

GRAVİMETRİK YEREY DOZELTMESİNİN
SAYISAL ARAZİ MODELİNDEN YARARLANARAK HESABI

Emin AYHAN
Muzaffer KAHVEÇİ

ÖZET

Gravimetrik yerey (arazi) düzeltmesini hesaplamak amacıyla kullanılan silindirik bölme, konik kabuk, dikdörtgen bölge, üçgen bölme ve FFT yöntemleri genel özellikleri ile kısaca gözden geçirilmektedir. Bu yöntemlerden silindirik bölme yöntemi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğünce (MTA) Hammer(1939)'da verilen ve Harita Genel Komutanlığınca Hayford-Bowie (1912)'de verilen kuşak ve bölmelere göre insangücü ile topoğrafik haritalardan yükseklik okunarak gravimetrik yerey düzeltmesi belirlemede kullanılmıştır. Bu çalışmada ise dikdörtgen bölme yöntemine dayalı 15" x 20" (450m x 450m) boyutlu nokta ve 5' x 5' lik ortalama yüksekliklerden oluşan sayısal arazi modelini kullanan bilgisayar yazılımı ile gravimetrik yerey düzeltmesi belirlenmektedir. Bu yöntemi test etmek amacıyla biri düz diğeri dağlık iki bölgede silindirik bölme ve dikdörtgen bölme yöntemleri ile bulunan gravimetrik yerey düzeltmeleri karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

The general properties of cylindrical prism, conical shell, rectangular prism, triangular prism and FFT methods to compute gravimetric terrain corrections are being reviewed briefly. The cylindrical prism method based upon templates prepared by Hammer (1939) and Hayford-Bowie (1912) has been used to compute gravimetric terrain corrections by the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) and the General Command of Mapping respectively. In these computations, mean heights of compartments manually scaled on topographical maps have been used. In this study, gravimetric terrain corrections are calculated by means of the program, called TC, based on rectangular prism method and the DTM consisting of heights at 15" x 20" (450mx450m) grid nodes and 5' x 5' mean heights. In order to test this method, gravimetric terrain corrections calculated separately by using rectangular and cylindrical prism methods in the moderate and the hilly areas have been compared.

1. GİRİŞ

Bozucu potansiyel T ve parametrelerini (Δg , N , ξ , η ,) belirlemek amacıyla geliştirilen Stokes ve Molodensky kuramlarında gravimetrik yerey düzeltmesinin (terrain correction) önemli bir kullanımı bulunmaktadır. Stokes kuramında jeoid dışında kitle bulunmaması ve ölçülerin jeoid yüzeyine indirgenmesi gerekmektedir. Fiziksel yeryüzünün Bouguer plakasından farklılığını oluşturan artık ve noksan kitlelerin gravite üzerinde toplam çekim etkisi olan gravimetrik yerey düzeltmesi (t_c) ve Bouguer plakası çekim etkisi gözönünde bulundurularak jeoid dışındaki topoğrafik kitlelerin toplam etkisi belirlenebilmektedir. Böylece jeoid dışında herhangi bir kitlenin bulunmadığı varsayımıyla jeoid üzerine indirgenin gravite ölçüleri Stokes ve Vening-Meinesz eşitliklerinde kullanılarak bozucu potansiyel ve parametreleri bulunur. Ayrıca bu yolla yükseklikle korelasyonu büyük ölçüde giderilen indirgenmiş ölçülerle yapılan prediksyonun doğruluğu da artmaktadır (Heiskanen-Moritz, 1967; Kraiger-Sünkel, 1983).

Molodensky kuramında bozucu potansiyel ve parametreleri belirlenirken, gravite ile yükseklik arasında doğrusal korelasyon bulunduğu varsayılarak fiziksel yeryüzündeki gravite ölçülerine getirilecek birinci dereceden düzeltme g_1 yerine gravimetrik yerey düzeltmesi t_c kullanılabilir (Moritz, 1980). g_1 'in hesabında gravite ve yüksekliklerin kombinasyonu ile hesaplama gerekliliğine rağmen t_c için yalnızca yükseklikler kullanılmaktadır. Yükseklikler gravite ölçülerine göre daha düzenli ve sık olduğundan hesaplamada büyük bir hız sağlanmaktadır.

Gravimetrik yerey düzeltmesinin yukarıda belirtilen jeodezik uygulamalarına ek olarak jeofizik'te de önemli kullanım alanı bulunmaktadır. Jeofizik amaçlı gravite ölçülerine herhangi bir düzeltme getirilmeden önce gravimetrik yerey düzeltmesi getirilmekte ve bu ölçüler kabuk içinde yoğunluk belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Hammer, 1939).

Jeodezik ve jeofizik amaçlarla farklı doğrulukta gravimetrik yerey düzeltmesi kullanılmaktadır. Jeofizik amaçla hesap noktasından belirli uzaklıktaki topoğrafya yeterli olmasına karşılık jeodezik amaçlarla daha geniş bölgedeki topoğrafyanın dikkate alınması gerekmektedir. Değişik doğrulukta ve değişik uzaklıktaki topoğrafik kitlelerden yararlı gravimetrik yerey düzeltmesi belirleyen çok sayıda yöntem geliştirilmiştir (Hayford-Bowie, 1912; Hammer, 1939; Stacey-Stephens, 1970; Danes, 1982; Blais-Ferland, 1984; Sideris, 1984;

Pick, 1987; Sprenkle, 1989). Bu yöntemlerden silindirik bölme, konik kabuk, dikdörtgen bölme, üçgen bölme ve FFT yöntemleri genel özellikleri ile ikinci bölümde açıklanmaktadır.

Türkiye'de mevcut 62250 gravite ölçü noktasında, daha çok jeofizik amaçla Hammer (1939)'daki yöntemle, İç Anadolu Bölgesinde yer alan yaklaşık 4500 noktada Hayford-Bowie (1912)'de verilen yöntem ile gravimetrik yerey düzeltmesi belirlenmiştir. Her iki yöntem insan gücüne ve topoğrafik haritalardan yükseklik okumaya dayalıdır. Hem bu yöntemlerle hesaplananları, hemde son yıllarda sağlanan Türkiye'nin 15" x 20" sıklıklı sayısal arazi modeli ile bilgisayarda hesaplanan gravimetrik yerey düzeltmelerini birbiriyle karşılaştırmak amacıyla, biri düz diğeri dağlık iki bölgede sayısal uygulama yapılmış ve üçüncü bölümde açıklanmaktadır. Çalışma içinde gravimetrik yerey düzeltmesinden yalnızca yerey düzeltmesi ismi ile söz edilecektir.

2. YEREY DÜZELTMESİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Önceleri insan gücüne dayalı yöntemler geliştirilip kullanılmış olmasına karşılık mühendislik uygulamalarında bilgisayarın yaygın kullanılması paralelinde bilgisayar yazılımları ile yerey düzeltmesi hesaplamaya uygun yöntemler geliştirilmiş olup genel bir derleme Stacey-Stephens (1970)'de verilmektedir. Hesap noktası çevresindeki topoğrafyanın temsil edilme biçimine (silindirik bölme, dikdörtgen bölme, konik kabuk, üçgen bölme v.b.) ve hesaplama hızına bağlı olarak oluşturulan yerey düzeltme yöntemleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

a. Silindirik Bölme Yöntemi

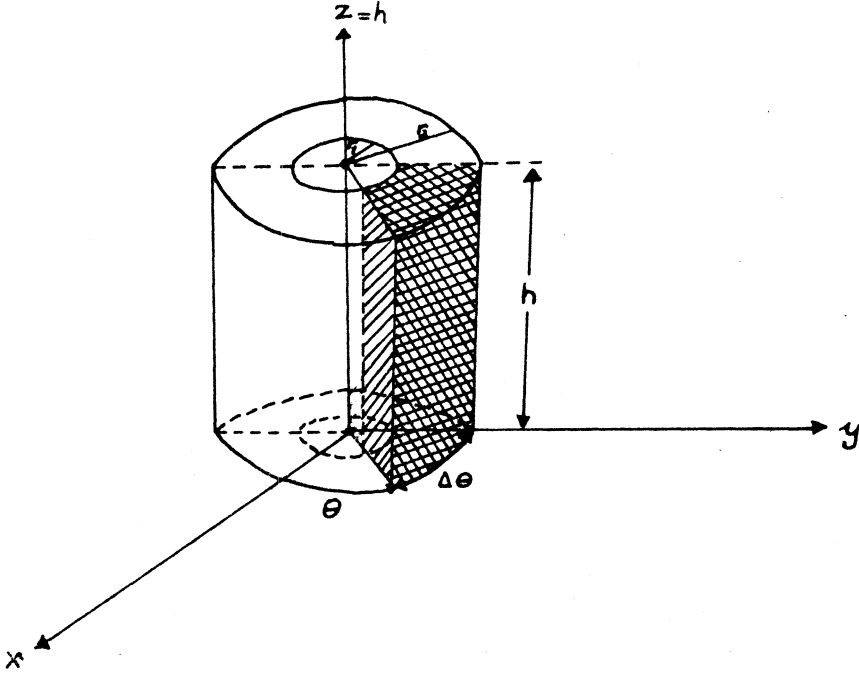
Bu yöntemde yerey düzeltmesi, düşey silindir çekim etkisinden yararla elde edilen formüle göre hesaplanmaktadır. Şekil-1'de gösterilen (r,θ,h) silindirik koordinat sisteminde "r₁" iç ve "r₂" dış yarıçaplı, Δθ radyal açılı ve h yükseklikli i nci silindirik bölmenin, silindir eksenindeki P noktasında t_{c_i} çekim etkisi;

$$t_{c_i} = G_p \int_0^{\Delta\theta} \int_0^h \int_{r_1}^{r_2} \frac{zr \, dr \, dz \, d\theta}{(r^2+z^2)^{3/2}} \quad (2.1)$$

ve integralin açılımı yapıldığında;

$$t_{c_i} = G\rho\Delta\theta \left[(r_1^2 + h^2)^{1/2} - (r_2^2 + h^2)^{1/2} + (r_2 - r_1) \right] \quad (2.2)$$

ile elde edilir (Hammer, 1939; Heiskanen-Moritz, 1967). Burada; G Newton çekim sabiti ve ρ bölme ortalama yoğunluğudur.



Şekil-1: Silindirik Bölme.

Hesaplamalarda zaman kazanmak amacıyla (2.2) eşitliğine göre belirli yarıçap ve bölme ortalama yüksekliğine bağlı olarak yerel düzeltme değerleri Hayford & Bowie (1912) ve Hammer (1939;1982)'de tablolar halinde verilmektedir. Hammer (1939)'da verilen tablolar dağlık bölgelerde hesaplamaya uygun olacak biçimde daha sonra Douglas-Prahl (1972)'de genişletilmiştir.

Bu tablolar veya (2.2) eşitliği kullanılarak bir noktada yerel düzeltmesini bulmak için öncelikle ilgili bölgenin topoğrafik bir haritasına gerek vardır. Yerel düzeltmesi hesaplanacak noktayı çevreleyen topoğrafya, ortak merkezli iç içe dairelerle sınırlandırılan kuşaklara ve her kuşak da merkezden çizilen radyal çizgilerle bölmelere ayrılır. Kuşakların yarıçapları ve bölme sayıları;

- * Hesaplama için gerekli zamana
- * Bölmenin ortalama yüksekliğinin duyarlığına ve
- * Varsayımların uygunluğuna

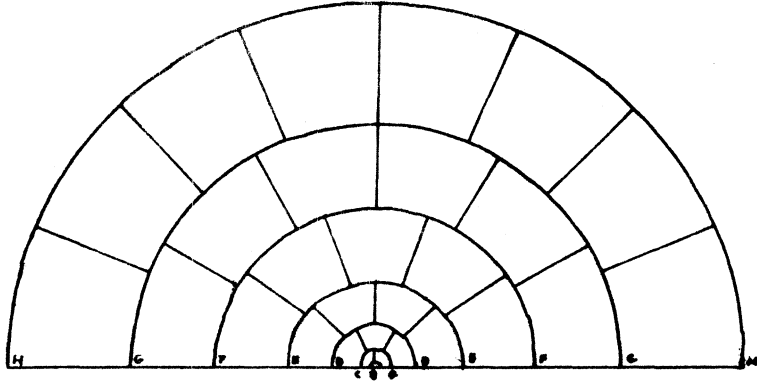
göre bulunur (Hayford-Bowie, 1912). Söz konusu kuşak ve bölmeler harita ölçeğine uygun olarak geçirgen altlık üzerine çizilir (Şekil-2). Nokta hazırlanan bu altlığın merkezine ve referans çizgisinde meridyenle çakıştırılarak topoğrafik harita üzerine yerleştirilir ve her bölmede ortalama yükseklik h okunur.

Daha sonra noktanın yüksekliğinden yararlanarak bölmeler için hesaplanan Δh yükseklik farklarına karşılık gelen tc_i yerey düzeltme değerleri tablodan veya (2.2) eşitliği ile bulunur. Bölmelerin tc_i etkileri toplanarak noktadaki yerey düzeltme tc bulunur.

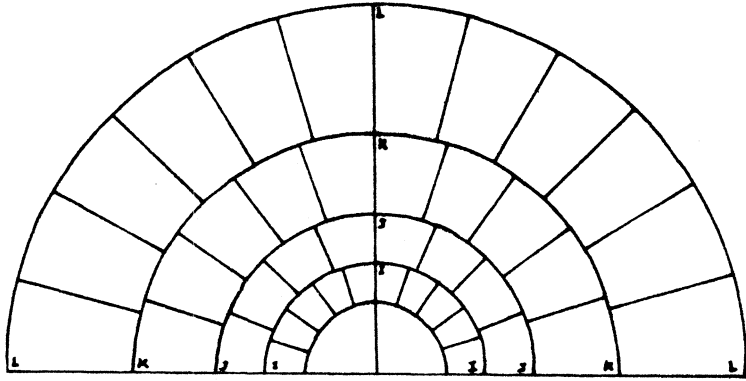
(Hammer (1939)'da verilen tablo; B'den M'ye kadar harflerle isimlendirilen kuşaklarda yeralan 150 bölmeden oluşmaktadır. Bu tablolar hazırlanırken yer küreselliği dikkate alınmamış olup bir noktada tc değeri 1/2-1 saat'lik sürede 0.1 mgal doğrulukla belirlenebilmektedir (Hammer, 1939). Daha duyarlı çalışmalarda kullanmak amacıyla Hammer (1939)'da verilen B,C ve D kuşakları alt kuşaklara ayrılmıştır. Oluşturulan bu ayrıntılı kuşakların iç ve dış yarıçapları ile bölme sayıları tablo-1'de verilmektedir (Hammer, 1939;1982). Hammer (1939;1982)'de verilen tabloların hazırlanmasında ortalama yoğunluk (ρ) 2.0 gr/cm³ alınmış olup başka bir ρ_0 yoğunluğu ile çalışıldığında tablo değerlerinin (ρ_0/ρ) ile çarpılması yeterlidir.

Hayford-Bowie (1912)'de verilen tablolar hazırlanırken ise tüm yeryüzü toplam 317 bölmeye ayrılmış, A'dan O'ya kadar harflendirilen 15 kuşak'ta 199 bölme, 18'den 1'e kadar numaralandırılan 18 kuşak'ta ise 118 bölme bulunmaktadır. A ile O kuşaklarının iç ve dış yarıçapları ile her kuşaktaki bölme sayısı tablo-2'de verilmektedir. Yerey düzeltmesi hesaplanırken A'dan O'ya kadar harflendirilen kuşaklar kullanılmakta olup yer küreselliği yalnızca M,N ve O kuşakları için dikkate alınmaktadır. Hayford-Bowie (1912)'de verilen tablolar'da yoğunluk 2.67 gr/cm³ alınmıştır.

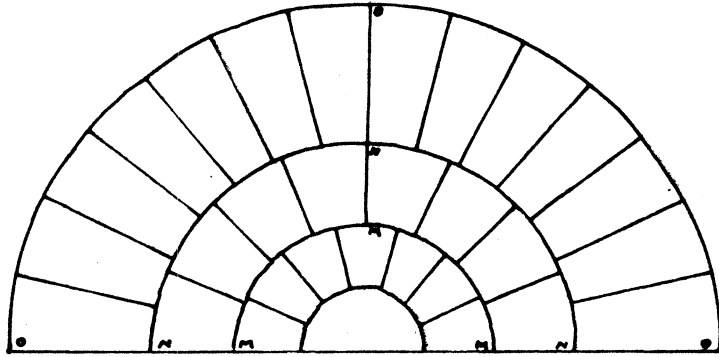
Yukarıda açıklanan Hayford-Bowie (1912) ve Hammer (1939)'da verilen silindirik bölme çekim etkilerini hesaplamada kullanılan tablolar silindirik bölme üst yüzeyleri yatay düzlem varsayımlarıyla hazırlanmıştır. Topoğrafik yapının bölmelerde eğimli olması nedeniyle daha iyi yaklaşım Campbell (1980)'de olduğu gibi, silindirik bölme üst yüzeylerinin eğimli düzlem varsayılması veya bölmelerdeki topoğrafyanın konik prizmalarla temsil edilmesiyle sağlanabilir (Hammer, 1939; Olivier-Simard, 1981).



a) Küçültülmüş Ölçek: 1/25 000



b) Küçültülmüş Ölçek: 1/200 000



c) Küçültülmüş Ölçek: 1/800 000

Şekil-2 : Kuşak ve Bölmeler (Hayford-Bowie, 1912)

TABLO-1 : Hammer (1939;1982) ve Hayford-Bowie (1912) kuşakları

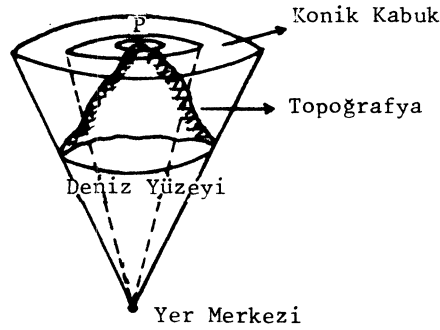
KUŞAK	HAMMER (1939;1982)			HAYFORD-BOWIE (1912)		
	İÇ YARIÇAP (METRE)	DIŞ YARIÇAP (METRE)	BÖLME SAYISI	İÇ YARIÇAP (METRE)	DIŞ YARIÇAP (METRE)	BÖLME SAYISI
A	-	-	-	0	2	1
B	-	-	-	2	68	4
B1	2.0	4.0	4	-	-	-
B2	4.0	8.2	4	-	-	-
B3	8.2	16.6	4	-	-	-
C	-	-	-	68	230	4
C1	16.6	29.7	6	-	-	-
C2	29.7	53.3	6	-	-	-
D	-	-	-	230	590	6
D1	53.3	95.0	6	-	-	-
D2	95.0	170.0	6	-	-	-
E	170.0	390.1	8	590	1280	8
F	390.1	894.9	8	1280	2290	10
G	894.9	1529.5	12	2290	3520	12
H	1529.5	2614.6	12	3520	5240	16
I	2614.6	4468.9	12	5240	8440	20
J	4468.9	6652.6	16	8440	12400	16
K	6652.6	9902.9	16	12400	18800	20
L	9902.9	14741.7	16	18800	28800	24
M	14741.7	21944.4	16	28800	58800	14
N	-	-	-	58800	99000	16
O	-	-	-	99000	166700	28

Grafik yöntemin kullanılmasındaki en yorucu aşama bölme ortalama yüksekliklerinin belirlenmesidir. Ortalama yükseklikler,

- * Topoğrafik harita üzerinden,
- * İnterpolasyonla (Krohn,1976;Pick,1987;Cogbill,1989) veya
- * Doğrudan ölçü

ile bulunur. Bu seçeneklerden en uygunu grid köşelerinde sayısallaştırılmış topoğrafik yüksekliklerden yararlanılarak silindirik bölme ortalama yüksekliklerinin interpolasyonla bulunduğu seçenektir.

b. Konik Kabuk Yöntemi

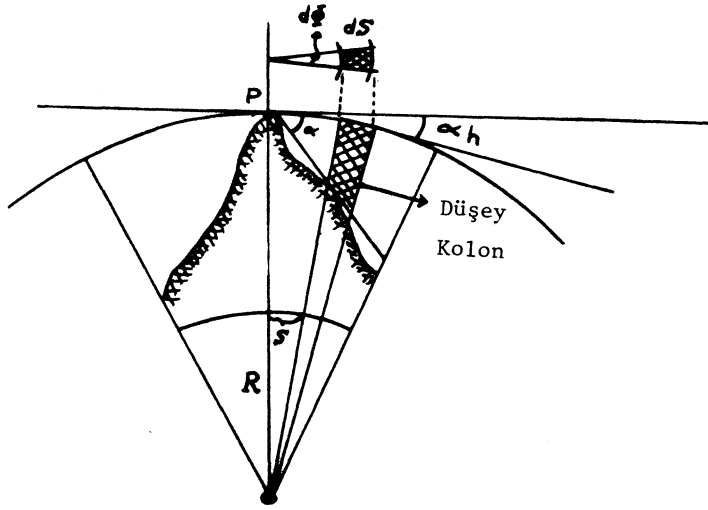


Şekil-3: Konik Kabuk

Gravite istasyonunu çevreleyen ortak eksenli konik kabuklar istasyon noktasında bir çekim etkisi yaratır. Yerrey düzeltme hesabı için P noktasından geçen düzlem ile topoğrafya arasında kalan hacim; P noktasındaki düşey eksen simetri eksenine ve yerin merkezi tepe noktası olan iç içe koniler ile konik kabuklar biçiminde dS genişlikli kuşaklar ve P noktasından yatay doğrultudaki $d\phi$ aralıklı radyal doğrultularla bölmelere ayrılır. Böylece topoğrafya $dS \times d\phi$ boyutlu yerin merkezine yönelik düşey kolonlar (bölmeler) ile temsil edilmektedir (Şekil-4)

Bir düşey kolonun P noktasında yarattığı yerrey düzeltme etkisi tc_i ;

$$tc_i = G\rho (\cos\alpha_h - \cos\alpha) d\phi dS \quad (2.3)$$



Şekil-4: Düşey Kolonlar

ile belirlenir. Burada $\text{Cos}\alpha_h = S/2R$ ve $\text{Cos}\alpha$ istasyon noktası ile topoğrafik yüzey arasındaki eğimi belirtmektedir. (2.3) eşitliğinden yararlar P noktasındaki toplam yerel düzeltme t_c ;

$$t_c = \int_0^S dS \int_0^{2\pi} G_p \left(\text{Cos} \frac{S}{2R} - \text{Cos}\alpha \right) d\phi \quad (2.4)$$

ile elde edilir. Burada

$$\bar{y} = 2\pi G_p \left(\text{Cos} \frac{S}{2R} - \text{Cos}\alpha \right) \quad (2.5)$$

olmak üzere (2.4) eşitliği,

$$t_c = \int_0^S \bar{y} dS \quad (2.6)$$

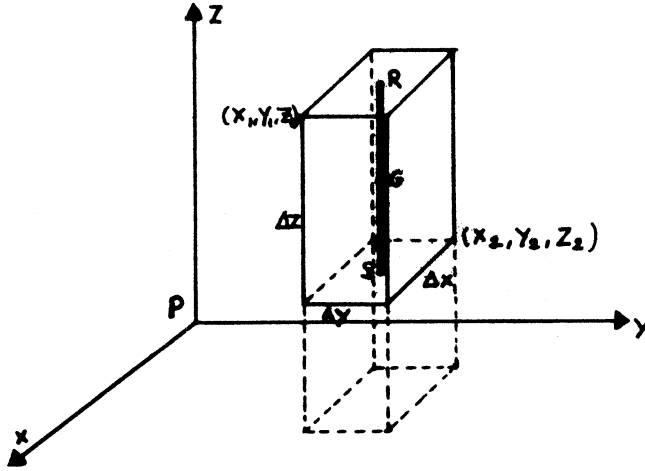
olarak yazılabilir. (2.6) eşitliğindeki \bar{y} değeri istasyon noktasından eşit uzaklıktaki topoğrafyayı kapsayan bir konik kabuğun (2.5) eşitliği ile hesap-

lanan toplam çekim etkisini göstermekte olup uzaklığın bir fonksiyonudur. Hesaplamalarda kolaylık sağlamak amacıyla, istasyon noktası çeyresi belirli yarıçaplı kuşaklara ayrılır. Her kuşağa ait ortalama çekim etkisi \bar{y} bulunur ve bunlara uyan bir fonksiyon tanımlanır. \bar{y} değerleri bulunduktan sonra (2.6) eşitliğindeki integral, sayısal veya analitik yöntemle çözülür ve tc yerey düzeltmesi bulunur (Mathisen,1976).

c. Dikdörtgen Bölme Yöntemi

(1) Üst Yüzeyi Düz Dikdörtgen Bölme

Bu yöntemde, topoğrafya, kenarları koordinat eksenlerine paralel dikdörtgen bölmelerden oluşan bir model ile temsil edilmektedir (Şekil-5).



Şekil-5 : Dikdörtgen Bölme

(x,y,z) dik koordinat sisteminin merkezinde bulunan P istasyon noktasında bir dikdörtgen bölmenin çekim etkisi tc ;

$$tc_i = G_0 \int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{z \, dx \, dy \, dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.7)$$

ile yazılır. (2.7) eşitliğindeki integral çözüldüğünde,

$$l^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

olmak üzere;

$$tc_i = G\rho \left[\begin{array}{c} \left| \right. \\ \left| \right. \\ \left| \right. \end{array} \right] x \ln(y+l) + y \ln(x+l) - z \arcsin \frac{z^2 + y^2 + z \ell}{(y+l) \sqrt{y+z}} \left[\begin{array}{c} z_2 \\ y_2 \\ x_2 \\ \hline z_1 \\ y_1 \\ x_1 \end{array} \right] \quad (2.8)$$

bulunur (Nagy, 1966,1966a; Banerjee-Gupta,1977; Ayhan, 1981; Forsberg, 1984).

Topoğrafya'yı oluşturan dikdörtgen bölmelerin P noktasındaki çekim etkileri ayrı ayrı hesaplanıp toplanır ve toplam yerey düzeltmesi tc bulunur. Bu değer in doğruluğu topoğrafya'nın dikdörtgen bölmeler ile uygun temsil edilmesine bağlıdır. Bu amaçla istasyon noktasından uzaklaştıkça bölmelerin boyutu büyümek üzere uygun bölme boyutlarının belirlenmesi önem kazanmaktadır.

Hesap noktasından uzaktaki kitlelerin çekim etkileri küçük olduğundan, topoğrafik yapının uzak bölge için detaylı biçimde belirlenmesine gerek yoktur. Uzak bölgede yeralan bölmeler için (2.8)'de verilen tam formüllerin kullanılması hesaplama zamanı açısından uygun olmadığından daha basit ve yaklaşık formüllerin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla dikdörtgen prizmanın çekim etkisini hesaplamak için (2.7) ve (2.8) eşitlikleri ile bulunan tam çözüme ek olarak nokta kitle ve çizgi kitle yaklaşık yöntemler kullanılmakta olup aşağıda bu yöntemler kısaca açıklanmaktadır.

(a) Nokta Kitle Yöntemi

(x,y,z) dik koordinat sisteminde oluşturulan dikdörtgen bölme toplam kitesinin (x,y,z) koordinatlı Q bölme ağırlık merkezinde yoğunlaştırıldığı düşünülürse (2.7) eşitliği

$$tc_i = \frac{G\rho \Delta x \Delta y \Delta z \bar{z}}{(\bar{x}_i^2 + \bar{y}_i^2 + \bar{z}_i)} \quad (2.9)$$

biçimine dönüşür. Burada $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ dikdörtgen bölmenin boyutlarını göstermektedir.

Dikdörtgen bölmenin çekim etkisini veren bir diğer yaklaşık eşitlik, bölme çekim potansiyeli V küresel harmonik serilere açılıp

$$V = G\rho \Delta x \Delta y \Delta z \left\{ \frac{1}{\ell} + \frac{1}{24\ell^5} \left[(2\Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2) \bar{x}^2 + (-\Delta x^2 - 2\Delta y^2 - \Delta z^2) \bar{y}^2 + (-\Delta x^2 - \Delta y^2 + 2\Delta z^2) \bar{z}^2 \right] \right\} \quad (2.10)$$

$$+ \frac{1}{288 \ell^3} \left[\dots + \dots + \dots \right] + \dots \}$$

$$tc_i = \frac{\partial V_i}{\partial z} \quad (2.10a)$$

ile bulunabilir (MacMillan,1958). (2.10) eşitliğindeki ilk terim nokta kitle çekim potansiyeli olup bölme boyutlarının birbirinden farklı olmasının etkisi diğer toplam terimlerde gözönünde bulundurulmaktadır.

(b) Çizgi Kitle Yöntemi

Bu yaklaşık yöntemde dikdörtgen bölme kitlelerinin, bölme ortasından geçen R,S noktaları arasındaki düşey çizgi boyunca yoğunlaştırıldığı düşünülür ve (2.7) eşitliğindeki integral yalnızca "z" için çözülür. Buna göre $\Delta x, \Delta y, \Delta z = \Delta h$ boyutlu dikdörtgen bölmenin çizgi kitle yöntemiyle çekim etkisi,

$$tc_i = G\rho \Delta x \Delta y \int_z^{z_2 = \Delta h_i} \frac{z dz}{\ell^3} \quad (2.11)$$

ile verilir.

(2) Üst Yüzeyle Eğimli Dikdörtgen Prizmalar

Üst yüzeyi eğimli düzlem kabul edilen dikdörtgen bölme gerçek yapıya daha uygundur ve x,y,z dik koordinat sisteminin başlangıç noktasında yer alan P hesap noktasında yarattığı çekim kuvvetinin düşey bileşeni tc_i ,

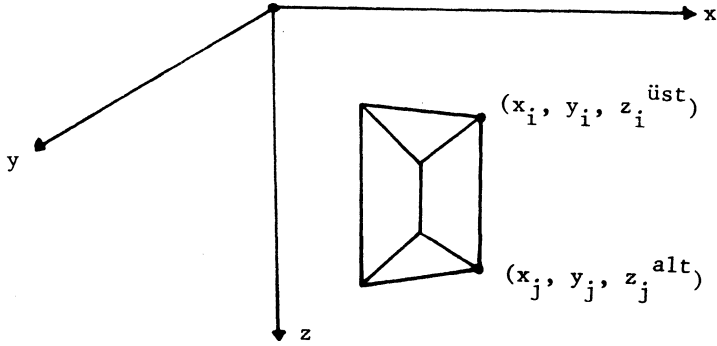
$$tc_i = G\rho \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2 + \alpha x + \beta y} \frac{z dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.12)$$

ile belirlenir. Burada $z_2 + \alpha x + \beta y$ bölmenin eğik üst yüzeyini temsil etmekte olup α ve β katsayıları bölme köşe yüksekliklerinden yararlı bulunmaktadır (Blais,v.d., 1983; Blais-Ferland, 1984; Sideris, 1984).

d. Üçgen Bölme Yöntemi

Bu yöntemde topoğrafya üçgen bölmelerle temsil edilmektedir. Şekil-6'da üst ve alt yüzeyi eğimli üçgen bölme gösterilmekte olup bu hacim beş düzlem

(üçü düşey ve ikisi eğimli) veya altı nokta ile temsil edilebilir. Üst yüzeyin köşe noktaları $(x_i, y_i, z_i^{\text{üst}})$ ve alt yüzeyin köşe noktaları $(x_j, y_j, z_j^{\text{alt}})$, $i, j=1,2,3$ ile gösterilirse,



Şekil-6 : Üçgen Bölme

eğimli üst ve alt yüzeyler sırasıyla

$$z = a_1 x + a_2 y + a_3 \quad (2.13)$$

$$Z = A_1 X + A_2 Y + A_3 \quad (2.14)$$

ile belirlenir. Bölmenin düşey yanal yüzeyleri için de,

$$y = m_i x + n_i \quad (2.15)$$

yazılabilir. (2.13), (2.14) ve (2.15)'den yararlar Şekil-6'da tanımlı (x,y,z) koordinat sisteminin P başlangıç noktasında üçgen bölme çekim etkisi tc_i ;

$$tc_i = G_p \sum_{k=1}^3 \int_{x_k}^{x_{k+1}} \int_{y_k}^{m_k x + n_k} \int_{A_1 X + A_2 Y + A_3}^{a_1 x + a_2 y + a_3} \frac{z \, dx \, dy \, dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.16)$$

integral'i ile belirlenmekte olup bu eşitliğin bir çözümü Woodward (1975)'de verilmektedir. Üçgen bölme için diğer bir çözüm Zhou, v.d. (1990)'da bulunabilir.

e. FFT (Fast Fourier Transform) Yöntemi

S referans düzleminde tanımlı dik koordinat sistemi (x,y) olmak üzere bir g(x,y) fonksiyonunun 2-D Fourier dönüşümü (F{.});

$$G(u,v) = F\{g(x,y)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x,y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy \quad (2.17)$$

ve 2-D ters Fourier dönüşümü (F⁻¹{.});

$$g(X,Y) = F^{-1}\{G(u,v)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G(u,v) e^{j2\pi(ux+vy)} dx dy \quad (2.18)$$

ile verilir. Burada G(u,v) , g(x,y) fonksiyonunun spektrumu,u,v frekanslar, j=√-1 ve e=2,71828... anlamındadır.

h Referans düzleminde olan yükseklik olmak üzere (x,y) dik koordinat sisteminde bir P(x_p , y_p) noktasındaki yerey düzeltme değeri;

$$t_{c_p} = \frac{1}{2} G_p \iint_S \frac{[h(x,y)-h(x_p,y_p)]^2}{[(x-x_p)^2+(y-y_p)^2]^{3/2}} dx dy \quad (2.19)$$

olarak yazılır (Moritz,1980; Sideris,1985). Bu eşitlik Fourier dönüşümü uygulanarak düzenlenirse

$$t_{c_p} = \frac{1}{2} G_p \left[F^{-1} \{N(u,v)R(u,v)\} - 2h(x,y)F^{-1} \{H(u,v)R(u,v)\} + n(x,y)R(0,0) \right] \quad (2.20)$$

uygulama eşitliği elde edilir. Burada,

$$N(u,v) = F\{h^2(x,y)\} \quad (2.21)$$

$$H(u,v) = F\{h(x,y)\} \quad (2.22)$$

$$R(u,v) = F\{[(x-x_p)^2 + (y-y_p)^2]^{3/2}\} \quad (2.23)$$

ile tanımlıdır. Ancak yükseklikler grid köşelerinde verildiğinde N,H ve R için (2.17) ile verilen sürekli spektrum yerine ayırık spektrum, ayırık Fourier dönü-

şümü ile elde edilir. Bu durumda (2.19) eşitliğine FFT uygulanarak uygulama eşitliği bulunur ve bu da çizgi kitle çekim etkisine karşılık gelmektedir(Sideris, 1984,1985; Forsberg, 1985).

3. SAYISAL UYGULAMA

Türkiye'de gravite ölçüleri jeofizik ve jeodezik amaçlarla değişik kuruluşlarca ve başka amaçlarla yapılmakta olup yerey düzeltmesi benzer ancak farklı nitelikli yöntemlerle hesaplanmaktadır. Jeodezik amaçla gravite ölçüsü yapılan Harita Genel Komutanlığı'nda yerey düzeltmesi Hayford-Bowie (1912)'de verilen kuşak ve bölmelere uygun silindirik bölme yöntemiyle hesaplanmaktadır. Bu amaçla 1/25 000, 1/200 000 ve 1/800 000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinden uygun geçirgen altlıklar yardımıyla silindirik bölme ortalama yükseklikleri okunmaktadır. Noktadan 166.7 km uzaklık içinde kalan bölmelerin çekim etkileri tablolar ile hesaplanıp toplanarak yerey düzeltmesi bulunmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde yeralan yaklaşık 4500 gravite ölçü noktasında yerey düzeltmesi insangücüne dayalı olarak bu yöntemle bilirlenmiştir. Silindirik bölme yöntemi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğünce (MTA) jeofizik amaçlarla biraz daha değişik bir biçimiyle yerey düzeltmesi hesabında kullanılmaktadır. Hammer (1939;1982)'de verilen J kuşağına kadar kuşak ve bölmelerin sıklaştırılmasıyla oluşturulan yeni bölmelerde ortalama yükseklikler topoğrafik haritalar üzerinden okunmaktadır. Ortalama yükseklikleri bulunan silindirik bölmelerin çekim etkileri tablolardan belirlenip toplanarak yerey düzeltmesi bulunmaktadır. Bu çalışmalarda ortalama yoğunluk 2.4 gr/cm alınmış ve ayrıca noktadan 6.65 km(Jkuşağı dış sınırı) uzaklık içinde kalan kitlelerin çekim etkileri gözönünde tutulup uzak bölge etkisi yok kabul edilmiştir. Bu yöntemle Türkiye'ye dağılmış yaklaşık 62250 gravite ölçü noktasında yerey düzeltmesi belirlenmiştir.

Yukarıda sözedilen çalışmalarda kullanılan silindirik bölme yöntemi her noktada bölmeler değişik olduğundan ortalama yüksekliklerin insangücü ile topoğrafik haritalar üzerinden okunmasını gerektirir. Böylece aynı bölgede ortalama yükseklikler harita üzerinden çok kez okunmakta ve bu da insangücü ve zaman kaybına neden olmaktadır. Hesap bölgelerinde sayısal arazi modeli mevcut olması durumunda uygun yazılımlar ile bilgisayarda bölme ortalama yüksekliklerini belirlemek mümkündür, ancak bu da fazladan zaman ve işlem gerektirir.

Silindirik bölme yöntemiyle insangücü kullanılarak yapılan bu çalışmalardan ilkinde daha büyük bölmeler noktadan 166.7 km uzaga diğerinde ise daha

küçük bölmeler noktadan 6.65 km uzaklığa kadar kullanıldığından belirlenen yeray düzeltmelerinde farklılık olmaktadır. Ayrıca yoğun insangücü ve uzun zaman gerektirdiğinden, sayısal arazi modelini kullanan, bilgisayarda uygulanabilen yöntemlerin kullanılması uygun görülmektedir. Daha önce yapılan bir çalışma ile 34° 30' - 42° 30' enlemleri ve 25° 30' - 45° 00' boylamları arasında kalan Türkiye topoğrafyası 15" x 20" (450m x 450m) grid köşelerinde sayısallaştırılıp sayısal arazi modeli kütüğü hazırlanmıştır. Sözkonusu kütükte bir paralel daire üzerinde doğrudan batıya 3510 adet yükseklik verisi bir kayıt'ta yer almakta ve kuzeyden güneye doğru paralel daireler üzerinde toplam 1920 kayıt bulunmaktadır. Ayrıca 5' x 5' ortalama yükseklikleri içeren yeni bir kütük daha hazırlanmış olup ortalama yükseklikler 5' x 5' lık bölmeye giren 15" x 20" sıklıklı yüksekliklerin aritmetik ortalamasıyla bulunmuştur.

Yukarıda özellikleri kısaca açıklanan sayısal arazi modeli ile herhangi bir noktada yeray düzeltmesi hesaplamak amacıyla Forsberg (1984)'de verilen TC isimli yazılım VAX - 11/780 bilgisayarına uyarlanıp düzenlenmiştir. Sözkonusu yazılım ile yeray düzeltmesi hesaplanırken topoğrafya dikdörtgen bölmelere ayrılmakta ve bölmelerin noktaya olan uzaklığına bağlı olarak çekim etkileri (2.8),(2.9) veya (2.10-a) eşitlikleri ile bulunmaktadır. Hesap noktası çevresindeki topoğrafya iç, orta ve dış olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Sözkonusu bölgelerin genişlikleri konusunda değişik öneriler bulunmakta olup bazı araştırmacılarca uygulanan bölge genişlikleri tablo-2'de sergilenmektedir.

Tablo-2: Bölge Dış Yarıçapları

K A Y N A K	İÇ (km.)	ORTA (km.)	DIŞ (km.)
Hayford-Bowie	--	--	166.70
Hammer, (1939)	--	--	21.70
Stacey-Stephens, (1970)	2.5	--	25.00
Mathisen, (1976)	0.068	3.52	166.70
Danes, (1982)	--	--	52.60
Blais-Ferland, (1983)	2.0-3.0	10.0-12.0	50.0-100.0
Sideris, (1984)	--	--	20.00
Pick, (1987)	0.6	--	166.70
Pick, (1987)	5.24	--	166.70
Cogbill, (1990)	2.0	--	--
Sprenke, (1989)	--	--	167.00
Ballina, (1990)	1.0	--	20.00

Bu çalışmada uygun bölge genişliklerini belirlemek amacıyla değişik bölge sınırları ile uygulama yapılmıştır. İç bölge sınırı hesap noktasını içeren 450m x 450m lik bölmeye komşu bölmelerin dış sınırı seçilmiştir. İç Bölge toplam dokuz 450m x 450m lik bölmeyi kapsar ve 1350m x 1350m boyutludur. İç bölgede (2.8) ile verilen tam eşitlikler kullanılmakta ve duyarlı hesap amacıyla noktadan uzaklaştıkça boyutları büyüyen toplam 529 dikdörtgen bölmeden oluşan bir altbölümleme oluşturulmaktadır. Altbölümleme bölme yükseklikleri iç bölgeye giren 16 adet 450m x 450m bölme köşe nokta yüksekliklerinden bikübik spline fonksiyonları ile belirlenmiştir.

Orta ve dış bölgelerde oluşturulan sırasıyla 15" x 20" ve 5' x 5' boyutlu bölme çekim etkileri (2.8), (2.9) veya (2.10) formüllerinden biri ile bulunmaktadır. Bölmelerin yükseklikleri sayısal arazi modelinden hesaplanmakta olup bölme çekim etkisini bulmak amacıyla bu üç formülden hangisinin kullanılacağını belirlemek üzere bir ölçüt kullanılmaktadır. Dikdörtgen bölme ağırlık merkezi ile hesap noktası arasındaki uzaklık l ve bölmenin üst ve alt yüzeyleri arasındaki diagonal uzaklık l' olmak üzere (l^2/l'^2) ile tanımlanan ölçütün sınır değerleri olarak 49 ve 81 seçilmiştir. Bu ölçüt gözönünde tutularak orta ve dış bölgede yer alan dikdörtgen bölme çekim etkisi hesabında kullanılan formüller tablo-3'de gösterilmiştir.

TABLO-3 : Orta ve Dış Bölgede Hesap Formülü Seçimi

$(l^2 / l'^2) < 49$	$49 < (l^2 / l'^2) < 81$	$81 < (l^2 / l'^2)$
(2.8)	(2.10-a)	(2.9)

Sözedilen TC yazılımı ve MTA ile Harita Genel Komutanlığınca silindirik bölme yöntemiyle hesaplanan yerey düzeltmelerini karşılaştırmak ve yukarıda açıklanan yöntemi test etmek amacıyla iki test bölgesi seçilmiştir. Gravite ölçü noktalarında MTA ve Harita Genel Komutanlığınca hesaplanan yerey düzeltmeleri temin edilen test bölgelerinden birinin düz diğerinin dağlık olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen test bölgelerinin sınırları, bölgelerde yükseklik ve gravitenin en küçük, en büyük, ortalama ve RMS değerleri tablo-4'de sergilenmektedir.

Yerey düzeltmelerini TC yazılımı ile yeterli doğrulukta hesaplamaya uygun iç, orta ve dış bölge genişliklerini belirlemek amacıyla tablo-5'de verilen seçenekler ile test bölgesinde hesap yapılmıştır. Ayrıca MTA tarafından yapı-

TABLO-4 : Test Bölgeleri

Bölge No.	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)				Gravite (mgal)			
			En Küçük	En Büyük	Ort.	RMS	En Küçük	En Büyük	Ort.	RMS
1 (ANKARA)	39°30' 40°00'	32°30' 33°00'	788.8	1861.0	1080.0	±165.3	979 719.4	979 960.2	979 873.1	±43.6
2 (AFYON)	38°00' 38°30'	31°00' 31°30'	948.3	2346.7	1344.9	±374.2	979 451.9	979 773.7	979 681.7	±74.9

TABLO-5 : Bölge Dış Sınırları

Seçenek No.	İç Bölge (km)	Orta Bölge (km)	Dış Bölge (km)
I	0.95	6.65	6.65
II	0.95	6.65	166.70
III	0.95	21.90	21.90
IV	0.95	21.90	166.70

lar. hesaplarda ortalama kabuk yoğunluğu ρ_0 2.4 gr/cm^3 alındığından karşılaştırma amacıyla TC yazılımında hem 2.67 gr/cm^3 ve hemde 2.4 gr/cm^3 kullanılmıştır.

Test bölgelerinin herbirinde seçilen 109 test gravite noktasında yukarıda kısaca açıklanan yöntemle uygun olarak TC yazılımı ile yerey düzeltmesi hesaplanmış ve silindirik bölmeler ile bulunanlarda karşılaştırılmıştır. İç, orta dış bölgeler için tablo-5'deki seçenekler ve iki ayrı yoğunluk değeri gözönünde tutularak yapılan hesaplama sonunda her test noktasında sekiz adet yerey düzeltmesi belirlenmiştir. Bulunan bu değerler birbirleriyle ve silindirik bölme yöntemiyle bulunanlar ile karşılaştırılmış olup farkların en küçük, en büyük, ortalama ve RMS değerleri tablo-6'da verilmektedir. Tabloda; MTA tarafından bulunan değerler HAMMER, Harita Genel Komutanlığınca bulunanlar HAYFORD ve TC yazılımıyla bulunanlar ise tablo-5'deki seçenek numaraları (I, II, III, IV) ile gösterilmektedir.

Tablo-6 incelendiğinde TC yazılımı ile bulunan çözümlerden noktadan 6.65 km uzaklık içinde kalan kitle çekim etkilerini gözönünde bulunduran I çözümünün, MTA tarafından uygulanan yöntemle hem düz hem dağlık bölgelerde belirgin olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Yoğunluğun 2.4 gr/cm^3 alındığı TC yazılımı ile bulunan çözümlerin, beklendiği gibi MTA tarafından bulunan çözümle daha uyumlu oldukları da gözlenmektedir. Ancak Türkiye sınırları içinde kalan kara parçası için geçerli ortalama kabuk yoğunluğu ve yoğunluk modeli bilinemediğinden sayısal sonuçların doğruluğu konusunda yorum yapılmaktan kaçınılacaktır. Yine tablodan Hayford-Bowie (1912)'deki kuşak ve bölmeler ile bulunan çözümün, uzak bölge etkisini gözönünde bulunduran II ve IV çözümleriyle uyumlu olduğu, ortalama farkın düz bölgede -0.17 ; -0.14 mgal, dağlık bölgede ise $+0.03$; $+0.17$ mgal olduğu belirlenmiştir.

Uzak bölgenin yerey düzeltmesi hesaplarına katkısını belirlemek üzere I, II, III ve IV çözümleri karşılaştırılmış ve farkların ortalaması ile standart sapmaları tablo-7'de verilmektedir. Tablodan uzak bölge etkisinin bölgenin genişliğine, orta bölge dış sınırına ve topoğrafyanın düz veya dağlık olmasına bağlı olduğu görülmektedir. Düz bölgelerde belirli bir uzaklıktan sonra topoğrafyanın ölçü nokta yüksekliği ile aynı yükseklikte olduğu varsayıldığından uzak bölge etkisi dağlık bölgelere göre küçüktür. Bu incelemeden özellikle dağlık bölgelerde uzak bölge etkisinin yerey düzeltmesi hesaplarında gözönünde tutulması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Hammer (1939)'da verilen J ve M kuşaklarına kadar işlem yapıldığında dağlık bölgelerde uzak bölge etkisi sırasıyla -1.51 mgal ve -0.45 mgal değerlerine ulaşılmaktadır. Bu da gravite ölçü doğruluğunun üzerindedir.

TABLO-6 : Yerey Düzeltme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

SIRA NO.	ρ_o gr/cm ³	FARKLAR	1' NCI BÖLGE				2' NCI BÖLGE			
			EN KÜÇÜK (mgal)	EN BÜYÜK (mgal)	ORTALAMA (mgal)	RMS (mgal)	EN KÜÇÜK (mgal)	EN BÜYÜK (mgal)	ORTALAMA (mgal)	RMS (mgal)
1	2.67	I-HAMMER	-2.94	+0.54	-0.09	0.45	- 4.50	+ 0.87	+0.39	1.87
2		II-HAMMER	-2.65	+5.82	+0.28	0.77	- 0.40	+ 9.75	+1.89	2.87
3		III-HAMMER	-2.13	+2.83	+0.12	0.49	- 2.35	+12.27	+1.58	2.67
4		IV-HAMMER	-2.60	+5.84	+0.31	0.73	- 0.34	+10.16	+2.04	3.00
5		I-HAYFORD	-5.77	+0.35	-0.54	1.07	-12.74	+ 4.73	-1.47	3.27
6		II-HAYFORD	-4.88	+1.00	-0.17	0.59	- 5.13	+ 4.29	+0.03	1.08
7		III-HAYFORD	-4.36	+0.50	-0.33	0.75	- 7.92	+ 6.06	-0.29	2.29
8		IV-HAYFORD	-4.83	+1.00	-0.14	0.59	- 4.98	+ 4.42	+0.17	1.09
9		HAMMER-HAYFORD	-5.75	+0.55	-0.45	0.84	-10.84	- 0.08	-1.87	2.99
10		I - II	-5.84	+0.48	-0.38	0.79	-10.28	+ 4.49	-1.51	2.91
11		I - III	-2.85	-0.03	-0.21	0.38	- 6.04	- 0.12	-1.19	1.61
12		I - IV	-5.86	+0.46	-0.40	0.81	-10.85	+ 4.17	-1.65	3.00
13		II- III	-0.63	+2.99	+0.16	0.48	- 5.81	+ 5.41	+0.32	1.85
14		II- IV	-0.10	+0.03	-0.02	0.03	- 0.73	+ 0.32	-0.14	0.25
15		III- IV	-3.02	+0.61	-0.19	0.49	- 5.97	+ 5.50	-0.45	1.87
16	2.4	I-HAMMER	-3.68	+0.47	-0.17	0.52	- 5.01	+ 7.58	+0.07	1.70
17		II-HAMMER	-3.42	+4.62	+0.17	0.66	- 0.75	+ 8.15	+1.42	2.18
18		III-HAMMER	-2.96	+1.92	+0.03	0.46	- 3.08	+ 9.73	+1.14	2.14
19		IV-HAMMER	-3.38	+4.64	+0.19	0.67	- 0.69	+ 8.53	+1.55	2.29

Tablo-7 : Uzak Bölge Etkisi

Uzak Bölge Genişliği Bölge Türü	6.65 - 21.9 km	6.65 - 166.7 km	21.9 - 166.7 km
Düz	-0.20+0.35 mgal	-0.38+0.70 mgal	-0.18+0.45 mgal
Dağlık	-1.19+1.09 mgal	-1.51+2.50 mgal	-0.45+1.82 mgal

4. SONUÇLAR

Yerey düzeltilmesi belirlemek amacıyla kullanılan ve genel özellikleri kısaca açıklanan yöntemlerden insangücüne dayalı silindirik bölme ve bilgisayar çalışmalarına uygun dikdörtgen bölme yöntemleri ile düz ve dağlık iki test bölgesinde sayısal uygulama ve karşılaştırma yapılmıştır. Bu inceleme sonunda Hayford-Bowie (1912) ve Hammer (1939)'da verilen silindirik bölme yönteminin yorucu ve zaman alıcı olduğu, doğruluğunun topoğrafik harita doğruluğu ile ortalama yükseklik okuyan personelin deneyimine bağlı olduğu görülmektedir. Özellikle dağlık bölgelerde noktanın yakın çevresi silindirik bölmelerle iyi temsil edilebildiğinden yüksek doğruluk vermektedir. Ancak bilgisayar çalışmalarına uygun olmaması ve insangücüne dayalı olması nedenleriyle yerey düzeltilmesi hesabına uygun olmadığı değerlendirilmektedir.

Mevcut sayısal arazi modelini kullanan ve bilgisayarda uygulanabilen dikdörtgen bölme yöntemi silindirik bölme yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Bu yöntemin Hammer (1939)'da verilen silindirik bölme yöntemiyle düz bölgelerde uyumlu, dağlık bölgelerde farklı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Hayford-Bowie (1912)deki kuşak ve bölmelere uygun silindirik bölme ile karşılaştırıldığında ise düz ve dağlık bölgelerde uyumlu oldukları bulunmuştur. Bu değerlendirmeler ışığında mevcut sayısal arazi modeli ve TC yazılımı ile uygulanan dikdörtgen bölme yönteminin;

a. İç bölgede ek yükseklik okumaları yapıлып, iç bölge etkisinin üçgen bölme veya silindirik bölme yöntemiyle ayrıca hesaplanması ve

b. Uygun iç, orta ve dış bölge genişliklerinin belirlenmesi

ile geliştirilerek yerey düzeltilmesi hesabında genel bir yöntem olarak kullanılmasında yarar görülmektedir. Böylece hesaplamalara standartlık getirilerek benzer nitelik ve doğrulukta yerey düzeltmeleri bilimsel amaçla kullanıma sunulabilecektir.

Test bölgelerinde uzak bölge etkisini belirlemek için yapılan incelemelerde bu etkinin düz ve özellikle dağlık bölgelerde gravite ölçü duyarlılığının üzerinde değerlere ulaştığı görülmüştür. Bu nedenle yerel düzeltmesi hesaplanırken uzak bölge etkisinin gözönünde tutulması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Kullanımda olan sayısal arazi modelinde, deniz ve göl gibi topoğrafyası mevcut olmadığından yükseklik, denizlerde sıfır ve göllerde ise göl yüzeyinin yüksekliği alınmıştır. Bu nedenle deniz ve göl derinlik haritalarının temin edilerek sayısal arazi modelinin güncelleştirilmesinde yarar bulunmaktadır. Sayısal arazi modelinin güncelleştirilmesine ek olarak topoğrafik kitle yoğunluğunu belirleyip Türkiye sayısal yoğunluk modelini oluşturmanın yerel düzeltmesi doğruluğunu artıracakları düşünülmektedir.

K A Y N A K L A R

- /1/ Ayhan,E. : Topoğrafik-İsostatik Çekül Sapması ve İso-
statik Anomali, Hrt.Der,Sayı:89, S.55-84.1982
- /2/ Ballina,L.H.R. : Fortran Program for Automatic Terrain Correc-
tion of Gravity Measurements. Computer & Ge-
osciences, Vol.16,No.2,pp.237-244. 1990
- /3/ Banerjee,B., : Gravitational Attraction of a Rectangular
P.D.,Gupta. Parallelepiped Geophysics,Vol.42,No.5, pp.
1053-1055. 1977
- /4/ Blais,J.A.R., : Optimization in Gravimetric Terrain Correc-
R.,Ferland. tions. Canadian Journal of Earth Sciences,
Vol.21,pp.505-515. 1984
- /5/ Blais,J.A.R.,G.D., : Gravimetric Terrain Coorections in Western
Lodwick, R.,Ferland. Canada. Canadian Journal of Earth Sciences,
Vol.20, pp.259-265. 1983
- /6/ Campbell,D.L. : Gravity Terrain Correction for Stations on
a Uniform slope-A power law approximation.
Geophysics. Vol.45, No.1,pp.109-112. 1980
- /7/ Cogbill,A.H. : Gravity Terrain Corrections Calculated Using
Digital Elevation Models. Geophysics,Vol.55,
No.1,pp.102-106. 1990

- /8/ Danes,Z.F. : An Analytic Method for the Determination of the Distant Terrain Correction. Geophysics Vol.47,No.10,pp.1453-1455. 1982
- /9/ Douglas,J.K., : Extended Terrain Correction Tables for Gravity Reductions. Geophysics,Vol.37,No.2,pp. 377-379. 1972
S.R.,Prah1.
- /10/ Forsberg,R. : A Study of Terrain Reductions, Density Anomalies and Geophysical Inversion Methods in Gravity Field Modelling. OSU Report,No.355, Columbus. 1984
- /11/ Forsberg,R. : Gravity Field Terrain Effect Computations by FFT. Bul. Geod.,Vol.59,pp.342-360. 1985
- /12/ Hammer,S. : Terrain Corrections for Gravimeter Stations. Geophysics,Vol.4, No.3, pp.184-194. 1939
- /13/ Hammer,S. : Critique of Terrain Corrections for Gravity Stations. Geophysics,Vol.47,No.5, pp.389 - 840. 1982
- /14/ Hayford,J.F., : The Effect of Topography and Isostatic Compensation upon the Intensity of Gravity.Coast and Geodetic Survey, Special Pub.No.10, Washington. 1912
W.,Bowie.
- /15/ Heiskanen,W.A.H., : Physical Geodesy. Freeman, London. 1967
Moritz.
- /16/ Khorn,D.H. : Gravity Terrain Corrections Using Multiquadric Equations. Geophysics,Vol.41,No.2,pp. 266-275. 1976
- /17/ Kraiger,G., : The Prediction of Free-Air Anomalies. Manuscripta Geodaetica Vol.8,No.3,pp.229-248.1983
H.Sünkel.
- /18/ MacMillan,W.D. : The Theory of the Potential. Dover Publications,Inc.,NewYork. 1958
- /19/ Mathisen,O. : A Method for Bouguer Reduction with Rapid Calculation of Terrain Corrections. Geographical Survey of Norway,No.18, Oslo. 1976
- /20/ Moritz,H. : Advanced Physical Geodesy. H.Wichmann Verlag, Karlsruhe. 1980

- /21/ Nagy,D. : The Gravitational Attraction of a Right Rectangular Prism. Geophysics,Vol.31,No.2,pp.362-371.1966
- /22/ Nagy,D. : The Prism Method for Terrain Corrections Using Digital Computers. Pure and Applied Geophysics, Vol.63,pp.31-39. 1966-a
- /23/ Olivier,R.J.,
R.G.,Simard. : Improvement of the conic prism model for terrain correction in rugged topography. Geophysics, Vol.26,No.7,pp.1054-1056. 1981
- /24/ Pick,M. : On the Calculation of the Gravity Terrain Corrections in Czechoslovakia. Studia Geoph.et geod., Vol.31,pp.131-144. 1987
- /25/ Sideris,M.G. : Computation of terrain Corrections Using the Fast Fourier Transform. The university of Calgary, 1984
- /26/ Sideris,M.G. : A Fast Fourier Transform method for computing terrain correction.Manuscripta Geodaetica,Vol. 10,No.1,pp.66-73. 1985
- /27/ Sprenkle,K.F. : Efficient Terrain Corrections: A geostatistical analysis. Geophysics,Vol.54,No.12,pp.1622-1628. 1989
- /28/ Stacey,R.A.,
L.E.,Stephens. : Procedures for Calculating Terrain Corrections for Gravity Measurements.Publications of the Dominion Observatory. Ottawa.Vol.39,No.10. 1970
- /29/ Woodward,D.J. : The Gravitational Attraction of Vertical Triangular Prisms. Geophysical prospecting,Vol.23, pp.526-532. 1975
- /30/ Zhou,X.,B.,
Zhong,X.,Li. : Gravimetric Terrain Corrections by Triangular-Element Method. Geophysics,Vol.55,No.2,pp.232-238. 1990