

ÖZEL SAYI : 10

GRAVİMETRİK ŞAKUL SAPMASI  
HESABI

HARİTA GENEL MUDURLUĞU YAYINLARI — ANKARA 1973

*Doğan Bayındır*

*DN = 1473  
YN = 7F-118*

## **GRAVİMETRİK ŞAKUL SAPMASI HESABI**

**Hayati BALKAN**

**Yük. Müh. Alb.**

**A N K A R A**

**1973**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
1. Şakul sapması.	
1.1. Genel anlam .....	5
1.2. Şakul sapması hesabı metotları .....	7
1.2.1. Astronomik-geodezik şakul sapması hesabı .....	8
1.2.2. Topografik şakul sapması hesabı .....	8
1.2.3. Topografik-izostatik şakul sapması hesabı .....	9
1.2.4. Gravimetrik şakul sapması hesabı .....	10
2. Gravimetrik şakul sapması hesabına ait bir örnek .....	29
2.1. Arazi çalışmaları .....	30
2.2. Büro çalışmaları .....	31
2.2.1. Gravimetrik ölçülerin reduksiyonu .....	32
2.2.2. Anomali haritalarının hazırlanması .....	34
2.2.3. Şakul sapması hesabı .....	36
2.3. Hata hesabı .....	39
3. Sonuç .....	41
Kaynaklar .....	42
Ekler	

**Zusammenfassung :** Es wird an einem Laplaceschen Punkt mit Hilfe der an Hand befindende gravimetrische Daten, die gravimetrische Lotabweichung berechnet.

Im Text wird zuerst die Lotabweichung und ihre Bedeutung in der Geodäsie erläutert. Verschiedene Arten von Lotabweichungsberechnungen kurz befasst und anschliessend die Bestimmung der gravimetrische Lotabweichung übergegangen.

Ohne die gravimetrischen Daten, die in der Berechnung benutzt werden, zu veröffentlichen sind, werden durch den Freiluftanomalien berechneten Ergebnisse in Tabella VII gegeben. Hier werden die Formeln sowie Zonenteilungen nach Rice/Heiskanen und Lalivé/Niethammer verwendet.

Aus Tabella VII ist es ersichtlich, dass die Anomalien von dem Stationspunkt aus bis 210 (218) km Entfernung in Rechnung einbezogen wurden. Dadurch wurden die Anomalien im Norden und im Süden des Laplaceschen Punktes ADAKASIM, der ungefähr in der Mitte von Anatolien liegt, bis zum Meere in Rücksicht genommen. Außerdem wurde noch bis 1000 km. Entfernung die nicht in Rechnung eingezogene Einflüsse der Anomalien sehr kurz betrachtet.

## 1. ŞAKUL SAPMASI

### 1.1. Genel anlam :

Dünya şeklini matematik bir yüzey olarak temsil eden geoidin ifade edilmesinde, ya geoid ondulasyonlarından veya şakul sapmalarından yararlanmak gerekir. Birinci şekildeki bir ifadede, geoidin herhangi bir elipsoidten olan mesafelerinin yani geoid ondulasyonlarının ( $N$ ) tesbiti, diğer şekilde ise dünya sathındaki noktalarda veya bunların geoid üzerindeki izdüşümelerinde, şakul istikametinin izdüşüm elipsoidi normali ile yaptığı şakul sapması denilen açıların bilinmesi istenir.

Biribirlerine bağlı olan bu iki unsurun tesbiti hangi metodla yapılırsa yapılısin, her iki değer topluluğuda, yerçekimi anomalisinin bir fonksiyonudurlar. Fiziki yer sathi üzerinde yapılan bütün geodezik ölçüler, doğrudan doğruya şakul istikametine bağlıdır. Diğer taraftan, yapılan bu ölçülerin gerekli hesap ve izdüşümleri ise, o bölge veya ülke için kabul edilmiş bir izdüşüm elipsoidi üzerinde yapılmaktadır. Nivo satılılarının birbirlerine paralel olmayışi hakikatinin diğer bir yönü, Şakul istikametlerinin az kavisli birer uzay eğrisi olmaları şeklindedir. Bu ise şakul istikametleri ile izdüşüm elipsoidi normallerinin daima küçükte olsa bir açı teşkil etmelerine sebep olacaktır.

Şakul sapması diye isimlendirdiğimiz bu açıyi Helmert : Yer sathındaki bir noktadan geçen şakul hattının (zenit istikametinin), bu noktanın elipsoid üzerindeki izdüşümünden çıkan elipsoid normali ile yaptığı açı olarak tarif eder. Pizzetti'ye göre ise, yer yüzü noktası önce kavisli şakul eğrisi yardımı ile geoid üzerine indirilir. Bu izdüşüm noktasındaki geoid normali ile bu noktaya ait elipsoid normali arasındaki açı şakul sapması olarak kabul edilir. Gerçekte, aralarındaki farkın çok az oluşu nedeniyle her iki tarifin aynı kabul edilmesi, şakul hattı eğriliğinin tesbiti güçlüğünden ötürü de tercih edilmektedir.

Şakul sapması prensip olarak, astronomik nokta tayininde ve triangülasyon açı ölçmelerinde bozucu etkisini göstermektedir. Astronomik nokta tayininin esas anlamı, şakul istikametinin tesbiti şeklindedir. Zira astronomik yer tayini metodlarında belli olarak (bilinen) kabul edilen unsurlar, fiziki şakul istikametini esas kabul ederler. Meselâ : Klasik semt tayini metodunda, kutup yıldızı ile herhangi bir yer hedefi arasındaki açı ölçülecektir. Hesaplar için ise istasyon noktasının kutup yüksekliğinin bilinmesi gereklidir. Bu yükseklik açısının bir kenarı

ise şakul istikametine teğettir. Diğer taraftan, triangulasyon açı ölçmelerinde şakul sapması, açıları âlet tesviye hatası şeklinde bozacaktır. Triangulasyon hesapları izdüşüm elipsoidi üzerinde yaptığı halde hesaplarda kullanılan açılar, âletlerin şakul istikametinde tesviyelerinden sonra, yani fiziki dünya sathında ölçülmektedir. Bu sebeple ölçülen açılar önce astronomik zenitten elipsoid zenitine dönüştürülmelidirler. Açılara getirilmesi gereken bu ilk tashihlerin ihmali edilmeleri, şakul sapmalarının bilinmemesindendir.

Astronomik olarak tesbit edilmiş bir noktayı geodezik şebekeye doğrudan doğruya dahil edemeyişimizin sebebi, şayet astronomik tayindeki hassasiyet sınırı dikkate alınmassa, sadece şakul sapmasından ötürüdür. Şakul sapmaları 20–30 saniyeye bulan miktarları ile göz önüne alınırsa, astronomik nokta tayininde yüzlerce metreye varan etkileri ile önemlerini ortaya koyabilirler.

Dünyanın kütle çekimi ile merkezkaç kuvvetinin birleşimi olan yerçekiminin (yerçekimi ivmesi) muntazam olmayan dağılımı, nivo satılılarının birer analitik yüzey olma özelliğini yok etmiştir. O halde nivo satılıları nokta nokta tesbit edilebilirler. Bu suretteki bir tesbit için ise, matematik özelliği olan mukayese değerlerine ihtiyaç vardır. Şüphesiz bu değerlere sadece, şakul istikametinin tesbitinde değil, aynı zamanda yerçekimi intensitesinin ve geoid ondulasyonlarının tesbiti içinde ihtiyaç vardır.

Mukayese değerlerinin seçiminde, muayyen bir nisbet içinde dahi olsa, keyfi hareket etme imkânı mevcut ise, bu takdirde sözü edilen şakul sapması, intensite ve ondulasyonlar relativ olarak tesbit edilebileceklerdir.

Absolut değerler için mukayese değerlerinin kesin tarifi ve dolayısı ile tercihe yer bırakmayacağı nitelikleri ile belirtilmesi gerekir.

Izdüşüm elipsoidinin (referenz sathı) keyfi olarak veya bölgesel ihtiyaçlara uygundur gerekçesiyle şu veya bu elipsoid olarak seçilmesi, şakul sapmasını relativ yapan ilk unsurdur. Keza memleket nirengi şebekeyi başlangıç noktasının seçimindeki serbestiyet de relativ olusun ikinci sebebidir. Zira şakul sapmasını ifade eden açının bir kenarını teşkil eden elipsoid normali ile bu normallerden birinin hakiki (fiziki) şakul istikameti ile çakıştığı nokta (memleket nirengi şebekesi mebdei) keyfi olarak seçilmektedir. Absolut şakul sapması, geoide en iyi uyabilen ortalama yer elipsoidine göre hesaplanacağından, sadece o bölge veya ülke için değil, bütün dünya geodezi şebekesinde kullanılabilecek özellikte olacaktır. Ortalama yer elipsoidine ait elemanların tesbiti ise, fiziki geodezinin önem-

li bir görevidir. Ortalama yer elipsoidinin geodezide kullanılagelinen elipsoidlerden olan farkı, merkezinin dünya yerçekimi merkezi ile çakışması ve şekil ekseninin dünya yerçekimi merkezinden geçen en büyük atalet momenti ekseni ile çakışmasındandır. Böylece geoid ve ortalama yer elipsoidi karşılıklı olarak tesbit edilmiş ve biribirlerine karşı ancak bu sayede kesinlikle belirtilemişlerdir. Kit'alararası triangulasyon ile geoid noktaları bu elipsoid üzerine izdüşümlenecek ve matematik yer sathını ifade eden geoid, absolut anlamda her noktasındaki ondulasyonları ile tesbit edilecektir. Diğer taraftan bu suretle yapılacak bir projeksiyon, nirengi şebekelerinin de kesin bir oriantasyonunu temin edecek, diğer bir deyimle, çeşitli nirengi mebdelerinden bizi kurtaracaktır.

Tarifini yaptığımız şakul sapmasının meydana gelişinde rol oynayan tek unsur, dünya kütle dağılımındaki muntazam olmayıstır.

Bilindiği üzere kütle yoğunlukları dünya merkezine doğru artmaktadır. 70–100 km. kalınlığındaki kabuk kism, sert ve kristalleşmiş fakat yoğunlukları yer yer biribirinden farklı olan taş yapıdan teşekkül eder.

Kabuk altında kalan kısında ise kütleler yine farklı yoğunlukları olan tabakalardan teşekkül eder. Bu eşit yoğunluktaki tabakaların alt ve üst satıhları birer nivo sathi olarak kabul edilebilirler. Yapılan hesaplara göre yer kabuğu, dünya hacminin  $1/30$ unu isgal ettiği halde dünya kütesinin  $1/65$ ini teşkil eder. Buna göre, gayri muntazam kütle dağılımı sahasındaki kütle miktarı, dünya toplam kütlesi yanında önemsiz derecede azdır. Bu sebepledirki şakul sapmaları küçük miktarlarda kalmak zorundadır. ancak dikkate alınmalarında gerekmektedir.

Meydana geliş ve tariflerine göre, absolut şakul sapması tamamen kütle yoğunluğu ve bunun dağılımına bağlı olup, relatif şakul sapması ise ayrıca kabul edilen elipsoid dimensiyonları ile bu elipsoidin oriantasyonuna da bağlı olarak elde edilir.

Bu bağlı oluşlardan ötürü, absolut şakul sapması dünya yapısının etüdünde relatif'e nisbetle daha fazla yardımcı olmaktadır.

## 1. 2. ŞAKUL SAPMASI HESABI METODLARI :

Şakul sapması genel olarak :

Astronomik—geodezik,

Topografik,

Topografik—izostatik,

Gravimetrik,

metodlardan bir veya birkaçının yardımı ile hesap edilir.

### 1. 2. 1. ASTRONOMİK – GEODEZİK ŞAKUL SAPMASI HESABI

Seçilen uygun bir izdüşüm elipsoidinin memleket ana nirengi ağı için başlangıç kabul edilen noktadan geçirildiği düşünülürse, bu noktada geoid ile elipsoid biribirlerine çakışacaklardır. Nirengi ağı, bu başlangıç noktasından itibaren tesbit edilen izdüşüm elipsoidi üzerinde geodezik elemanları ile (enlem, boylam, semt) hesaplanırlar. Ancak, başlangıç noktasındaki geodezik değerler ( $B_o$ ,  $L_o$ ,  $A_o$ ), o noktada astronomik olarak tesbit edilen astronomik değerlere ( $\varphi_o$ ,  $\lambda_o$ ,  $\alpha_o$ ) eşit kabul edilirler.

$$B_o = \varphi_o; L_o = \lambda_o; A_o = \alpha_o$$

Bilinen geodezik metodlarla nirengi ağıının astronomik noktalarına ait geodezik değerler, başlangıç noktasından itibaren üretilerek hesaplanlığında, relatif olan astronomik – geodezik şakul sapmasının elde edilmesi için gerekli doneler tamamlanmış olur. Yalnız burada akla gelmesi muhtemel bir soru, fiziki yer sathında yapılan rasatları sanki elipsoid üzerinde yapılmış gibi kabul etmenin mümkün olup olamayacağıdır. Bugün mevcut açı ölçme âletlerindeki hassasiyet dikkate alınırsa, rasatların elipsoid üzerinde yapılmış kabul edilmesinde sakınca olmıyacaktır. ([1], 286).

Herhangi bir ana nirengi ağı noktasındaki astronomik – geodezik şakul sapması, kuzey – güney bileşkesi  $\xi$  ve doğu – batı bileşkesi  $\eta$  ile gösterilerek :

$$\begin{aligned}\xi &= \varphi - B \\ \eta &= (\lambda - L) \cos \varphi\end{aligned}$$

olarak elde edilir.

Bu iki bileşke

$$Q^2 = \xi^2 + \eta^2 \quad \text{formülü ile}$$

şakul sapma miktarının kendisini verecektir.

Türkiye'de 99 adet astro – geodezik noktada hesaplanmış olan astronomik – geodezik şakul sapma bileşkeleri, hem milli mebdeimiz olan Meşedağ'a ve hemde Avrupa mebdeinde hesaplanmış ve "Travaux de L'association Internationale de Géodésie Tome 20, Fascicule 5, 1958" de yayınlanmıştır. Bu değerler Ek I de gösterilmiştir.

### 1. 2. 2. TOPOGRAFİK ŞAKUL SAPMASI HESABI :

Yeryüzünün gözle görülen gayri muntazam kütle dağılımına göre şakul sapmasının hesaplanması metodudur. Deniz seviyesi üzerinde kalan çeşitli yoğunluktaki tabakaların meydana getirdiği yükseltiler ve deniz

derinliklerinin teşkil ettiği kütle eksiklikleride dikkate alınarak herhangi bir noktada, görünen kütle dağılımının toplam çekim etkisinin tesbiti şeklindedir.

Metodta : Bir istasyon noktasına;

$r_1, r_2$  mesafeleri arasında,

$a_1, a_2$  semtleri arasında,

$\delta$  yoğunluğunda ve

$H$  ortalama yüksekliğindeki bir kütle elemanının bu istasyon noktasındaki şakul sapma bileşkelerine katkısını veren formül :

$$\left. \begin{aligned} \Delta \xi_T &= \frac{3 \delta H \rho''}{4 \delta_m R \pi} (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) \ln \frac{r_2 + \sqrt{H^2 + r_2^2}}{r_1 + \sqrt{H^2 + r_1^2}} \\ \Delta \eta_T &= \frac{3 \delta H \rho''}{4 \delta_m R \pi} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \ln \frac{r_2 + \sqrt{H^2 + r_2^2}}{r_1 + \sqrt{H^2 + r_1^2}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

şeklindedir. ( $R$  = ortalama dünya yarıçapı,  $\delta_m$  = ortalama dünya yoğunluğu).

Bütün kütle elemanlarının toplam tesirleri olan

$$\xi_T = \sum \Delta \xi_T; \eta_T = \sum \Delta \eta_T$$

ile, istasyon noktasındaki topografik şakul sapması bileşkeleri elde edilecektir.

Bu hesaplama metodunda, uzak mesafeli kütlelerin tesirleri de hesaba dahil edilmek istendiğinde, kürreviyetin dikkate alınması gereklidir. Ancak, genellikle bu çeşit şakul sapmaları, lokal kütle etkilerinin tesbiti şeklinde hesaplanmaktadır.

Belirtildiği üzere bu hesap metodunda, sadece gözle görülen kütleler, izdüşüm sathı olarak kabul edilen elipsoid yerine, ortalama deniz seviyesinden olan farkları ile işlem görmektedir. Neticeyi etkiliyecek olan unsurlar, bilinmiyen yoğunluk anomalileri ile mevcutiyetine şüphe olmayan izostatik dengenin ihmali edilişidir.

### 1. 2. 3. TOPOGRAFİK-İZOSTATİK ŞAKUL SAPMASI HESABI

Dünya kabuğunda genellikle hakim olduğu kabul edilen izostatik dengenin, yalın topografik şakul sapmasındaki etkisini tahmin etmek mümkün olabileceği gibi, astronomik-geodezik ile topografik şakul sapmaları arasındaki mevcut farkların bu sebebe bağlanması hakkında payı şüphesiz büyük olacaktır.

İzostatik dengeyi sağlayan kütlenin hesaba dahil edilmesinde G. B. Airy veya J. H. Pratt nazariyelerinden biri ile hareket etmek mümkün-

dür. Bu metodla hakikate en yakın şakul sapma değerlerinin elde edilmesi, hesap bölgesindeki yer kabuğu kütle dağılıminin, uygulanan nazarîye ile uyusmasına bağlı olacaktır.

Her iki nazariye arasındaki önemli farklardan biri, izostatik denge sathının birinde sabit diğerinde değişken olan derinliğindedir. Muhakkakki denge sathı derinliğinin sabit kabul edilişi (Pratt) hesap yönünden kolaylık sağlar. Bu konuda etrafı bilgi ile her iki nazriyeye ait çeşitli değişkenler ve bunlarla ilgili formüller Baeschlin tarafından [1] teferruati ile ele alınmıştır.

Formül (1) den,

$T = \text{sabit izostatik denge derinliği kabul edilerek,}$

$$\left. \begin{aligned} \Delta \xi_{Ti} &= \frac{3\delta H \rho''}{4\delta_m R \pi} (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) \left[ \ln \frac{r_2 + \sqrt{H^2 + r_2^2}}{r_1 + \sqrt{H^2 + r_1^2}} - \ln \frac{r_2 + \sqrt{T^2 + r_2^2}}{r_1 + \sqrt{T^2 + r_1^2}} \right] \\ \Delta \eta_{Ti} &= \frac{3\delta H \rho''}{4\delta_m R \pi} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \left[ \ln \frac{r_2 + \sqrt{H^2 + r_2^2}}{r_1 + \sqrt{H^2 + r_1^2}} - \ln \frac{r_2 + \sqrt{T^2 + r_2^2}}{r_1 + \sqrt{T^2 + r_1^2}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

formül ile, topografik-izostatik şakul sapma bileşkelerinde, bir kütle elemanı olarak kabul edilen :

$r_1 — r_2$

$\alpha_1 — \alpha_2$

$H — T$

sınırları arasındaki hacim kütlenin katıları hesap edilir.

Şüphesiz elde edilen netice, doğrudan doğruya uygulanan hipotezin hakikat ile uyusma derecesine bağlı kalacak ve bu bağlılık ve dolayısıyle hesaplanan şakul sapmasının doğruluk derecesi meşhul vekontrol-suz olacaktır.

#### 1. 2. 4. GRAVİMETRİK ŞAKUL SAPMASI HESABI :

Dış tesirler ve bunların hasıl ettiği dünya kütle değişimleri dikkate alınmadığı takdirde, Kütle çekimiyle merkezkaç kuvvetlerinin meydana getirdiği, dünya iç ve dışında hakim olan yerçekimi alanı içinde eşit potansiyele sahip noktalar nivo satıflarını veya diğer bir deyimle, eşpotansiyel satıfları meydana getirirler.

Listing tarafından (1873) geoid olarak isimlendirilen ve okyanus satıflarını da içine alan nivo sathının sabit potansiyel değerinin hesabı, geodezinin en önemli görevlerinden biridir.

Geoidin, merkezi bir sferoide nazaran durumunu incelemek için geoid ondulasyonlarına ihtiyaç duyulduğu halde, geoid şeklini şakul sapmaları daha iyi ifade etmektedirler.

Şakul sapması hesabı ve dolayısı ile geoid kavramının izahında, yukarıda kısaca açıklanan metodlardan herhangi biri yerine gravimetrik şakul sapması hesabı iki önemli özelliği ile değer kazanmaktadır. Birincisi, hesaplanan değerlerin absolut oluşu, ikincisi yer yüzüğün her noktasında bu hesabın yapılabilmesidir. Absolut olarak hesaplanan şakul sapmaları müsterek bir sisteme ait olduklarından, dünya geodezik sisteminin teşkilinde en önemli unsur olarak gereklidirler. İstenen her noktada tesbiti mümkün olan gravimetrik şakul sapmaları, lokal geoid etüdlerini mümkün kılarlar.

Burada, gravimetrik şakul sapmasının çeşitli geodezik problemler deki kullanılmalarını kısaca özetlemek faydalı olur.

Bir ülkede triangülasyon çalışmalarından önce, elde mevcut araç ve metodlardan istifade ile gravimetrik çalışmaların yapılması, arzu edilen bir husustur. Triangülasyon başlangıç noktaları ile astronomik-geodezik noktaların seçimi, ancak elde mevcut ise anomali (gravimetri haritaları) haritalardan faydalananmakla isabetli yapılmış olurlar. Bu takdirde, yerçekimi dağılımı bakımından sakin olan bölgeler, yüksek dereceli nirengi noktalarının ideal yerleri olacaktır. Şüphesiz bu şekilde bir iş sırası hiç bir ülkede takip edilememiştir. Bu, özellikle gravimetri çalışmalarının pek yeni bir tarihçeye sahip olmasından ileri gelmekte ve zaten bugün dahi zaman alıcı gravimetri çalışmaları, klasik geodezik çalışmaları sırası içinde öncelik alamamaktadır.

Mevcut astronomik-geodezik şebeke ve buradan elde edilen astronomik-geodezik şakul sapmaları ile gravimetrik şakul sapmalarının yeteri noktalardaki mukayeseleri, o ülkede kullanılmış olan izdüşüm elipsoidinin uygunluğu hakkında bize kesin bilgi verecektir. Her iki yoldan elde edilen şakul sapmaları farklarının ufak ve aynı miktarlarda oluşu, kullanılan izdüşüm elipsoidinin uygunluğunu, aksi halde elipsoid dimensyonlarının bu farkları küçültecek surette değiştirilmesi gerekeğini gösterecektir.

Uygun elipsoid seçiminde önemi olan diğer bir hususta, astronomik nivelman noktalarında hesaplanan gravimetrik şakul sapmalarının, bu noktalardaki astronomik-geodezik şakul sapmalarının interpolasyonunu mümkün kılmasıdır.

Özellikle çağımızın pratik geodezi faaliyetlerinde değer taşıyan bir hususta, kıtalararası triangülasyon için, çeşitli mebdeleri olan triangülasyon şebekelerini biribirleri ile bağlama zorluguğur. Absolut sistem içinde bilinen şakul sapmaları ile dünya triangülasyon şebekesini kurmak veya buna katılmak, kaçınılmaz bir zarurettir.

Yine pratik alanda kullanılagelinen bir metod olan "astronomik–gravimetrik nokta tesbiti" de topoğrafya ve kartoğrafya çalışmalarında hatırlı sayılır kolaylıklar sağlamaktadır. Triangülasyon veya benzeri bir şebekenin tesis edilmediği bir alanda ilk ihtiyaca cevap verecek harita noktalarını sadece astronomik olarak tesbit etmek, muhakkakki bilinmiyen şakul sapmalarından ötürü büyük hatalarla mümkün olacaktır. Bu takdirde, astronomik noktalardaki şakul sapmalarının 2–3 saniye hasasiyetle dahi bilinmeleri ile, yapılacak tashihlerden sonra astronomik–gravimetrik noktaları kullanmak, topoğrafik harita sıhhatini artıracak ve harita alanının geniş tutulabilmesini temin edecektir.

Bütün bu faydalara rağmen, gravimetrik şakul sapmasının hesabında karşılaşılan ilk zorluk, henüz dünya üzerinde yeteri sıklık ve hasasiyette yerçekimi ölçülerinin mevcut olmayışıdır. Hesap şeklinin ızahında görüleceği gibi, bilhassa şakul sapması hesaplanacak nokta (istasyon noktası) civarında yoğun bir gravimetri ağıının bulunması lüzumluğur.

Geoid ondulasyonlarının hesabında bütün yeryüzüne ait yerçekimi değerlerine ihtiyaç olduğu halde, şakul sapmasında istasyon noktasından uzaklaşılıkça yerçekimi anomalilerinin etkisi azalmaktadır. Yani şakul sapması hesabında, mecbur olunursa muayyen bir uzaklığa kadarki bölgeyi ele almak yetebilecektir. Ancak bu, uzak bölge tesirlerinin ihmali edilebileceği manâsında değildir. Bu maksat için uzak bölgelerin etkileri, her istasyon noktası yerine bölgeler için hesaplanabilirler.

Yerçekimi anomalilerinin istasyon noktasındaki geoid ondulasyonuna tesirleri mesafeleri ile, şakul sapmasına ise mesafelerinin kareleri ile orantılı olarak azalmaktadır. (Heiskanen [7]). Ayrıca gravimetrik şakul sapma değerleri, sadece hesaplandıkları istasyon noktalarına aittirler, yani ondulasyonlar gibi bir alan değeri değil, bir nokta değeri olup enterpole de edilemezler.

İlk defa olarak geoid şecline ait matematik bir ifadenin yerçekime bağlı olarak ortaya konulması, 1849 da STOKES tarafından yapılmıştır.

$$N = \frac{R}{4\pi \gamma} \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^{\pi} \Delta g \cdot S\psi \cdot \sin \psi \cdot d\psi \quad (3)$$

Formül, istasyon noktasındaki geoid-elipsoid mesafesini, elipsoid normal boyunca, geoid ondulasyonu ( $N$ ) olarak ifade etmektedir. Formülde :

$R$  = ortalama dünya yarıçapı,

$\gamma$  = istasyon noktasında ( $P_0$ ) normal (teorik) yerçekimi,

$\psi$  = istasyon noktasındaki ondulasyona tesiri aranan  $P$  noktasının  $P_0$  dan olan küresel mesafesi (açı cinsinden).

$\alpha$  =  $P_0 P$  istikametinin semti,

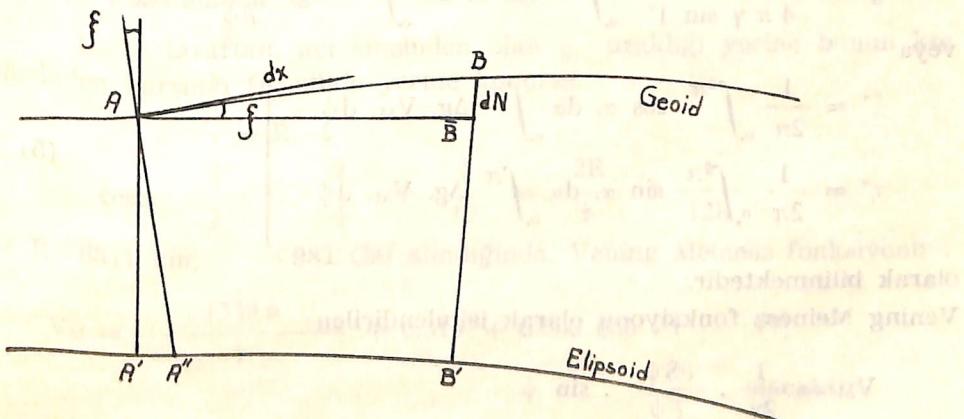
$\Delta g$  =  $P$  noktasındaki yerçekimi anomalisi,

$S\psi$  = STOKES fonksiyonu,

$$S\psi = \operatorname{cosec} \frac{\psi}{2} + 1 - 6 \sin \frac{\psi}{2} - 5 \cos \psi \\ - 3 \cos \psi \cdot \ln \left[ \sin \frac{\psi}{2} \left( 1 + \sin \frac{\psi}{2} \right) \right] \quad (4)$$

STOKES formülündeki entegral sınırlarından da anlaşılacağı üzere,  $P_0$  noktasındaki  $N$  değeri için bütün yeryüzü noktalarının ( $P$ ) yerçekimi anomalilerinin bilinmesi şart koşulmuştur. Zira  $P$  noktasının semti 0 dan  $2\pi$  ye ve  $P_0$  dan olan mesafesi ise 0 dan  $\pi$  ye kadar (karşı pol) değişmektedir.

Geoid üzerindeki herhangi bir  $A$  noktasının elipsoid üzerindeki izdüşümü  $A'$  olsun (Şekil - 1).



(Şekil - 1)

Formül (3) yardımı ile  $AA' = N$  mesafesi tesbit edilecektir. A noktasından geçen meridyen üzerinde ve A ya sonsuz yakın bulunan bir B noktasının A dan uzaklığı  $dx$ , yani A noktası koordinat başlangıcı ve X-ekseni güney istikametinde kabul edilsin.

$$AB = dx$$

Elipsoid normali AA' ile geoid normali AA'' (şakul istikameti) arasındaki açıyı, şakul sapmasının meridyen istikametindeki bileşkesi ( $\xi$ ) olarak ifade etmişlik.  $B\bar{B}$  uzunluğu ise, A dan B noktasına gidildiğinde, geoid ondulasyonunda hasil olacak değişimyi ( $dN$ ) gösterecektir. Çok küçük bir açı olan  $\xi$ ,

$$\xi = \frac{\partial N}{\partial X}$$

ve buna dik olan bileskeyide aynı şekilde hareketle (Y-ekseni batı istikametinde),

$$\eta = \frac{\partial N}{\partial Y}$$

olarak göstermek mümkündür.

1928 de Vening Meinesz tarafından ortaya konulan ve geoid üzerindeki şakul sapmalarını yerçekimi anomalileri ile hesabında kullanılması mümkün olan formül, Stokes formülünün (3) diferansiyeli ve kısaltılmış şekli ile,

$$\xi'' = \frac{1}{4\pi\gamma \sin 1''} \int_0^{2\pi} \cos \alpha \cdot d\alpha \int_0^{\pi} \Delta g \cdot \frac{\partial S\psi}{\partial \psi} \cdot \sin \psi \cdot d\psi$$

veya

$$\left. \begin{aligned} \xi'' &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos \alpha \cdot d\alpha \int_0^{\pi} \Delta g \cdot V_M \cdot d\psi \\ \eta'' &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin \alpha \cdot d\alpha \int_0^{\pi} \Delta g \cdot V_M \cdot d\psi \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

olarak bilinmektedir.

Vening Meinesz fonksiyonu olarak isimlendirilen

$$V_M = \frac{1}{2\gamma} \cdot \frac{\partial S\psi}{\partial \psi} \cdot \sin \psi$$

veya açılmış şekli ile

$$V_M = \frac{1}{2\gamma \sin 1''} \cos^2 \frac{\psi}{2} \left[ \operatorname{cosec} \frac{\psi}{2} + 12 \sin \frac{\psi}{2} - \right.$$

$$- 32 \sin^2 \frac{\psi}{2} + \frac{3}{1 + \sin \frac{\psi}{2}} - 12 \sin^2 \frac{\psi}{2}$$

$$\left. \ln \left( \sin \frac{\psi}{2} + \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) \right] \quad (6)$$

dir.

Bu fonksiyonun değeri, artan  $\psi$  ile azaldığından, istasyon noktasından uzaklaşılıkça yerçekimi anomalileri hassasiyetinin düşmesinde sakınca olmuyacaktır. Bu sebeple yukarıda, uzak bölgelerin şakul sapmasına olan etkilerini, bölgelerin birer noktasında tesbit edip sabit kabul edilebileceğinden bahsedilmiştir. Hatta, uzak bölge tesirleri bilinen noktalar arasında, bu tesirlerin enterpolasyonu da düşünülmelidir. Uzak bölge olarak kabul edilecek yer yüzeyi alanı, istasyon noktasından itibaren takriben 1000 km lik saha dışında kalan kısımlardır.

Vening Meinesz fonksiyonu, yakın bölge tesirleri için

$$\sin \frac{\psi}{2} = 0; \cos \frac{\psi}{2} = 1 \quad \text{kabul edilerek, yaklaşık ifadesi :}$$

$$V_M = \frac{1}{2\gamma \sin 1''} (\operatorname{cosec} \frac{\psi}{2} + 3)$$

şeklinde kullanılabilir.

Diğer taraftan, açı cinsinden olan  $\psi$  uzaklıği yerine bunun km cinsinden karşılığı formülde yerine konursa :

$$r = R \cdot \psi$$

$$\operatorname{cosec} \frac{\psi}{2} = \frac{2}{\psi} + \frac{\psi}{12} = \frac{2R}{r} + \frac{r}{12R}$$

ve  $R = 6371$  km,  $\gamma = 981$  Gal alındığında, Vening Meinesz fonksiyonu :

$$V_M = \frac{1339.6}{r} + 0.315 + 0.000\ 066 \cdot r \quad (7)$$

olacaktır.

Bu yaklaşık formül (7) bize, 1000 km. ye kadar kullanıldığından kesin formül (6) nın vereceği değere eşit netice verecektir.

$r = R \cdot \psi$  ve  $d\psi = \frac{dr}{R}$  olduğundan, formül (5) de  $d\psi$

yerine yeni değeri konursa :

$$\begin{aligned}\xi'' &= -\frac{1}{2\pi R} \int_0^{2\pi} \cos \alpha \cdot d\alpha \int_0^r \Delta g \cdot V_M dr \\ \eta'' &= -\frac{1}{2\pi R} \int_0^{2\pi} \sin \alpha \cdot d\alpha \int_0^r \Delta g \cdot V_M dr\end{aligned}\quad (8)$$

şeklini alacaktır.

Formül (8) deki kapalı entegralin çözümü yapılamayacağından, entegral yerine toplam şeklindeki bir ifadeye dönmemek gereklidir. Bu dönüş için farklı şekiller ortaya konmuştur.

J. de Graff Hunter [5] in teklifi, bütün yeryüzünü istasyon noktası merkez olmak üzere paralel dairelerle bölgelere ayırmak ve bu daireler arasındaki alanları (bölgeler) istasyon noktasından geçirilen merkez ışını şeklindeki büyük daire kavisleriyle eşit bölgelere ayırmak şeklindedir. Diğer bir deyimle, istasyon noktası dünyanın herhangi bir kutbu imiş gibi enlem ve boylamları buradan geçirerek yer yüzünü bölmek. Paralel daireler arasındaki aralıklar  $5$  derece olduğu takdirde, yer yüzü  $180/5 = 36$  bölgeye ayrılmıştır. Merkezden çıkan ışınların (büyük daireler) bölgelerde (daireler arasında kalan alanlarda) eşit alanlı bölgeler (iki paralel daire arasında kalan bölgenin merkez ışınları tarafından ayrılan parçaları) (Şekil – 3) meydana getirmesi için hangi aralıklarla olması gerektiği hesaplanmış ve çizelgeler hazırlanmıştır.

Bunlara göre yer yüzü takriben  $308404 \text{ km}^2$  lik  $1654$  eşit alanlı bölgeme ayrılmıştır. Her bölgeme ait bir anomalî değeri, numerik entegrale esas kabul edilmekte ve formül (8) in kullanılması ve çözümü mümkün kılmaktadır.

Diger bir çözüm yolunda [10], [15] ise, yeryüzü iki kısımda ele alınmaktadır. Birinci bölüm, istasyon noktasından itibaren  $1000 \text{ km}$  lik çevre içinde kalan yakın bölge, bunun dışında kalan ikinci bölüm, uzak bölge. Yakın bölge içindeki yer sathi paralel daire ve merkez ışınları ile o suretle bölgelere ayrılmıştır, anomalileri eşit olan bölgelerin istasyon noktasındaki şakul sapmasına etkileri eşit olsunlar. Buna göre her bölümün etkisi, o bölümdeki ortalama anomalinin belli bir katsayı ile çarpımına eşit olacaktır. Hesap işlerinde sağladığı basitlik nedeni ile aşağıda

detayları ile ele alınacak bu ikinci çözüm, istasyon noktasında içinde bulunduğu çok yakın bölgede (merkez bölgesi) kullanılamamaktadır. Bu sebeple yeryüzünü üç kısma ayırmak gerekmektedir.

- a. Merkez bölgesi (en yakın bölge),
- b. Yakın bölge (1000 km ye kadar),
- c. Uzak bölge (yeryüzünün geri kalan kısmı),

a. Merkez bölgesinde  $V_M$  fonksiyonu sonsuza gittiğinden entegral belirsiz olmakta ve bu halde normal bir entegral çözümü veya toplama şekline dönüş mümkün olmamaktadır. Formül (8) deki  $V_M$  fonksiyonunun bu çok yakın bölgede  $\psi$  nin küçük oluşundan, sadece birinci terimi ile alınmasında sakınca olmuyacaktır. Buna göre :

$$\operatorname{cosec} \frac{\psi}{2} = \frac{2R}{r}$$

ile

$$\xi'' = \frac{1}{2\pi\gamma \sin 1''} \int_0^{2\pi} \cos \alpha \, d\alpha \int_0^r \frac{\Delta g}{r} \, dr \quad (9)$$

olacaktır. Bu eşitlik,  $\Delta g$  sabit olduğu müddetçe sıfıra eşit olacağından,  $\Delta g$  yerine yine sabit bir değer olan ( $\Delta g - \Delta g_0$ ) ifadesi konulduğunda formül bozulmayacağındır.  $\Delta g$  sabit olduğu sürece ( $\Delta g - \Delta g_0$ ) ifadeside sabit kalacağından, kolaylık olmak üzere  $\Delta g_0$  in bilinen sabit değerini, istasyon noktası anomalisi olarak kabul edilmesi mümkündür.

Bu halde formül (9) :

$$\xi'' = \frac{1}{2\pi\gamma \sin 1''} \int_0^{2\pi} \cos \alpha \, d\alpha \int_0^r \frac{\Delta g - \Delta g^\circ}{r} \, dr \quad (10)$$

Son formülde

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta g - \Delta g^\circ}{r} \right) = \frac{\partial \Delta g}{\partial r} \quad (11)$$

şeklindedir.

Bu eşitliğin sağ tarafı X ve Y eksenleri boyuncaki bileşkeler cinsinden yazılırsa :

$$\frac{\partial \Delta g}{\partial r} = \frac{\partial \Delta g}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial \Delta g}{\partial y} \sin \alpha \quad (12)$$

$\frac{\partial \Delta g}{\partial x}$  ve  $\frac{\partial \Delta g}{\partial y}$  ifadeleri, yerçekimi anomalilerinin eksenler

boyuncaki gradiyentleri olup formül (10) da yerine konur ve formül sıfırdan  $r_0$  ve sıfırdan  $2\pi$ ye kadar entegre edilirse : merkez bölgesi ( $0-r_0$ ) için :

$$\xi'' = \frac{r_0}{2 \gamma \sin 1''} \cdot \frac{\partial \Delta g}{\partial x} \quad (13)$$

elde edilir.

Burada

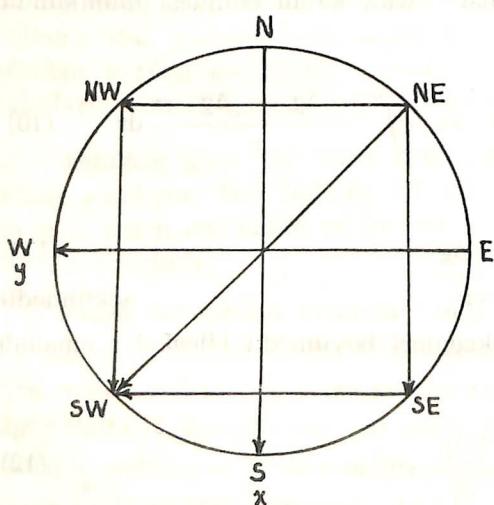
$$\frac{1}{2 \gamma \sin 1''} = 0.^{\circ}1053$$

olarak yerine konursa

$$\left. \begin{array}{l} \xi'' = 0.^{\circ}1053 r^\circ \frac{\partial \Delta g}{\partial x} \\ \eta'' = 0.^{\circ}1053 r^\circ \frac{\partial \Delta g}{\partial y} \end{array} \right\} \quad (14)$$

şeklinde pratikteki kullanma formülü bulunmuş olur.

Rice, formül (14) ü “bir gradiyent” ve “üç gradiyent” metodları adı altında iki şekilde uygulamaya sokmuştur.



(Şekil - 2) de görüldüğü gibi :

$$x, y, r_0 = \frac{\Delta x}{2} = \frac{\Delta y}{2}$$

km cinsinden,

$$\frac{\partial \Delta g}{\partial x}, \frac{\partial \Delta g}{\partial y} = \text{merkez}$$

bölgesi içindeki ortalama anomali gradiyenti (mgal/km),

$\Delta g$ =serbest hava anomalisi olarak (mgal) :

(Şekil - 2)

"Bir gradiyent metodu" ile :

$$\left. \begin{aligned} \Delta\xi_o &= 0.^{\circ}1053 r_o \cdot \frac{\Delta g_s - \Delta g_N}{2r_o} = 0.^{\circ}0526 (\Delta g_s - \Delta g_N) \\ \Delta\eta_o &= 0.^{\circ}1053 r_o \cdot \frac{\Delta g_w - \Delta g_E}{2r_o} = 0.^{\circ}0526 (\Delta g_w - \Delta g_E) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

"Üç gradiyent metodu" ile :

$$\left. \begin{aligned} \Delta\xi_o &= 0.^{\circ}02625 (\Delta g_s - \Delta g_N) + 0.^{\circ}01856 [(\Delta g_{sw} - \Delta g_{NE}) - \\ &\quad (\Delta g_{NW} - \Delta g_{SE})] \\ \Delta\eta_o &= 0.^{\circ}02625 (\Delta g_w - \Delta g_E) + 0.^{\circ}01856 [(\Delta g_{sw} - \Delta g_{NE}) + \\ &\quad (\Delta g_{NW} - \Delta g_{SE})] \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Metodlardan herhangi birinin uygulanması için, (Şekil-2) de harflendirilmiş olan merkez bölgesi sınır noktalarındaki anomali değerlerinin tesbiti ve formülde yerine konulması yeterlidir.

Diger taraftan, merkez bölgesinde yerçekimi gradiyentlerinin en fazla olduğu istikameti (isoanomali eğrilerine dik olan istikamet) tesbit ederek bunun koordine eksenlerine izdüşümelerini hesaplamakla da neticeye gidilebilir.

Elde edilecek şakul sapmasından istenecek hassasiyet nedeni ile, merkez bölgesinin yarıçapını ( $r_o$ ) ufak tutmak ve burada yeteri sıklıkta yerçekimi ölçüsü yapmak gereklidir.

b. Yakın bölge içindeki eşit tesirli bölgelere ait sınırların hesaplanması gelince;

Vening Meinesz formülünde (5)  $V_M$  fonksiyonunun, yakın bölge hesapları için basitleştirilmiş şekli ile kullanılabileceği yukarıda belirtildi. Buna göre formül (8) deki  $(\Delta g \cos \alpha)$  ve  $(\Delta g \sin \alpha)$  ifadeleri sabit ve  $(V_M dr)$  ifadesi değişken kabul edilirse,

$$f(r) = \int_{r_o}^r V_M dr \quad (17)$$

integralinde  $V_M$ , formül (7) deki hali ile yerine koyarak integral çözüldüğünde, (17) yeni şekli ile,

$$f(r) = \int_{r_o}^r V_M dr = 1339.6 \cdot \ln r + 0.315 r + \frac{1}{2} 0.000 066 r^2 \quad (18)$$

haline gelecektir.

Paralel daireler arasında kalan bölgelerin şakul sapmasına katkılarının eşit olabilmesi için, formül (17) nin biribirini takip eden bölgelerde eşit kalması gereklidir. Yani :

$$f(r_k) - f(r_{k-1}) = \int_{r_{k-1}}^{r_k} V_M dr = \text{sabit} = P \quad (19)$$

Bu son formül

$$\begin{aligned} f(r_1) &= f(r_o) + P \\ f(r_2) &= f(r_o) + 2P = f(r_1) + P \\ f(r_3) &= f(r_o) + 3P = f(r_2) + P \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ f(r_k) &= f(r_o) + kP = f(r_{k-1}) + P \end{aligned} \quad (20)$$

şeklinde açılabılır.

Genel olarak ise : ( $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ) iken

$$f(r_o) + kP = 1339.6 \cdot \ln r_k + 0.315 r_k + \frac{1}{2} 0.000 066 r_k^2 \quad (21)$$

Son eşitlikte,  $r$  km cinsinden olmak üzere :

$$\lg r_k = \lg r_o + 0.001 r_o + \frac{P}{3084.5} - 0.000 102 r_k - 0.000 000 011 r_k^2 \quad (22)$$

yazıldığında,  $r_k$  li terimler katsayılarının çok küçük olduğundan ihmal edilirse, eşit tesirli bölgelerin yarıçapları ( $r_k$ ) hesaplanabilir. Bu maksat için önce  $P$  değerinin bilinmesi gereklidir.

$\frac{P}{2\pi R}$  = paralel daireler arasında kalan bir bölgenin sabit tesiri iken,

bu bölge merkez ışınları ile her  $1/4$  daire içinden sektöre ayrıldığında,

$\frac{P}{2\pi R_n}$  = bir bölümün tesirini verecektir. Şayet bir bölümün şakul sapmasındaki katkısı  $0,001$  saniye olsun denirse,

$$\frac{P}{2\pi R_n} = 0.^{\circ}001 \quad \text{ve}$$

$$0.000\ 02498 \cdot \frac{P}{n} = 0.^{\circ}001 \cdot P \text{ olacaktır.}$$

$$n = 8 \text{ için } P = 320.2 \text{ dir.}$$

P nin bu değeri formül (22) de yerine konursa :

$$\lg r_k = \lg r_o + \frac{P}{3084.5} k = \lg r_o + k \cdot \lg a$$

$$\lg r_k = \lg (r_o \cdot a^k)$$

$$\lg a = \frac{P}{3084.5} \text{ olduğuna göre}$$

$$r_k = r_o \left( \frac{P}{(10^{3084.5})} \right)^k \text{ olacaktır.}$$

$$P = 320.2 \text{ ile } r_k = r_o \cdot 1.270^k \quad (23)$$

$r_o = 10$  m alınarak 1000 km lik yakın bölge içindeki eşit tesirli bölgeleri sınırlıyan paralel daire yarıçapları çizelge I de gösterilmiştir. Çizelgede bölge numaralaması Kasansky'e göredir.

Paralel daire yarıçapları ( $r_k = r_o \cdot 1.270^k$ )

ÇİZELGE I

No : $r$ m	No : $r$ m	No : $r$ km	No : $r$ km	No : $r$ km
(1) <u>10.0</u>	a <u>109</u>	1 <u>1.19</u>	4 <u>10.2</u>	14 <u>109</u>
12.7	b <u>119</u>	1.51	13.0	138
(2) <u>16.1</u>	c <u>176</u>	m <u>1.92</u>	16.5	173
20.5	d <u>224</u>	n <u>2.44</u>	20.9	218
(4) <u>26.0</u>	e <u>284</u>	o <u>3.10</u>	26.5	273
33.0	f <u>361</u>	p <u>3.94</u>	33.6	341
(6) <u>42.0</u>	g <u>458</u>	q <u>5.00</u>	42.6	424
53.3	h <u>582</u>	5.00	54.0	524
(8) <u>67.7</u>	i <u>739</u>	1 <u>6.35</u>	68.3	645
86.0	k <u>938</u>	2 <u>8.06</u>	86.4	788
(10) <u>109.0</u>	<u>1192</u>	3 <u>10.24</u>	109.1	955

Her  $1/4$  bölgenin merkez işinları ile  $n = 8$  sektöre ayrılmışında ortaya çıkan bölümülerin sinüs farklarının sabit olması halinde,

$$\sin \alpha_n - \sin \alpha_{n-1} = \text{sabit}$$

şakul sapmasının meridyen ve buna dik istikametteki bileşkelerinin hesabı için, bölüm ortalaması anomalilerinin ikişer defa tesbit edilmesi gerekektir. Zira sabit sinüs (cosinus) farkları, sektör aralıklarının farklı açılarda olmasını zorunlu kılar. Bu fazla tahmin ve tesbit işinden kurtulmak için her iki yöndende 8 nci sektör kendi içinde 4 kısma ayrılır. Böylece meydana çıkan 11 sektörden ortadaki 3 sektörün sağında (solunda) kalan 4 sektörün toplam etkisi, solunda (sağında) kalan sektörlerden birinin etkisine eşit olacaktır.

Lalive—Niethammer'e göre yapılan böyle bir sektör dağılımı çizelge II de gösterilmiştir.

**ÇİZELGE II**

Sektor		$\alpha$
I	1	0° 00'
	2	7 11
	3	14 29
	4	22 01
II	5	29 28
	6	40 02
	15	49 58
III	14	60 32
	13	67 59
	12	75 31
	11	82 49
		90 00

İstasyon noktası yakınılarında ve anomalilerin düşük hassasiyette bilindiği yerlerde sektör sayısı 11 den 3 e indirilmiştir.

Bu takdirde,

$$I = 1 + 2 + 3 + 4$$

$$II = 5 + 6 + 15$$

$$III = 14 + 13 + 12 + 11$$

şeklinde birleştirilen sektörlerle birlikte, bölgelerde ikişer ikişer birleştirilmelidir.

Üç sektörle çalışma halinde bölge sınırlarına ait yarıçaplar, çizelge 1 de altı çizili olarak belirtilmiştir.

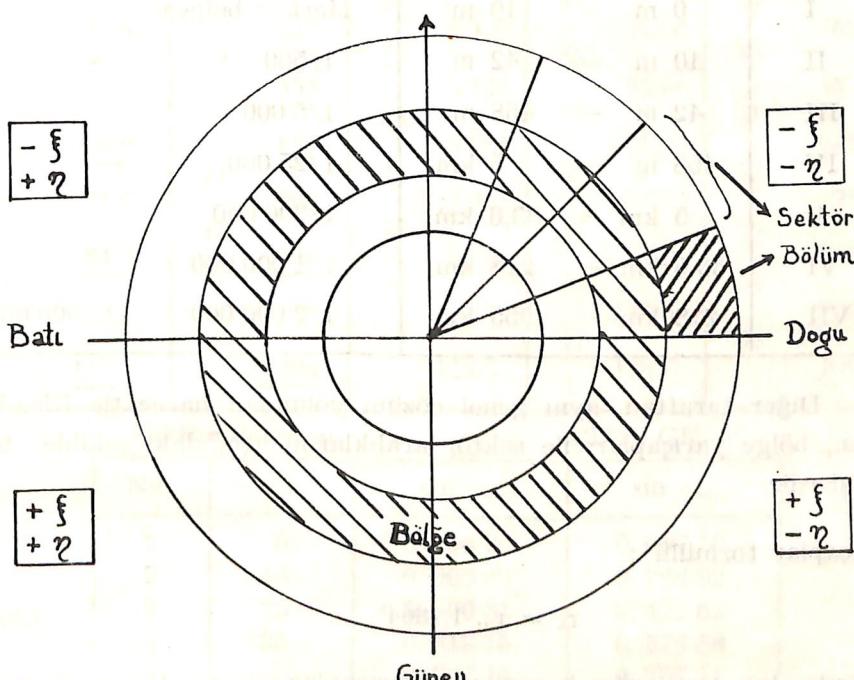
Kazansky'nin bölge ve Lalive—Niethammer'in sektör dağılımına göre yakın bölge içindeki şakul sapması hesabına ait pratik formül, (her  $1/4$  daire kesimi için).

$$\left. \begin{aligned} \Delta\xi_y'' &= 0.''001 [\sum \Delta g (1+2+3+4) + \sum \Delta g (5+6+15) \\ &\quad + 1/4 \sum \Delta g (14+13+12+11)] \\ \Delta\eta_y'' &= 0.''001 [1/4 \sum \Delta g (1+2+3+4) + \sum \Delta g (5+6+15) \\ &\quad + \sum \Delta g (14+13+12+11)] \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

11 yerine 3 sektör ve birleştirilmiş 2 bölge kullanıldığı takdirde, (her 1/4 daire kesimi için).

$$\left. \begin{aligned} \Delta\xi_y'' &= 0.''001 [8 \sum \Delta g (I) + 6 \sum \Delta g (II) + 2 \sum \Delta g (III)] \\ \Delta\eta_y'' &= 0.''001 [2 \sum \Delta g (I) + 6 \sum \Delta g (II) + 8 \sum \Delta g (III)] \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Daireyi kuzey-güney ve doğu-batı istikâmetlerinde dört kesime ayırarak, her bir 1/4 daire kesimi için hesaplanacak  $\Delta\xi$  ve  $\Delta\eta$  miktarları, (Şekil-3) de gösterildiği şekilde ön işaret alarak toplanırlar. Toplam, hesaba giren bölgelerin şakul sapmasına katkısıdır.



(Şekil-33)

Bölgelere ait yarıçaplar ve sektör aralıkları böylece tesbit edildikten sonra, hazırlanacak anomali haritaları ve bu haritalar üzerine konulup bölümlerin ortalama anomalilerini tesbite yarıyacak şablonların yapımı işi gelir. Çalışma kolaylığı bakımından, merkezden dışa doğru bölgeleri değişik ölçeklerdeki çalışma allığı içine sığacak surette gruplaştmak icap edeektir. Uygulamada en pratik çalışmayı sağlayan ölçekler ve bu ölçeklerde gruplaşmanın iç ve dış yarıçap uzunlukları, cizelge III de gösterilmiştir.

### ÇİZELGE III

Grup No.	Yarıçap İç      Dış		Kullanılacak Ölçek	
I	0 m	—	10 m	Merkez bölgesi
II	10 m	—	42 m	1/500
III	42 m	—	458 m	1/5 000
IV	458 m	—	5 km.	1/25 000
V	5 km	—	33,6 km	1/200 000
VI	33,6 km	—	218 km	1/1 000 000
VII	218 km	—	955 km	1/2 000 000 — 1/5 000 000

Diğer taraftan, aynı genel çözüm yolundan hareektle Rice-Heiskanen, bölge yarıçapları ile sektör aralıklarını aşağıdaki şekilde tesbit etmişlerdir.

Yarıçaplar formülü :

$$r_k = r_0 \cdot 1.1864^k \quad (26)$$

şeklinde olup, buna göre hesaplanan yarıçaplar için  $r_0 = 10.3$  m alınmıştır. Çizelge IV, V ve VI daki bölge ve sektör numaralaması Rice-Heiskanen'e göredir.

Paralel daire yarıçapları ( $r_k = i_o \cdot 1.1854^k$ )

#### ÇİZELGE IV

No : $r_m$	No : $r_m$	No : $r_m$	No : $r_m$	No : $r_m$
a <u>10.8</u>	1 <u>119</u>	14 1.099	28 12.05	42 128.7
b 12.9	2 141	15 1.304	29 14.29	43 151.9
c <u>15.3</u>	3 <u>167</u>	16 1.547	30 16.94	44 179.1
d 18.1	4 198	17 1.836	31 20.09	45 210.9
e <u>21.5</u>	5 <u>235</u>	18 2.199	32 23.83	46 248.0
f 25.5	6 279	19 2.586	33 28.25	47 291.2
g <u>30.2</u>	7 <u>331</u>	20 3.068	34 33.48	48 341.2
h 35.9	8 393	21 3.641	35 39.67	49 399.0
i <u>42.5</u>	9 <u>467</u>	22 4.320	36 47.00	50 465.5
k 50.5	10 554	23 5.125	37 55.66	51 541.5
l <u>59.9</u>	11 <u>657</u>	24 6.081	38 65.90	52 628.1
m 71.0	12 780	25 7.216	39 77.97	53 725.9
n <u>84.3</u>	13 <u>926</u>	26 8.560	40 92.22	54 835.9
o 100.0	14 1099	27 10.15	41 109.0	55 958.5
<u>119</u>	<u>1304</u>	12.05	128.7	1094.3

Sektör dağılımı

#### ÇİZELGE V

No:	$\alpha_m$	$\cos \alpha_m$	$\sin \alpha_m$
1	5°	0.996 20	0.087 16
2	15	0.965 93	0.258 82
3	25	0.906 31	0.422 62
4	35	0.819 15	0.573 58
5	45	0.707 11	0.707 11
6	55	0.573 58	0.819 15
7	65	0.422 62	0.906 31
8	75	0.258 82	0.965 93
9	85	0.087 16	0.996 20

Not : Tam daire 36 sektör'e ayrılmıştır,

Sektör aralıkları  $\alpha \Delta = 10^\circ$ ,  
 $\alpha_m$  = sektör ortasının X ve Y ekseninden açılığı.

Sektör dağılımı

ÇİZELGE VI

No :	$m\alpha$	$\cos \alpha_m$	$\sin \alpha_m$
12	$10^\circ$	0.984 81	0.173 65
34	30	0.866 02	0.500 00
56	50	0.642 79	0.766 04
78	70	0.342 02	0.939 69
99	90	0.000 00	1.000 00

Not : Tam daire 18 sektöre ayrılmıştır,

Sektör aralıkları  $\Delta \alpha = 20^\circ$ ,

$\alpha_m$  = sektör ortasının X ve Y ekseninden açılığı,

Çizelge IV deki altı çizili bölge sınırları ile kullanılır.

Çizelge IV ve V e göre sınırlandırılan arazi bölümleri için tesbit edilen anomaliler yardım ile şakul sapma bileşkeleri,

$$\left. \begin{aligned} \Delta \xi_y'' &= 0.''001 [ \sum_s (\cos \alpha \cdot \Delta g) - \sum_N (\cos \alpha \cdot \Delta g) ] \\ \Delta \eta_y'' &= 0.''001 [ \sum_W (\sin \alpha \cdot \Delta g) - \sum_E (\sin \alpha \cdot \Delta g) ] \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

formülü ile hesaplanır.

Çizelge IV ve VI ya göre yapılacak bölge sınırlandırmalarında, formül (27) de  $0.''001$  yerine  $0.''004$  kullanılmalıdır.

İzahına çalışılan ve formülleri verilen her iki hesap yolunda, bölgümlerdeki 1 mgal lik bir anomalinin şakul sapma bileşkesine tesiri  $0.''001$  dir. Bu iki hesa p yolu dışında, aynı neticenin alınmasını sağlayan ve prensip olarak biribirinden farkları az olan diğer bazı çözüm yollarında bilinmektedir. Burada daha fazlasının ele alınmasında bir fayda yoktur.

Yakın bölgenin, şakul sapmasındaki etkilerinin hesabını bu suretle özetledikten sonra, şimdide uzak bölgenin etkisine geçilebilir.

c. Uzak bölge olarak isimlendirilen saha, istasyon noktası etrafındaki, takriben 1000 km. yarıçaplı bölgenin dışında kalan yer yüzeyi kısımdır.

Burada tekrar degenilmesi gereken bir husus, yukarda izah edildiği surette, elde edilecek şakul sapmasının absolut oluşudur. Diğer bir deyimle, şakul sapması olarak, geoid veya buna çok yaklaşık olduğu bilinen ortalama yer elipsoidi normali ile şakul istikameti arasındaki açı tesbit ediliyor. Ancak, pratikte lüzumlu olan şakul sapması, o bölge veya ülkede geodezi maksatları için kullanılan izdüşüm elipsoidi üzerinde olmalıdır. Böyle bir şakul sapması ise relativdir. Absolut ve relativ şakul sapmaları arasındaki fark ise, o ülkede kullanılan izdüşüm elipsoidinin dimensiyon hassasiyetine ve bu elipsoidin, hakiki yer sathına oriyantasyonuna bağlıdır. Bu etkenlere göre, absolut ve relativ şakul sapma farkları büyük miktarları bulabilecekleri halde, farkların noktadan noktaya değişme miktarları çok yavaş olurlar.

İşte, uzak bölgenin istasyon noktasındaki şakul sapmasına etkisini, nasıl bölgесel olarak hesaplamak düşünüliyorsa, aynı şekilde, elde edilen şakul sapma değerlerinin izdüşüm elipsoidine reduksiyonu da gerçekleştirilebilir. Bu şekildeki bir hareket, hesap teknigi bakımından kolaylık sağlar ve uzak bölge tesiri ile elipsoide reduksiyon birlikte hesaplanabilir.

O halde, uzak bölge etkisi gibi, izdüşüm elipsoidine geçişinde doğrusal bir değişimde olduğu gerekcesinden hareketle, ikisinin birlikte hesabı nasıl olacaktır?

İstasyon noktasındaki astronomik-geodezik şakul sapma bileşkelarını,  $\xi_a$  ve  $\eta_a$  ile gösterilsin. Bu şakul sapma bileşkelerinin meydana gelış nedenleri, merkez ve yakın bölgelerdeki yerçekimi anomalileri ve bunlara ilâveten, uzak bölge tesirleri ile sistem farkı diyeceğimiz geoid-izdüşüm elipsoidi farkıdır.

$$\begin{aligned} \xi_a &= \Delta\xi_g + \Delta\xi_{us} \\ \eta_a &= \Delta\eta_g + \Delta\eta_{us} \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (28)$$

( $\Delta\xi_g$  merkez ve yakın bölge anomali etkisi,  $\Delta\xi_{us}$  uzak bölge ve sistem farkı etkisi).

Son eşitliğin sol tarafı, geodezik astronomik değerler farkı, yani astronomik-geodezik şakul sapmasıdır denmiştir, O halde :

$$B - \varphi = \xi_a = \Delta \xi_g + \Delta \xi_{us}$$

$$L - \lambda = \eta_a \cdot \sec \varphi = (\Delta \eta_g + \Delta \eta_{us}) \sec \varphi$$

Yukarıda  $\Delta \xi_a$  ve  $\Delta \eta_a$  değerlerinin nasıl hesaplanacağı görüldü. Şayet, birbirinden 500 km yi geçmeyen uzaklıklardaki üç astronomi noktasında,  $\Delta \xi_{us}$  ve  $\Delta \eta_{us}$  miktrleri tesbit edilirse bu üç astronomi noktasının kapladığı saha içindeki diğer astronomi noktaları için bu bilinmeyenler, mesafe ile orantılı bir interpolasyondan istifade ile bulunabilir. Şayet söz konusu saha içinde üçten fazla astronomi noktasında, astronomik-geodezik şakul sapması yanında, gravimetrik şakul sapması da tesbit edilebilmiş ise, bu takdirde elde mevcut fazla değerler, hata hesabında kullanılır.

Basit olsun gerekçesiyle, aynı meridyen üzerinde bulunan A ve B noktalarının, bilinen astronomik ve geodezik enlemlerinden, astronomik-geodezik şakul sapması meridyen bileşkeleri :

$$-\varphi_A + B_A = \xi_a^A$$

$$-\varphi_B + B_B = \xi_a^B$$

Yine aynı noktalar için, merkez ve yakın bölgelerin gravimetrik şakul sapmasındaki tesirleri hesaplandığında, teşkil edilecek farklar uzak bölge ve sistem farkı tesirlerini verecektir.

$$\xi_a^A - \Delta \xi_g^A = \Delta \xi_{us}^A$$

$$\xi_a^B - \Delta \xi_g^B = \Delta \xi_{us}^B$$

A ve B noktaları arasındaki bir C noktasındaki aranan tesir, hattı interpolasyon ile,

$$\Delta \xi_{us}^C = \Delta \xi_{us}^A + (\Delta \xi_{us}^B - \Delta \xi_{us}^A) \frac{S_c}{S}$$

şeklinde bulunur. Formülde AB mesafesi S, AC mesafesi ise  $S_c$  ile gösterilmiştir.

Bu açıklamalardan sonra, konuya bir örnek olmak üzere, memleketimizin mevcut gravimetri şebekesinden yararlanarak, bir astronomi noktasındaki gravimetrik şakul sapması hesabının tatbikatı kısaca söyle olmuştur :

## 2. GRAVİMETRİK ŞAKUL SAPMASI HESABINA AİT BİR ÖRNEK

Memleketimizde yapılacak böyle bir ilk çalışma için, Orta Anadolu bölgesinde,

enlemi  $\varphi = 38^\circ 58'$

boylamı  $\lambda = 31^\circ 54'$  olan ADAKASIM laplas noktası seçilmiştir. Toronto 1957 Uluslararası Geodezi Geofizik Birliği toplantısına sunulan 5 No. lu Ulusal raporda, Adakasım noktasının astronomik ve geodezik değerleri arasındaki farklar :

$$B_{ED} - \varphi_A = + 4.^{\circ}069$$

$$B_{ND} - \varphi_A = + 2.^{\circ}504$$

$$L_{ED} - \lambda_A = - 3.^{\circ}479$$

$$L_{ND} - \lambda_A = - 4.^{\circ}276 \quad \text{olarak nesredilmiştir}$$

(ED = European Datum, DN = National Datum)

Aynı raporda, bütün Türkiye'ye dağılmış 99 laplas noktasının Avrupa ve Meşedağ mebdelerinde verilen geodezik koordineleri ile astronomik koordineleri arasındaki farklar incelendiinde, (bak Ek I)

$$(B_{ED} - \varphi_A) - (B_{ND} - \varphi_A) = B_{ED} - B_{ND}$$

bunların  $+ 1.^{\circ}555$  ile  $+ 1.^{\circ}420$  arasında değiştiği görülecektir. Bu değişme miktarları, biribirlerine yakın noktalar arasında genellikle sabit kalmaktadır. Avrupa geodezik sistemi ile milli geodezik sistemimiz arasındaki ayrıldıktan ileri gelen bu farklar ve bunların değişimleri, yukarıda iddia edildiği gibi, enterpole özgürlüğine sahiptirler. Yeterki enterpole hudutları makûl sınırlar içinde tutulabilsinler.

Adakasım laplas noktası, Akşehir-Polatlı uçuş hattı ortasına düşen Çeltik nahiyesinin 12 Km. güney doğusunda, az arızalı bir bölge dir. Kuzeyde Sivrihisar-Polatlı-Ankara bölgelerini kaplayan yükselti ile güney batıdan gelen Emirdağ Massiv kütle uzantısı, noktadaki şakul sapmasını etkileyecik olan topografiya arızaları olarak dikkati çekiyorlar. Diğer taraftan Adakasım, Akdeniz ve Karadeniz'den 240 – 250 km. mesafede oluşu ile, Anadolunun bütün kara parçasının ortasında bulunmaktadır. Anadolu üzerinde mevcut gravimetri ölçülerinin, noktanın dört bir tarafına serpiştirilmiş olarak bulunması avantajı, bu noktanın seçiminde rol oynamıştır. (Bak, Ek 5). Karadenize ait gravimetri ölçülerinin elde mevcut olmayışından, Akdeniz de mevcut çalışmaların hesaba dahil edilmesi düşünülmemiştir. Buna göre, Adakasım etrafında 250 km. yi bulan bir daire içindeki anomaliler dikkate alınmıştır.

Başlangıçta bu şekildeki bir sınırlamanın yapılması, neticeye etkili olmasına rağmen zaruretler icabıdır. Anomali arşivinin inkişafı ile bu hesap hudutlarının ilerde genişletilmesi, yani daha geniş bir çevrenin şakul sapmasına etkilerinin tesbiti ve bunların bu defa hesaplanacak değerlere ilâvesi, şüphesiz uzun süre bu işe başlamakta tereddüt etmekten daha faydalı olacaktır.

250 km. lik bölge dışında kalan kısımlarda, kuzey ve güneyde Karadeniz ve Akdeniz, simetrik durumları ile sanki eşit etkileri olabilir gibi görünmektedirler. Doğu ve batı Anadolu ise, yapıları itibarıyle oldukça farklı olmalarına rağmen, yakın bölge içinde iki tarafta da simetrik durumda uzanmaktadır. Görünüşlerin şekli ne olursa olsun, 250 km. lik bölge dışındaki bilinmiyen anomaliler ve bunların şakul sapmasındaki etkileri, unutulmaması gereken bir eksiklik olacaktır. Ancak, W. A. Heiskanen'in belirttiği gibi [6], "yerçekimi değerlerinin bilinmediği yerlerde, anomalilerin sıfır kabul edilmesi", örnekte 250 km. lik saha dışında şimdilik tek kurtarıcidır.

## 2. 1. ARAZİ ÇALIŞMALARI :

Memleketimizde 1956 yılında başlıyan gravimetri ölçmeleri ile, önce 24 noktalı bir birinci derece şebeke teşkil edilmiştir. İki Nörgaard aletinin kullanıldığı bu çalışmalarda, özellikle hava alanları birinci derece nokta olarak seçilmiş ve ölçüler esnasında âletler uçakla taşınmıştır. Bu ana şebeke noktaları, birinci derece nivelman hatları üzerinde seçilen yollar boyunca ve 5 – 10 km. ye bir nokta düşecek surette biribirine bağlanmışlardır. (Ek 5) Takip eden faaliyetlerde, lokal çalışma için her 1/25 000 lik paftaya ( $7.5 \times 7.5$ ) 6 – 8 gravimetri noktası düşeck surette bir plânlama yapılmış ve uygulanmaktadır.

Hesaba başlayıbilmek için önce, mevcut ölçülere ilâve olarak yapılması gereken çalışmaların tesbiti gereklidir. Bu maksatla, çizelge III deki grup sınırlarına sadık kalınarak, her değişik ölçegin kapladığı sahada bulunması gereken yerçekimi ölçü noktaları adet olarak bilinmelidir. İşte bu tesbiti yaparken titizlikle üzerinde durulacak bir nokta, kullanılan hesap formüllerinde (15), (25), (27), anomalilerin muayyen veya istenen bir hassasiyeti bozmayacak suret ve aralıkta dağılmış bir gravimetri şebekesine dayanması gerektidir.

Bunun yanında, esas ve hesabı bakımından biribirinden farklı olan çeşitli anomalilerin elde edilme hassasiyeti, ayrı bir konudur.

Cizelge III deki sınırlar esas alınarak, mevcut olan ve bunlara ilâve edilen ölçüler :

Grup I : Sınır üzerinde, doğu, batı, kuzey ve güney noktalarında olmak üzere 4 nokta,

Grup II : İstasyon noktası çevresinde 50 m. yarıçaplı bir saha içinde 10 noktası

Grup III : İstasyon noktası çevresinde 500 m. yarıçaplı bir saha içinde 12 noktası,

Grup IV : İstasyon noktası çevresindeki 5 km. yarıçaplı sahada 51 noktası,

Grup V : 40 km. lik çevrede, her 1/25.000 lik paftaya 6-10 noktası,

Grup VI : Memleket ana gravimetri şebeke noktaları.

Her sınır içine, kendinden önceki sınır içinde kalan noktalar da ilâve edilirse, anomali tesbiti için yeteri sıklığın temin edildiği ve nokta kesafetinin merkezden dışa doğru azaldığı görülmektedir.

Arazi çalışmalarında, 1/25 000 den daha büyük ölçekte hesabı yapılacak sınırlar içinde, gravimetri ölçüsiyle birlikte plân almada yürütülmüştür. Gravimetri noktalarının 5 km. yarıçaplı bölgede, normal lokal çalışmalara ilâve olarak katılan miktarı 54 tür. Lokal çalışma ile birlikte, 5 km. lik saha içindeki nokta adedi 68 olmuştur.

Noktalar arazinin en alçak yerinden en yüksek yerine kadar, mümkün olduğu nisbettte eşit sıklıkta dağıtılmıştır. Noktalara rakım naklinde, zaruret halinde trigonometrik nivelmanından yararlanılmış, yolu ve patikası bulunan kısımlarda, 2 m. lik baz lata ile seri rakım taşınmıştır.

Bu gaye için yapılan ilâve gravimetri çalışmalarında TNK 468 Nörgaard gravimetri âleti kullanılmış olup, bölgede daha önceki hattı (ana şebekeye dahil) ve lokal çalışmalar, Worden âletleri ile yapılmıştır.

### 3. 2. BÜRO CALIŞMALARI :

Arazi faaliyetleri sonunda büroda yapımına başlanan ilk iş, bölgenin çizelge III deki sınırlara göre 1/25 000 den büyük ölçekli plânlarının tamamlanması olmuştur. Bu arada, ısı ve med-cezir tashihleri dikkate alınarak noktaların yerçekimi değerleri hesaplanmış olup sırası ile nokta koordinatlarının tesbiti ve kot hesapları ikmal edilmiştir.

Büro çalışmaları içinde kısaca tafsilâtına deðinilmesi gereken hususlar :

- Gravimetri ölçülerinin reduksiyonu,
- Anomali haritalarının hazırlanması,
- Şakul sapması hesabıdır.

Bunlar yanında, şablonların hazırlanarak bölümlerin ortalama anomalilerinin tesbit edilmesi, oldukça fazla zamana ihtiyaç göstermesine rağmen, önem taşımamaktadır.

### **2. 2. 1. GRAVİMETRİK ÖLÇÜLERİN REDUKSİYONU :**

Ölçülen yerçekimi değerlerinin ısı ve med-cezir tashihleri ile âlet driftinden ötürü alması gereken düzeltmelerinin tesbitinden sonra, elde edilen hakiki çekim değerlerinin biribirleri ile mukayeseleri için, muayyen bir yüzeye indirgenmeleri gerekir. Böyle bir yüzey şüphesiz herhangi bir nivo sathı olacaktır.

Fiziki yer sathında ölçülen yerçekimi değerlerinin bir nivo sathına reduksiyonu, şu üç ana gaye için söz konusu olabilir :

- a — Dünya şeklinin tayin edilmesi,
- b — Dünya kabuğu ve altındaki kütle yapısının incelenmesi,
- c — Bir yerin ölçülmesi mümkün olmayan yerçekimi değerlerinin hesapla bulunması.

Konu ile ilgili reduksiyon, dünya şeklinin tayininde yardımcı olabilenidir. Ancak, çeşitli reduksiyon metodlarının kesinlikle uygulanabileceklerinde, önce dünya kütle dağılımının yeteri detayları ile bilinmesine ve sonra yerçekimi rasat istasyonunun, reduksiyon sathından olan yüksekliğinin elde bulunmasına ihtiyaç vardır.

Geometrik nivelmanla üretilen ve deniz ortalama seviyesinden farkları veren rakım sistemi, bugün kullanılan yerçekimi ölçü âletlerinin hassasiyetini etkilemeyecek kesinliktedir. Fakat, dünya kütle dağılımının ayrıntılı olarak bilinmemesi, reduksiyon metodlarından kesin neticeler beklenmesine engel olmaktadır. Bu durumda, reduksiyon metodlarından elde edilen neticelerin, yaklaşık değerler olmaktan ileri gidemeyeceğini kabul etmek lâzımdır.

Reduksiyon metodunun dayanmış olduğu hipotez, bu hipotezdeki yanılmalar ve eksikler nedeniyle reduksiyon (indirgeme) sathını bozmaktadır. Hipotezin doğruluðunu ve bozulan sathın bozulma derecesini kesinlikle bilmek başlı başına bir problem teþkil eder. O halde, reduksi-

yon sonunda geoid üzerine indirilmek istenen yerçekimi değerleri, geoidden farklı bir satır üzerinde olabileceklerdir. Değişen geoid eşpotansiyel sathının hakiki değeri ise ilâve hesaplarla bulunabilecektir.

Stokes formülü, bütün yer sathında yerçekimi ölçülerinin bilinmesini şart koşar. Tatbikatta tahakkuk edemeyecek olan bu şartta karşılık, aralıklarla yapılan ölçülerden, ölçüldüğü yereyi temsil etme özelliği istenir. Öyle ise, ölçülen değerlerin reduksiyonları, bu değerleri birde temsil etme yeteneğine sahip kılmalıdır.

Geodezide özellikle hangi reduksiyon metodunun kullanılması gereğine dair bir çok eleştiriler mevcuttur, [1], [2], [7], [8], [13]. Burada bunun nedenlerine girmeden, serbest hava reduksiyonunun kullanılacağını belirtmek yeterlidir.

Serbest hava reduksiyonunda (Faya reduksiyon), geoid ile fiziki yer sathi arasında kalan kütle dikkate alınmaz. Fakat bu uzaklaştırılan kütleye rağmen, rasat noktamızda yine aynı yerçekiminin mevcut olduğu kabul edilir. Bu halde rasat noktası sanki havada bulunmaktadır ve rasat havada yapılmıştır. Böyle yapıldığı kabul edilen rasadı geoid üzerine indirmek, dünya kütle merkezine yaklaşma şeklinde olacağından, pozitif bir tashih söz konusudur.

Dünyayı, ortalama yarıçapı  $R=6371$  km. olan bir küre kabul edersek, deniz seviyesindeki birim kütleye tesir eden yerçekimi  $g_0$  :

$$g_0 = f \frac{M}{R^2}$$

$H$  yüksekliğinde ise :

$$g_0 = f \frac{M}{(R+H)^2} \quad \text{olacaktır.}$$

$$g_0 = g \frac{(R+H)^2}{R^2} = g \left(1 + \frac{2H}{R}\right)$$

(son formülde, sağ tarafta kareli terim ihmal edilmiştir).

Hakiki yerçekiminin yükseklik ile değişimini, teorik (normal) yerçekiminin yükseklikle değişimine eşit kabul ederek,

$$\delta g = (0.308\ 552 + 0.000\ 222 \cos 2\varphi - 0.000\ 000\ 072 H) H \quad (30)$$

numerik hesap için gerekli formül elde edilir. Formül (30) da  $H$  metre ve  $\delta g$  mgal cinsinden olup, ikinci terim memleketimiz enlemleri için çok küçük değerler alan  $\cos 2\varphi$  den ötürü ihmal edilebilir. Küçükliğinden dolayı üçüncü terim de hesap formülünden çıkarılırsa,

$$\delta g = 0,3086 \text{ H} \quad (31)$$

pratik formüle geçilmiş olur.

Bu serbest hava reduksiyonu ile serbest hava anomalisinin hesabını veren formülde,

$$\Delta g = g - \gamma - \delta g$$

$\Delta g$  = serbest hava anomalisi,

$g$  = ölçülen yerçekimi,

$\delta g$  = serbest hava reduksiyonu,

$\gamma$  = teorik (normal) yerçekimi değerini ifade ederler.

Teorik yerçekimi değeri, A. Schleusener'in enternasyonal normal yerçekimi formülü ile,

$\gamma = 980\ 632.271\ 92 - 2\ 586.157\ 17 \cos 2\varphi + 2.885\ 24 \cos 4\varphi$  mgal hesaplanmış olduğu cetvelinden [16], her ölçü noktası için enlemine göre alınmıştır.

## 2. 2. 2. ANOMALİ HARİTALARININ HAZIRLANMASI :

Serbest hava anomalileri, bütün kütlelerin ölçü noktasındaki çekim tesirlerini ihtiva etmektedir. Bu ise, jeolojik yapının ve kütle dağılımı topografyasının ölçümlü kapsandığı anlamındadır. Durum böyle olunca, anomalilerimiz absolut ve relativ olarak ölçü noktası rakıma bağlıdır. Anomali ile rakım arasında bir bağıntının doğrulukla kurulabilmesi için, ölçü noktalarını arazi engebelerine aynı önem derecesinde dağıtmak gereklidir. Lokal çalışmalar bu istege uygun olarak plânlandıktan, grafik veya hesabı yoldan rakım ve anomali bağıntısının elde edilişi büyük kolaylıkla tahakkuk eder.

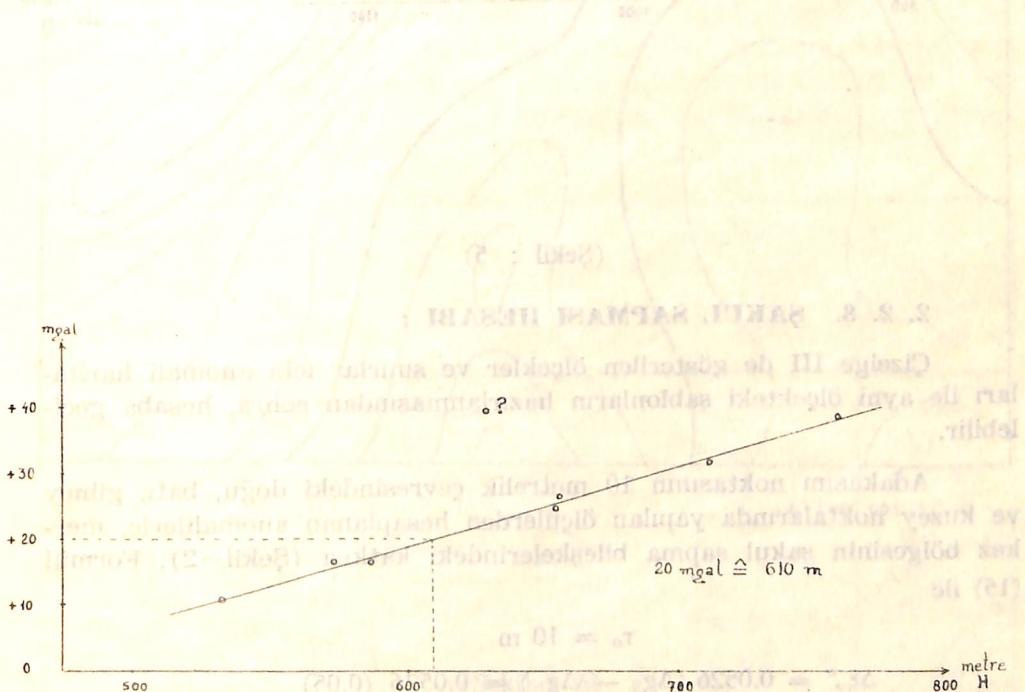
Anomali haritaları için çalışılması gereken genel ölçek 1/25 000 olduğundan, ele alınan paftada mevcut ölçü noktaları, anomali ve rakımlarına göre bir milimetrik kâğıda taşınır. Bu noktalardan geçirilen en uygun (muvażene edici) doğru, o paftadaki rakım-anomali bağıntısını temsil eder. Hatalı olarak ölçülmüş veya hesaplanmış noktalarla, lokal anomali sapmaları, bu muvażene doğrultusu dışında göze batacaktır. Şayet mevcut noktaların dağılımı, kesin bir muvażene doğrultusunun tesbitine imkân vermiyorsa, paftanın 2 veya 4 de bölünmek suretiyle daha küçük sahalarda rakım-anomali bağıntısının aranması gereklidir.

Muvażene doğrultusu üzerinde, yuvarlak rakamlı (meselâ 10 mgal aralıklarla) anomalilere tekabül eden rakımlar tesbit edildikten sonra, muayen bir anomali eğrisini çizmek için, tekabül ettiği rakım münhanisi

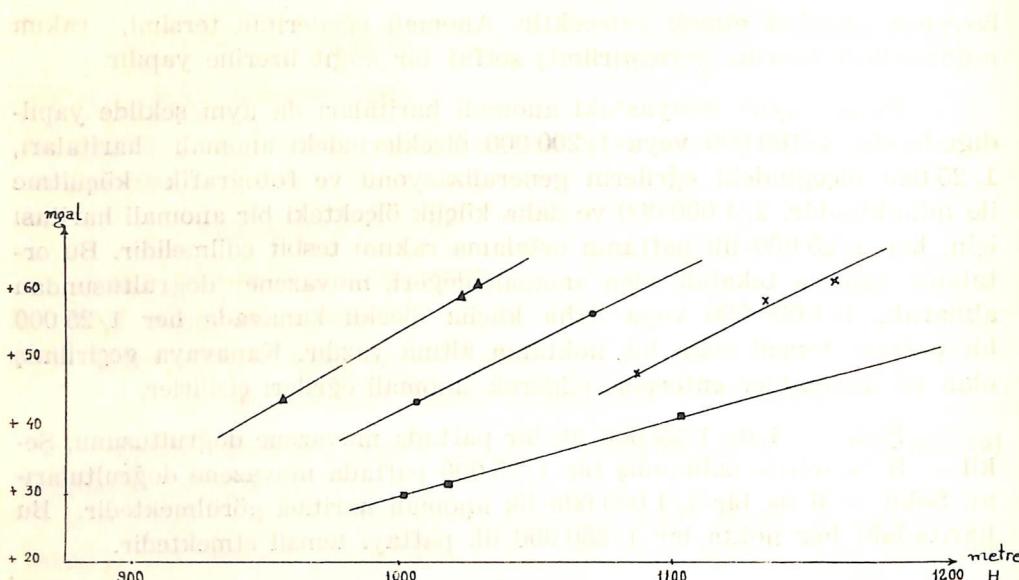
boyunca hareket etmek yetecektir. Anomali eğrilerinin tersimi, rakım münhanileri üzerine yerleştirilmiş şeffaf bir kâğıt üzerine yapılır.

Daha büyük mikyastaki anomali haritaları da aynı şekilde yapıldığı halde, 1/100 000 veya 1/200 000 ölçeklerindeki anomali haritaları, 1/25 000 ölçüğündeki eğrilerin generalizasyonu ve fotoğrafik küçültme ile mümkündür. 1/1 000 000 ve daha küçük ölçekteki bir anomali haritası için, her 1/25 000 lik paftanın ortalama rakımı tespit edilmelidir. Bu ortalama rakıma tekabül eden anomali değeri, muvazene doğrultusundan alınarak, 1/1 000 000 veya daha küçük ölçekli kanavada her 1/25 000 lik paftayı temsil eden bir noktanın altına yazılır. Kanavaya geçirilmiş olan bu anomaliler enterpole edilerek, anomali eğrileri çizilirler.

Şekil - 4 de 1/25 000 lik bir paftada muvazene doğrultusunu, Şekil - 5 de dörde bölünmüş bir 1/25 000 paftada muvazene doğrultularını, Şekil - 6 da bir 1/1 000 000 lik anomali haritası görülmektedir. Bu haritadaki her nokta bir 1/250 000 lik paftayı temsil etmektedir.



(Şekil : 4)



(Şekil : 5)

### 2. 2. 3. ŞAKUL SAPMASI HESABI :

Çizelge III de gösterilen ölçekler ve sınırlar için anomali haritaları ile aynı ölçekteki şablonların hazırlanmasından sonra, hesaba geçirilebilir.

Adakasım noktasının 10 metrelık çevresindeki doğu, batı, güney ve kuzey noktalarında yapılan ölçülerden hesaplanan anomalilerle, merkez bölgesinin şakul sapma bileşelerindeki katkısı (Şekil-2), Formül (15) ile

$$r_o = 10 \text{ m}$$

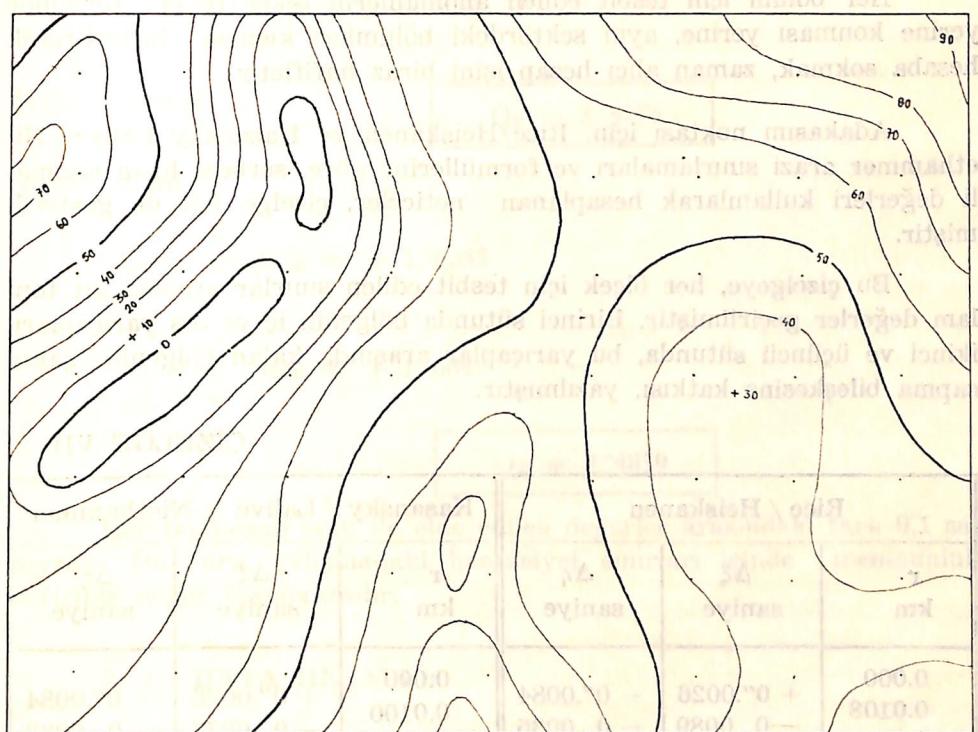
$$\Delta\xi_o'' = 0.0526 (\Delta g_s - \Delta g_N) = 0.0526 (0.05)$$

$$\Delta\xi_o'' = + 0.''0026$$

$$\Delta\eta_o'' = 0.0526 (\Delta g_w - \Delta g_E) = 0.0526 (- 0.16)$$

$$\Delta\eta_o'' = - 0.''0084$$

olarak elde edilirler.



(Şekil : 6)

İstasyon noktasının merkez bölgesi dışı için, gittikçe küçülen ölçeklerle, yine çizelge III deki sınırlara ait şablonlar, aynı ölçekteki ve aynı sınırların anomali haritaları üzerine oturtularak, her bölüm için ortalamada bir anomali tahmin edilir. Bu değerler şablonun bir benzeri olarak hazırlanan kâğıt üzerinde, ait olduğu bölüme yazılır. Ek 2 ve Ek 3 de 1/500 ölçekli iki şablon ile Ek 4 de örnek olarak 1/500 ölçekli bir serbest hava anomali haritası verilmiştir.

Her bölüm için tesbit edilen anomalilerin teker teker formülde yerine konması yerine, aynı sektördeki bölgeleri kısmen birleştirerek hesaba sokmak, zaman alıcı hesap işini biraz hafifletir.

Adakasım noktası için, Rice/Heiskanen ve Kasansky/Lalive—Niethammer arazi sınırlamaları ve formüllerine göre, serbest hava anomali değerleri kullanılarak hesaplanan neticeler, çizelge VII de gösterilmiştir.

Bu çizelgeye, her ölçek için tesbit edilen sınırlar arasına ait toplam değerler geçirilmiştir. Birinci sütunda bölgenin iç ve dış yarıçapları, ikinci ve üçüncü sütunda, bu yarıçaplar arasında kalan bölgenin şakul sapma bileskesine katkısı, yazılmıştır.

#### ÇİZELGE VII

Rice / Heiskanen			Kasansky / Lalive — Niethammer		
r km	$\Delta\xi$ saniye	$\Delta\eta$ saniye	r km	$\Delta\xi$ saniye	$\Delta\eta$ saniye
0.000	+ 0''.0026	- 0''.0084	0.000	+ 0''.0026	- 0''.0084
0.0108	- 0. 0089	- 0. 0035	0.0100	- 0. 0077	- 0. 0033
0.0425	- 0. 0166	- 0. 0146	0.0420		
0.119	- 0. 0660	- 0. 0477		- 0. 0799	- 0. 0651
0.467	- 0. 0188	- 0. 0075	0.458	- 0. 0264	- 0. 0101
0.554	- 0. 3446	+ 0. 1234	0.582	- 0. 3530	+ 0. 1474
5.125	+ 1. 0586	+ 1. 0386	5.000		
33.480	+ 1. 2845	+ 0. 6686	33.600	+ 1. 0477	+ 1. 0663
210.9			218.0	+ 1. 2420	+ 0. 5579

Cizelgeden, hesapların 210 (218) km. lik bir bölge sınırlarına kadar yapıldığı görülmektedir. Adakasım noktasından itibaren bu sınırlar, kuzey ve güneyde denizlere dayanmıştır. İlerde elde edilecek anomali değerleri ile, hesabı daha uzak sınırlara kadar genişletmek mümkündür.

Her halde bu sınırın yakın bölge hududu olan 1000 km ye kadar uzanması, elde edilen neticenin önemini yeteri derecede artıracaktır.

Çizelge VII de yazılı şakul sapma bileşkelerinin toplamı :

$$\xi_R = \sum_{i=0}^7 \Delta i \xi_R = + 1.^{\circ}8908$$

$$\eta_R = \sum_{i=0}^7 \Delta i \eta_R = + 1.^{\circ}7489$$

Şakul sapması :

$$Q_R = 2.^{\circ}5756$$

Diger yoldan :

$$\xi_K = \sum_{i=0}^7 \Delta i \xi_K = + 1.^{\circ}8253$$

$$\eta_K = \sum_{i=0}^7 \Delta i \eta_K = + 1.^{\circ}6847$$

$$Q_K = 2.^{\circ}4839$$

Her iki hesap yolu ile elde edilen değerler arasındaki fark 0.1 sahiyedir. Bu fark, çalışmada hassasiyet sınırları içinde memnunluk vericibir değer taşımaktadır.

### 2. 3. HATA HESABI :

Gravimetrik şakul sapması hesabı neticesinde bulunan değerin hassasiyetini teorik olarak incelemek yerinde olacaktır. Bu inceleme iki kısımda mütalâa edilirse, önce hesabı yapılmış olan bölge içindeneki hata, iki bu bulunan neticenin hatası olacaktır, sonra hesaba dahil edilemiyen bölgenin (218 km – 1000 km arası) şakul sapmasına katkı miktarının ne kadar olabileceği.

Birinci safhada bulunacak hatayı yakın bölgenin tümü için hesaplamak mümkündür. Ancak, hesaba dahil edilmemiş bölgelerin şakul sapmasındaki katkıları belli değilken, bu eksigin hatasını tespite kalkmak faydasızdır. Yalnız bu şekilde bulunacak bir hata hesap yolunun genel bir hatası şeklinde fikir verebilir.

Hesabı yapılmış olan bölge için aranacak hata denklemini, merkez bölgesi ve yakın bölge formüllerini (14) (24) genel şekilleri ile birleştirerek bulmak icap eder.

$$\left. \begin{aligned} \xi'' &= 0.^{\circ}1053 r_o \frac{\partial \Delta g}{\partial x} + 0.^{\circ}001 (\sum_s \Delta g - \sum_N \Delta g) \\ \eta'' &= 0.^{\circ}1053 r_o \frac{\partial \Delta g}{\partial y} + 0.^{\circ}001 (\sum_W \Delta g - \sum_E \Delta g) \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

Bu formülüün birinci teriminin vereceği hata miktarı :

( $\alpha$  = merkez bölgesindeki yerçekimi gradiyent hatası olduğuna göre)

$$(0.1053 \cdot r_o \cdot \alpha)^2$$

şeklindedir. İlkinci terim için, sektör ve bölge adetlerini tesbit gerekir. Kasansky'e göre, istasyon noktası çevrersi 32 sektör'e ayrılmıştır. Bu 32 sektörün yarısı kuzey diğer yarısı ise güneyde bulunmaktadır. (Sektörleri ikiye ayırma,  $\eta$  hesabında doğu batı olarak yapılır). Herhangi biri birini takip eden iki komşu bölge sınırı ( $r_i - r_{i+1}$ ) arasındaki kısım için hata denklemi, ( $\beta$  = bölgeler için tahmin edilen anomalilerdeki hata olduğuna göre) :

$$16 (0.^{\circ}.001 \beta)^2 + 16 (0.^{\circ}.001 \beta)^2$$

şeklindedir. Bu ise  $32 (0.^{\circ}.001 \beta)^2$  dir.

Bu ifadeyi hesaba dahil edilen bölge adedi ile çarpmak gerekecektir. Çizelge I de görüleceği üzere, bölge sayısı 1000 km ye kadar 41 dir. Ancak bu 41 bölgeden yalnız 34 ü işlendiğine göre, hata denklemi,

$$m^2 Q = (0.^{\circ}.1053 \cdot r_o \cdot \alpha)^2 + 32 (0.^{\circ}.001 \cdot \beta)^2 \cdot 34 \quad (33)$$

olup bu denklemde

$$r_o = 10 \text{ metre}$$

$$\alpha = \pm 0.10 \text{ mgal/metre}$$

$$\beta = \pm 10 \text{ mgal (maksimum)}$$

kabul edildiğinde :

$$m^2 Q = 0.^{\circ}011 + 0.^{\circ}109$$

$$\underline{mQ = \pm 0.^{\circ}346}$$

$$Q_K = 2.^{\circ}484 \pm 0.^{\circ}346$$

olarak tesbit edilecektir.

Elde, yakın bölgenin tümüne ait anomaliler mevcut olsa ve bunlar işlenebilse idi, formül (33) de 34 yerine 41 bölge adedi konularak,

$$m\theta = \pm 0.^{\circ}362$$

bulunurdu.

1000 km lik yakın bölge sınırı içinde hesaba sokulamayan kışımların bulunan şakul sapmasındaki eksik kalan miktarı için ise, ( $\gamma$  = hesaba dahil edilemiyen her bölgenin şakul sapmasına katkısı iken),

$$e^2 = 7 \cdot \gamma^2 \quad \text{formülü ile}$$

$$\gamma = \pm 0.^{\circ}2 \quad \text{kabul edilirse,}$$

$$e = \pm 0.^{\circ}280 \quad \text{bulunurdu.}$$

### 3. SONUÇ :

Hesaplanmış olan şakul sapma miktarı normal ve beklenen bir sonuç olmuştur. İki hesap yolunun neticelerinin de biribirini teyit etmeleri, herhangi bir hatanın yapılmamış olduğunun teminatıdır. Aralarındaki fark ise hassasiyet sınırı (hata sınırı) içindedir.

Hesap sınırını 1000 km ye kadar uzatıldığında neticenin önemli bir değişikliğe uğramayıcağı da görülmüş bulunuyor. Ancak elde edilen şakul sapmasının, mevcut astro-geodezik şakul sapması ile mukayese edilmesi henüz erkendir. Biraz daha kesin olmak ve bunun içinde biraz daha beklemek zorrunludur.

Burada tekrar belirtilmesi gereken husus, zaman alıcı unsurların anomali haritaları hazırlığı ve bölgelerin anomalilerini tahmin etmek olduğudur. Anomali haritaları bu defa özellikle Adakasım noktası için, yani onun etrafındaki konzentrik daireler içinde, çeşitli ölçeklerde yapılmıştır. Yeni bir istasyon noktası için gravimetrik şakul sapması hesabı arzu edildiğinde, anomali harita hazırlıklarının bir kısmı ile yeniden yapılması gerekecektir. Bunun yanında tekrar ortalama anomalisi tahmin edilmesi icap edecek olan bölgelerin adedi :  $34 \cdot 32 + 55 \cdot 36 = 3068$  dur. Bukadar değerin, sektörler içinde kısmen birleştirilerekde olsa formüllere konulması, ayrı bir zaman alıcı husustur.

Bütün bunlar yerine, enlem ve boyamlarla sınırlanan bir kareleme sisteminde, bütün Türkiye ve mümkün olduğunda komşu kara ve suyun da ortalama rakım ve anomalilerinin hazırlanması ve gerektiğinde, enlemi ve boyamı verilen bir noktadaki şakul sapmasının hesabını elektronik hesap sisteminden istifade ile neticeleştirilmesi, bundan sonraki adım olmalıdır.

## K A Y N A K L A R

- [ 1 ] Baeschlin C. F. Lehrbuch der Geodesie, Zürich — 1948
- [ 2 ] Bodemüller H. Beitrag zum deutschen Schweregrundnetz und zur Geoidbestimmung aus Schwere-Anomalien, D G K , B , 19
- [ 3 ] Erokan I. Untersuchung zur Topographisch—Isostatischen Lotabweichungsinterpolation für Landesvermessungszwecke, Bonn 1963
- [ 4 ] Gerke K. Waterman H. Die Karte der mittleren Freiluftanomalien für Gradabteilungen  $6' \times 10'$  von Westdeutschland, D G K , B 46 II
- [ 5 ] de Graff Hunter J. The Figure of the Earth from gravity observations and the precision obtainable London 1935.
- [ 6 ] Heiskanen W. A. Geodesie, aus : Encyclopaedia Britannica
- [ 7 ] Heiskanen W. A. General Report on the Gravimetric Computation of the Undulations of the Geoid,  $N_g$  and the of the Vertikal Components  $\xi_g$  and  $\eta_g$  , IUGG Toronto 1957.
- [ 8 ] Heiskanen W.A. Vening—Meinesz F. A. The Earth and its gravity field. Mc-Graw-Hill Book. Comp. London 1958
- [ 9 ] Jung K. Schwerkraftverfahren in der angewandten Geophysik Leipzig 1961
- [10] Kasansky I. "Ein praktischer Versuch der gravimetrischen Bestimmung der Lotabweichungen"  
Verhandl. der Balt. geod. Komm.  
Helsinki 1934.
- [11] Ledersteger K. Astronomische und physikalische Geodesie (Erdmessung).  
Jordan/Eggert/Kneissl, Handbuch der Vermessungskunde, Band V.

- [12] Magnizki W.A., Browar W.W., Schimbirev B.P. Theorie der Figur der Erde, Berlin 1964
- [13] Meier H. K. Über die Berechnung von Lotabweichungen für Aufpunkte im Hochgebirge D G K , C 16.
- [14] Rice D. A. Deflections of the vertical from gravity anomalies, Bull. geod. Nr. 25, 1952
- [15] Sakatow P. S. Lehrbuch der Höheren Geodaesie 1957
- [16] Schleusener A. Tafeln der Internationalen Normalschwere D G K , D 2
- [17] Uotila U. A. Investigations on the gravity field and shape of the earth, Publ. Isost. Inst. Nr. 33 Helsinki 1960
- [18] Watermann H. Gravimetrica Arbeiten 1962/63 in Institut für Angewandte Geodaesie, D G K , B 105

## EK I

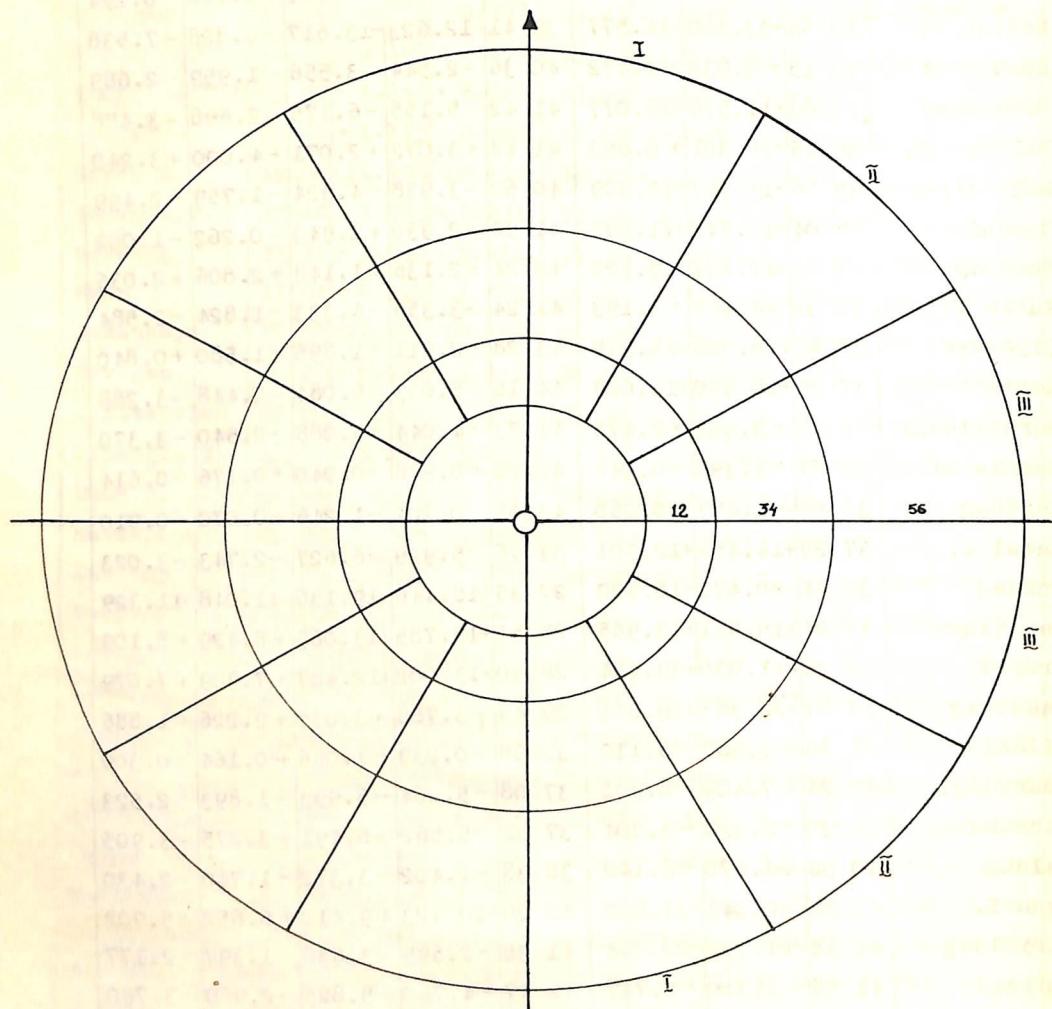
İstasyon	Enlem $\varphi$			Boylam $\lambda$			Semt $\alpha$	
	$\varphi$ °	$\varphi_{ED} - \varphi_R$ "	$\varphi_{ND} - \varphi_A$ "	$\lambda$ °	$\lambda_{ED} - \lambda_A$ "	$\lambda_{ND} - \lambda_A$ "	$\alpha_{ED} - \alpha_R$ "	$\alpha_{ND} - \alpha_A$ "
Çevrimkaya	41 06	+ 5.348	+ 3.798	27 27	- 3.166	- 3.885	-1.440	-1.750
Sincebayırı	41 47	+ 5.151	+ 3.596	26 28	- 4.464	- 5.160	-3.767	-4.027
Korudağ	40 45	+ 2.683	+ 1.130	26 54	- 2.636	- 3.336	-2.342	-2.612
Subaşı	39 58	+ 4.347	+ 2.792	26 10	+ 2.950	+ 2.272	+1.615	+1.415
Kuşalı	39 13	+ 7.873	+ 6.319	26 51	+ 6.550	+ 5.860	+3.881	+3.641
Kireç T.	39 54	+ 7.281	+ 5.728	27 13	- 3.902	- 4.603	-2.739	-2.989
Beyaz istih.	38 20	+ 7.945	+ 6.392	27 11	+ 1.741	+ 1.050	+0.327	+0.057
Çalibaba	38 21	+ 6.390	+ 4.839	27 38	+ 3.032	+ 2.331	+1.758	+1.478
Karadağ	38 19	+ 6.849	+ 5.293	26 18	- 1.207	- 1.879	-1.132	-1.372
Kinalıada	40 55	+ 8.414	+ 6.869	29 03	+ 5.667	+ 4.916	+2.592	+ 2.252
Çiplak T.	40 20	- 0.269	- 1.814	28 30	+ 0.618	+ 0.618	+ 0.525	+ 0.515
Kocataş	41 10	+ 0.133	+ 1.411	29 02	- 5.164	- 5.917	-2.849	-3.189
Kurtçal	39 39	+ 4.915	+ 3.365	27 50	- 8.222	- 8.936	-5.598	-5.888
Asardağ	39 38	+ 6.116	+ 4.571	29 04	+ 3.020	+ 2.279	+1.712	+1.342
Gökseki	39 05	+ 4.018	+ 2.470	28 16	- 0.130	- 0.850	-0.066	-0.376
Kaysan T.	38 27	+ 15.593	+ 14.046	28 36	+ 8.923	+ 8.201	+ 5.693	+ 5.363
Zeybek tarla	38 32	+ 7.366	+ 5.823	29 24	+ 2.467	+ 1.727	+ 0.547	+ 0.187
Kozdoruğu	39 47	+ 0.931	- 0.608	30 10	- 0.036	- 0.803	- 0.483	- 0.863
Oflak T.	40 57	+ 1.231	+ 2.769	30 23	+ 1.878	+ 2.660	+ 0.746	+ 0.376
Dikmen T.	40 50	+ 0.548	- 0.984	31 26	+ 9.059	+ 8.254	+ 5.596	+ 5.136
Halimoğlu	41 31	- 13.940	- 15.467	32 13	+ 8.820	+ 7.989	+ 5.589	+ 5.119
Yediler	39 30	+ 7.700	+ 6.168	31 25	+ 0.171	- 0.621	- 0.159	- 0.589
Meşedağ	39 52	+ 1.525	0.000	32 35	+ 0.021	0.000	+ 1.900	+ 1.440
Ağıl T.	38 51	+ 5.136	+ 3.612	32 52	- 1.840	- 2.657	- 0.130	- 0.590
<u>ADAKASIM</u>	38 58	+ 4.069	+ 2.504	31 54	- 3.479	- 4.276	- 2.520	- 2.940
Düzkır	38 46	+ 8.868	+ 6.331	30 39	+ 2.273	+ 1.504	+ 2.602	+ 2.202
Oyükludağ	36 51	+ 6.332	+ 4.807	32 53	- 5.730	- 6.526	- 0.771	- 1.191
Korodağ	36 14	+ 25.426	+ 23.898	32 18	+ 34.318	+ 33.538	+ 19.942	+ 19.492
Kızılıyokuş	36 44	+ 31.186	+ 30.655	31 40	+ 28.143	+ 27.371	+ 17.032	+ 16.592
Fazillar	37 53	+ 12.199	+ 10.660	30 10	+ 0.212	- 0.539	- 0.058	- 0.418
Tirmil T.	36 49	+ 27.707	+ 26.195	34 40	- 15.222	- 16.054	- 7.395	- 7.875

## EK I devamı

Silifke Fe.	36 14	+14.169	+12.652	33 57	-9.975	-10.786	-5.832	-6.312
Brenler	36 16	+25.223	+23.700	33 11	-10.867	-11.663	-6.437	-6.897
Hacıman	41 34	+ 0.751	- 0.767	33 43	-2.191	-3.058	-1.816	-2.346
Küçük Ilgaz	41 01	+ 3.169	+ 1.650	33 33	+1.133	+0.822	+0.822	+0.292
Şimal Bozkır	40 24	+ 4.142	+ 2.625	33 49	-4.938	-5.793	-2.916	-3.406
Abdiköy	39 06	+ 1.129	- 0.381	34 48	+ 2.047	+1.186	+0.606	+0.876
Kepez T.	39 05	+11.928	+10.412	34 00	+ 2.152	+1.309	+0.931	+0.421
Bademli T.	38 10	+ 3.753	+ 2.231	33 04	- 6.199	- 7.015	-4.268	-4.759
Mekedağ	37 35	+ 7.035	+ 5.515	33 34	- 2.959	- 3.777	-1.259	-1.739
Emen	37 51	+ 4.914	+ 3.400	34 29	+ 8.517	+ 7.677	+4.920	+4.420
Kazankaya	37 05	+11.871	+10.366	35 37	+ 8.541	+ 7.688	+3.793	+3.223
Söveğen	38 20	+ 5.460	+ 3.957	35 46	+ 7.419	+ 6.547	+4.803	+4.262
Çifttepeler	39 09	+ 5.868	+ 4.370	36 25	- 1.878	- 2.773	+0.003	-0.587
Elmaoğlu T.	38 59	+ 9.138	+ 7.635	35 41	+ 3.942	+ 3.063	+2.606	+2.046
Döme T.	41 25	- 2.665	- 4.176	34 44	-15.096	+15.984	-9.495	-10.075
Kavakpınar	41 36	-12.305	-13.807	35 51	-12.370	-13.286	-7.320	-7.940
Andırın Y.	40 51	- 7.488	- 8.989	36 00	- 6.187	- 7.096	-4.827	-5.417
Mercimet T.	40 21	+ 7.092	+ 5.592	36 11	- 1.466	- 2.373	-2.124	-2.764
Gelincik T.	40 08	+ 1.007	+ 0.434	34 39	+ 1.233	+ 0.362	+1.651	+1.091
Asardağ	37 11	+27.899	+26.362	30 42	- 5.024	- 5.780	-3.072	-3.462
Dumanlı T.	41 06	-17.388	-18.880	37 05	-11.050	-11.988	-8.356	-8.976
Boz T.	41 00	-18.021	-19.507	37 52	-11.955	-12.909	-6.536	-7.026
Divdik T.	40 12	+ 5.796	+ 4.313	38 12	- 3.511	- 4.460	-3.002	-3.642
Toprak T.	38 27	- 0.459	- 1.942	38 13	- 2.229	- 3.153	-1.540	-2.160
Kızılıyuca	38 50	+ 6.621	+ 5.132	37 33	- 4.303	- 5.218	-2.382	-3.002
B. Katrancı	36 55	+10.740	+ 9.243	36 39	- 3.932	- 4.804	-0.206	-0.776
Zirombi	36 54	+11.422	+ 9.933	37 35	- 7.271	- 8.160	-4.753	-5.363
Kuzdağ	37 43	+12.033	+10.545	37 44	-11.054	-11.958	-7.067	-7.697
Maltepe	36 13	+ 4.771	+ 3.272	37 20	- 4.390	- 5.247	-2.735	-3.335
Koyunkıran	37 00	+10.736	+ 9.258	38 51	-10.071	-10.986	-6.044	-6.674
Deği höyükü	37 14	+15.563	+14.098	40 10	- 2.308	- 3.253	+1.759	+1.059
Tilalo	37 57	+ 7.134	+ 5.671	40 19	- 2.931	- 3.890	-2.494	-3.204
Kızılabañ	38 51	+ 9.297	+ 7.831	40 03	+ 5.760	+ 4.793	+3.733	+3.033
Meryem T.	38 37	+ 5.049	+ 3.577	39 09	- 5.050	- 5.996	-2.850	-3.540

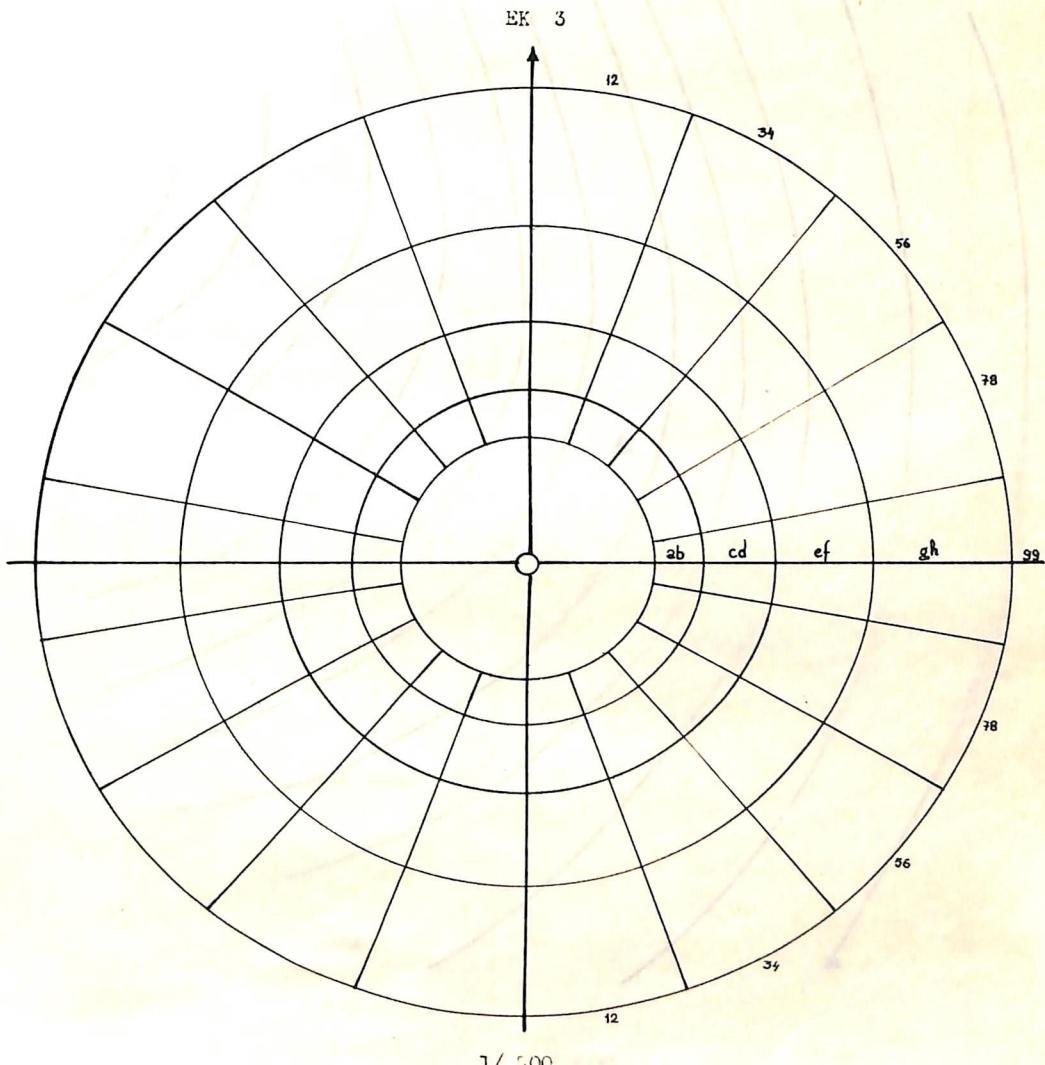
## EK I devamlı

Karadağ	39 55	+ 7.180	+ 5.705	39 08	- 1.250	- 2.215	- 1.086	- 1.756
Hurladağı	40 12	+ 1.368	- 0.101	39 40	- 1.708	- 2.691	- 0.949	- 1.649
Fahribaba	39 25	+ 4.876	+ 3.409	39 58	+ 0.221	- 0.753	+ 0.456	- 0.294
Karlak T.	40 58	- 33.108	- 34.577	39 41	- 12.623	- 13.617	- 6.828	- 7.538
Eşeksirti	40 15	+ 5.932	+ 4.472	40 36	- 2.544	- 3.556	- 1.959	- 2.689
Hasanbaba	40 00	+ 11.526	+ 10.077	41 42	- 5.155	- 6.175	- 2.698	- 3.478
Til doruğu	38 45	+ 10.301	+ 8.852	41 48	+ 3.072	+ 2.071	+ 4.000	+ 3.240
Mili ziyaret	38 56	+ 14.767	+ 13.309	40 52	- 3.938	- 4.924	- 1.759	- 2.499
Cumani	38 04	+ 12.742	+ 11.292	41 39	+ 2.930	+ 1.943	- 0.262	- 1.002
Seribiye	37 14	+ 17.171	+ 15.729	42 24	+ 2.136	+ 1.148	+ 2.806	+ 2.036
Kurik T.	37 33	+ 4.645	+ 3.193	41 24	- 3.359	- 4.333	- 1.824	- 2.584
Çiyareşk	37 42	+ 16.809	+ 15.378	43 28	+ 2.911	+ 1.895	+ 1.580	+ 0.840
Beresbi	37 39	+ 16.990	+ 15.669	44 18	- 5.053	- 6.084	- 2.448	- 3.288
Haravildağı	37 15	+ 3.898	+ 2.478	44 23	- 4.044	- 5.088	- 2.540	- 3.370
Zengin Zi.	38 57	+ 1.395	- 0.046	42 28	+ 0.978	- 0.040	+ 0.176	- 0.614
Karadağ	38 50	+ 1.487	+ 0.060	43 45	- 0.204	- 1.246	- 0.070	- 0.910
Çatal T.	37 29	+ 14.452	+ 12.901	20 37 46	- 5.929	- 6.627	- 2.743	- 3.023
Buzdağ	36 44	+ 20.472	+ 18.920	27 35	- 18.446	- 19.136	- 11.048	- 11.329
Çarikkuyu	37 24	+ 15.511	+ 13.965	28 51	+ 13.785	+ 13.065	+ 8.429	+ 8.109
Eren T.	36 38	+ 41.030	+ 39.484	28 50	+ 13.202	+ 12.487	+ 7.389	+ 7.079
Rahatdağ	37 07	+ 20.383	+ 18.841	29 49	+ 3.768	+ 3.030	+ 2.226	+ 1.886
Eflani	41 26	+ 4.588	- 6.110	32 58	- 0.239	- 1.086	+ 0.164	- 0.306
Dönekdağı	40 24	- 7.409	- 8.901	37 08	- 5.064	- 5.993	- 1.893	- 2.523
Höbekbaba	39 20	- 2.318	- 3.804	37 52	- 5.562	- 6.491	- 3.275	- 3.905
Keldağ	40 56	- 24.670	- 26.148	38 38	- 2.402	- 3.372	- 1.740	- 2.430
Ayna T.	40 58	- 30.041	- 31.502	40 29	+ 10.423	+ 9.412	+ 6.652	+ 5.902
Tiryaldağ	41 14	- 21.294	- 22.744	41 38	- 2.595	- 3.636	- 1.397	- 2.177
Emiroğlu	41 06	- 1.310	- 2.747	42 47	- 4.760	- 5.825	- 2.960	- 3.780
Karadağ 11028	40 24	+ 5.109	+ 3.661	41 48	- 4.185	- 5.215	- 3.100	- 3.870
Kekeninkaya	40 11	+ 18.180	+ 16.750	43 25	- 14.047	- 15.107	- 8.871	- 9.691
Kasımtığı	39 56	- 4.231	- 5.653	44 09	- 7.880	- 8.951	- 4.455	- 5.305
Şırhandağı	40 13	+ 6.144	+ 4.703	42 30	- 8.045	- 9.087	- 6.348	- 7.158
Erenler	40 34	+ 0.615	- 0.209	32 22	+ 0.613	- 0.209	+ 0.357	- 0.103
Bingöl		+ 8.044	+ 6.593		- 19.468	- 20.474	- 11.927	- 12.687

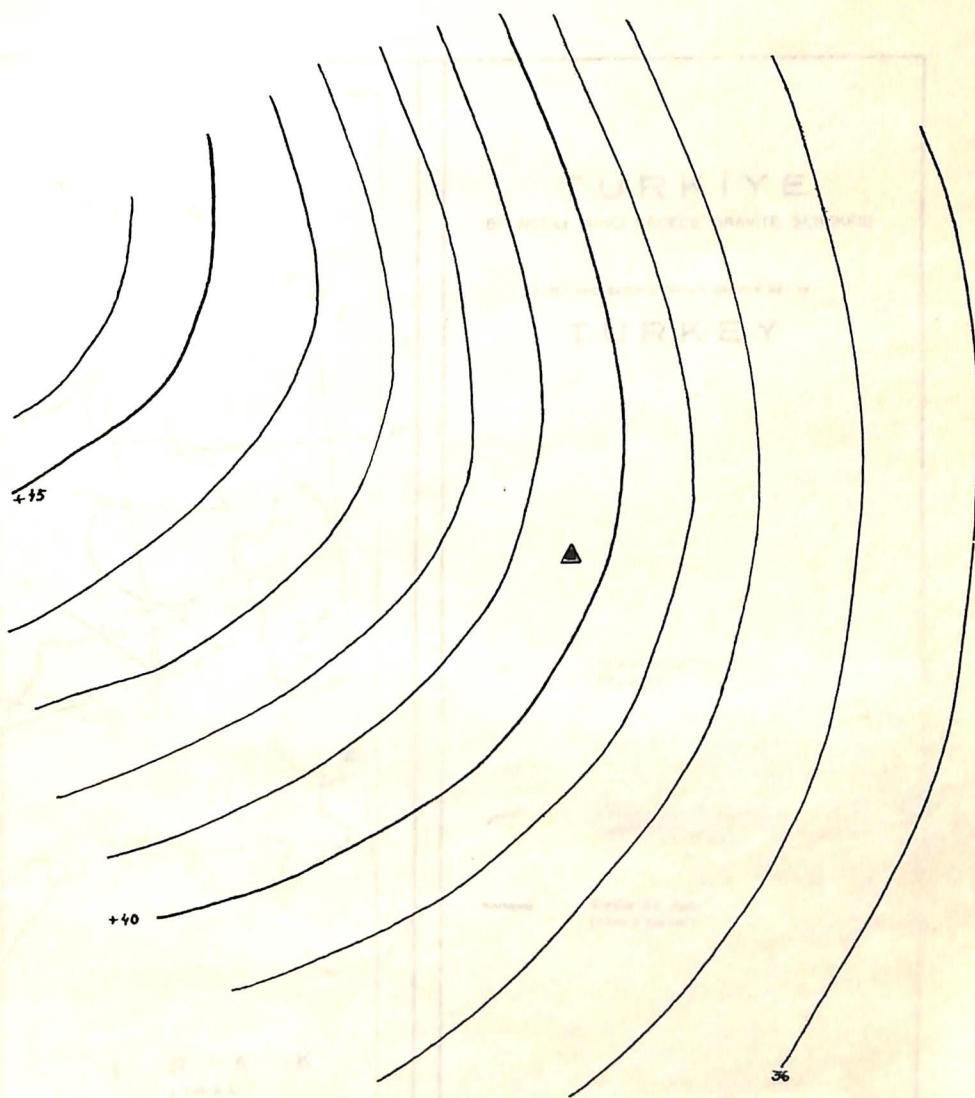


1/ 500

Kasansky- Lalive- Kiehhammer  
Sektör ve bölüm sınırlaması

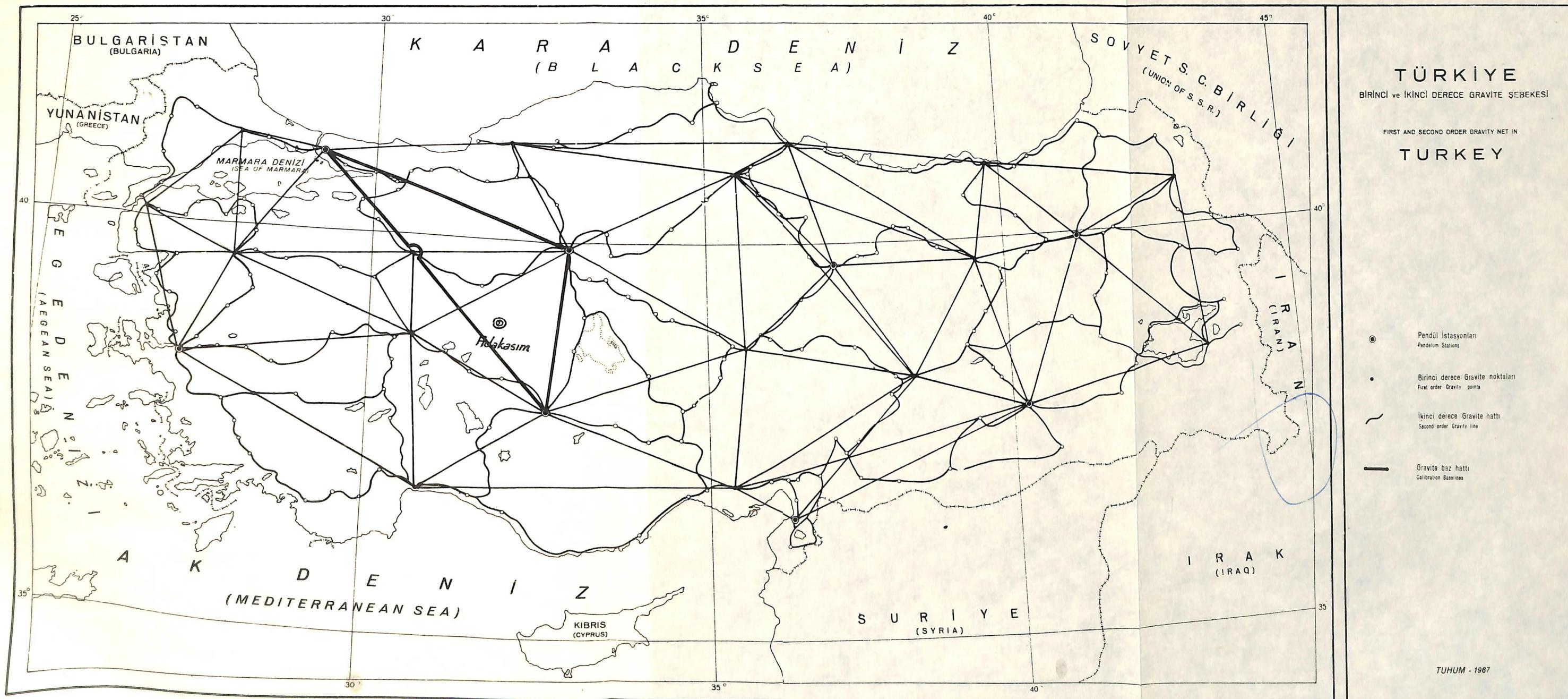


Mica - Reiskamen  
Sektör ve bölüm sınırlaması



1/ 500

Serbest hava anomalisi eğrileri  
( isogammen )



Eylül 1967 durumu.  
As at September 1967