45768.034	898.724	20.0	13.2	2.5
1248	3543.700	44493.685	1032.199	3542.726	44493.194	1032.705	3543.213	44493.440	1032.452	48.7	24.6	25.8
1217	3418.454	41614.486	1081.401	3416.759	41614.144	1081.291	3417.606	41614.315	1081.346	84.8	17.1	5.5
4796	3829.169	41342.247	1082.006	3827.656	41341.746	1081.714	3828.412	41341.996	1081.860	75.6	25.0	14.6
286	2712.216	38703.161	991.006	2712.335	38703.541	990.609	2712.276	38703.351	990.808	6.0	19.0	19.8
4799	3266.980	38463.750	976.979	3267.504	38464.035	976.304	3267.242	38463.892	976.642	26.2	14.2	33.8
4798	3096.193	36821.836	1041.650	3097.516	36820.937	1041.893	3096.854	36821.386	1041.772	66.1	45.0	12.2
4797	3369.579	35597.190	1216.535	3370.865	35598.407	1215.856	3370.222	35597.798	1216.196	64.3	60.9	34.0
740	3305.553	33920.345	1222.704	3306.787	33923.156	1222.624	3306.170	33921.750	1222.664	61.7	140.6	4.0
3522	3101.159	32515.325	1122.860	3102.273	32518.886	1122.881	3101.716	32517.106	1122.870	55.7	178.1	1.0
739	3501.885	31402.793	1099.971	3502.268	31405.834	1100.094	3502.076	31404.308	1100.032	19.2	151.6	6.2
3521	3417.945	29552.237	1240.521	3417.090	29554.252	1240.750	3417.518	29553.244	1240.636	42.8	100.7	11.4
									[v]	33965	92560	3934

3. Derece Polinomlarla Dengeleme (Doğrudan, Konumda 9, Yükseklikte 15 Nokta Kullanılmıştır)

$$\bar{m}_x = \pm 53.2 \text{ cm}$$

$$\bar{m}_y = \pm 87.8 \text{ cm}$$

$$\bar{m}_p = \pm 102.7 \text{ cm}$$

$$\bar{m}_z = \pm 18.1 \text{ cm}$$

Çizelge: 14. Kolonlar arası rölatif hataların hesaplanması

Kolon Nosu	Model Sayısı	Denge.de Kulla.lan		Kargılağ. Nokta		Birim Ağırlığın Ortalama Hatası			Mutlak Karesel Ortalama Değer (Kolonun DIS Doğruluğu)				
		Nok. Ko.	Sa. Yük.	Sayısı Ko.	Yük. Yük.	m_p (cm)	m_z (cm)	$\%o h$	M_x (cm)	M_y (cm)	M_p (cm)	M_z (cm)	$\%o h$
2.Derece Polinomlarla KOLON Dengelemesi (İndirgeyerek Çözüm)													
5	12	6	12	23	34	49.6 23.6	17.2	0.072	32.0 15.2	26.0 12.4	41.2 19.6	45.6	0.190
5	12	9	15	23	34	41.8 19.9	19.6	0.082	30.9 14.7	26.5 12.6	40.7 19.4	41.9	0.175
5	12	12	18	23	34	37.2 17.7	22.5	0.094	32.7 15.6	25.5 12.2	41.5 19.8	41.6	0.173
5	12	15	21	23	34	34.1 16.2	21.6	0.090	32.0 15.3	26.7 12.7	41.7 19.8	42.1	0.175
5	6	6	9	17	21	54.5 26.0	56.1	0.234	23.7 11.3	23.1 11.0	33.1 15.8	41.1	0.171
5	6	9	12	17	21	40.8 19.4	49.8	0.203	22.4 10.7	24.0 11.4	32.8 15.6	38.8	0.162
5	6	12	15	17	21	35.2 16.8	48.9	0.204	22.9 10.9	23.3 11.1	32.7 15.6	38.1	0.159
5	6	15	18	17	21	34.1 16.2	43.4	0.181	21.6 10.3	24.5 11.7	32.6 15.5	37.9	0.158
4	14	6	9	18	24	33.2 15.8	6.5	0.027	33.0 15.7	42.2 20.1	53.5 25.5	35.3	0.147
4	14	9	12	18	24	32.9 15.7	27.4	0.114	27.5 13.1	47.6 22.7	55.0 26.2	32.1	0.134
4	14	12	15	18	24	33.5 16.0	31.1	0.130	33.3 15.9	47.1 22.4	57.6 27.4	32.4	0.135
4	14	15	18	18	24	37.4 17.8	36.1	0.150	27.4 13.1	41.2 19.6	49.5 23.6	30.3	0.126
4	6	6	9	14	17	19.3 9.2	21.0	0.088	13.6 6.5	23.9 11.4	27.5 13.1	29.6	0.123
4	6	9	12	14	17	29.4 14.0	32.8	0.137	15.7 7.5	19.5 9.3	25.0 11.9	26.6	0.111
4	6	12	15	14	17	28.5 13.5	32.4	0.135	27.5 13.1	23.5 11.2	36.1 17.2	36.3	0.151
2.Derece Polinomlarla KOLON Dengelemesi (İndirgeyerek Çözüm)													
5	12	6	6	23	34	49.6	24.0	0.100				47.9	0.200
5	12	9	9	23	34	41.8	25.9	0.108				42.3	0.176
5	12	12	12	23	34	37.2	27.9	0.116				41.8	0.174
5	12	15	15	23	34	34.1	25.3	0.105				42.6	0.178
5	6	6	6	17	21	54.5	41.1	0.171				48.9	0.204
5	6	9	9	17	21	40.8	44.8	0.187				42.4	0.177
5	6	12	12	17	21	35.2	48.1	0.200				39.2	0.163
5	6	15	15	17	21	34.1	41.3	0.172				38.2	0.159
4	14	6	6	18	24	33.2	3.2	0.013				32.3	0.135
4	14	9	9	18	24	32.9	30.3	0.126				32.1	0.134
4	14	12	12	18	24	33.5	32.8	0.137				34.0	0.142
4	14	15	15	18	24	37.4	37.5	0.156				32.9	0.137
4	6	6	6	14	17	19.3	5.2	0.022				46.4	0.193
4	6	9	9	14	17	29.4	38.8	0.162				30.7	0.128
4	6	12	12	14	17	28.3	34.8	0.145				39.9	0.166

Çizelge: 15. Dengelmeden sonra bulunan ortalama hatalar ve mutlak karesel ortalama değerler

Kolon Nosu	Model Sayısı	Denge, de Kulla, lan		Karşılaş. Nokta		Birim Ağırlığın Ortalama Hatası			Mutlak Karesel Ortalama Değer (Kolonun DIŞ Dcğruluğu)				
		Nokta Sa. Ko.	Yük. Yük.	Ko.	Yük.	mp cm	mz cm	%o h	M _x cm	M _y cm	M _p cm	M _z cm	%o h
3.Derece Polinomlarla KOLON Dengelemesi (İndirgeyerek Çözüm)													
5	12	6	12	23	34	26.1	16.2	0.068	42.4	41.8	59.6	45.0	0.188
						12.4			20.2	19.9	28.4		
5	12	9	15	23	34	25.9	19.6	0.082	28.0	32.8	43.2	43.7	0.182
						12.3			13.4	15.6	20.5		
5	12	12	18	23	34	23.5	22.6	0.094	25.6	32.2	41.1	42.6	0.178
						11.2			12.2	15.3	19.6		
5	12	15	21	23	34	30.6	31.3	0.130	24.8	27.5	37.0	40.7	0.170
						14.6			11.8	13.1	17.6		
5	6	6	9	17	21	33.3	31.2	0.130	21.0	27.4	34.3	40.2	0.168
						15.9			10.0	13.0	16.3		
5	6	9	12	17	21	34.6	24.7	0.103	17.3	21.5	27.6	42.2	0.176
						16.5			8.2	10.3	13.2		
5	6	12	15	17	21	30.6	32.0	0.133	18.8	19.2	26.9	27.1	0.113
						14.6			9.0	9.1	12.8		
5	6	15	18	17	21	28.7	31.2	0.130	16.5	20.2	26.1	23.5	0.098
						13.7			7.8	9.6	12.4		
4	14	6	9	18	24	29.6	5.7	0.024	36.8	37.8	52.8	34.7	0.145
						14.1			17.5	18.0	25.1		
4	14	9	12	18	24	29.8	31.3	0.130	25.6	47.3	53.8	31.5	0.131
						14.2			12.2	22.6	25.6		
4	14	12	15	18	24	30.5	30.8	0.128	24.5	47.2	53.1	32.7	0.136
						14.5			11.7	22.5	25.3		
4	14	15	18	18	24	35.4	35.5	0.148	22.4	36.6	42.9	27.9	0.116
						16.9			10.7	17.4	20.4		
4	6	6	9	14	17	20.3	8.9	0.037	18.2	27.7	33.1	37.6	0.157
						9.7			8.7	13.2	15.8		
4	6	9	12	14	17	31.0	32.8	0.137	15.9	18.1	24.1	38.6	0.161
						14.8			7.6	8.6	11.5		
4	6	12	15	14	17	29.1	33.0	0.138	27.3	21.9	35.0	42.6	0.178
						13.9			13.0	10.4	16.7		
3.Derece Polinomlarla KOLON Dengelemesi (Doğrudan Çözüm)													
5	12	6	12	23	34	42.8	16.2	0.068	47.9	53.1	71.5	44.3	0.185
5	12	9	15	23	34	39.2	19.6	0.082	37.1	30.4	47.9	43.7	0.182
5	12	12	18	23	34	32.5	22.2	0.092	40.1	29.3	49.6	42.7	0.178
5	12	15	21	23	34	38.7	31.2	0.130	33.4	25.5	42.0	40.8	0.170
5	6	6	9	17	21	57.1	30.9	0.129	32.6	21.9	39.2	39.6	0.165
5	6	9	12	17	21	45.1	24.7	0.103	28.7	22.3	36.3	41.6	0.173
5	6	12	15	17	21	36.8	32.0	0.133	28.4	22.4	36.2	26.7	0.111
5	6	15	18	17	21	36.2	31.1	0.130	26.4	24.2	35.9	23.5	0.098
4	14	6	9	18	24	71.1	5.7	0.024	58.1	157.7	168.0	34.7	0.145
4	14	9	12	18	24	59.0	30.1	0.125	62.8	125.1	140.0	32.0	0.133
4	14	12	15	18	24	56.7	30.2	0.126	70.7	119.7	139.0	33.2	0.139
4	14	15	18	18	24	80.5	35.9	0.150	48.1	77.3	91.0	28.2	0.118
4	6	6	9	14	17	62.5	8.9	0.037	29.5	42.1	51.4	37.6	0.157
4	6	9	12	14	17	53.1	32.8	0.137	21.8	32.1	38.8	36.7	0.153
4	6	12	15	14	17	45.9	33.0	0.138	47.7	35.7	59.6	40.9	0.170

Çizelge: 16. Dengelemeden sonra bulunan ortalama hatalar ve mutlak karesel ortalama değerler

Kolon Nosu	Model Sayısı	Denge.de Kulla.lan Nokta Sa.		Karşılaş. Nokta Sayısı		Birin Ağırlığın Ortalama Hatası			Mutlak Karesel Ortalama Değer (kolonun DIŞ Doğruluğu)				
		Ko.	Ko.	Ko.	Ko.	m_p (cm)	m_z (cm)	% h	M_x (cm)	M_y (cm)	M_p (cm)	M_z (cm)	Zo h
3.Derece Polinomlarla KOLON Dengelemesi (İndirgeyerek Çözüm)													
5	12	6	9	23	34	24.0 11.4	24.0	0.100	35.5 16.9	43.3 20.6	56.0 26.7	44.4	0.185
5	12	9	9	23	34	24.9 11.9	33.3	0.139	23.4 11.1	34.7 16.5	41.9 19.9	48.9	0.204
5	12	12	12	23	34	22.7 10.8	29.8	0.124	25.1 12.0	31.8 15.2	40.6 19.3	48.4	0.202
5	12	15	15	23	34	30.5 14.5	26.5	0.110	24.4 11.6	27.6 13.1	36.8 17.5	46.5	0.194
5	6	6	9	17	21	33.3 15.9	31.2	0.130	21.0 10.0	27.4 13.0	34.3 16.4	40.2	0.168
5	6	9	9	17	21	35.1 16.7	30.4	0.127	17.6 8.4	21.6 10.3	27.9 13.3	47.6	0.198
5	6	12	12	17	21	30.4 14.5	36.2	0.151	18.5 8.8	19.2 9.1	26.7 12.7	25.1	0.105
5	6	15	15	17	21	28.5 13.6	31.6	0.132	16.2 7.7	20.2 9.6	25.9 12.3	24.3	0.101
4	14	6	9	18	24	29.6 14.1	5.7	0.024	36.8 17.5	37.8 18.0	52.8 25.1	34.7	0.145
4	14	9	9	18	24	29.4 14.0	43.2	0.180	26.0 12.4	41.2 19.6	48.8 23.2	29.7	0.124
4	14	12	12	18	24	30.2 14.4	35.4	0.148	25.2 12.0	47.7 22.7	53.9 25.7	32.6	0.136
4	14	15	15	18	24	35.4 16.9	38.3	0.160	22.0 10.5	36.5 17.4	42.6 20.3	29.2	0.122
4	6	6	9	14	17	20.3 9.7	8.9	0.037	18.2 8.6	27.7 13.2	33.1 15.8	37.6	0.157
4	6	9	9	14	17	31.0 14.8	43.0	0.179	15.6 7.4	18.0 8.5	23.7 11.3	45.8	0.191
4	6	12	12	14	17	28.5 13.6	34.5	0.144	27.2 12.9	21.8 10.4	34.8 16.6	52.0	0.217
3.Derece Polinomlarla KOLON Dengelemesi (Doğrudan Çözüm)													
5	12	6	9	23	34	41.7	24.1	0.100	35.3	48.5	60.0	44.2	0.184
5	12	9	9	23	34	34.7	33.0	0.138	33.3	32.5	46.5	49.6	0.207
5	12	12	12	23	34	31.7	29.5	0.123	34.8	28.6	45.0	48.8	0.203
5	12	15	15	23	34	38.8	26.1	0.109	33.2	25.6	41.9	46.8	0.195
5	6	6	9	17	21	57.1	30.9	0.129	32.6	21.9	39.3	39.6	0.165
5	6	9	9	17	21	45.6	30.7	0.128	28.9	22.3	36.5	47.2	0.197
5	6	12	12	17	21	36.6	36.1	0.150	28.0	22.3	35.8	24.9	0.104
5	6	15	15	17	21	36.1	31.5	0.131	26.3	24.2	35.7	24.2	0.101
4	14	6	9	18	24	71.0	5.7	0.024	58.1	157.7	168.0	34.7	0.145
4	14	9	9	18	24	59.0	41.0	0.171	62.6	124.6	139.5	30.4	0.127
4	14	12	12	18	24	56.4	34.6	0.144	70.5	119.1	138.4	34.8	0.145
4	14	15	15	18	24	80.2	38.9	0.162	47.7	77.1	90.7	29.6	0.123
4	6	6	9	14	17	62.5	8.9	0.037	29.5	42.1	51.4	37.6	0.157
4	6	9	9	14	17	52.9	42.3	0.176	21.8	31.9	38.6	46.2	0.193
4	6	12	12	14	17	45.4	34.3	0.143	47.3	35.9	59.4	51.3	0.214

Çizelge: 17. Dengelemeden sonra bulunan ortalama hatalar ve mutlak karesel ortalama değerler

7.2.1.2. Mutlak Karesel Ortalama Değerler

Dengelemeden sonra geodesik olarak belirlenen yersel koordinatlar hatasız kabul edilirse, fotogrametrik yöntemle dengeleme sonucu elde edilen kontrol ve diğer karşılaştırma noktaları arasındaki farklardan, karesel ortalama değerleri hesaplanabileceği bilinmektedir. Çizelge 11'in sonuçlarına göre mutlak karesel ortalama değerler

$$M_x = \pm \sqrt{\frac{v_x v_x}{n}} = \pm \sqrt{\frac{1.5103}{23}} = \pm 25.63 \text{ cm} \quad (12.2 \mu\text{m})$$

$$M_y = \pm \sqrt{\frac{v_y v_y}{n}} = \pm \sqrt{\frac{2.3769}{23}} = \pm 32.15 \text{ cm} \quad (15.3 \mu\text{m})$$

$$M_p = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = \pm \sqrt{0.0657 + 0.1033} = \pm 41.11 \text{ cm} \quad (19.6 \mu\text{m})$$

$$M_z = \pm \sqrt{\frac{v_z v_z}{n_1}} = \pm \sqrt{\frac{6.1690}{34}} = \pm 42.60 \text{ cm} \quad (\% 0.178.h)$$

dir. Parantez içindeki değerler yine resim ölçeğine göre mikron olarak, yükseklik için ise araziden olan uçuş yüksekliği cinsinden bulunan sonuçlardır.

Çizelge 15, 16, 17 de mutlak karesel ortalama (kolonun dış doğruluğu) değerleri de özet olarak görülmektedir.

7.2.1.3. Rölatif Ortalama Hatalar

4. ve 5. nolu kolonlardan aynı şartlarda, müşterek noktalara ait dengeleme sonucu bulunan koordinatların, ortalamaları ile bu kolonlardan elde edilen koordinatlar arasındaki farklardan rölatif hataların ne şekilde hesaplanabileceği çizelge 13. ve 14. de gösterilmiştir. Değişik biçimde 2. ve 3. derece polinomlarla dengeleme sonucu elde edilen kolonlar arası ortalama hatalar diye de tanımlanan rölatif hatalar toplu olarak çizelge 18 de verilmiştir.

Rölatif doğruluğun amprik belirlenmesi için dengelemeye giren yer kontrol noktaları dışında ek karşılaştırma noktaları gerektirmez.

Model sayısı	Karşılaştırma Nokta Sayısı	Dengelemede Kullanılan Nokta Sayı.		2. Derece Polinomlarla Den.						3. Derece Polinomlarla Dengeleme												
		Konum	Yük.	İndirgenmiş (cm)			Dogrudan (cm)			İndirgenmiş (cm)			İndirgenmiş (cm)									
				\bar{m}_x	\bar{m}_y	\bar{m}_p	\bar{m}_z %o h	\bar{m}_x	\bar{m}_y	\bar{m}_p	\bar{m}_z %o h	\bar{m}_x	\bar{m}_y	\bar{m}_p	\bar{m}_z %o h							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
13	12	6	12	± 40.2	± 19.1	± 44.6	± 26.9	± 46.8	± 114.7	± 123.9	± 28.4	± 46.5	± 29.8	± 55.2	± 46.5	± 29.8	± 55.2	± 28.4	± 46.5	± 29.8	± 55.2	± 31.7
13	12	9	15	19.1	9.1	21.2	0.112	22.3	54.6	59.0	0.118	22.1	14.2	26.3	22.1	14.2	26.3	0.118	22.1	14.2	26.3	0.132
13	12	12	18	36.6	21.4	42.4	17.1	53.2	87.8	102.7	18.1	33.4	37.8	50.8	33.4	37.8	50.8	18.1	33.4	37.8	50.8	19.7
13	12	15	21	17.4	10.2	20.2	0.071	25.3	41.8	48.9	0.075	16.2	18.0	24.2	16.2	18.0	24.2	0.075	16.2	18.0	24.2	0.082
13	12	18	24	37.8	21.4	43.4	16.3	61.1	74.9	96.7	22.2	31.0	28.3	41.9	31.0	28.3	41.9	22.2	31.0	28.3	41.9	21.0
13	12	21	27	18.0	10.2	20.7	0.068	29.1	35.7	46.0	0.092	14.8	13.5	20.0	14.8	13.5	20.0	0.092	14.8	13.5	20.0	0.088
6	7	6	9	36.9	19.4	41.7	16.9	47.4	42.6	63.8	21.3	30.2	19.2	35.7	30.2	19.2	35.7	21.3	30.2	19.2	35.7	20.7
6	7	9	12	17.6	9.2	19.9	0.070	22.6	20.3	30.4	0.089	14.4	9.1	17.0	14.4	9.1	17.0	0.089	14.4	9.1	17.0	0.086
6	7	9	12	34.3	13.6	36.9	21.8	44.2	23.7	50.1	32.8	37.3	20.4	42.5	37.3	20.4	42.5	32.8	37.3	20.4	42.5	34.9
6	7	9	12	16.3	6.5	17.6	0.091	21.0	11.3	23.9	0.137	17.8	9.7	20.2	17.8	9.7	20.2	0.137	17.8	9.7	20.2	0.145
6	7	12	15	28.8	9.9	30.5	14.8	42.5	19.5	46.8	39.4	26.0	13.6	29.3	26.0	13.6	29.3	39.4	26.0	13.6	29.3	39.8
6	7	12	15	13.7	4.2	14.3	0.062	20.2	9.3	22.3	0.164	12.4	6.5	14.0	12.4	6.5	14.0	0.164	12.4	6.5	14.0	0.166
6	7	12	15	30.1	10.8	32.0	13.1	46.5	18.3	50.0	25.2	28.0	12.5	30.6	28.0	12.5	30.6	25.2	28.0	12.5	30.6	25.4
6	7	12	15	14.3	5.1	15.2	0.055	22.1	8.7	23.8	0.105	13.3	6.0	14.6	13.3	6.0	14.6	0.105	13.3	6.0	14.6	0.106
13	12	6	6				28.8				-							-				-
13	12	9	9				20.2				19.0							19.0				21.4
13	12	12	12				17.3				19.3							19.3				19.6
13	12	15	15				19.5				23.7							23.7				23.9
6	7	6	6				28.1				-							-				-
6	7	9	9				17.7				42.9							42.9				44.1
6	7	12	12				15.5				21.7							21.7				22.6

Çizelge: 18. Dengelemeden sonra bulunan rölatif ortalama hatalar

Dengelemeden sonra, dengelemeye giren yer kontrol noktaları ile karşılaştırma noktalarındaki X,Y,Z için kalıcı hatalar (2. Derece) şekil; 29,30 ve 31 de ve (3. Derece) Şekil 32, 33, 34.grafik olarak gösterilmiştir.

7.2.2. Sonuçların İrdelenmesi

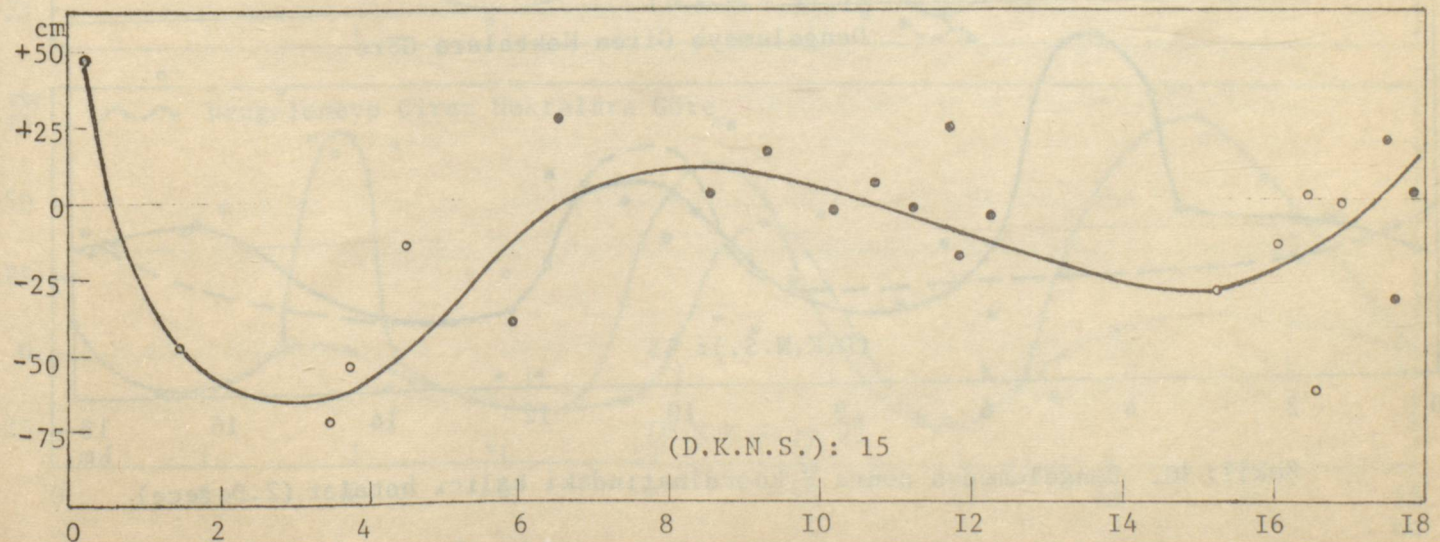
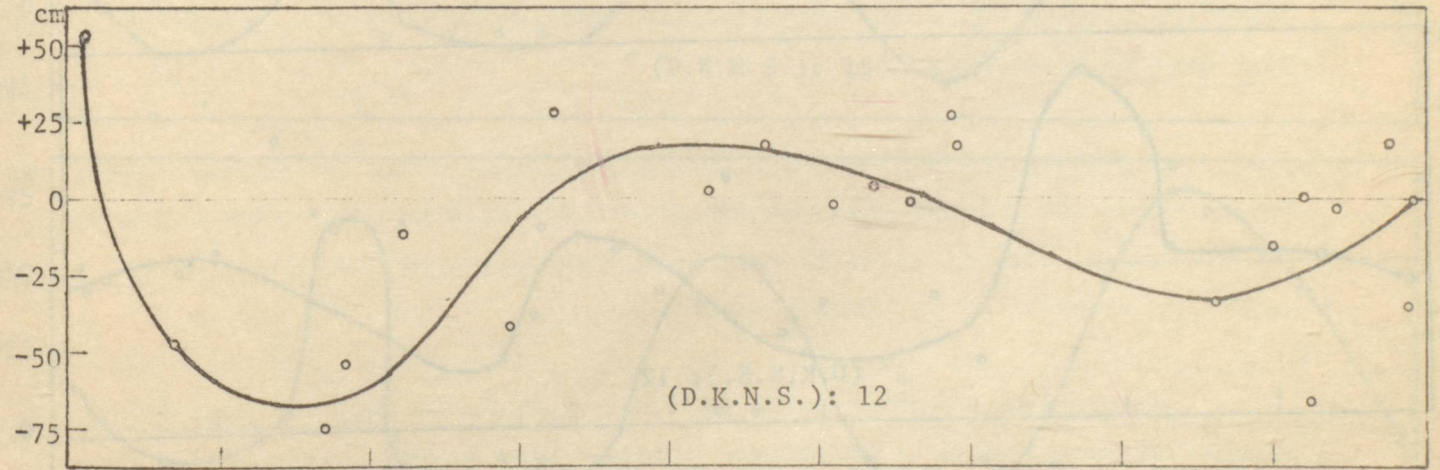
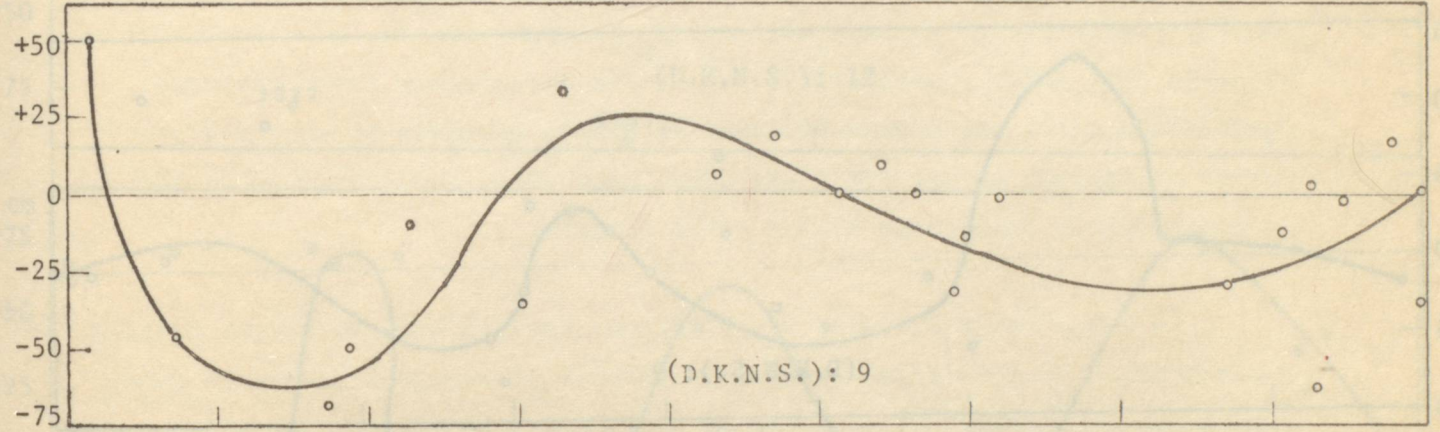
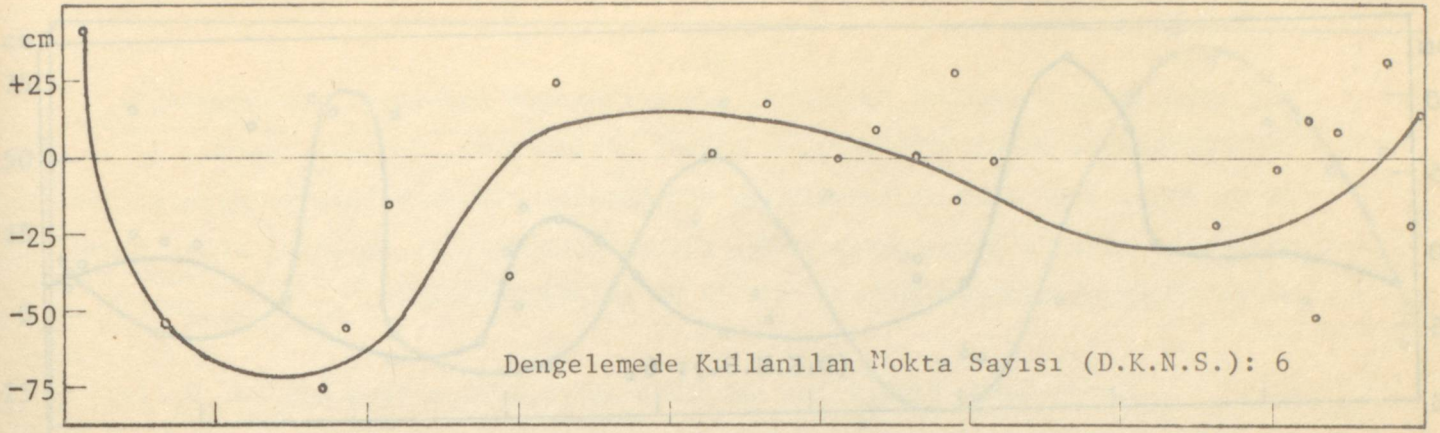
Amirik olarak presizyon araştırması yapılan bu kolonlarda geodezik koordinatlar ve fotogrametrik olarak belirlenecek tüm noktaların fotogrametrik ölçüleri hatasız kabul edilmiştir. Ayrıca ölçülen ve hesaplanan model koordinatları korelasyonsuz ve ağırlığı 1 varsayımıyla hata modeli basitleştirilmiştir. Bu basitleştirme, kolondaki kalıcı hataların büyüklüğü ve dağılımları hakkında nicelik ve nitelik yönlerinden yeter doğrulukta fikir edilmesine olanak sağlamaktadır.

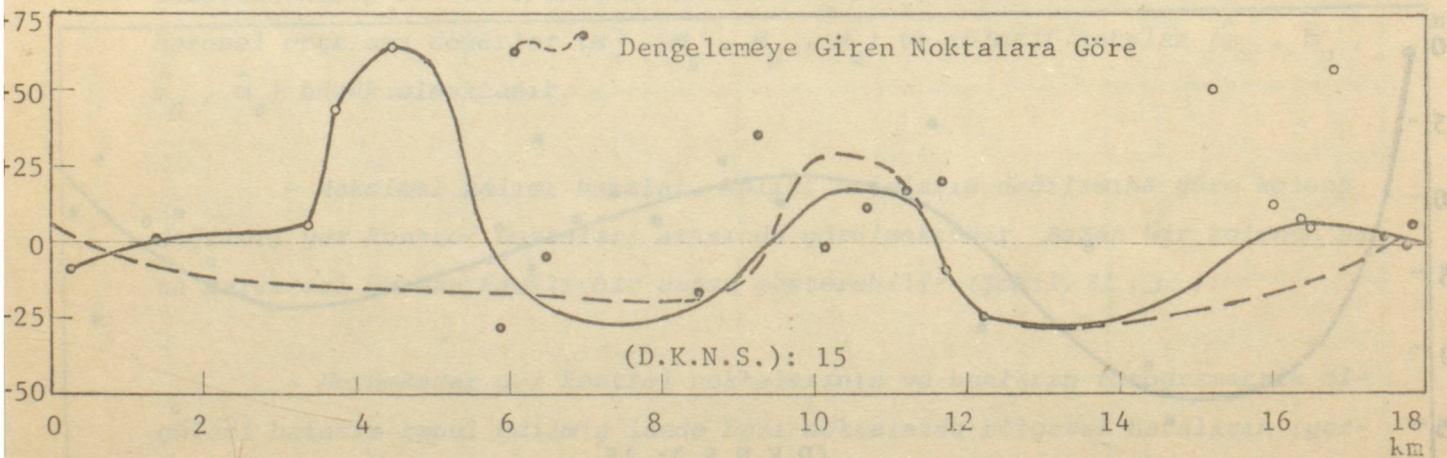
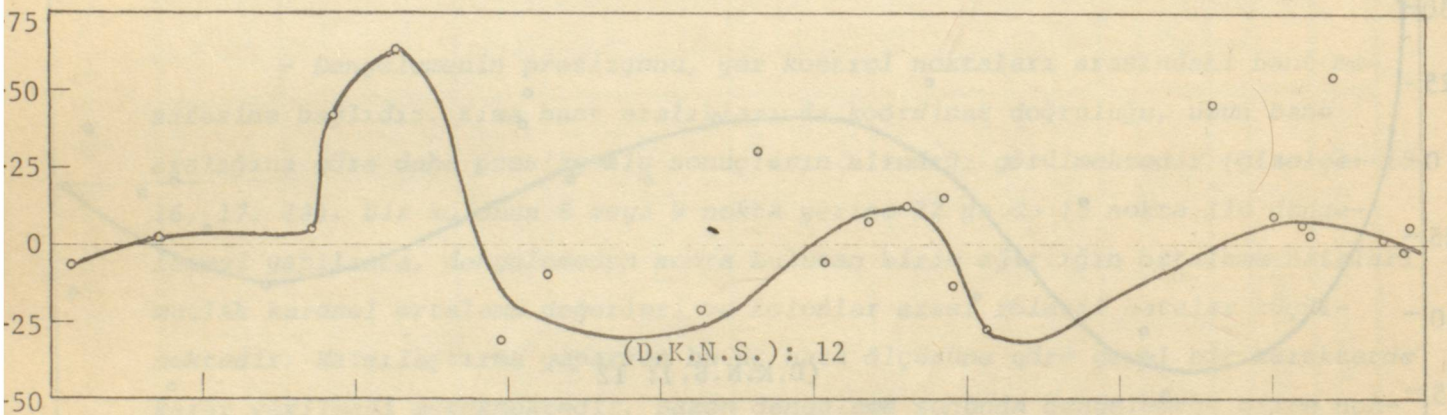
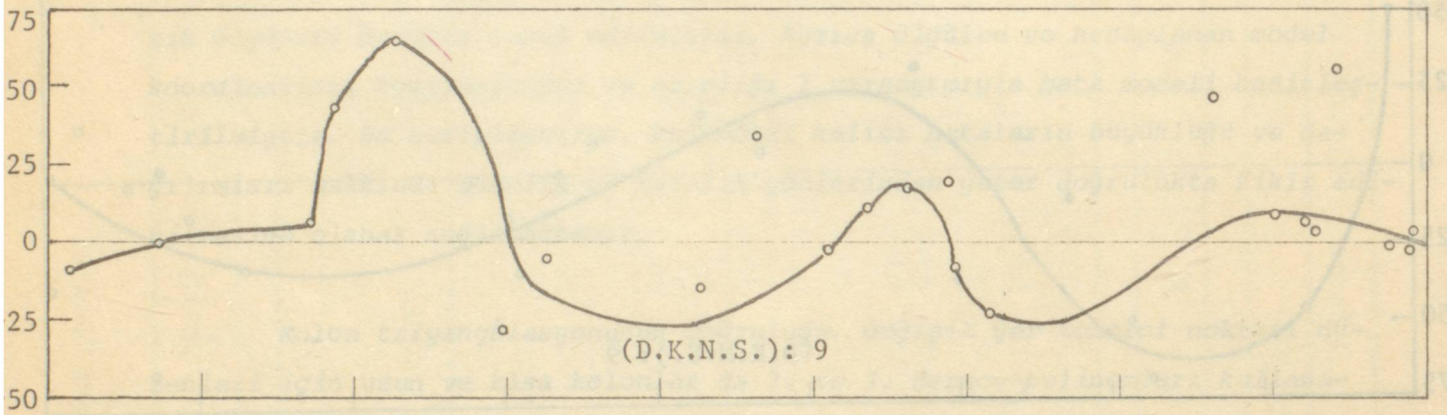
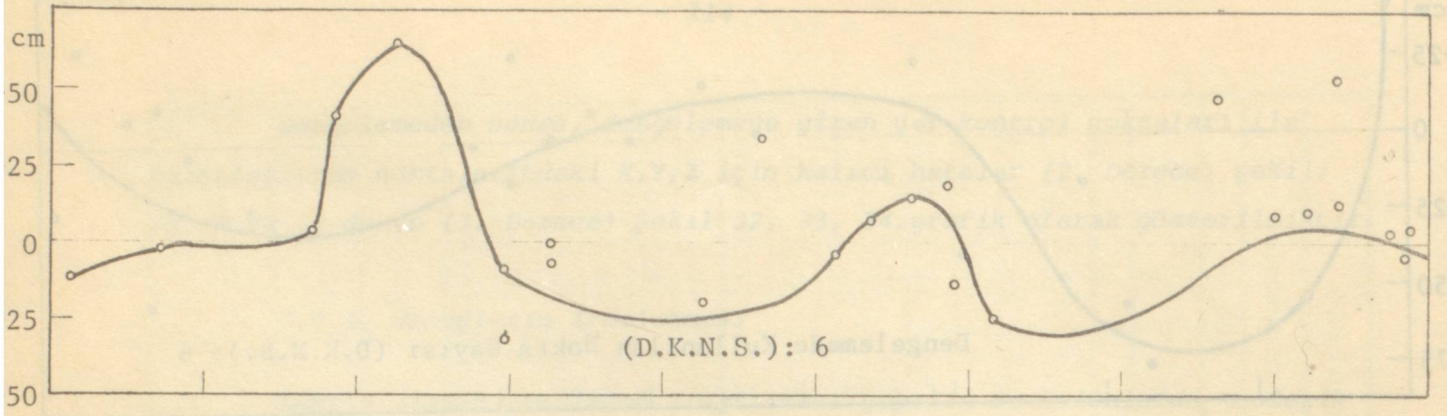
Kolon triyagülasyonunun doğruluğu, değişik yer kontrol noktası düzenleri için uzun ve kısa kolonlar da 2. ve 3. derece polinomları kullanarak konum ve yükseklik için ayrı ayrı dengeleme yapılarak araştırılmıştır.

- Dengelemenin presizyonu, yer kontrol noktaları arasındaki bant mesafesine bağlıdır. Kısa bant aralıklarında koordinat doğruluğu, uzun bant aralığına göre daha presizyonlu sonuçların alındığı görülmektedir (çizelge: 15, 16, 17, 18). Bir kolonun 6 veya 9 nokta yerine 12 ya da 15 nokta ile dengelemesi yapılıncaya, dengelemeden sonra bulunan birim ağırlığın ortalama hataları, mutlak karesel ortalama değerleri ve kolonlar arası rölatif hatalar küçülmektedir. Karşılaştırma yaparken bu üç hata ölçüsüne göre genel bir karakterde karar verilmesi gerekmektedir. Bazen dengeleme sonunda dengelemeye giren noktalardan hesap edilen ortalama hatalar (m_p , m_z) küçük olduğu halde mutlak karesel ortalama değerler (M_x , M_y , M_p , M_z) ve rölatif hatalar (\bar{m}_x , \bar{m}_y , \bar{m}_p , \bar{m}_z) büyük olmaktadır.

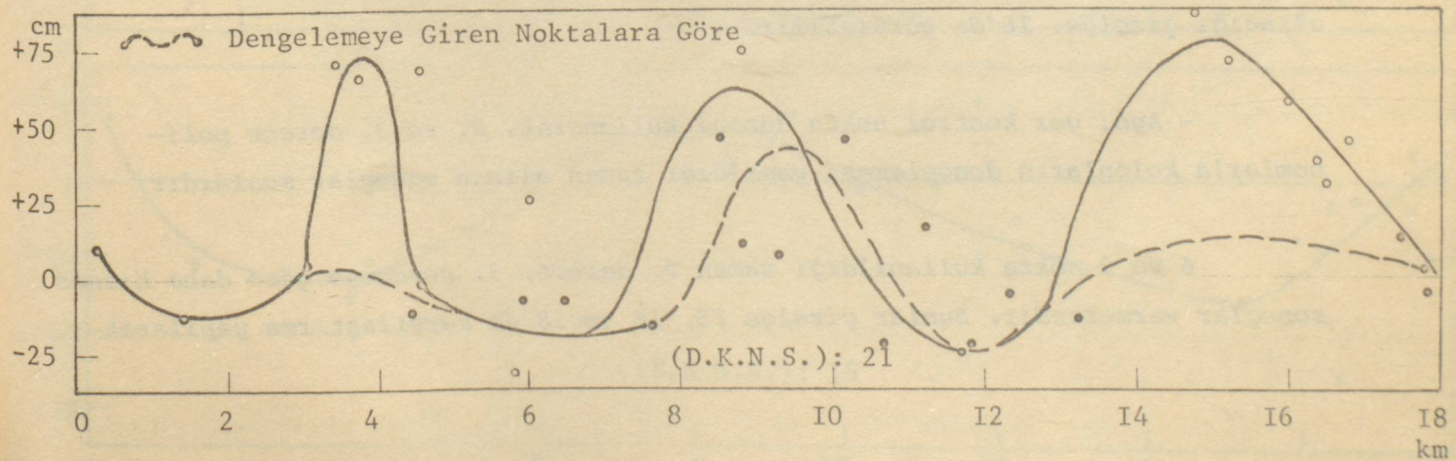
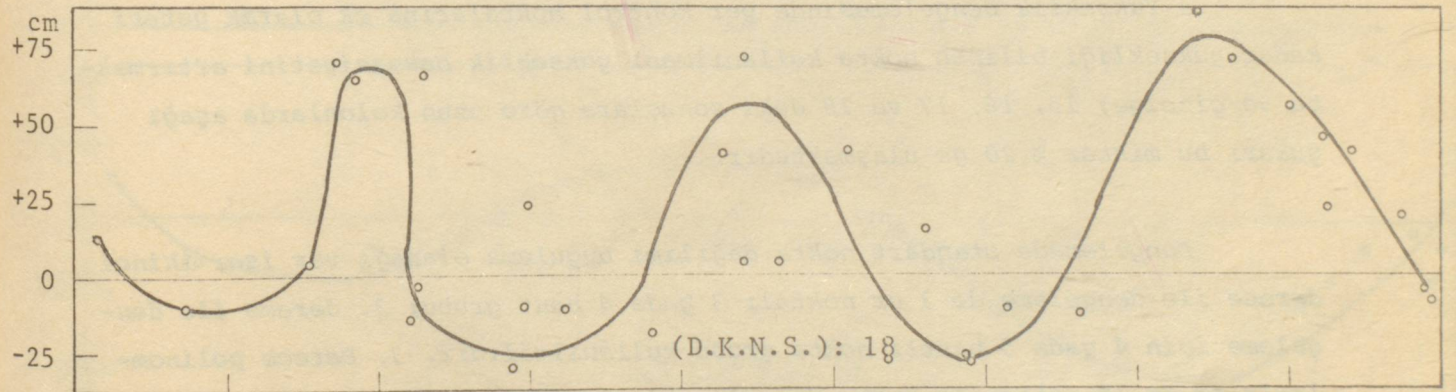
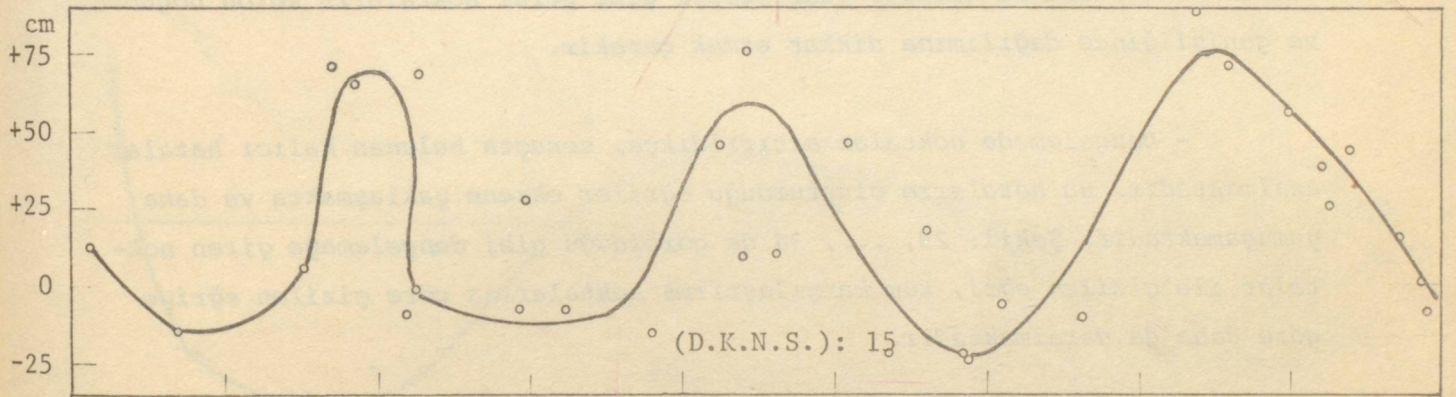
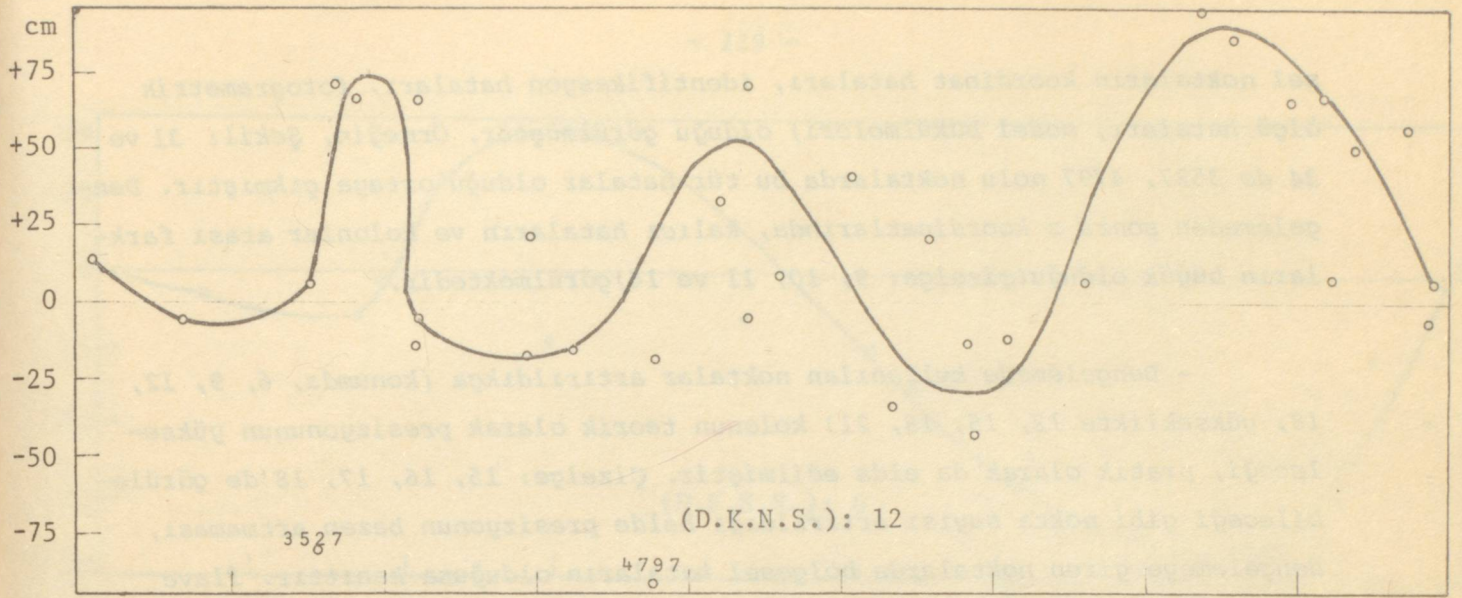
- Maksimal kalıcı hatalar, kalıcı hataların dağılımına göre kolona dağılmış yer kontrol noktaları arasında görülmektedir. Bazen bir kolonun hata karakteri bundan farklı bir sapma gösterebilir (Şekil, 31, 34).

- Hernekadar yer kontrol noktalarının ve bunların fotogrametrik ölçüleri hatasız kabul edilmiş isede bazı noktalarda bölgesel hataların (yer-





Şekil: 30. Dengelemeden sonra Y koordinatındaki kalıcı hatalar (2.Derece)



sel noktaların koordinat hataları, identifikasyon hataları, fotogrametrik ölçü hataları, model bükülmeleri) olduğu görülmüştür. Örneğin, Şekil: 31 ve 34 de 3527, 4797 nolu noktalarda bu tür hatalar olduğu ortaya çıkmıştır. Dengelemeden sonra z koordinatlarında, kalıcı hataların ve kolonlar arası farkların büyük olduğu (çizelge: 9, 10, 11 ve 14) görülmektedir.

- Dengelemede kullanılan noktalar artırıldıkça (konumda, 6, 9, 12, 18; yükseklikte 12, 15, 18, 21) kolonun teorik olarak presizyonunun yükseleceği, pratik olarak da elde edilmiştir. Çizelge: 15, 16, 17, 18'de görülebileceği gibi nokta sayısı artırıldığı halde presizyonun bazen artmaması, dengelemeye giren noktalarda bölgesel hataların olduğuna kanıttır. İlave edilen noktalarda bu hatalar olabileceği gibi yerel noktaların kolon boyunca ve genişliğince dağılımına dikkat etmek gerekir.

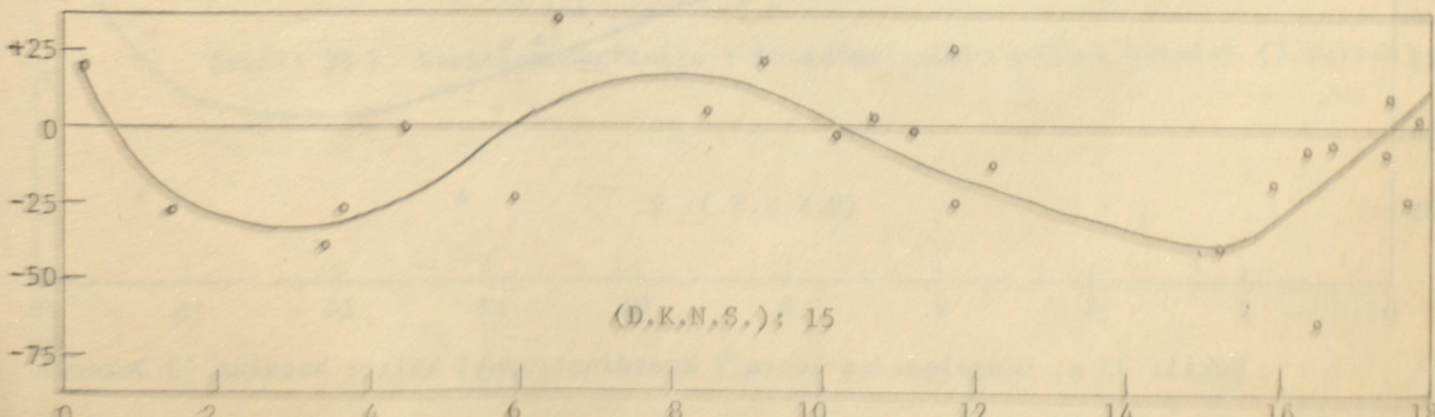
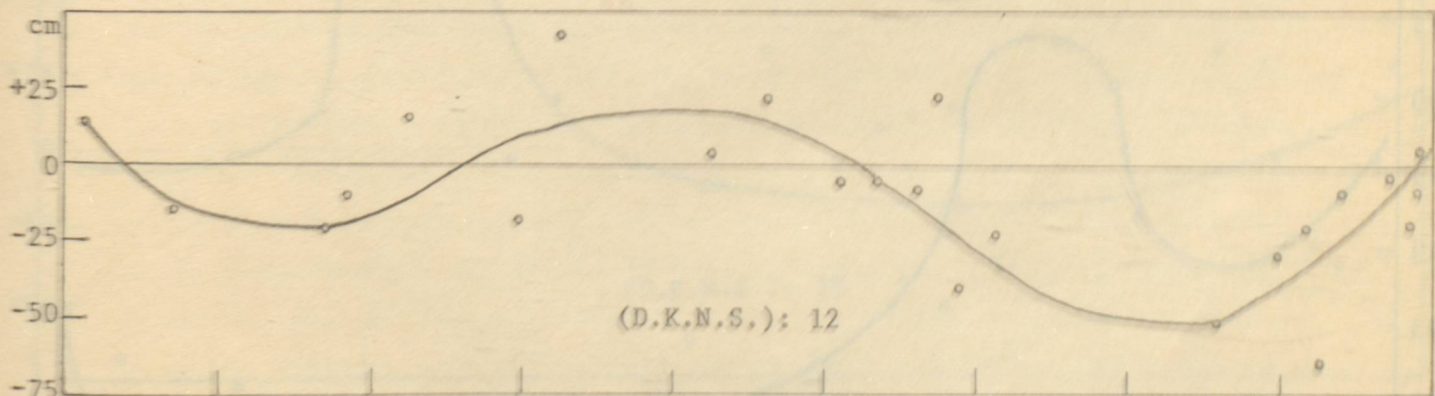
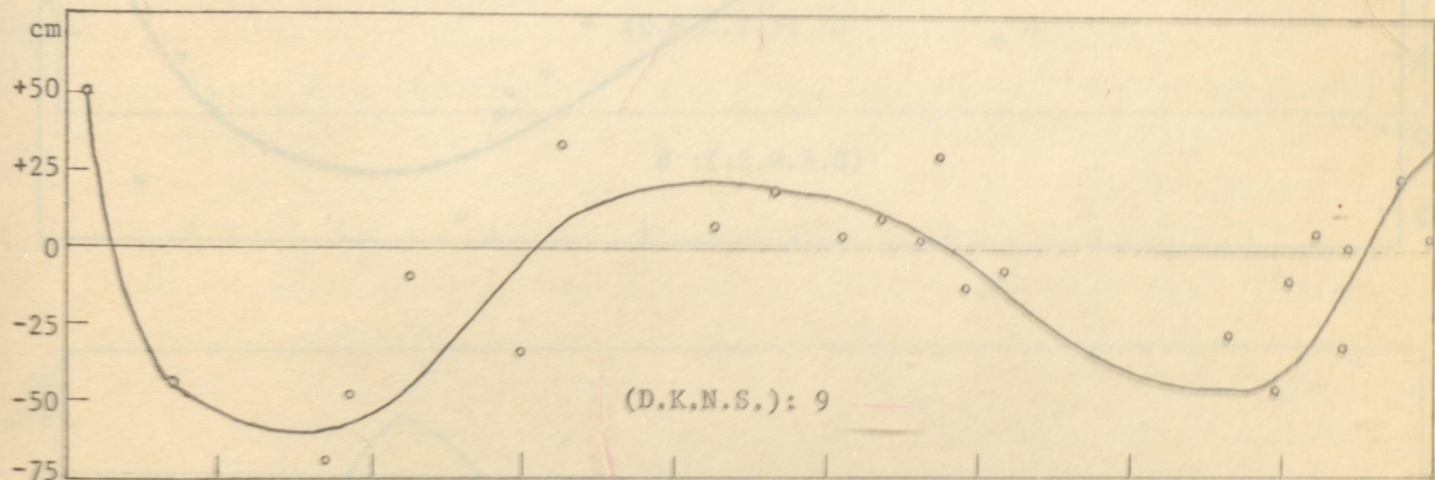
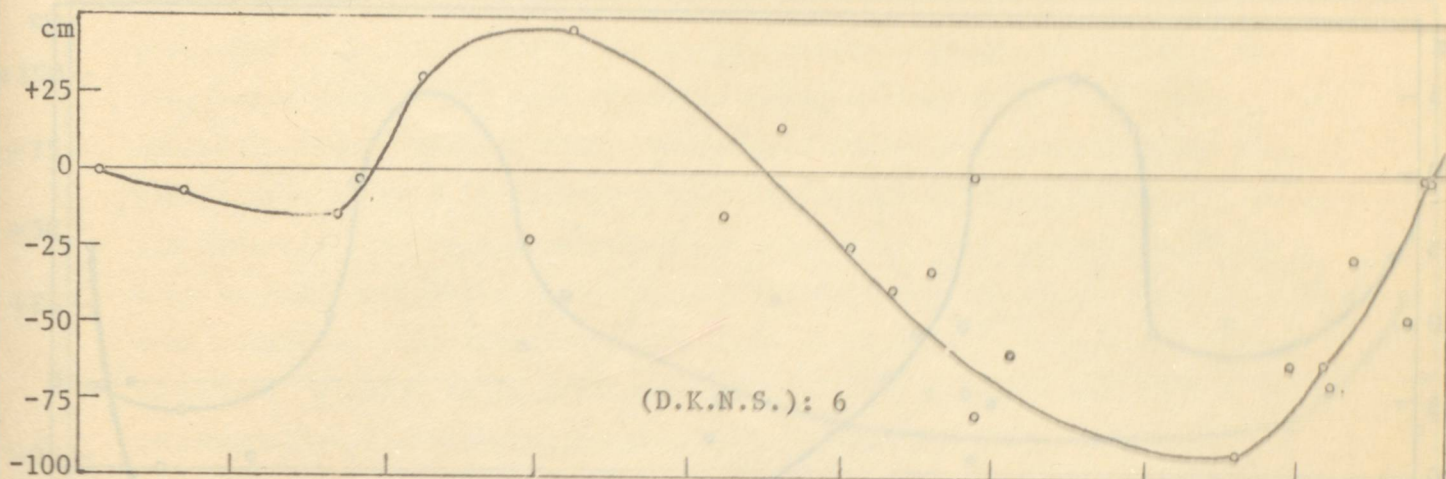
- Dengelemede noktalar artırıldıkça, sonuçta bulunan kalıcı hatalar azalmaktadır. Bu hataların oluşturduğu eğriler eksene yaklaşmakta ve daha yumuşamaktadır. Şekil: 29, ..., 34 de görüldüğü gibi dengelemeye giren noktalar ile çizilen eğri, tüm karşılaştırma noktalarına göre çizilen eğriye göre daha da daralmaktadır.

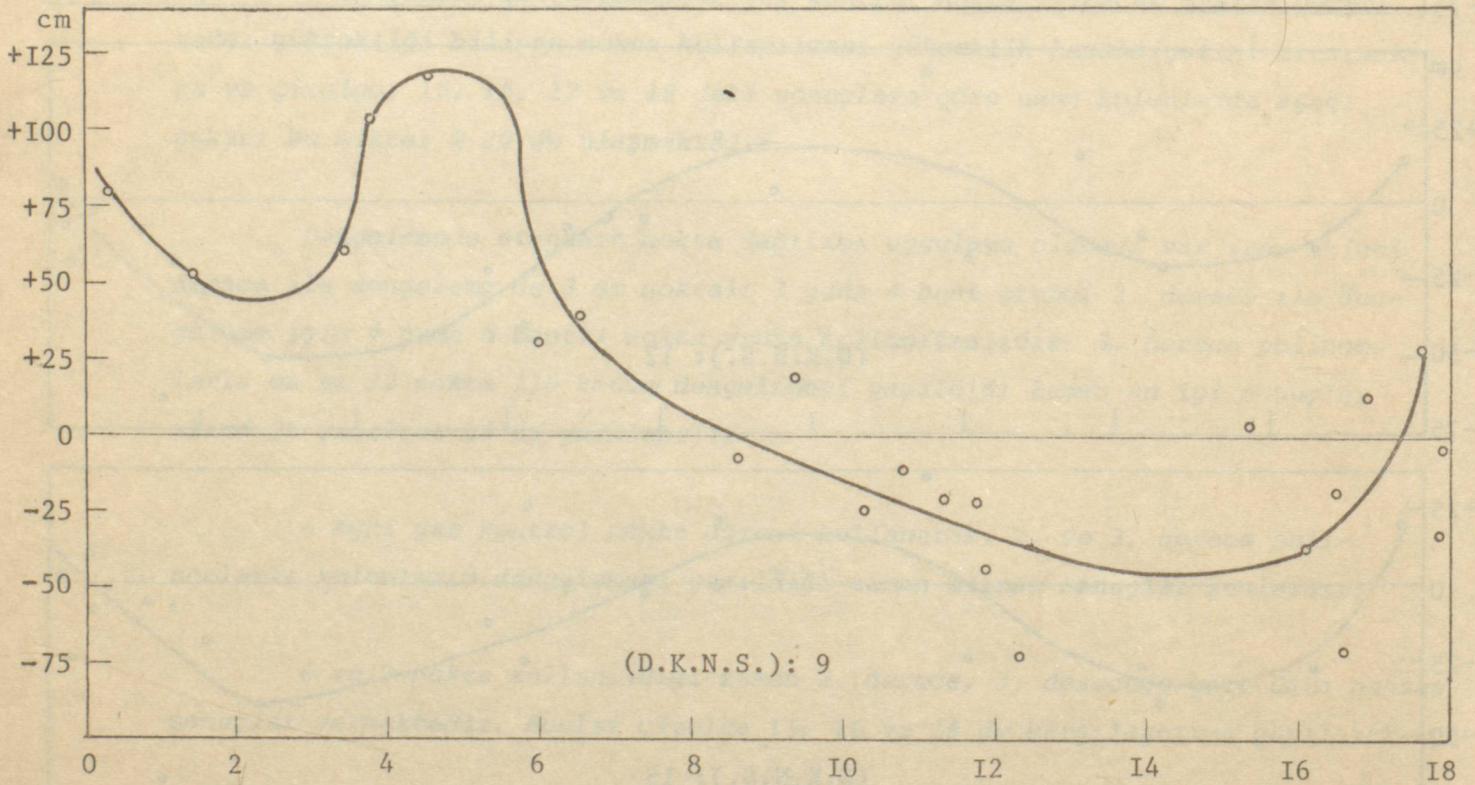
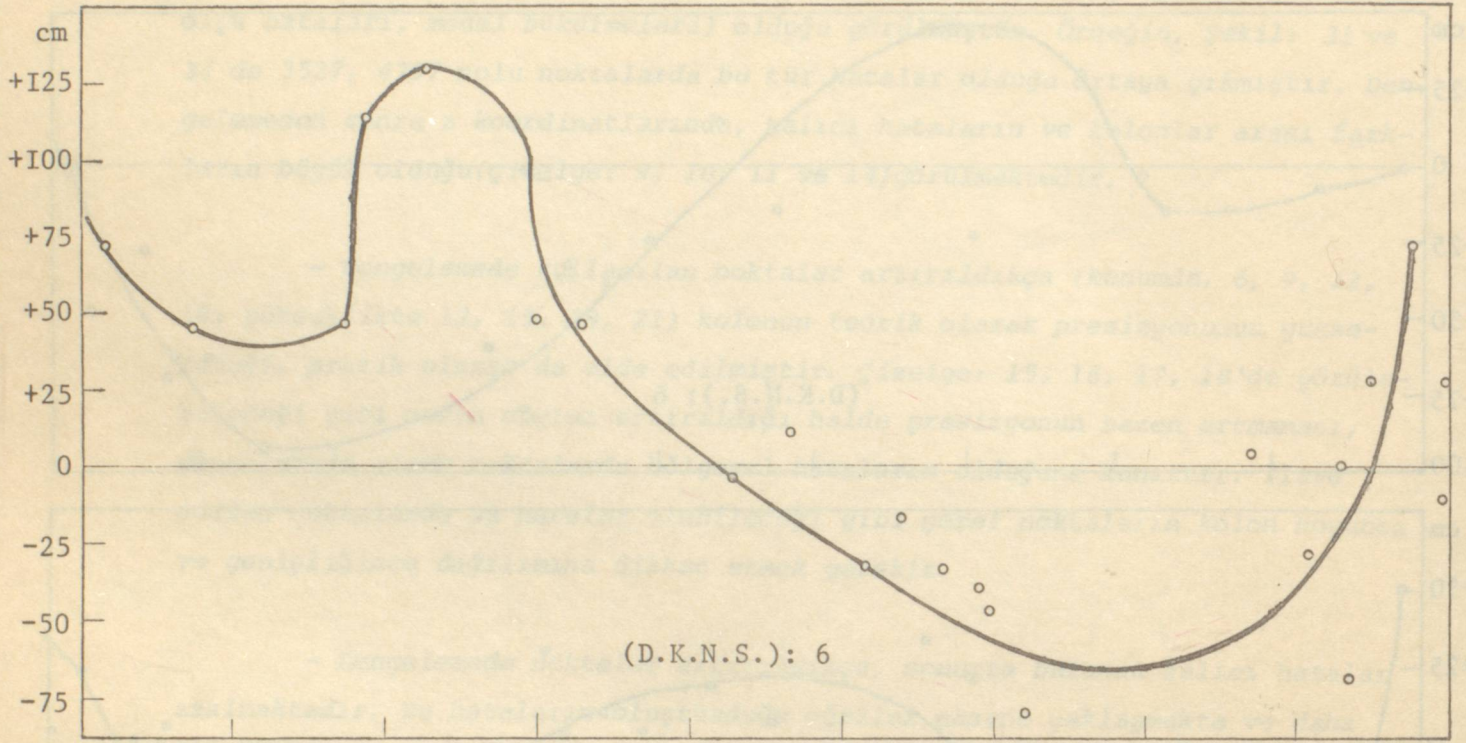
- Yükseklik dengelemesinde yer kontrol noktalarına ek olarak yeteri kadar yüksekliği bilinen nokta kullanılması yükseklik hassasiyetini artırmakta ve çizelge; 15, 16, 17 ve 18'deki sonuçlara göre uzun kolonlarda aşağı yukarı bu miktar % 20 ye ulaşmaktadır.

Dengelemede standart nokta dağılımı uygulama olanağı var ise; ikinci derece ile dengeleme de 3 er noktalı 3 yada 4 bant grubu; 3. derece ile dengeleme için 4 yada 5 bantlı nokta grubu kullanılmalıdır. 3. Derece polinomlarla en az 12 nokta ile konum dengelemesi yapıldığı zaman en iyi sonuçlar alındığı çizelge: 16'da görülebilir.

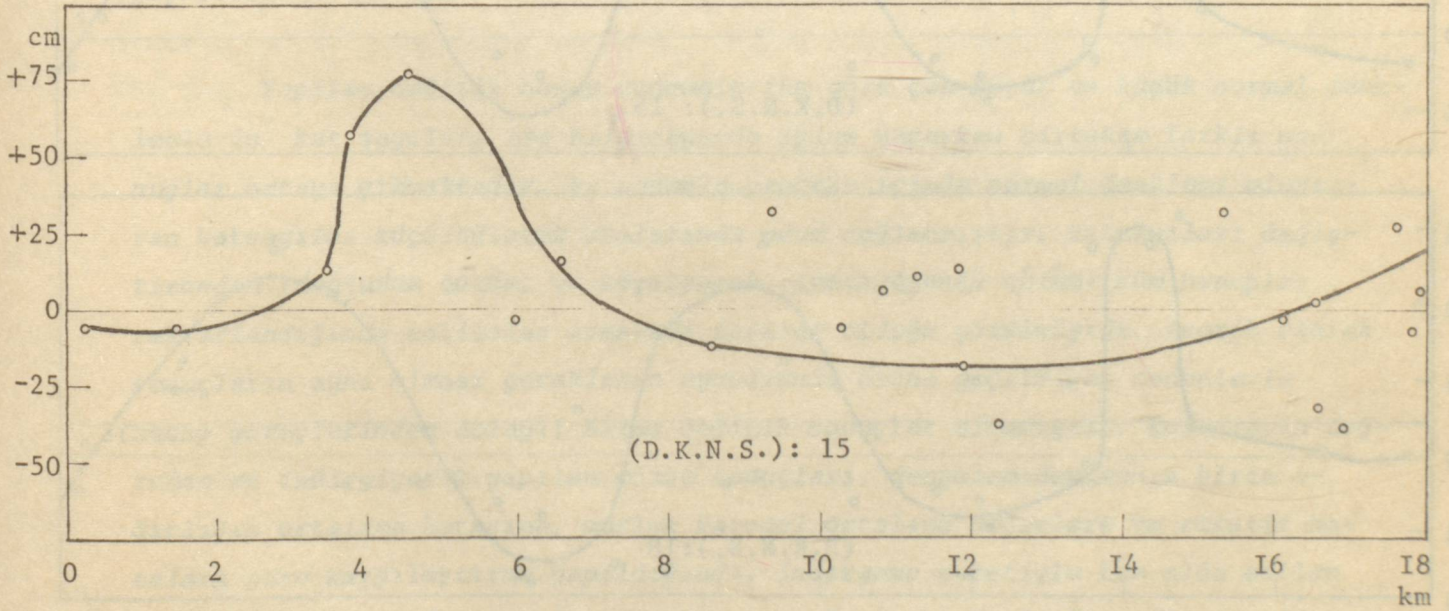
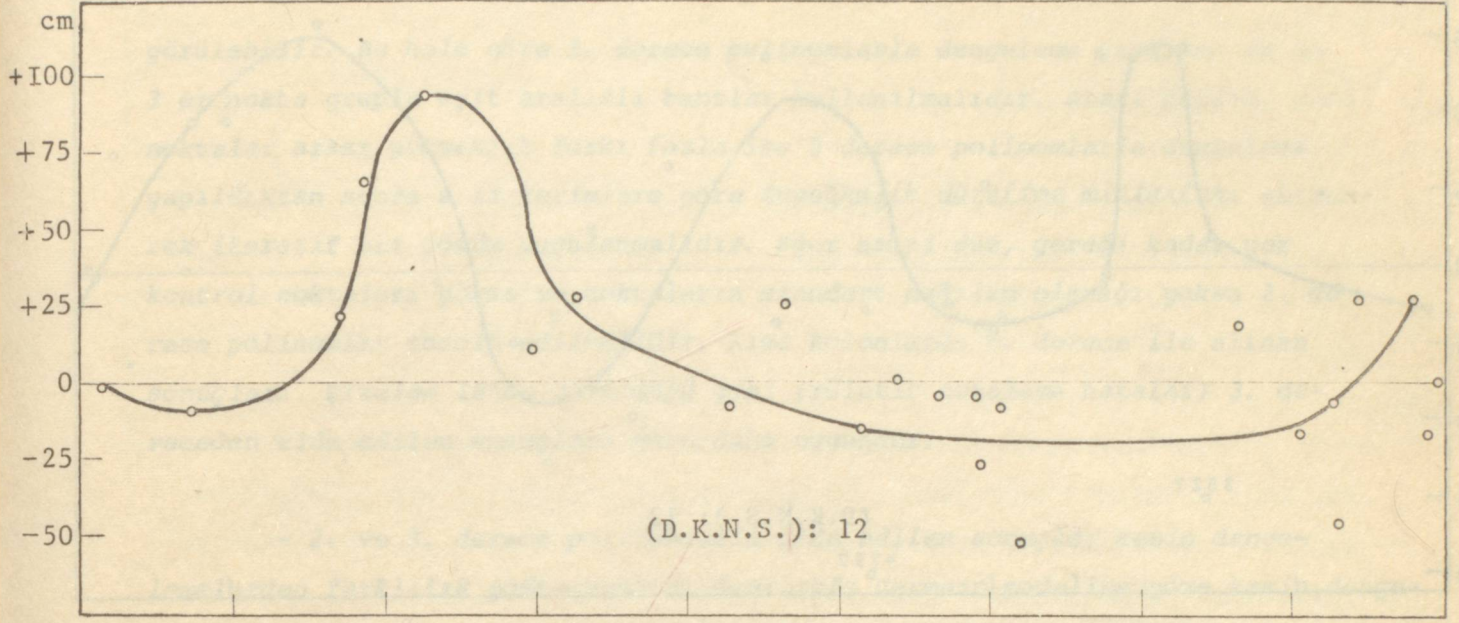
- Aynı yer kontrol nokta düzeni kullanarak, 2. ve 3. derece polinomlarla kolonların dengelemesi yapıldığı zaman alınan sonuçlar şunlardır:

6 ve 9 nokta kullanıldığı zaman 2. derece, 3. dereceye göre daha hassas sonuçlar vermektedir. Bunlar çizelge 15, 16 ve 18 de karşılaştırma yapılarak

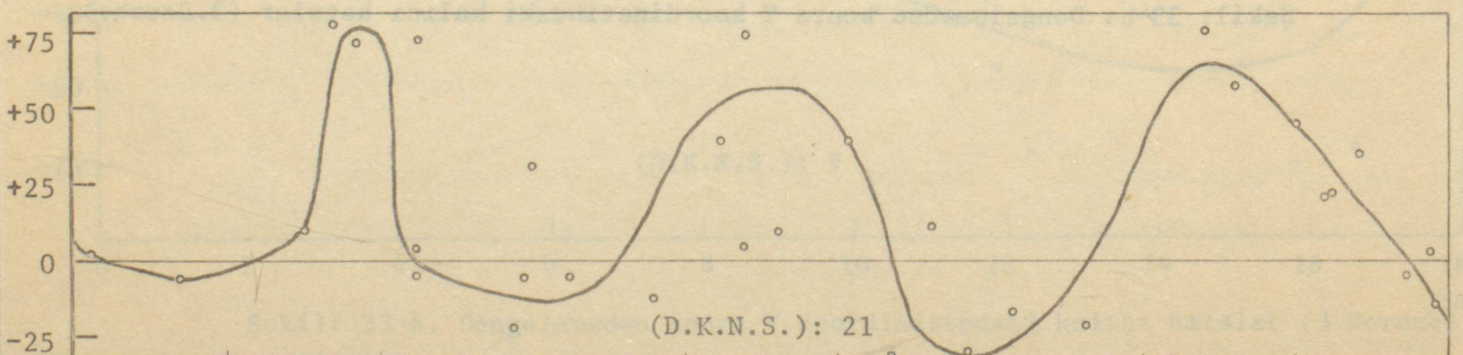
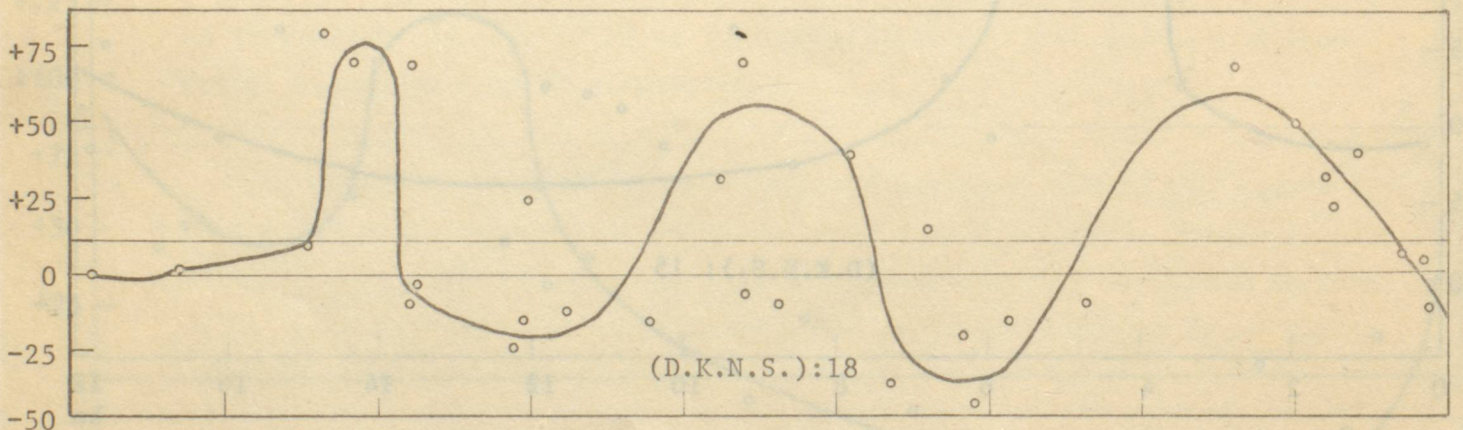
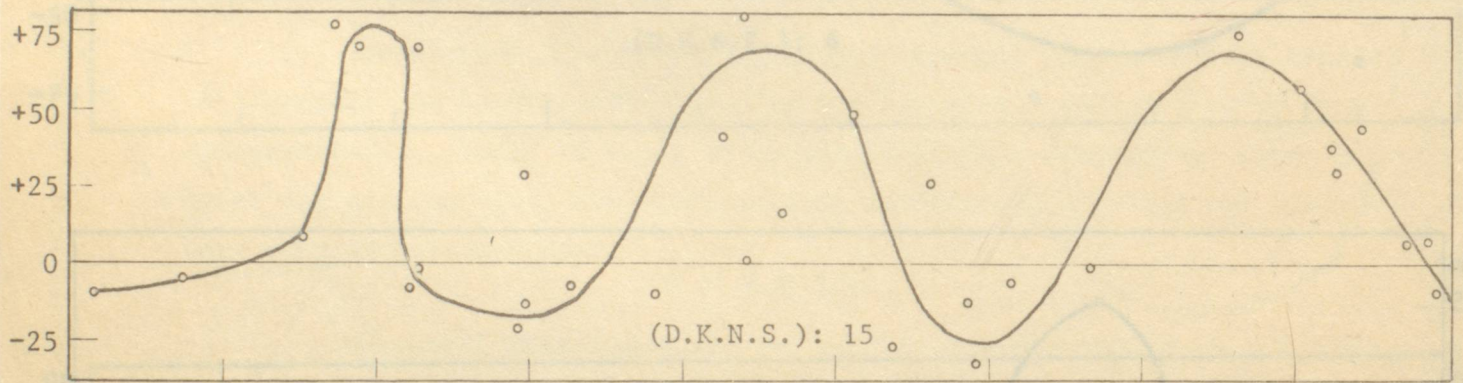
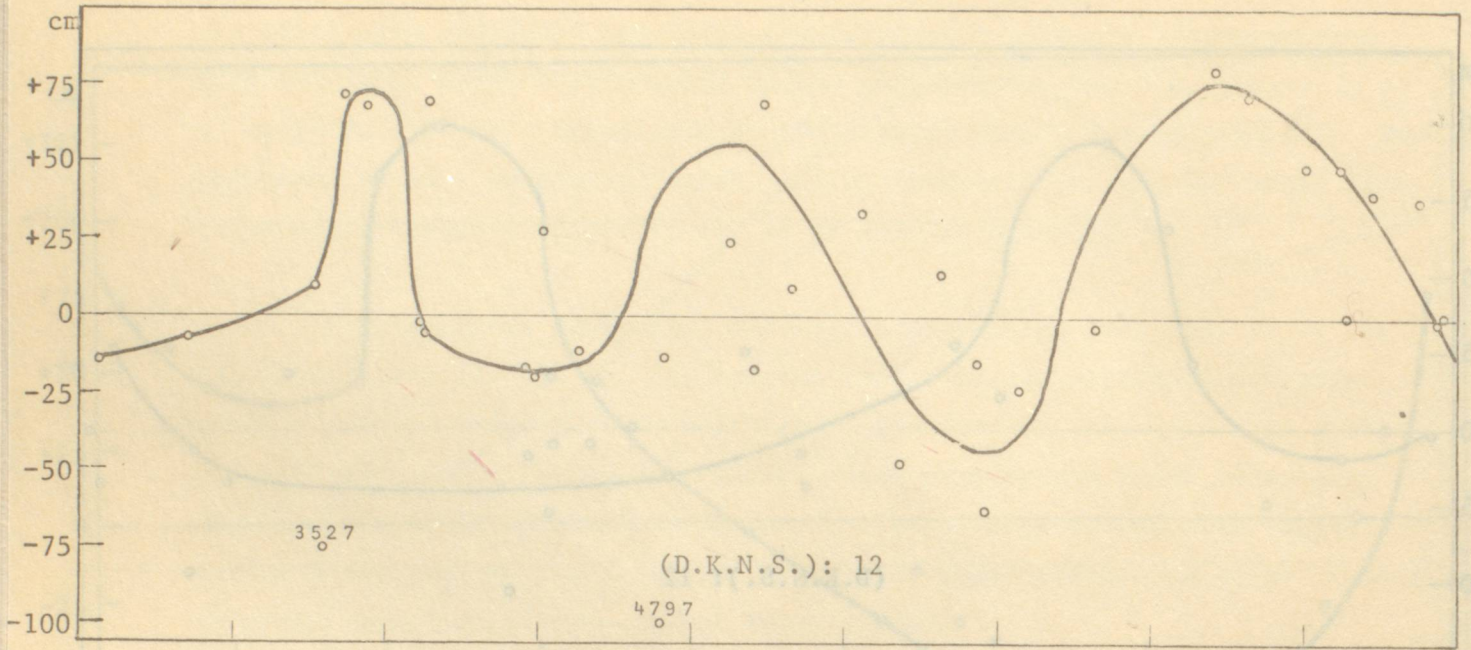




Şekil: 33-a. Dengelemeden sonra Y koordinatındaki kalıcı hatalar (3.Derece)



Şekil: 33-b. Dengelemeden sonra Y koordinatındaki kalıcı hatalar (3.Derece)



görülebilmektedir. Bu hale göre 3. derece polinomlarla dengeleme yaparken en az 3 er nokta gruplu eşit aralıklı bantlar kullanılmalıdır. Arazi dağlık, yani noktalar arası yükseklik farkı fazla ise 3 derece polinomlarla dengeleme yapıldıktan sonra z li terimlere göre topoğrafik düzeltme miktarları eklenecek iteratif bir çözüm uygulanmalıdır. Eğer arazi düz, gereği kadar yer kontrol noktaları yoksa ve noktaların standart dağılım olanağı yoksa 2. derece polinomlar tercih edilmelidir. Kısa kolonlarda 2. derece ile alınan sonuçları, çizelge 18'de görüldüğü gibi (rölatif ortalama hatalar) 3. dereceden elde edilen sonuçlara göre daha uygundur.

- 2. ve 3. derece polinomlarla elde edilen sonuçlar kesin dengelemelerden farklılık göstermezler. Özellikle Vermeir modeline göre kesin dengelemiş kolonların doğruluğu ile polinomlarla elde edilen sonuçların çok az farklılık gösterdiği ACKERMANN tarafından elde edilmiştir /37/,S.1974. Ayrıca VERMEİR modeline göre kesin dengelenmiş kolonların presizyon bağıntıları hakkında ortaya konan kurallar ilk yaklaşıklıkla polinom dengelemesi için de geçerlidir /37/,1975.

Yapılan değişik hesap denemelerine göre çok büyük ve küçük normal denklemlerin kat sayıları ile bilgisayarda işlem yaparken birtakım farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle program içinde normal denklemleri oluşturan katsayılar küçültülerek aralarında uyum sağlanmıştır. Katsayıları değiştirmeden (doğrudan çözüm) ve küçülterek (indirgeyerek çözüm) tüm hesaplar tekrarlandığında neticeler arasında farklar olduğu görülmüştür. Teorik olarak sonuçların aynı olması gerekirken uygulamada önüne geçilmiyen nedenlerle (hesap gereçlerinden dolayı) biraz değişik sonuçlar alınmıştır. Kolonların doğrudan ve indirgiyerek yapılan çözüm sonuçları, dengelemeden sonra birim ağırlığın ortalama hatasına, mutlak karesel ortalama değerlere ve rölatif hatalara göre karşılaştırma yapıldığında, indirgeme suretiyle tüm elde edilen sonuçların daha doğru olduğu saptanmıştır. Bu farklar çizelge: 15, 16, 17 ve 18'de görülebilir. Yukarıda yapılan yorum ve karşılaştırmalar indirgemediği sonuçları yapılan dengeleme sonuçlarına göredir.

7.2.3. Çözümleme Süresi

Transformasyon sonuçları kart olarak da alınmış olduğundan bunlar gerekli kontrollerden sonra makinaya kolon dengelemesi için giriş datası olarak olarak verilmiştir. BURROUGHS B 3700 bilgisayarı ile dengeleme yapılmıştır.

Çizelge: 20'de örnek olarak yapılan 96 kolonun dengelemesi için süreler esas alınarak aşağı yukarı 10 modelli bir kolonun ortalama dengeleme zamanı hesaplanmıştır. Bu çizelge incelenirse 2. derece için; program diske yüklemeyen (Y) 16 saniye diske yüklendikten sonra (D) 10,1 s, 3. derece için; yüklemeyen 30.7s yükledikten sonra, 22.3 saniyede sonuçlar alınmaktadır. Disk ünitesi ile çalışma küçümsenmeyecek zaman tasarrufu sağladığı ortadadır. % 30-35 zaman kazancı olmaktadır.

3. derecenin 2. dereceye göre 2 misli sürede sonuçlanmasının nedeni, 3. derece dağlık araziler için iteratif çözümleme yaptırılmış ve iki çözümün karşılaştırması yapılmıştır. Sonra çıkışta bazı ara kontrollerde alınmış olduğundan giriş-çıkış süresi uzamıştır. Program diske yükleyip ihtiyaç oldukça yalnız giriş datası ile ana program verilirse, dengeleme 8-10 saniyelik kısa bir sürede alınabilir. Programın testi yapıldıktan sonra gereksiz çıkışlar istenmez sadece sonuçlar istenirse çıkış minimuma indirilmiş olur. Adı geçen bilgisayarda giriş-çıkış hesaplamaya engel değildir.

Literatür /51/,S.88'de ise analog yöntemle bir kolonun kollu hesap makinası ile dengeleme süresi 11 saat bulunmuştur. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünde, IBM-1620 bilgisayarı ve 3. derece polinomlar kullanılarak analog yöntemle bir kolon dengelemesinin çözümleme süresi 11 dakika olarak verilmiştir /78/,Ek:I.

Süre ile ilgili bu farklılıklar çözümlemede kullanılan bilgisayarın hızı ve kapasitesinden ileri gelmektedir.

Denge.de Kulla.lan Polinomun Derecesi	Birim Ağırlığının Ortalama Hatası		Mutlak Karesel Ortalama De. (Kolonun Dış Doğruluğu)				Rölatif Ortalama Hatalar (İç Doğruluk)			
	m_p (μm)	m_z %o h	M_x (μm)	M_y (μm)	M_p (μm)	M_z %o h	\bar{m}_x (μm)	\bar{m}_y (μm)	\bar{m}_p (μm)	\bar{m}_z %o h
1	2		3				4			
2.Derece	17.2	0.130	12.6	14.1	19.2	0.153	16.4	7.5	18.1	0.075
3.Derece	14.0	0.108	11.6	14.6	18.6	0.153	15.7	10.5	19.1	0.116
Ortalama	15.6	0.119	12.1	14.4	18.9	0.153	16.0	9.0	18.6	0.096

Çizelge: 19. Ortalama hataların özeti

2.Derece Polinomlarla Den.			3.Derece Polinomlarla Dengeleme					
İndirgeyerek			İndirgeyerek			Doğrudan		
İşlem Süresi	Giriş-Çı. Süresi	Toplam Süre	İşlem Süresi	Giriş-Çı. Süresi	Toplam Süre	İşlem Süresi	Giriş-Çı. Süresi	Toplam Süre
Y	7.2	8.8	12.6	18.1	30.7	12.5	17.5	30.0
D	5.0	5.1	9.2	12.8	22.0	9.4	12.9	22.3

Çizelge: 20. Borroughs B 3700 (İ.T.Ü.) bilgisayarı ile polinomlarla dengeleme için saniye olarak zaman hesabı.

8. YÖNTEMİN KLASİK YÖNTEMLE KARŞILAŞTIRILMASI VE SONUÇLAR

8.1. Karşılaştırma

Yeni bir yöntemin doğruluğunu ve kullanılabilirliğini saptamak için halen kullanılmakta olan ve doğruluğu hakkında herhangi bir kuşku bulunmayan bir yöntemle karşılaştırılması gerekir. Çalışmamız için en iyi karşılaştırmayı, geodezik yöntemlerle elde edilen sonuçlar verir.

Bölüm: 7.2'de analog hava triyanguilasyon yöntemi ile 2. ve 3. derece polinomlarla konum ve yükseklik ayrı ayrı dengelenerek kesin koordinatlar bulunmuştur. Değişik biçimde uygulama yapılarak elde edilen hataların ortalaması çizelge: 19. da verilmiştir.

Bulunan bu sonuçlara benzer sonuçlar ITC'nın tüm ülkelerin harita yapan kuruluşlarına yönelttiği anketlerden derlenen değerlerle uyum halindedir /90/, S.119.

1/5000 ölçekli STK haritalarında, grafik detay inceliği 0,2 mm. $5000 = 1$ m olarak alınabilir. X ve Y koordinatlarındaki hataların eşit olduğu kabul edilerek koordinat ortalama hatası bilindiği gibi $1/\sqrt{2} \cdot 1 = \pm 0,71$ m olur. Güvenlik nedeniyle % 20 düşülerek stereo değerlendirme için detay inceliği $\pm 0,57$ m olması uygun görülmüştür /41/.

STK haritaları yönetmeliğinde "Havaî nirengi ile tayin edilen pas noktalarında ise vasatî hatalar ortalaması 40 cm ve hiç bir noktada vasatî hata 80 cm den fazla olmayacaktır" denilmektedir. /48/, m:7. Bu hataları kolonlar arası bulunan rölatif hatalar olarak yorumlamalıdır.

Aynı yönetmeliğe göre, kestirme olarak tayin edilen noktalarda muhtelif doğrultulardan bulunan koordine değerleri arasındaki fark 30 cm den fazla, trigonometrik yükseklik belirtilmesinde ise en az üç doğrultudan hesaplanan yüksekliklerde en küçüğü ile en büyüğü arasında 30 cm den fazla fark kabul edilmemektedir /48/.

Bu hale göre fotogrametrik olarak bulunan noktaların inceliği, uygulamada istenilen doğruluk derecesinde olduğu saptanmıştır. 2. ve 3. derece polinomlarla dengeleme sonucu bulunan değerler eldeki mevcut olanaklara göre uygulama için yeterli olup 1/5000 ölçekli STK standartlarına uymaktadır.

Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünce analog kolon triyangülasyon yöntemi ile X, Y koordinatları, 40-50 cm ve yükseklikler de yaklaşık 60-80 cm doğrulukta elde edildiği verilmiştir /81/.

Yurdumuzda ki nirengi çalışmaları için "ülke nirengi ağının gerekli doğruluk derecesinde olduğu hakkında kuşku vardır" ve ayrıca yapımcı kurumlarca ülke nirengi değerlerinin doğruluk derecesine ilişkin bugüne dek hiç bir açıklama ve yayında yapılmamıştır /8/,S.77.

Hava triyangülasyon dengelemesinin geodezik yöntemle belirlenen yer kontrol noktalarının hatasız olduğu varsayımıyla yapılmasına karşılık, karşılaştırma yapabilmek bakımından ülke nirengi değerlerine ilişkin doğruluk sonuçlarının bilinmesi gerekir.

STK yönetmeliğine göre yeni belirlenecek noktaların memleket ana nirengisine bağlanması ve bu nirengilerden değer alması istenmektedir. Fotogrametrik olarak belirlenen yeni noktaların ise çıkışlarını ülke nirengilerinden aldıklarından yukarıdaki yönetmelik gereği kendiliğinden gerçekleşmektedir. Ancak yukarıda da söylendiği gibi ülke nirengisinin doğruluk sonuçları bilinemediğinden bu nirengilere bağlı olarak fotogrametrik yöntemle elde edilen yeni noktaların doğruluk derecesi hakkında kesin bir bilgi elde edilememektedir.

Günümüzde geodezik yöntemle yeni nokta belirlemesinin zaman ve para kaybına yol açtığı dikkate alınırca, fotogrametrik olarak bulunan yeni noktaların kadastro, arazi toplulaştırması, çalışma koşulları güç olan dağlık sahaların ve baraj haritaları, sahil haritaları için tamamen yeterli olacağını bu çalışma da göstermektedir. Bu yöntem ayrıca geodezik yöntemle göre zaman ve maliyeti büyük ölçüde azalttığı gibi organizasyon avantajı vardır.

8.2. Sonuçlar

Türkiye'de 1/5000 ölçekli STK haritaları yönetmeliğinde belirtilen standartlar ölçüt alınarak geodezik triyanguasyon ile analog kolon triyanguasyon yöntemi ile saptanan kontrol noktalarının koordinat değerleri çeşitli etmenlere göre karşılaştırması yapılmıştır. 2. ve 3. derece polinomlarla değişik biçimde kolon dengelemesi, bilgisayarla çözümlmek için programlaması hazırlanmıştır. 96 adet kolon dengeleme sonuçları irdelenerek koşullara en uygun polinomsal kolon dengeleme yöntemi saptanmıştır.

Önce hava triyanguasyonunda hata teorisi ve hata kaynakları incelenmiştir.

Kolon ve blokların dengelemesinde en çok uygulanan yöntemin polinomlarla dengeleme olduğu ve bu oranın % 40'a ulaştığı, kolon dengeleme yönteminin % 47 uygulandığı Bölüm: 2'de belirlenmiştir.

Kolon hava triyanguasyon yönteminin normal uygulama dışında, en çok uygulandığı yerler sahil haritalarının hazırlanması, yolların inşası, uçuş bozuklukları, triyanguasyonun yeterli olmadığı durumlarda kullanılmaktadır.

Polinom yöntemleri, En Küçük Kareler anlamında bir dengeleme yöntemi değildir. En Küçük Kareler yönteminin hesap algoritması kullanılır. Fakat kolon deformasyonu için enterpolasyon formüllerine uygun olarak seçilen, polinomlara göre yapılan bir düzeltme yöntemi olarak bakılmalıdır. Bu nedenle yöntemin anlaşılması basit, bilinmeyen sayıları azdır. Orta kapasiteli bilgisayarlarla rahatlıkla çözülebileceği gibi fazla hız ve bellek isteklerinde bulunmazlar.

Analog kolon triyanguasyonu için geliştirilen polinomlarla dengeleme yöntemi analitik kolon ve bloklar içinde rahatlıkla uygulanabilir.

Analog kolon triyanguasyonunda teşhis etme hatasından kaçınmak için kolon ve modellerin bağlantısında kullanılan noktalar ya doğal noktalar olmalı ya da nokta işaretleyicisi ile belirtilmiş olmalıdır. Ayrıca kullanılan ölçü aletlerinin ayar durumları devamlı kontrol edilmelidir.

Kolon boyunca bir kontrol noktası bandından, diğerine kadar atlanacak model sayısı az ise daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Örneğin bir kolonda 6 nokta yerine 15 nokta ile veya aynı yer kontrol noktaları ile kısa ve uzun kolonlarda yapılan dengelemelerde alınan sonuçlar kısa kolonlarda daha presizyonlu olmaktadır.

Yükseklik dengelemesinde konumda kullanılan noktalara ek olarak sadece yüksekliği belirli nokta kullanıldığı zaman yükseklik presizyonu artmaktadır.

Maksimal kalıcı hatalar kolona dağılmış kontrol bantları arasında görülmüştür.

Kolon boyunca standart nokta dağılımı ve yeter sayıda yer kontrol noktası yoksa veya arazi düz ise, 3. derece polinomlar yerine 2. derece polinomlarla yapılan dengeleme ile daha iyi sonuçlar alınmıştır. Arazi dağlık ise z ilaveli 3. derece polinomlar kullanılması gerekir.

Bu sayısal araştırmada, kolonun uzunluğu kısalığı, yer kontrol nokta dağılımı ve sayısı dikkate alınarak 96 değişik kolon dengelemesi 2. ve 3. derece polinomlara göre yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen yeni noktaların koordinatları ile geodezik yöntemle belirlenen koordinatlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada ortalama olarak 13 modellik kolonlarda; konum için 20, yükseklik için 27, 6 modellik kolonlarda; konum için 15, yükseklik için 19 nokta kullanılmıştır. Dengeleme sonucu bulunan, birim ağırlığın ortalama hataları, mutlak karesel ortalama değerleri ve rölatif ortalama hataların aritmetik ortalaması alınarak çizelge; 19'daki sonuçlar saptanmıştır. Örneğin bu çizelgeden rölatif ortalama hatalar;

$$\bar{m}_x = \pm 33.6 \text{ cm } (16.0 \text{ } \mu\text{m}) ; \bar{m}_y = \pm 19.0 \text{ cm } (9.0 \text{ } \mu\text{m})$$

$$\bar{m}_p = \pm 39.1 \text{ cm } (18.6 \text{ } \mu\text{m}) ; \bar{m}_z = \pm 0.096, h$$

bulunmuştur. Bu duruma göre fotogrametrik olarak analog hava triyangülasyon yöntemi ile elde edilen yeni noktaların koordinatları 1/5000 ölçekli STK standartlarına uygun olduğu saptanmış olup yeni nokta belirlemede, kolon dengelemesi için 2. ve 3. derece polinomlar rahatlıkla uygulanabilir,

Burroughs B 3700 bilgisayarı ile aşağı yukarı 10 modelik bir kolonun kesin koordinatları 10 saniyede çözümlenmektedir.

Kolonların (Normal denklem katsayıları) doğrudan ve indirgeyerek yapılan çözümleri, yukarıdaki hata ölçütleri esas alınarak karşılaştırma yapılmış indirgeme suretiyle tüm elde edilen sonuçların daha doğru olduğu saptanmıştır. Hesap hatalarından kaçınmak için normal denklemi oluşturan katsayılar arasında uyum sağlanmalı ve uygun bir biçimde küçültülmelidir. Bu şekilde hesaplamalar ile daha iyi sonuçlar alındığı kanıtlanmıştır.

Günümüzün koşullarına göre fotogrametri yöntemi ile harita yapımı presizyon, zaman ve ekonomi bakımından optimum olduğu artık dünyaca kabul edilmiş olmasına karşılık ülkemizde harita yapımı ile uğraşan bazı kuruluşlarca yavaş yavaş hava triyagülasyon yönteminin uygulama oranının düşmesinin sebepleri konumuzun dışında olması nedeniyle araştırılması ve bu konunun üzerine dikkatle eğilmesi gereklidir.

K A Y N A K L A R

Kısaltmalar:

AVN	: Allgemeine Vermessungs-Nachrichten
Bul	: Bildmessung und Luftbildwesen
DGK	: Deutsche Geodätische Kommission
HD	: Harita Dergisi
HKD	: Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi
Int.Arch.	: International Archives of Photogrammetry
ISP	: International Society of Photogrammetry
ITC	: International Institute for Aerial Survey and Earth Science (International Training Center for Aerial Survey)
OEEPE	: Organisation Européenne d'Études Photogrammétriques Expérimentales (Europäische Organisation für Photogrammetrische Experimentelle Untersuchungen)
ÖzfV	: Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen
Phot.	: Photogrammetria
Phot. Eng.	: Photogrammetric Engineering
SZVKuP	: Schweiz.Z.Vermes., Kulturtechn.u. Photogramm.
Verm. Techn.	: Vermessungstechnik
ZfV	: Zeitschrift für Vermessungswesen

- /1/ Ackermann, F.E. : Ein Verfahren zur programmsteuerten Ausgleichung von Triangulationsstreifen. Bul, 1961, S. 108-123
- /2/ Ackermann, F.E. : Zur Streifenausgleichung mit polynomen höheren Grades. Bul, 1963, S. 2-10
- /3/ Ackermann, F.E. : Fehlertheoretische Untersuchungen über die Genauigkeit photogrammetrischer Streifentriangulationen. DGK, Rh. C 1965, 87, 140 s.
- /4/ Ackermann, F.E. : Theory of errors and adjustment of aerial triangulation. ITC-Lecture notes, 1966
- /5/ Ackermann, F.E. : Theoretische Beispiele zur Lagegenauigkeit von Blöcken. Bul, 1968, S. 3-15

- /6/ Ackermann, F.E. : Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen.
Bul., 1970, S.198-206
- /7/ Ahrend, M. : Analyse photogrammetrischer Fehler. Zeiss-Mitteilungen.
4.Bd., 1966, S.62-78
- /8/ Aksoy, A. : Nirengide Kronolojik Gelişme ve Türkiyede Nirengi
Sorunu. Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği
Yayınları, 6, S.71-78, Nisan 1975
- /9/ Alkış, A. : Hava triyagülasyonunda " Amblok Yöntemi "
İ.D.M.M.A. Yeterlik Çalışması İstanbul 1974
- /10/ Attwell, B.J. : Image Motion in Air Photography. Photogramm. Rec., 3,
1959, S.4-21
- /11/ Altan, M.O. : Hava Triyagülasyonunda Hataların Birikimi Üzerine.
İ.T.Ü. Dergisi, 31, 3, 1973, S.5-9
- /12/ Altan, M.O. : Stereo ve Monokomparatörlerin Blok Triyagülasyonundaki
Rolü ve Kadastro Fotogrametrisine Uygulama. Doktora
Tezi. İ.T.Ü. 1974
- /13/ Aytac, M., Örmeci, C., : Fotogrametri. İ.T.Ü. 930, 1973
Altan, M.O. (A.Finsterwalder, W.Hoffmann'dan Çeviri)
- /14/ Bachmann, W.K. : Théorie des Erreurs et Compensation des Triangulations
Aériennes., E.P.U.L. Lusanne 1946
- /15/ Brandenberger, A. : Zur Praxis der räumlichen Lufttriangulation Zürich, 1951
- /16/ Brindöpke, W. : Theoretische und praktische Untersuchungen zur Genauig-
keit der Photogrammetrie bei Erdmassenmittlung im
Strassenbau. Publ.Geod. Inst. TH Aachen, 1964-7
- /17/ Brock, G.C. : Physical Aspects of Air Photography-London, Longmans,
Green and Co.1952
- /18/ Brucklacher, W. : Zur räumlichen Aerotriangulation von Bildstreifen.
DGK, Rh.A, No:34/1, 1959
- /19/ Brucklacher, W. : Zur Korrektur des Einflusses der Erdkrümmung bei
der Bestimmung von Punkthöhen mittels Aerotriangu.
Bul, 1962, S.194-197

- /20/ Çapanoğlu, V., Ünver, İ. : Fortran Dilinde Programlama, D.S.İ.Yayınları 1973
- /21/ Çasper, R. : Resolution of Vibration Isolated Cameras. PhOt.Eng. 30, 1964, S.579-588
- /22/ Cenani, Ö. : Die strenge Verschmelzung photogrammetrischer Einzelstreifen und Einzelblöcke zu übergeordneten Blocksystemen. Diss. , Bonn , 1970
- /23/ Eberhard, S. : Die Genauigkeitsstruktur im photogrammetrischen Einzelmodell. Diss. DGK, Rh. C 1973 , No: 193
- /24/ Finsterwalder, R. : Die Berücksichtigung der Erdkrümmung bei der photogrammetrischen Auswertung. ZfV, 1963 S.190-196
- /25/ Förstner, R. : Über Ausgleichungsprobleme und Fehlertheorien bei Aerotriangulation. DGK, Rh. A 1960 , No: 35
- /26/ Förstner, R. : Die Umformung photogrammetrisch gemessener Koordi. DGK, Ph, B 1966 , NO: 66
- /27/ Gotthardt, E. : Der Einflüsse unregelmässiger Fehler auf Luftbildtriangulationen. ZfV, 1944 , S.73-79
- /28/ Grossmann, W. : Der Grundzüge der Ausgleichungsrechnung, 3. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York; Springer-Verlag, 1969
- /29/ von Gruber, O. : Beitrag zu Theorie und Praxis von Aeropolygonierung und Aeronivellement. Bul, Heft: 3,4, 1935
- /30/ Gürbüz, H. : Hava Triangülasyonunda Sayısal Şerit Dengeleme Çeşitleri ve Bilinmeyen Sayıları, İ.T.Ü. Dergisi 30,4,1972, S.47-57
- /31/ Gürbüz, H. : Hava Triangülasyonunda Sayısal Blok Dengeleme Yöntemleri ve Bilinmeyen Sayıları, İ.T.Ü. Der. 1973 S.31-53
- /32/ Hallert, B. : Über die Fehlertheorie der Aerotriangulation und einzelner Bildpaare. ZfV, 10, 1955, S.325-329, 445-453
- /33/ Hallert, B. : Analytische Luftphotogrammetrie. SZVKuP, 1964, s.51-62
- /34/ Halwax, F. : Eine Methode für die rechnerische Ausgleichung von Aerotriangulation. ÖzfV, 3, 1962, S.81-96
- /35/ Horst, S. : Zur Theorie und Praxis der räumlichen Aerotriangulation. Jena Kompendium III , 1958, S.665-695

- /36/ Jochmann,H. : Eine Möglichkeit zur Genauigkeitssteigerung des Folgebildanschlusses. Verm.Tech. ,1963,S.398-403
- /37/ Jordan,Eggert,Kneissl. : Handbuch der Vermessungskunde,Bilt:III-a/3
Photogrammetrie. Stuttgart , 1973
- /38/ Kasapoğlu,E. : 1/5000 Ölçekli STK Haritalarının Daraj,sulama ve kurutma konularında sağladığı faydalar.HKD,1970,
Sayı: 19, S.12-16
- /39/ Karayalçın,İ.İ. : Harekât Araştırması Dersleri. İşletme Faaliyetle-
rinin Plânlaması için Bazı Yeni İlmi Metodlar,
İ.T.Ü. Yayınları 730, 1968
- /40/ Kovarik,J. : In welchem Mass können affine Transformationen
durch die Auswahl der Passpunkte beeinflusst wer-
den? ÖzfV ,1969 , S.154-160 , 191-198
- /41/ Krátky,V. : Theoretische Analyse der nötigen Genauigkeit der
Passpunkte bei räumlichen Auswertung der Luftauf-
nahmen. Int. Arch. 17 , 1968
- /42/ Kubik,K.,Kure,J. : ISP Investigation into the Accuracy of Photogrametric
Triangulation , Invited Paper for Commision III,
ISP Congress , Ottawa
- /43/ Kupfer,G. : Zur Geometrie des Luftbildes. Diss.DGK,Rh.C 1970,170
- /44/ Meier,H.K. : Modellvorstellungen zur Luftbild-Aufnahme disposition
und ihr Vergleich mit praktischen Testergebnissen.
Bul,1970, S.50-62
- /45/ Mohl,H. : Vergleichende fehlertheoretische Untersuchungen über
die Genauigkeit verschiedener Verfahren der photo-
grammetrischen Streifenreihen.DGK,Rh.C 1970, No: 149
- /46/ Moritz,H. : An Explanation of the "Systematic" Effect Accidental
Errors in Aerial Triangulation. Phot.1960/1961
- /47/ Nowicki,A.L.,Born,C.J. : Improved Stereotriangulation Adjustment with Elestroni
Computers. Phot.Eng., 1960, S.599-604
- /48/ : 1/5000 Ölçekli Kadastral - Topoğrafik Haritalara ait
Standartlar. 1962

- /49/ ÜRÜKLÜ,E. : Türkiye'de Fotogrametri ile İstatistika Değerlendirmesi. İTÜ, 11, 1968, S.29-31
- /50/ ÜRÜKLÜ,E. : Hava Triyagülasyonunda Hata Kaynakları. İ.T.Ü. Dergisi, 27, 1969, S.21-31
- /51/ Ürüklü,E. : Memleket Gerçekleri Karşısında Analog ve Analitik Şerit Triyagülasyonları Arasında Kıyaslamalı Bir Araştırma, Doktora Tezi, İ.T.Ü., 1973
- /52/ Regensburger,K. : Beitrag zum Problem der Genauigkeitssteigerung grossmasstäbiger Aerotriangulation. Verm. Techn. Heft:6, 1966, S.231-234
- /53/ Regensburger,K. : Zum Problem der Erfassung der Filmdeformationen bei Luftbildern. Verm. Techn. 1970, S.392
- /54/ Reuss,J. : Die Einstellgenauigkeit als Funktion der Helligkeitsunterschiede im Messbild. Darmstadt,1960,4 Sayfa
- /55/ Rinner,K. : Analytische photogrammetrische Triangulation mit formtreuen Bündeln. DGK, Rh. A, 1957, No: 25
- /56/ Roelofs,R. : Fehlertheorie der Aerotriangulation. Phot. Cilt:4, No: 3,4, 1941
- /57/ Roelofs,R. : Systematic or Accidental Errors. Phot. Cilt:1,1949
- /58/ Schenk,T. : Darstellung von Verzeichnungskurven mittels Potenzreihen. Bul,1971, S.127-130
- /59/ Schermerhorn,W. : Systematische Fehler bei der Aerotriangulation. Phot., 1939
- /60/ Schermerhorn,W. : Einleitung zur Fehlertheorie der räumlichen Aerotriangulation. Phot., 1940/3,4 ; 1941/1
- /61/ Schmid,H. : The Potential of Ballistic Photogrammetry. Int. Arch. 1961, S.36-57
- /62/ Schmidt,F.H. : Blockausgleichung mit dem konform Poynoten. Bul, 1961, S. 78-84
- /63/ Schmidt,F.H. : Zur Masshaltigkeit und Kontrast Wiedergabe von Cronar Commercial-S Film und Cronapague Print Film. Frankfurt, Nach,Karten und Verm. Rh. I,1965, NO:31

- /64/ Schut,G.H. : Photogrammetrie Refraction. Int.Arch.1969,S.79-86
- /65/ Schürer,K. : Temperatur - und Aufstellungseinflüsse beim
Präzisions - Stereokomparator PSK von Zeiss.Bul,
32, 1964, S.166-173
- /66/ Schürer,K. : Genauigkeitseigenschaften photogrammetrischer
Modellkoordinaten. Diss.Frankfurt, Nachrichten aus
dem Karten-und Vermessungswesen Rh.I,Heft No:54,1971
- /67/ Soehngen,H. : The Programming and Testing of an Analytical Strip
Adjustment Procedure. ITC Publication A 18 ,1965
- /68/ Stark,E. : Testblock Oberschwaben, Programm I,Results of Strip
Adjustments. OEEPE Symposium Brüksel-1973
- /69/ Schwidefsky,K. : Ein neuer Präzisions - Stereokomparator. Bul, 1960,
S. 124-134
- /70/ Schwidefsky,K. : Zur metrischen Reproduzierbarkeit von Diapositiv-
platten. Bul, 1966,S.99-103
- /71/ Schwidefsky,K., : Darstellung der Verzeichnungsfehler photographischer
Kellner,H. Objektive durch Potenzreihen.Bul,1969, S.39-47
- /72/ Szangolies,K. : Die rechnerische Korrektur systematischer Bildfehler
in der Aerophotogrammetrie.Jenaer Jahrbuch 1963
Teil:I,S.101-163
- /73/ Şerbetçi,M. : Korelasyon ve Dengelemedeki Yeri.İ.T.Ü. Dergisi 1969
S.37-40
- /74/ Tansuğ,B. : Fotogrametrinin Temelleri.İstanbul 1961, İ.D.M.M.A.
Yayınları 80,(K.Schwidefsky'den Çeviri)
- /75/ Tansuğ,B. : Transformasyonlar ve Uygulaması.HKD,Sayı:8,1967.
S.3-14
- /76/ Tansuğ,B. : Fotogrametri Ders Notları.
- /77/ Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünde Analitik
Genel Müdürlüğü : Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünde Analitik
Havai Nirengi Ön Çalışmaları. 1966
- /78/ Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünde Kolon Havai
Genel Müdürlüğü : Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünde Kolon Havai
Nirengi Çalışmaları. 1967



- /79/ Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü : Nirengi İşleri Talimatı. 1973
- /80/ Thompson,E.H. : A test for systematic error in Aerial Triangula. Photogramm. Record, 1(1953), S.18-35
- /81/ Türkiye Ulusal Fotogrametri Birliği : III Nolu Komisyon Raporu. 21/2/1975
- /82/ Ulsoy, E. : Pratik Matris Hesabı ve Dengeleme Hesabına Uygulaması., İ.D.M.M.A. Yayınları 91,1966
- /83/ Ulsoy,E. : Dengeleme Hesabı., İ.D.M.M.A. Yayınları 87, 2.Baskı, 1974
- /84/ Vermeir,P.A. : La Triangulation aérienne. Propagation des erreurs et Compesation. Bull.Soc. Belge de Phot. 1954
- /85/ Waldhäusl,P. : The Report on Polynomial Methods for Strip Adjustment. ISP Commission III, 1972
- /86/ Waldhäusl,P. : Funktionale Modelle der Streifen-und Streifenblockausgleichungen mit einfachen und Spline-Polynomen für beliebige Gelände.Özfv,Sonderh.,1973
- /87/ Wolf,H. : Die Genauigkeit der für eine Helmerttransformation berechneten Konstanten. , Zfv,1966, S.33
- /88/ Wolf,H. : Ausgleichsrechnung nach der Methode der Kleinsten Quadrate. Bonn,1968
- /89/ Yaşayan,A. : Üç Boyutlu Ortogonal Transformasyon ve Fotogrametrideki Uygulaması.İ.T.Ü.Dergisi.28,2,1970,S.9-18
- /90/ Yaşayan,A. : Türkiye'de Hava Triyangülasyonu Analiz ve Teklifler. Doktora Tezi,İ.T.Ü.,1973
- /91/ Yunusoğlu,A. : Uygulamalı Sayısal Çözümleme.(Sayısal Analiz) Türkiye Bilişim Derneği Yayınları,Sayı:1,Ankara,974
- /92/ Zarzycki,J. : Graphische Interpolationausgleichung eines Doppelstreifen. Schweiz.Z.Vermess.u.Kulturt.,47,1949
- /93/ Zarzycki,J. : Beitrag zur Fehlertheorie der räumlichen Aerotriangulation. Diss.,ETH, 1952

BİYOĞRAFI

1941 yılında Zile'de doğdum. İlk ve orta öğrenimlerimi Zile'de yaptım. 1960 yılında Ankara'daki Tapu ve Kadastro Meslek Lisesini bitirdikten sonra 3,5 ay Kayseri Kadastro Müdürlüğünde fen memur yardımcısı olarak çalıştım. Aynı yıl İstanbul Yüksek Teknik Okulu (İ.D.M.M.A.) Harita-Kadastro Mühendisliği Bölümüne girdim. 1964 yılı sonunda Avusturya'da Viyana Kadastro Dairesinde 3 ay çalıştıktan sonra yurda döndüm. Sırasıyla Samsun Karayolları 7. Bölge Müdürlüğünde Arazi Ekip Şefi olarak 4 ay, Samsun D.S.İ. 7. Bölge Müdürlüğünde 8 ay Ekip Şefi olarak çalıştım. 1965 yılında Harita-Kadastro Mühendisi olarak mezun olduktan sonra yine D.S.İ'deki görevime devam ettim. Bir sene aradan sonra Yüksek Teknik Okulu Harita-Kadastro Bölümü ihtisas sınıfına girdim. 1967 yılında mezun oldum. 1968 sonuna kadar Tokat Tapulama Müdürlüğü Kontrol Mühendisi olarak çalıştım. Askerlik görevimi, İstanbul'da Batı Bölgesi İnşaat-Emlak Daire Başkanlığı, Harita Servisinde yaptım. Terhisimden sonra Üsküdar Kadastro Müdürlüğü Fen Amiri olarak Eylül 1971'e kadar bir yıl çalıştım. Bu tarihte, İ.D.M.M.A. Harita-Kadastro Bölümüne asistan olarak girdim. 1974 yaz tatilinde 2 ay Almanya'da Münich, Stuttgart Üniversitelerinde doktora çalışmam ile ilgili olarak incelemeler yaptım. Halen İ.D.M.M.A. Harita-Kadastro Bölümü Fotogrametri Kursüsünde çalışmaktayım.

