

**GRAVİTE GRADIENT ÖLÇÜMLERİNİN
VERİ-İŞLEMİ VE YORUMU**

GÖKHAN YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2011

T.C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GRAVİTE GRADIENT ÖLÇÜMLERİNİN
VERİ-İŞLEMİ VE YORUMU**

GÖKHAN YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. HÜSEYİN YILMAZ

SİVAS
2011

Bu alışma, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Mithat Fırat ZER

ye (Danışman): Doç. Dr. Hüseyin YILMAZ

ye: Doç. Dr. Funda BİLİM

ONAY

Bu tez çalışması, 30/09/2011 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri yeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa DEğİRMENCİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarihli ve 007 sayılı toplantısında kabul edilen Fen/Sağlık Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

ÖZET
GRAVİTE GRADIENT ÖLÇÜMLERİNİN VERİ – İŞLEMİ VE YORUMU

GÖKHAN YILDIRIM

Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin YILMAZ

2011, 56 sayfa.

Sunulan bu çalışmada gravite ile gravite düşey gradient çalışmaları veri işlem ve yorum açısından karşılaştırılmıştır.

Gravite ve gravite düşey gradient çalışmaları sıkı yer altı boşluk sistemelerinin, tünellerin ve terk edilmiş maden sahalarının belirlenmesinde ve jeolojik problemlerin çözümünde uygulanabilir tekniklerdir.

Gravite düşey gradient değerleri, bir noktada düşey yönde iki yada daha fazla seviyede ölçülen gravite değerlerinden elde edilir.

Gravite düşey gradient hesaplamaları şu şekilde yapılır; kule üzerinde iki veya daha fazla seviyede ölçülen gravite değerlerinin birbirlerinden farkı alınır ve elde edilen sonuç iki ölçüm seviyesi arasındaki mesafeye bölünür. Elde edilen bu son değer gravite düşey gradient değeridir.

Birden fazla ölçüm seviyesine sahip kule üzerinde ki gravite düşey gradient aralıkları: $\Delta g^l_{ij}/\Delta z_{ij}$ şeklinde tanımlanır. Burada $\Delta g^l_{ij}=g_z(h_i) - g_z(h_j)$ ve $\Delta z_{ij}=h_i - h_j$ dir.

Tez çalışmasında ki karşılaştırmalar düzçözüm model uygulamaları ve örnek bir saha uygulaması ile yapılmıştır. Örnek saha uygulaması, MTA Genel Müdürlüğü içerisinde tatbikat amaçlı inşa edilmiş olan bir maden galerisi üzerinde yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gravite, Gravite düşey gradient, Aralıklı gravite düşey gradient.

ABSTRACT
MASTER THESIS
INTERPRETATION AND DATA PROCESSING
OF GRAVITY GRADIENT OBSERVATION

GÖKHAN YILDIRIM

Master of Science Thesis, Department of Geophysics Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Hüseyin YILMAZ

2011, 56 pages.

In this present study, gravity and vertical gravity gradient studies were compared in terms of data processing and interpretation.

Gravity and vertical gravity gradient techniques can be applied in determining the system of shallow underground cavity, tunnels and abandoned mine sites and the solution of geological problems.

Vertical gravity gradient values are calculated the measured values that measured at the same point two or more levels in the vertical direction.

Vertical gravity gradient calculations are as follows, the measured gravity values on the tower are subtracted from each other and the result is divided by the distance that is between the two measurement levels. The last value is the value of vertical gravity gradient.

The ranges of the gravity vertical gradient are defined $\Delta g^l_{ij}/\Delta z_{ij}$ on the tower with more than one level.

The comparisons were made with forward models and sample field application. The sample field application was made over the gallery which was built for a mining operation in the MTA General Directorate

Key words: Gravity, Vertical gravity gradient, Interval vertical gravity gradient.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin danışmanlığını yürüten Sayın Doç. Dr. Hüseyin YILMAZ ve yüksek lisans eğitimine başladığımda ilk danışmanım ve bu tezin konusunu öneren Sayın Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA' ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca katkılarından dolayı Sayın Bölüm Başkanımız Doç.Dr. Funda BİLİM'e teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman mensubu olmaktan onur duyduğum MTA Genel Müdürlüğüne ve yönetimine, tezim ile ilgili konularda gösterdikleri yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Son olarak, yüksek lisans süresince desteğini hiç bir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili eşim Goncagül YILDIRIM'a ve oğlum Görkem YILDIRIM'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER DİZİNİ	VIII
KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
EKLER DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. GRAVİTE YÖNTEMİ	2
2.1 Gravite yönteminin temeli	2
2.2 Gravite ölçüsü ve uygulanan düzeltmeler.....	6
2.2.1 Enlem etkisi ve düzeltmesi (E.D.)	6
2.2.2 Yükseklik düzeltmesi (Y.D.)	7
2.2.3 Topografik etki ve düzeltmesi	8
2.2.4 Gravite anomalileri ve Bouguer anomalisinin hesaplanması	8
3. GRAVİTE DÜŞEY GRADIENT	9
3.1 Yöntem.....	9
3.2 Gravite düşey gradientin yükseklik düzeltmesi ile ilişkisi	14
3.3 Gravite düşey gradientin topografik düzeltme ile ilişkisi	16
4. GRAVİTE – GRAVİTE DÜŞEY GRADIENT MODEL UYGULAMALARI. 23	
4.1. Modellerin hazırlanışı	23
4.2. Modellerin gravite ve gravite düşey gradient değerlerinin hesaplanması ..	23
4.3. Modeller.....	23
5. GRAVİTE ve GRAVİTE DÜŞEY GRADIENT ARAZİ UYGULAMASI.....	44
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	50
7. KAYNAKLAR	52
8. EKLER.....	53
9. ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. x, y, z koordinat sisteminde A ve A' noktalarındaki m ve M kütlelerinin konumları (Aydın, 2007).	3
Şekil 2.2. Eşpotansiyel yüzeyler (Erden,1979).	5
Şekil 3.1. 3,00 m yüksekliğindeki, üç seviyeli kule düzeneği (Fajklewicz, 1976).	10
Şekil 3.2. Modifiye edilen üç ayaklı topograf sehpa, CG-5 mikrogravimetri, şerit metre ve CG-5 düzeç sehpa.	11
Şekil 3.3. Aralıklı düşey gradient ölçümleri için üç seviyeli kule yapısı (Butler, 1894).	12
Şekil 3.4. Kesiti dikdörtgen olan prizmanın iki farklı seviye için hesaplanan gravite anomalisi ve gravite düşey gradient anomalisi.	13
Şekil 3.5. Hammer abağı (Sigmund,1939).	16
Şekil 3.6. (a) $g_{T0} - g_{T\Delta h=0,5m}$ ve (b) $g_{T0} - g_{T\Delta h=1m}$ 'e ait topografik düzeltme grafikleri. ..	19
Şekil 3.7. A zonuna ait gravite düşey gradiente etki eden topografik etkiyi gösterir grafik.	20
Şekil 3.8. (a) B ve (b) C zonuna ait $\Delta h= 0$ m ve $\Delta h = 1$ m için topografik etkiyi gösterir grafik.	21
Şekil 3.9. (a) D ve (b) E zonuna ait $\Delta h= 0$ m ve $\Delta h = 1$ m için topografik etkiyi gösterir grafik.	22
Şekil 3.10. (a) F ve (b) G zonuna ait $\Delta h= 0$ m ve $\Delta h = 1$ m için topografik etkiyi gösterir grafik.	22
Şekil 4.1. Bir farklı yoğunluk değeri kullanılan, 160 x 160 m'lik alan içerisinde kalan bir yeraltı şehri.	24
Şekil 4.2. h=0, 1, 2 ve 3 m için hesaplanan gravite değerlerinden hazırlanan gravite (Δg_0) ve, Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} için gravite düşey gradient haritaları.	25
Şekil 4.3. 160 x 160 m'lik alan içerisinde kalan bir yeraltı şehri.	26
Şekil 4.4. Üç farklı yoğunluk değeri kullanılan 160 x 160 m'lik alan içerisinde kalan bir yeraltı şehri.	28
Şekil 4.5. h=0, 1, 2 ve 3 m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak hazırlanan gravite ve Δg_0 , Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} için gravite düşey gradient haritaları.	29
Şekil 4.6. 160 x 160 m'lik alan içerisinde farklı yoğunluk ve derinliklere sahip, aynı Y eksenini üzerinde hizalandırılan basit geometrik şekiller modeli.	30

Şekil 4.7. Δg_0 gravite anomali haritası, Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 için gravite düşey gradient haritaları ve model-3.	32
Şekil 4.8. Model-3 için gravite ve gravite düşey gradient anomali haritaları üzerinde alınan kesitin grafiği.	33
Şekil 4.9. 250 x 250 m'lik alan içerisinde farklı yoğunlukta, aynı derinlikte ve aynı Y eksenini üzerinde hizalandırılan basit geometrik şekiller modeli.	34
Şekil 4.10. Δg_0 gravite anomali haritası, Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 için hesaplanan gravite düşey gradient haritaları ve model-4	36
Şekil 4.11. Model-4 için gravite ve gravite düşey gradient anomali haritaları üzerinde alınan kesitin grafiği.	37
Şekil 4.12. 250 x 250 m'lik alan içerisinde farklı yoğunlukta, farklı derinlikte ve aynı Y eksenini üzerinde hizalandırılan basit geometrik şekiller modeli.	40
Şekil 4.13. Δg_0 gravite anomali haritası, Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 için hesaplanan gravite düşey gradient haritaları ve model-5.	41
Şekil 4.14. 250 x 250 m' lik alan içerisinde ki 3 m derinlikteki, 5x2 m ebatlarına sahip tünel geometrisi, Model-6.	42
Şekil 4.15. Δg_0 gravite anomali haritası, Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 gravite düşey gradient haritaları ve model-6.	43
Şekil 5.1. Maden mühendisleri için yapılan tatbikat ocağını gösterir kroki.	45
Şekil 5.2. MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan 1973 yılında yapılmış olan Madencilik Tatbikat Ocağı girişi.	45
Şekil 5.3. Çok amaçlı yapılmış kanalın bacasından bir görüntü.	46
Şekil 5.4. Saha uygulaması sonucunda elde edilen $h=0$ m ve $h=1$ m aralığında ölçülen gravite eğrileri ile gravite düşey gradient eğrisi.	48
Şekil 5.5. Profilin başlangıcına denk gelen inşaat amaçlı yapılan alan.	49

SİMGELER DİZİNİ

a	Çekim ivmesinin büyüklüğü
$\vec{a}$	Çekim ivmesi
$A(m)$	Çekilen kütlenin konum vektörü
$A(M)$	Çeken kütlenin konum vektörü
d_i	F kuvvetinin yaptığı iş
$\vec{F}$	Kuvvet vektörü
G	Gravitasyon sabiti ($6,673 \times 10^{-8}$)
g	Yerçekim ivmesi
g_B	Gravite Bouguer etkisi
g_E	Gravite enlem etkisi
$g_{ölç}$	Ölçülen Gravite
g_S	Gravite serbest hava etkisi
g_T	Gravite topografik düzeltme
g_0	Yüzeyde ölçülen gravite değeri
g_i	h seviyesinde ölçülen gravite değeri
g_{T_0}	Z= 0m' deki topografik etki düzeltme değeri
$g_{T_{\Delta h}}$	Z= Δh seviyesindeki topografik etki düzeltme değeri
h	Gravite ölçü noktasından indirgeme düzlemine olan mesafe
h_t	Hammer abğındaki her bir zon için ortalama yükseklik farkı
I_{AA}^1	A kütlesinin A ¹ kütlesine gelmesi için yapılan iş
M	Çeken kütle
m	Çekilen kütle
r	Çeken ve çekilen kütleler arasındaki uzaklık
$\vec{r}$	çeken ve çekilen kütlenin konum vektörü
r_1	Topografik tahsis için iç yarıçap
r_2	Topografik tahsis için dış yarıçap
$r_{1\Delta h}$	Aralıklı gradient ölçümleri için topografik tahsis iç yarı çapı
$r_{2\Delta h}$	Aralıklı gradient ölçümleri için topografik tahsis dış yarı çapı
U_P	Çekim potansiyeli
V	Belirli bir hacime sahip kütlenin potansiyeli

W	Potansiyel
W_A	A kütlesinin potansiyeli
W_A^1	A ¹ kütlesinin potansiyeli
ρ	Yoğunluk
Δn	A kütlesi ile A ¹ kütlesi arasındaki uzaklık
$\Delta h, \Delta z$	Gravite düşey gradient aralığı ($\Delta h = h_1 - h_0$)
$\Delta g_{ij}, \Delta g_z^1$	h_i ve h_j seviyelerinde ölçülen gravite değerlerinden hesaplanan gravite farkı
Δz_{ij}	$h_i - h_j$ seviye farkı
$\Delta g_{ij} / \Delta z_{ij}$	Gravite düşey gradient değeri
$\Delta \rho$	Yoğunluk farkı
Δw	Potansiyel değişimi

KISALTMALAR DİZİNİ

ED	Enlem Düzeltmesi
GDG	Gravite düşey gradient
GDG_B	Gravite düşey gradient Bouguer etkisi
GDG_S	Gravite düşey gradient serbest hava etkisi
GDG_{TD}	Gravite düşey gradient için topografik düzeltme
YD	Yükseklik Düzeltmesi

EKLER DİZİNİ

Ek-1. Bazı kayaç ve minerallerin özgül ağırlıklarının değişim aralığı ve ortalamaları
(Ergin,1981)

Ek-2. Örnek topografik etki tablosu.

1. GİRİŞ

Gravite ve gravite düşey gradient uygulamalarıyla birçok ülkede boşlukların araştırılmasında önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu çalışmalar mağara boyutlarının belirlenmesi, terk edilmiş maden sahalarının tespiti, içi su ya da hava dolu boşluk sistemlerinin bulunması v.b. konularda gerçekleşmiştir.

Thyssen–Bornemizsa ve Stackler (1956) gravite düşey gradient ölçümlerini ilk uygulayanlardandır. Uygulama alanları jeolojik problemlerin çözümü, sığ yeraltı boşluk sistemleri, eski maden ocaklarının lokasyon tespitleri ve antropojenik yapıların araştırılması vb. şeklinde dağılım göstermektedir.

Kumagai, ve diğ. (1960) jeolojik uygulamalar için gravimetrik ölçümlerin yerine gravite düşey gradient ölçümleri almış ve Japonya’da Aomori düzlüğündeki Tersiyer yapılarının araştırılmasında olumlu sonuçlar elde etmişler.

Anadolu’da insanlık tarihi boyunca birçok medeniyet yaşamıştır, dolayısıyla bu medeniyetlerin yaşamış oldukları yerleşim yerlerinin tespit edilmesi (Arkeojeofizik) ve ortaya çıkarılması kültürel zenginliğimiz açısından önem taşımaktadır. Bu konu ile ilgili Nevşehir, Ürgüp – Göreme civarındaki yeni yer altı şehirlerinin tespitini verebiliriz. Ayrıca son günlerin güncel konularından olan Konya ili ve civarında gerçekleşen obruk sistemlerinin bulunmasında da önemli bir uygulama alanı bulacaktır.

Tez çalışmasında, gravite ile gravite düşey gradientin karşılaştırılmaları, model uygulamaları ve bir saha uygulaması sunulmuştur. Gravite düşey gradientin saha uygulamasında kullanılan kule, topografik ölçümlerde kullanılan tripotun (üçayak) gradient ölçümü alabilecek biçimde modifiye edilmiş halidir.

Tüm çalışmalar sonucunda gravite düşey gradient sonuçları ile gravite sonuçları karşılaştırılarak yöntemler arasında ki üstünlükler incelenmiştir.

2. GRAVİTE YÖNTEMİ

Gravite yöntemi, temel jeofizik yöntemlerden biridir ve yoğunluk farklılığı esasına dayanan bir uygulamadır. Yeraltı yapısının homojen dağılımlı olmaması ve değişik yoğunluklara sahip kayaçların bulunması nedeniyle yerçekimi ivmesinde de “g” küçük değişimler olacaktır. Bu değişimler yeryüzünde gravimetre cihazları ile ölçülür ve elde edilen verilerden çalışma amacına göre yeraltında aranan cisim ya da jeolojik yapı hakkında yorum yapılabilir.

Gravite yöntemi,

- maden aramalarında,
- petrol, doğalgaz ve jeotermal gibi enerji kaynaklarının aranmasında,
- yeraltı boşluk sistemlerinin belirlenmesinde,
- bölgesel tektonik ve jeolojik yapıların araştırılmasında,
- yerkürenin şeklinin belirlenmesinde,
- arkeolojik araştırmalarda,
- askeri amaçlı (roket, top vb. silahların atışlarında menzil hesaplamalarında),

uygulanmaktadır.

Yöntem genellikle özgül ağırlıkları arasında farklar olan yapıları araştırmada kullanılır. Örneğin özgül ağırlığı büyük olan krom, demir, kurşun vb madenler ile küçük olan tuz, jips ve boşluk sistemlerinin aranması çevre kayacı ile arasındaki yoğunluk farklılığı fazladır, bu nedenle gravite uygulamaları birincil yöntem olarak kullanılmaktadır. Gravite birimi “Gal” dir, $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/sn}^2$ (c.g.s) dir. Prospeksiyon çalışmalarında bu değer çok büyük bir değer olduğundan pratikte bunun binde biri olan “miligal” kullanılır ve kısaltması “mGal” dir (Ergin, 1981).

$$1 \text{ mGal} = 0.001 \text{ Gal} = 0.001 \text{ cm/sn}^2 \text{ ' dir.}$$

2.1 Gravite yönteminin temeli

Yerçekim kuvveti, yerçekim ivmesi ve potansiyel kavramı; Kütle çekim kuvveti, ivmesi ve potansiyel kavramı Newton kanunu ile açıklanır. Buna göre A ve A¹ noktaları arasındaki uzaklığa göre noktalardaki birim kütlelerin çok çok küçük

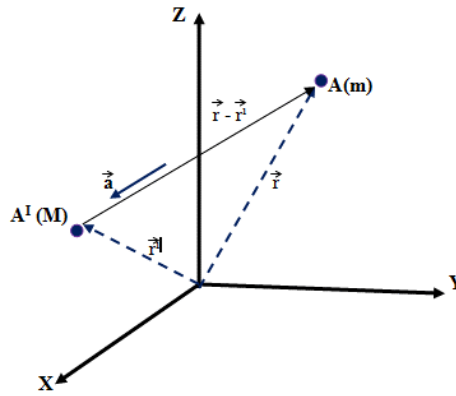
olduğu kabul edilir ve bu noktaların x, y, z koordinat sisteminde ki konumları (Şekil 2.1)' deki gibidir.

Şekil 2.1' de tanımlanan A ve A¹ noktalarındaki kütleler Newton'un çekim kanununa göre birbirlerini kütleleri ile doğru aralarındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olarak çekerler (Aydın, 2007).

Kütle çekim bağıntısı aşağıda verildiği gibidir (Erden,1979).

$$F = G \frac{M.m}{r^2} \quad [2.1]$$

Burada G gravitasyon sabiti olup, $G = 6.672 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gr sn}^2$ dir.



Şekil 2.1. x, y, z koordinat sisteminde A ve A¹ noktalarındaki m ve M kütlelerinin konumları (Aydın, 2007).

Temelde her iki kütle birbirlerini aynı oranda çekselerde Newton çekim kanununu açıklamakta kolaylık sağlaması için A kütlelerini çekilen, A¹ kütleleri ise çeken kütle olarak tanımlanır.

Newton'un ikinci çekim kanununa göre, birim kütle üzerine uygulanan çekim kuvveti, oluşan hareketin ivmesi ile kütlenin çarpımına eşittir.

$$F = g.M \quad [2.2]$$

(1.1)ve (1.2) denklemleri beraber çözüldüğünde ivme,

$$g = G \frac{M}{r^2} \quad [2.3]$$

olur.

Sonuç olarak, M kütlesinin kendisinden r kadar uzaklıkta bulunan birim kütleye uyguladığı çekim kuvvetinin ivme olduğu söylenebilir.

Ayrıca bir m kütlesinin kendisinden r kadar uzaklıktaki P noktasındaki Newton potansiyeli aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır,

$$U_p = G \frac{m}{r} \quad [2.4]$$

n sayıdaki noktada bulunan $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ kütlelerinin potansiyeli

$$U_p = -G \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{r_i} \quad [2.5]$$

(1.5) bağıntısıyla tanımlanır ve belirli bir hacme sahip kütlelerin potansiyeli ise

$$V = -G\rho \iiint \frac{dx dy dz}{r} \quad [2.6]$$

(1.6) bağıntısıyla tanımlanır.

Çekim kuvveti ya da aynı analitik geometriye sahip çekim ivmesi bir vektör alanı oluşturur. Potansiyel enerji skaler bir fonksiyon olmasına karşın gravite (gravitasyonel ivme) bir vektördür ve vektör alanında işlem yapmayı kolaylaştırır.

Fiziksel olarak yerçekimi potansiyeli, Newton çekim kuvvetleri etkisiyle, bir birim kütlelerin sonsuzdan bir noktaya getirilmesi için gereken işin tersi olarak tarif edilir ve yapılan iş aşağıdaki bağıntı ile verilir,

$$d\dot{I} = |\vec{F}| \cdot |AA^I| \cdot \cos \theta \quad [2.7]$$

F kuvvetinin bileşenleri “X, Y, Z” ve $|AA^I| = ds$ in bileşenleri “dx, dy, dz” ise, yapılan iş için bağıntı aşağıdaki gibi olur,

$$\dot{I} = \int F \cdot \cos \theta \cdot ds = \int X dx + Y dy + Z dz \quad [2.8]$$

Eğer iş gidilen yola bağlı değilse, bu alana “*konservatif alan*” denir. Diğer taraftan,

$$\dot{I}_{AA^I} = W_A - W_{A^I} \quad [2.9]$$

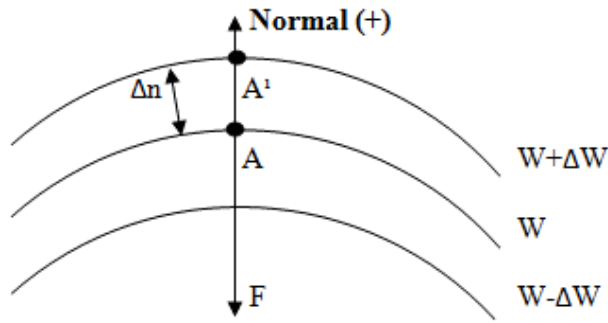
bağıntısı yazılabilir. Burada W' ye “potansiyel” denir ve (1.9) bağıntısından görüldüğü gibi potansiyelin değişimi yapılan işi verecektir.

A ve A^1 noktaları aynı eşpotansiyel yüzeyde ise,

$$W_A = W_{A^1} \text{ ve } \dot{W}_{AA^1} = W_A - W_{A^1} = 0 \quad [2.10]$$

Buradan, $\dot{W} = |\vec{F}| \cdot |AA^1| \cdot \cos \theta = 0$ olur, ayrıca $|\vec{F}| \neq 0$ ve $|AA^1| \neq 0$ olduğundan, $\cos \theta = 0$, $\theta = \frac{\pi}{2}$ olur. Buradan F kuvvetinin eşpotansiyel yüzeyin normali doğrultusunda olduğunu söyleyebiliriz.

Potansiyel yüzeyler kabulü yapalım ve bu yüzeyler arasındaki potansiyel değişimi (ΔW) çok küçük ise, iki yüzey birbirine paraleldir kabulde yapılabilir (Şekil 2.2). Paralel yüzeylerin normalleri aynı doğrultuda olacağından, A ile A^1 noktasında normaller aynı doğrultudadır.



Şekil 2.2. Eşpotansiyel yüzeyler (Erden,1979).

Artan potansiyel yönü, $\overrightarrow{AA^1}$ yönü pozitif kabul edilirse,

$$\dot{W} = W_A - W_{A^1} = -\Delta W \text{ ve } \dot{W} = F \cdot |\overrightarrow{AA^1}| \text{ olacağından, } |\overrightarrow{AA^1}| = \Delta n \text{ olmak üzere}$$

$$F = -\frac{\Delta W}{\Delta n} \quad [2.11]$$

olur. Buradan F kuvveti azalan potansiyellere doğru yöneldiğini ve F kuvvetinin bileşenlerinin potansiyelin kısmi türevlerinin negatif işaretlisi olduğunu söyleyebiliriz.

$$X = -\frac{\partial W}{\partial x}, \quad Y = -\frac{\partial W}{\partial y}, \quad Z = -\frac{\partial W}{\partial z} \quad [2.12]$$

Şekil 2.2' de görüldüğü gibi eşpotansiyel yüzey F kuvvet vektörüne dik olan yüzeydir. Yeryüzeyinde ortalama deniz yüzeyinden geçen ve karaların altında da devam ettiği kabul edilen bir eşpotansiyel yüzey tanımlanır bunada “jeoid” denir. Gerek harita yapımında olsun, gerek gravite değişimlerinin hesaplanmasında olsun düzgün yeryüzü şekline ihtiyaç vardır. İhtiyaca uygun bu yüzeye “sferoid” denir. Sferoid yüzeyi yoğunluğun derinlere, merkeze doğru tekdüze değiştiği ancak yanlara doğru değişmediği kabulü yapılan bir yüzeydir, dolayısıyla jeoid yeraltında ki değişik yoğunluklu kütlelerden etkilenecek tanımlanan bir yüzey olduğu için her iki yüzey birbirinden farklıdır. Sferoid yüzeyi kıtalarda jeoidin altından geçerken, okyanuslarda üzerinden geçer. Ayrıca gravitenin enlemle değişen teorik değerleri bu sferoid üzerindeki değerlerdir (Erden,1979).

2.2 Gravite ölçüsü ve uygulanan düzeltmeler

Gravite ivmesi iki şekilde ölçülür, “mutlak gravite” ve “bağıl gravite”. Mutlak gravite laboratuvar ortamında “*sarkaç*” ya da “*düşen kütle*” yöntemleri ile belirlenir. Bağıl gravite, değeri önceden bilinen veya sabit bir değer atanan baz noktası ile diğer ölçü noktaları arasındaki gravite farkı ile belirlenir. Gravite prospeksiyon çalışmalarında bağıl gravite ölçümleri kullanılmaktadır (Ergin,1981).

Gravite prospeksiyon uygulamalarında elde edilen gravite değerlerinin içerisinde, aranan yeraltı cisminin veya jeolojisinin gravite etkilerinin dışında birtakım etkilerde bulunmaktadır. Bu etkilerin çoğunluğu yeryüzünün şekli ile ilgilidir. Bu etkiler hesaplanır ve ölçü değerlerine eklenerek veya çıkarılarak bağıl gravite değerlerinde gerekli indirgemeler ve düzeltmeler yapılmış olur.

Gravite ölçülerine uygulanan düzeltmeler aşağıda anlatılmıştır. Ancak “İzostazi etkisi ve düzeltmesi”, “Atmosfer etkisi ve düzeltmesi” ve “Gelgit etkisi ve düzeltmesi” konuları anlatılmamıştır. Bu üç etki ve düzeltmeler prospeksiyon amaçlı uygulamalarda kullanılmaz daha çok büyük ölçekli araştırmalarda kullanılır.

2.2.1 Enlem etkisi ve düzeltmesi (E.D.)

Yeryüzünün kutuplardaki yarıçapı ekvatordaki yarıçapından küçük olması ve yerin dönmesinden kaynaklanan merkez kaç kuvvetinin de kutuplara doğru azalması nedeni ile ekvatorдан kutuplara doğru gidildikçe gravite değerinde artış olur. Bundan

dolayı etüt yapılan alanda baz noktasının enlem değerine göre diğer noktaların enlem düzeltmesi değerleri hesaplanır. Kuzey yarım küredeki gravite prospeksiyon uygulamalarında ölçü noktaları baz noktasının kuzeyinde ise düzeltme değeri eksi, güneyinde ise artı işaretli olur (Erden,1979).

Yukarıda anlatılanlar doğrultusunda gravite saha ölçümlerine uygulanacak olan enlem etkisinin düzeltmesi aşağıdaki bağıntı tanımlanır.

$$ED = 0.8122 \sin(2\phi) \frac{\text{mGal}}{\text{km}} \quad [2.13]$$

2.2.2 Yükseklik düzeltmesi (Y.D.)

Gravite etüdlerinde ölçü noktaları arasındaki yükseklik değişimlerinden dolayı ölçümler arasında da farklılık olacaktır. Bu farklılığı ortadan kaldırmak için tüm ölçümlerin tek bir seviyeye indirgenmesi gerekir, bu seviyeye datum seviyesi denir. Yükseklik düzeltmesi iki kısımda incelenir, bunlar serbest hava düzeltmesi ve Bouguer düzeltmesidir.

Serbest hava etkisi ve düzeltmesi: İndirgeme düzeyi olarak alınan deniz seviyesinden yukarı doğru yükseldikçe gravite değerinde bir azalma olur. Deniz seviyesi ile ölçü noktası arasındaki bu gravite farkına serbest hava etkisi denir ve aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır (Erden,1979).

$$g_s = -0.3086 h \text{ mGal} \quad [2.14]$$

Bouguer etkisi ve düzeltmesi: Serbest hava etkisi hesabında ölçü noktası ile deniz seviyesi arasında kalan ρ yoğunluklu kütlenin etkisinde Bouguer etkisi olarak ortaya çıkar. Bouguer etkisine ait düzeltme ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Erden,1979).

$$g_B = 0.04191 \rho h \text{ mGal} \quad [2.15]$$

Serbest hava düzeltmesi ve Bouguer düzeltme değerlerini hesaplayan bağıntılar birlikte çözülür ise aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$YD = (0.3086 - 0.04191 \rho).h \text{ mGal} \quad [2.16]$$

2.2.3 Topografik etki ve düzeltmesi

Çalışma sahasının topografyası yeterli derecede düz değilse, topografik düzeltme yapılması gerekir. Topografik düzeltme günümüzde bilgisayar programları ile yapılmaktadır. Bu programların büyük bir çoğunluğunda Hammer (1939) bağıntısı (2.17) ile hazırlanan abak kullanılmaktadır.

$$g_T = 2\pi G\rho \left(r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + h^2} - \sqrt{r_2^2 - h^2} \right) \quad [2.17]$$

2.2.4 Gravite anomalileri ve Bouguer anomalisinin hesaplanması

Uygulanan her düzeltme sonrasında bir gravite anomalisi elde ederiz, bunları şöyle sıralayabiliriz.

a. Serbest hava anomalisi = $g_{ölç} - g_E + g_S$ [2.18]

Burada $g_{ölç}$ = ölçülen gravite değeri, g_E = enlem düzeltmesi, g_S = serbest hava düzeltmesidir.

b. Basit Bouguer anomalisi = $g_{ölç} - g_E + g_S - g_B$
 $= \text{Serbest hava anomalisi} - g_B$ [2.19]

g_B = Bouguer düzeltmesidir.

c. Bouguer anomalisi = $g_{ölç} - g_E + g_S - g_B + g_T$
 $= \text{Basit Bouguer anomalisi} + g_T$ [2.20]

g_T = topografik düzeltmedir.

Bouguer anomalisi hesaplandıktan sonra elde edilen veriler haritalanır. Bouguer gravite anomalisi haritasındaki eşdeğerleri gösteren konturlara izogal denir. Bouguer anomalisi yeraltında çeşitli derinliklerde bulunan ve yoğunlukları çevre kayadan farklı olan cisimlerin etkilerinin bileşkesidir. Aranılan yeraltı yapılarının gravite etkileri genelde daha yavaş değişen gravite değerlerinin içerisinde eklenmiş olarak elde edilir. Yavaş ve düzgün değişen bu kısma rejyonel gravite denmektedir. Rejyonel gravitenin hesap yolu ile ya da grafik olarak ortadan kaldırılması sonucunda geriye kalan kısma rezidüel gravite denir. Gravite yorumlarında rezidüel gravite üzerinden yapılmaktadır (Erden,1979).

Yukarıda saydığımız düzeltmeler yapılırken etüt sahasını temsil eden ortalama bir yoğunluk değerinin bilinmesi gerekir. Bunun için etüt sahası civarında anomali

değişikliği veya yoğunluk değişimi olmayan, olabildiğince homojen bir ortamda aşağıda belirtilen yöntemlerle ortalama yoğunluk değeri hesaplanabilir.

- Nettleton yoğunluk profili yöntemi,
- Yükseklik ve gravite değişimi yöntemi,
- Üç nokta yöntemi,
- Bouguer değerlerinden yoğunluk hesabı,

Ayrıca bazı kayaç ve minerallerin özgül ağırlıklarının değişim aralığını gösterimi Ek -1' de verilmiştir (Ergin,1981).

3. GRAVİTE DÜŞEY GRADIENT

Gravite düşey gradient uygulamaları, bir profil hattı boyunca her ölçüm noktasında aynı düşey doğrultu üzerinde kule ya da sehpa gibi düzeneklerin yardımıyla belirli seviyelerde Mikrogravite ölçümleri alınarak yapılan araştırmalar bütünüdür.

3.1 Yöntem

Gravite düşey gradient ölçüm düzeneği aynı düşey ekseninde bulunan iki ya da daha fazla ölçüm seviyesine sahip olan bir sehpa ya da kule sistemidir. Gravite düşey gradient uygulamalarının geneli kule sistemleri ile yapılmaktadır.

Kule yapısının oldukça portatif, sağlam ve hafif olması obzervasyonda önemli kolaylıklar sağlamıştır. Portatif oluşu etüt sahasındaki uygulamalarda topografya kaynaklı düzeçleme konusunda kolaylık sağlamıştır, sağlam oluşu ise ölçüm sırasında kulenin salınımını azaltarak ölçüm hassasiyetini koruyacaktır ve son olarak kulenin ağırlığı ne kadar az olursa taşıma kolaylığı ile orantılı olarak iş gücü talebi de azalmıştır.

Ayrıca gravite düşey gradient uygulamalarında kule düzeneğinin genel yapısı nedeniyle bir noktadaki ölçüm süresi normal gravite uygulamalarına oranla daha fazladır. Kule ile yapılan gravite düşey gradient ölçümlerinin uygulama sürelerine örnek olarak Fajklewicz'in (1976) çalışmasında kullandığı yüksekliği 3,00 m olan duraliminyumdan yapılmış bir kule (Şekil 3.1) uygulaması örnek verilebilir.

Fajklewicz bu çalışmasında bir noktadaki ölçüm süresinin 25 dakika ile 30 dakika arasında değiştiğini ifade etmiştir.

Bu tez çalışması için modifiye edilen üç ayaklı topograf sehpa (Şekil 3.2) ile MTA bahçesi içerisinde gravite düşey gradient saha uygulaması yapıldı. Ölçüm düzeneği tasarlanırken Ager, C. A., ve Liard, J. O. tarafından (1982) kendi çalışmalarında kullandıkları ölçüm sehpasından esinlenilmiştir.

Örnek uygulama çalışmasında kullanılan ölçüm sehpa üç ayaklı topograf sehpa üzerine monte edilebilen bir düzeçleme tablasından (sehpasından) ibarettir. Saha çalışması $\Delta h=1,00$ m seçilerek yapılmıştır ve bir noktadaki gravite düşey gradient ölçümü için geçen süre ortalama 8 ile 10 dakika arasındadır.



Şekil 3.1. 3,00 m yüksekliğindeki, üç seviyeli kule düzeneği (Fajklewicz, 1976).



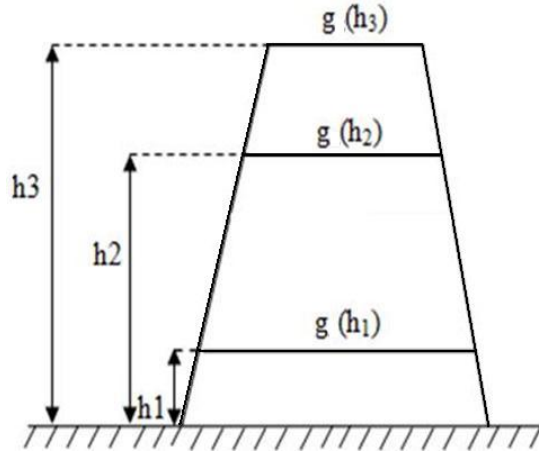
Şekil 3.2. Modifiye edilen üç ayaklı topograf sehpa, CG-5 mikrogravimetri, şerit metre ve CG-5 düzeç sehpa.

Dünyada gravite düşey gradient uygulamaları genelde üç ölçüm seviyesine sahip ve en yüksek 3,00 m yüksekliğe sahip kule düzenekleri ile yapılmaktadır.

Fajklewicz'in (1976) çalışmasında amaç jeolojik yapının belirlenmesi ve eski maden ocağı galerisinin doğrultu ve yönelimini belirlemek üzere yaptığı çalışmada oldukça doğruya yakın sonuçlar elde edildiğini ifade etmektedir. Butler'da (1984) Massachusetts Medford mağarası üzerinde yaptığı test çalışmalarında da olumlu sonuçlar aldığını ifade etmektedir.

Gravite düşey gradient ölçümleri yukarıda da değinildiği üzere iki veya daha fazla seviyede aynı düşey doğrultuda ölçülen mikrogravimetrik değerleridir. Her bir seviye için ölçülen mikrogravimetrik değerleri ölçüm seviyesi miktarına bağlı olarak farklı gradient aralıklarına göre hesaplanabilir.

Şekil 3.3' de gösterilen kule düzeneği ile üç ayrı seviyede gravite ölçüleri yapılarak $\Delta g^1_{13}/\Delta z_{13}$; $\Delta g^1_{12}/\Delta z_{12}$ ve $\Delta g^1_{23}/\Delta z_{23}$ gravite düşey gradient değerleri hesaplanabilir.



Şekil 3.3. Aralıklı düşey gradient ölçümleri için üç seviyeli kule yapısı (Butler, 1894).

Aralıklı gravite düşey gradientin hesaplanması aşağıda ifade edilen bağıntı gibidir,

$$\frac{\Delta g_z}{\Delta z} = \frac{g_0 - g_h}{h} \quad [3.1]$$

burada g_0 yüzeyde (0 metre) ölçülen gravite değeridir, g_h ise yüzeyden h yüksekliğinde ölçülen gravite değeridir ve h iki ölçüm seviyesi arasındaki uzaklıktır.

Örnek olarak en alt seviye ile en üst seviyede ölçü alınarak yapılan düşey gravite gradient değeri $\Delta g_{13}^1 / \Delta z_{13}$ için,

$$\Delta g_{13}^1 = g(h_1) - g(h_3) \quad [3.2]$$

$$\Delta z_{13} = h_1 - h_3 \quad [3.3]$$

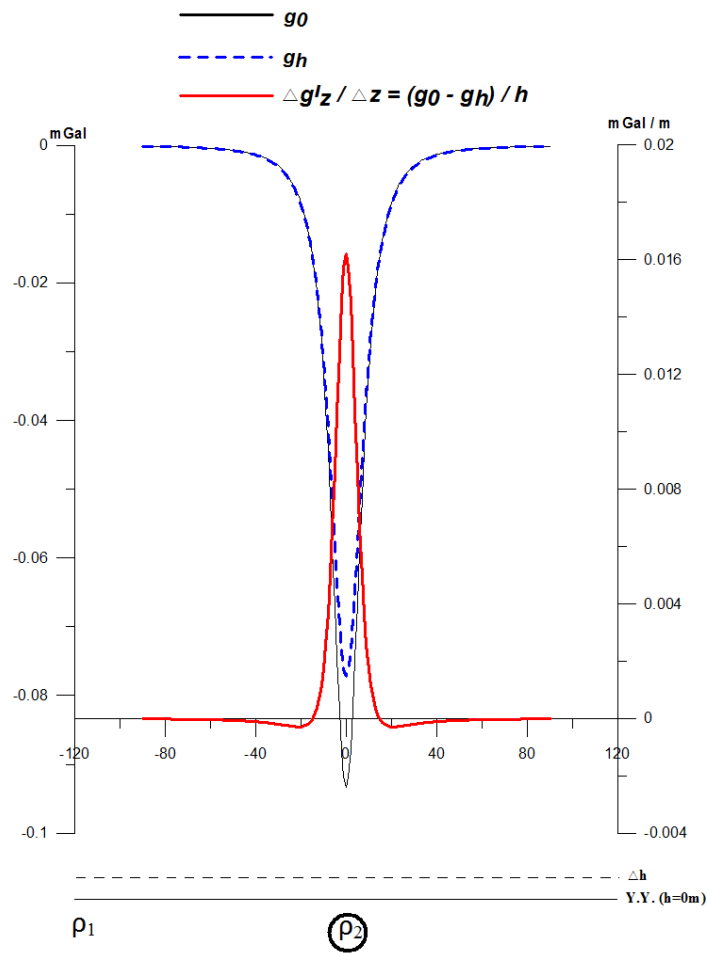
[3.2] ve [3.3] bağıntılarının oranından hesaplanır.

Z ekseninin pozitif yöndeki eğilimi, Δg_{ij}^1 ve Δz_{ij} değerlerinin oranının pozitif olmasına neden olur. Bu durumu açıklayabilmek amacı ile Gravite düşey gradient tekniğinin uygulama yapısı göz önüne alınarak iki boyutlu gravite düşey gradient programını fortran 77’de hazırladım (KUREGRDNT.FOR – KUREGRDNT.EXE).

KUREGRDNT.EXE fortran 77 programı basit küre geometrik şekli için hazırlandı. basit geometrik şekle sahip küre için gravite düşey gradient değerleri hesaplanarak grafiklendirildi.

Hesaplama da kullanılan birim değerler; ortam yoğunluğu $2,67 \text{ gr/cm}^3$, küre yoğunluğu $0,00 \text{ gr/cm}^3$, küre yarıçapı 5 m. küre derinliği 10 m. gözlem aralığı 1 m. gözlem sayısı 181 nokta ve gradient aralığı 1 m. olarak seçilmiştir. Bu değerler doğrultusunda elde edilen grafik Şekil 3.4.' de gösterilmektedir.

Şekil göze çarpan özellik ise model sınırlarının gravite düşey gradient grafiğinde belirginleştiğidir.



Küre yarı çapı : 5 m.
 Küre derinliği : 10 m.
 Gözlem sayısı :181
 $\Delta x = 1 \text{ m.}$
 $\Delta h = 1 \text{ m.}$
 $\rho_1 = 2,67 \text{ gr/cm}^3$
 $\rho_2 = 0,0 \text{ gr/cm}^3$

Şekil 3.4. Kesiti dikdörtgen olan prizmanın iki farklı seviye için hesaplanan gravite anomalisi ve gravite düşey gradient anomalisi.

3.2 Gravite düşey gradientin yükseklik düzeltmesi ile ilişkisi

Gravite etütlerinde arazi datalarının Bouguer anomali değerlerine dönüştürülmesi için birden fazla düzeltme uygulanır, yükseklik etkisi ve düzeltmeside bu işlemler dizisinden biridir. Yükseklik düzeltmesinin genel açıklaması bölüm 2.2.2.'de anlatılmıştır, burada tekrar edilmeyecektir.

Yükseklik düzeltmesinin iki aşamadan oluştuğunu biliyoruz, bunlar *serbest hava düzeltmesi* ve *Bouguer düzeltmesi*' dir. *Serbest hava düzeltmesi* bölüm 2.2.2.'de verildiği gibi 1.14 bağıntısı ile hesaplanır (Erden,1979).

$$g_s = -0.3086 h \text{ mGal} \quad [3.4]$$

Hesaplanan bu değer her metre için gravite değerlerine -0.3086 mGal kadar bir etki olduğunu gösterir ve bu etkiyi kaldırmak içinde hesaplanan değer gravite değerinden çıkarılarak düzeltme yapılması gerekir.

Gravite düşey gradient ölçümlerinin *serbest hava düzeltmesi* üzerine olan etkisini bir örnek uygulama ile anlatmak açıklayıcı olacaktır.

Herhangi bir gravite etüt sahasındaki rastgele bir noktada yapılan gravite düşey gradient çalışmasında, ölçü noktasının indirgeme düzleminden olan yüksekliği $h = 1000$ metre ise $\Delta h = 0$ metre için *serbest hava düzeltmesi*;

$$h = 1000 \text{ m}, \Delta h = 0 \text{ m için } g_{s0}; \quad g_0 = -0.3086 .h \text{ mGal}$$

$$g_{s0} = -0,3086 \times 1000 = -308,6 \text{ mGal' dir,}$$

$\Delta h = 1 \text{ m}$ ise $h = 1001 \text{ m}$ olacaktır ve g_{s1} ;

$$g_{s1} = -0,3086 \times 1001 = -308,9086 \text{ mGal' dir.}$$

g_0 ve g_1 ölçüm değerleri için gravite düşey gradient hesaplanır ise,

$$GDG_s = \frac{g_{s0} - g_{s1}}{1 \text{ m}} = 0,3086 \text{ mGal/m}$$

bulunur.

Bu değer tüm noktalar için sabit kalacaktır ve her noktaya aynı 0,3086 değeri eklenmiş olarak kalacaktır. Bu nedenle serbest hava düzeltmesi uygulanmış olan ile uygulanmamış olan gravite düşey gradient anomalisi haritaları arasında bir farklılık gözlenmeyecektir dolayısıyla yorumcunun yanlış yönlenmesi de söz konusu olmayacaktır.

Bouguer düzeltmesi' nin anlatımı bölüm 2.2.2.'de verilmiştir. *Bouguer düzeltmesi* için uygulanan bağıntı ise bölüm 2.2.2.'de verilen bağıntı (1.15)'dir (Erden,1979).

$$g_B = 0.04191 \rho h \text{ mGal} \quad [3.5]$$

Gravite düşey gradient ölçümlerinin *Bouguer düzeltmesi* üzerine olan etkisini yine bir örnek uygulama ile anlatmak açıklayıcı olacaktır. Herhangi bir gravite etüt sahasındaki rastgele bir noktada yapılan gravite düşey gradient çalışmasında, ölçü noktası ile indirgeme düzlemi arasındaki ρ yoğunluklu kütle Bouguer etkisini oluşturur. Bu etki bağıntı (1.15) ile hesaplanır (Erden,1979).

$$g_B = 0.04191 \rho h \text{ mGal}$$

$h = 1000 \text{ m}$, $\rho = 2 \text{ gr/cm}^3$ ve $\Delta h = 0 \text{ m}$ için g_{B0} ,

$g_{B0} = 83,82 \text{ mGal}$ ' dir,

$h = 1000 \text{ m}$, $\rho = 2 \text{ gr/cm}^3$ ve $\Delta h = 1 \text{ m}$ için g_{B1} ,

$\Delta h = 1 \text{ m}$ ise $h = 1001 \text{ m}$ olacaktır ve g_{B1} ;

$g_{B1} = 83,90382 \text{ mGal}$ ' dir

$$GDG_B = \frac{g_{B0} - g_{B1}}{1 \text{ m}} = -0,08382 \text{ mGal/m}$$

Bouguer düzeltmesi için ikinci bir örnek uygulamayı $h = 500 \text{ m}$ için uyguladığımızda,

$h = 1000 \text{ m}$, $\rho = 2 \text{ gr/cm}^3$ ve $\Delta h = 0 \text{ m}$ için g_{b0} ,

$g_{B0} = 41,91 \text{ mGal}$ ' dir,

$\Delta h = 1 \text{ m}$ ise $h = 501 \text{ m}$ olacaktır ve g_{B1} ;

$G_{B1} = 41,99382 \text{ mGal}$ ' dir

$$GDG_B = \frac{g_{B0} - g_{B1}}{1 \text{ m}} = -0,08382 \text{ mGal/m} \quad \text{olacaktır.}$$

Yukarıda verilen her iki örnekte de görüldüğü üzere Bouguer düzeltmesinde de gravite düşey gradiente -0,08382 gibi sabit bir değer tüm noktalarda eşit olarak etki edecektir. Yükseklik düzeltmesinde de olduğu gibi anomali değerlerinde sabit bir değer ekli olması sonucu değiştirmeyecektir ve yorumlamada bir problem olmayacaktır.

Ancak ikinci değişken olan ρ yoğunluğunun hesaplamada ki farklı değerleri için Bouguer düzeltmesinde yine değişken değer alacaktır. Bouguer düzeltmesinde ρ değeri etüt sahasına ait sabit bir değer olacağından ölçü değerlerinde gravite düşey gradient hesabıyla etkisi kalkacaktır. Dolayısıyla aşağıda verilen bağıntı için, garivte düşey gradient yöntemi saha alıması sonucu elde edilen gravite verilerine yükseklik düzeltmesinin uygulanmasına ihtiyaç bırakmamaktadır (Erden,1979).

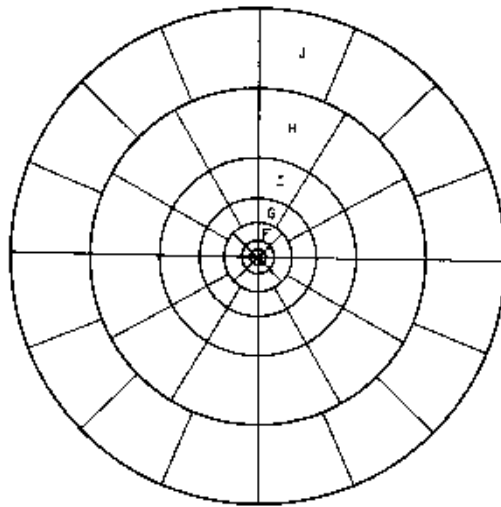
$$YD = (0.3086 - 0.04191 \rho) \cdot h \quad \text{mGal} \quad [3.6]$$

3.3 Gravite düşey gradientin topografik düzeltme ile ilişkisi

Topografik düzeltme ile ilgili genel bilgiler bölüm 2.2.3.' de anlatılmıştır. Burada gravite ölçümlerine uygulanan topografik düzeltme etkisinin uygulama yöntemi ve topografik etkinin gravite düşey gradient ile arasındaki ilişki anlatılacaktır.

Topografik düzeltme için Hammer tarafından da kullanılan 3.7 bağıntısı kullanılmıőtır. Bu bağıntı doğrultusunda Hammer tarafından bir topografik etki düzeltme abağı tasarlanmıştır ve dünya üzerinde gravite ölçümleri için uygulanan topografik düzeltme bu abak temel alınarak yapılmaktadır.

Topografik düzeltme etkisinin uygulama yöntemi; abaktaki iki halka arasında kalan alana “zon”, bir halkanın parçalarına da dilim denir. Abak saydam bir kağıt ya da mika üzerine harita lğine uygun olarak hazırlanır (şekil 3.5).



şekil 3.5. Hammer abağı (Sigmund,1939).

Ölçü noktası üzerine abağın merkezi gelecek şekilde yerleştirilir. Hammer abağındaki her bir zon için dilimlerdeki ortalama yükseklik okunur ve ölçü noktasından olan yükseklik farkı bulunur. Bağntı (3.7) ile hazırlanan topografik *düzeltilme cetvelinden** zona ait düzeltme değeri bulunarak toplanır. Bu işlem tüm zonlar ve dilimleri için tekrarlanır ve topografik düzeltme olarak ölçü değeriyle toplanır. Ancak dikkat edilmesi gereken şudur ki topografik düzeltme cetveli $\rho=2 \text{ gr/cm}^3$ için düzenlenmiştir.

Gravite düşey gradient ile topografik etki arasındaki ilişki; topografik düzeltmede Hammer abağı ve topografik düzeltme cetveli kullanılarak yapılan düzeltme çok hassas olmamaktadır. Bunun nedeni düzeltme cetvelinde verilen değer aralıklarının yerine göre fazla olmasıdır. Ancak cetvelin hazırlanması için kullanılan (3.7) bağıntısı temel alınarak hazırlanan bilgisayar programları hassasiyeti artırmaktadır.

Topografik düzeltme uygulaması ile gravite düşey gradient uygulaması arasındaki ilişki, bağıntı (3.7) kullanılarak örnek bir çalışma ile aşağıda anlatılmıştır.

$$g_{T_0} = 2\pi G\rho \left(r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + h^2} - \sqrt{r_2^2 - h^2} \right) \quad [3.7]$$

Δh gradient aralığı için;

$$g_{T_{\Delta h}} = 2\pi G\rho \left(r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + (h - \Delta h)^2} - \sqrt{r_2^2 + (h - \Delta h)^2} \right) \quad [3.8]$$

gradient hesabı,

$$\frac{g_{T_0} - g_{T_{\Delta h}}}{\Delta h} = 2\pi G\rho \left[\frac{\left(r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + h^2} - \sqrt{r_2^2 - h^2} \right)}{\Delta h} - \frac{\left(r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + (h - \Delta h)^2} - \sqrt{r_2^2 + (h - \Delta h)^2} \right)}{\Delta h} \right] \quad [3.9]$$

bağıntıları ile verilir. Burada r_1 ve r_2 her bir zon ve dilim için sırasıyla iç ve dış yarıçaplardır. $(h - \Delta h)$ Δh gradient aralığından kaynaklanan ortalama yükseklik farkındaki değişen değerdir. g_{T_0} ve $g_{T_{\Delta h}}$ ise sırasıyla yüzeyde ve Δh kadar yukarıda etki eden topografik etki değerleridir.

Yapılan bu açıklamalar için örnek bir uygulama aşağıda anlatılmıştır. Bölüm içerisinde verilen bağıntılar doğrultusunda topografik düzeltme değerinin D zonu için hesaplanması aşağıda anlatıldığı şekilde yapılır.

D zonuna ait iç ve dış yarıçaplar sırasıyla $r_1=53,34\text{m}$, $r_2=170,08\text{ m'}$ dir. D zonunda ki bir dilim için okunan yükseklik farkı $h=20\text{ m}$ ise gradient aralığı $\Delta h=1\text{m}$ için g_{T_0} ve g_{T_h} değerleri;

$$g_{T_0} = 0,0343 \text{ mGal}$$

$$g_{T_h} = 0,0311 \text{ mGal}$$

$$\frac{g_{T_0} - g_{T_h}}{\Delta h} = 0,0032 \text{ mGal/m}$$

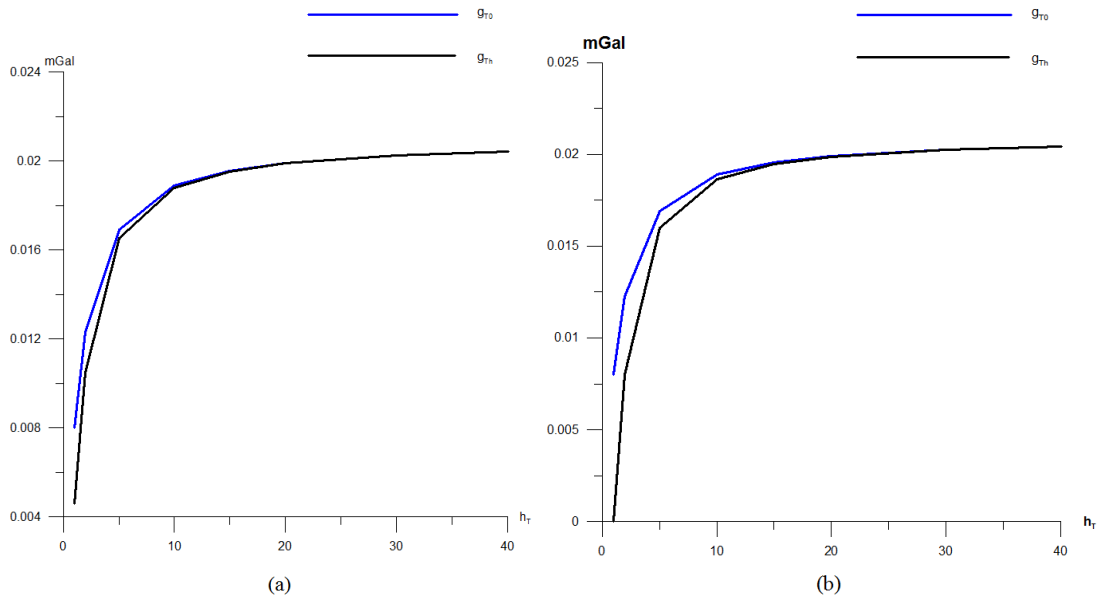
şeklindedir.

Elde edilen bu değer, ortalama yükseklik farkı $h = 20\text{ m}$ olan D zonunda ki bir dilimin $\Delta h = 1\text{m}$ gradient aralığı kullanılarak hesaplanan gravite düşey gradiente olan topografya etkisinin $0,0032\text{ mGal/m}$ olduğunu gösterir.

Yukarıda anlatılan topografik etkinin bir ölçü noktası için örnek uygulaması Ek-2a, b' de verilmiştir. Tablonun hazırlanması için kullanılan ortalama yükseklik farkı değerleri rastgele verilmiştir. Ayrıca topografyanın etkinliğinin fazla olması için fark değerleri abartılı seçilmiştir. Bu sayede çok dağlık bir sahada gravite düşey gradient uygulamasının topografik etkiyi ne ölçüde azalttığı gözlenmiştir. Tablodaki hesaplamalarda $\rho=2\text{ gr/cm}^3$ ve $\Delta h=1\text{ m}$ seçilmiştir. Tabloda h_T değerleri herbir zondaki dilimler için ortalama yükseklik farkını göstermektedir, Δh gradient aralığını, g_T ve $g_{T\Delta h}$ sırasıyla $h=0\text{ m'}$ deki ve $h=1\text{ m'}$ deki topografik düzeltme değerlerini göstermektedir. Son olarak GDG_T gradient hesabıyla ortaya çıkan gravite düşey gradiente etki eden herbir zon için topografik düzeltme değerini göstermektedir.

A, B, C, D, E, F ve G zonları değişken kot farkları için $\Delta h= 0,50, 1,00, 2,00, 3,00$ ve $5,00\text{ m}$ gradient aralıklarına karşılık gelen topografik düzeltme değerlerini gösterir grafikler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

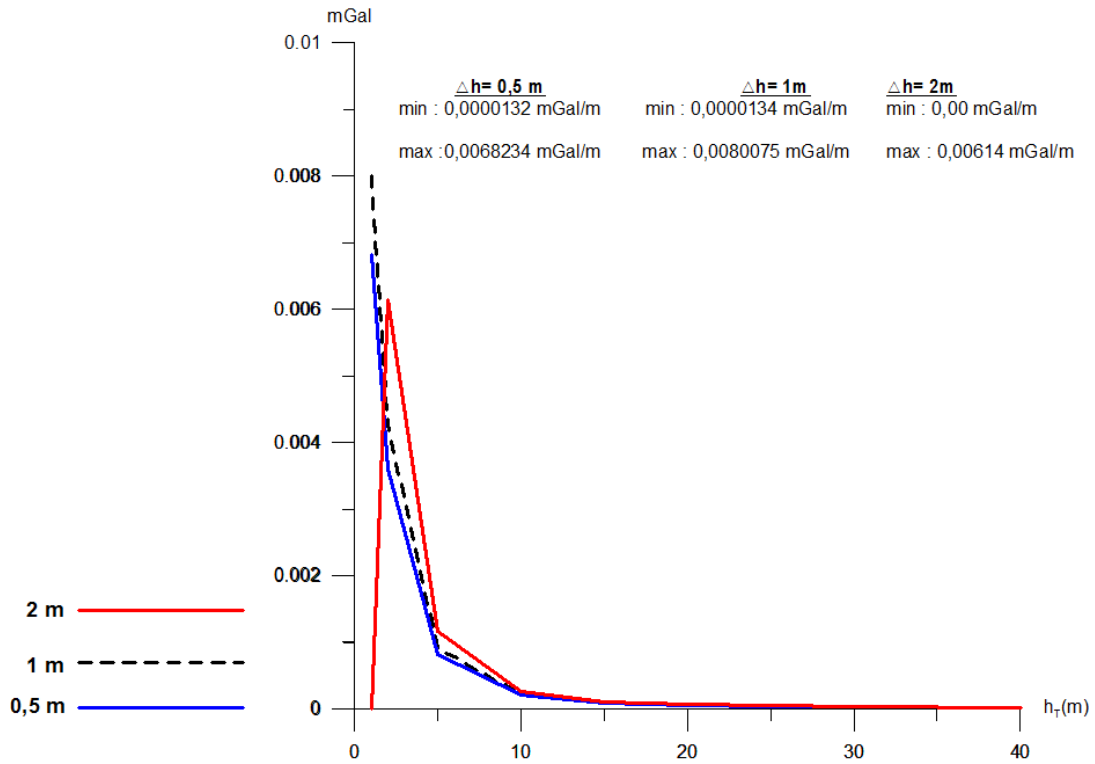
A zonuna ait gravite düşey gradient için topografik etkinin farklı kotlar için değişim grafiği Şekil-3.6'de verilmiştir. Şekil 3.6 incelendiğinde 0,5 m ve 1,00 m gradient aralıklarına ait grafiklerde eğrilerin sırasıyla $1,32 \times 10^{-5}$ mGal/m ve $1,34 \times 10^{-5}$ mGal/m'den başlayarak sifıra yaklaştığı gözlenmektedir. Ayrıca yüzeyde ölçülen gravite değerlerine etki eden topografik etki ile 0,5 m ve 1,0 m kule seviyesinde ölçülen gravite değerlerine etki eden topografik etkinin artan kot farkı değerleri boyunca aynı oranda değişim göstermediği gözlenmektedir. Şöyleki yüzeydeki ölçüme etki eden topografik etkinin 1m'den 40 m'ye kadar ki değişim hızı, h seviyesindeki ölçüme etki eden topografik etki değişim hızından daha düşüktür. Dolayısıyla iki farklı seviyedeki etki değerleri belli bir kot farkından sonra eşit değere ulaşmaktadır. Gradient ölçümleri sayesinde topografik etki özellikle yüksek kot farkı olan yerlerde birbirlerine daha yakın değerler vermesinden dolayı çalışmalarda topografik etkinin yukarıda ki uygulamalar doğrultusunda kısmen etkisini yitirdiğini söylemek mümkündür.



Şekil 3.6. (a) $g_{T0} - g_{T\Delta h=0,5m}$ ve (b) $g_{T0} - g_{T\Delta h=1m}$ 'e ait topografik düzeltme grafikleri.

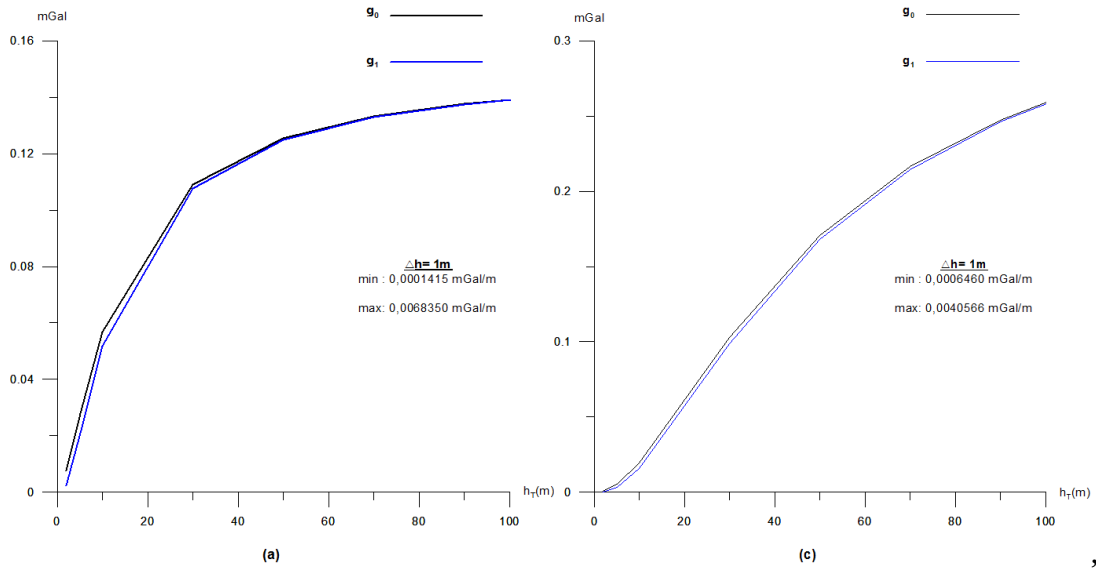
Şekil 3.7. de A zonuna ait $\Delta h=0.5, 1.0$ ve 2.0 m' e ait gravite düşey gradient için topografik etki grafikleri görülmektedir. Grafikler yüzeydeki ($\Delta h=0$ m) topografik etki ve Δh aralıklarının herbiri için ayrı ayrı karşılaştırılarak gravite düşey gradient topografik etki değerleri hesaplanıp çizdirilmiştir. Grafik incelendiğinde gradient ölçümlerine topografik etkinin kot farkı 0 - 3 m arasında olduğunda en

yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Ancak bu değerlerde göz ardı edilebilir değerlerdir. Şöyleki ilerideki bölümlerde anlatılacak olan arazi uygulamasında ki ölçülen gravite değerlerinden elde edilen gravite düşey gradient değerleri 0,01 ile 0,07 mGal/m arasında değişmektedir. Uygulama sahasındaki kot farkı en çok 1.00 m kadardır. Dolayısıyla gradient değerine de çok fazla etki etmemiştir. Şekil 3.7. incelediğinde 0.5, 1.0 ve 2.0 m gradient aralıkları için hesaplanan gravite düşey gradiente ait topografik etki değerleri en yüksek 0.008 mGal/m değerindedir. Sonuç olarak şunu söyleyebiliriz; yüksek kot farkı olan araştırma uygulamalarında da gradient çalışmaları topografik etkiyi A zonu için önemli ölçüde azaltmaktadır.

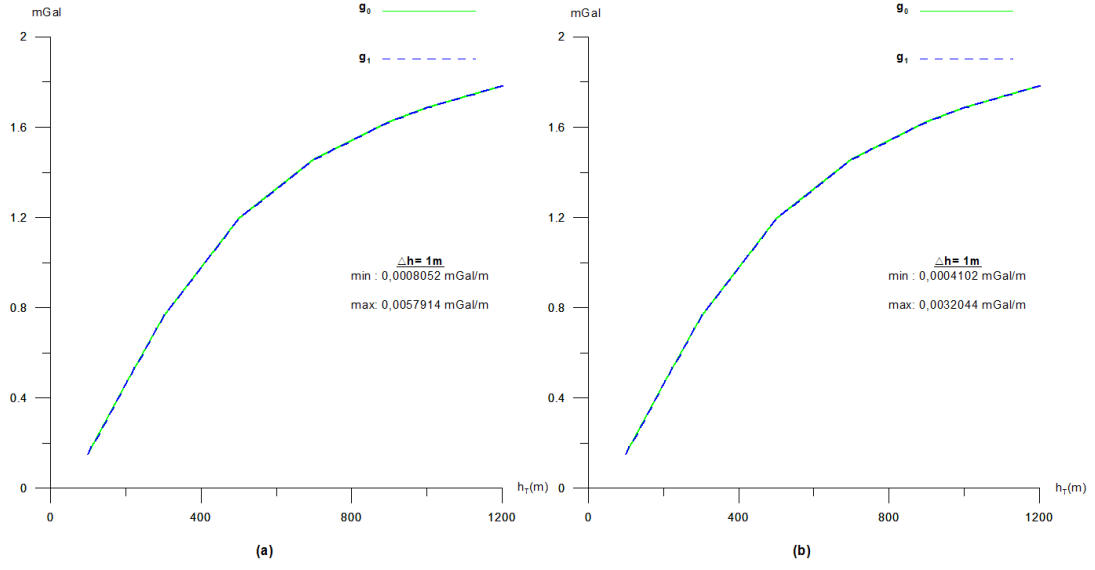


Şekil 3.7. A zonuna ait gravite düşey gradiente etki eden topografik etkiyi gösterir grafik.

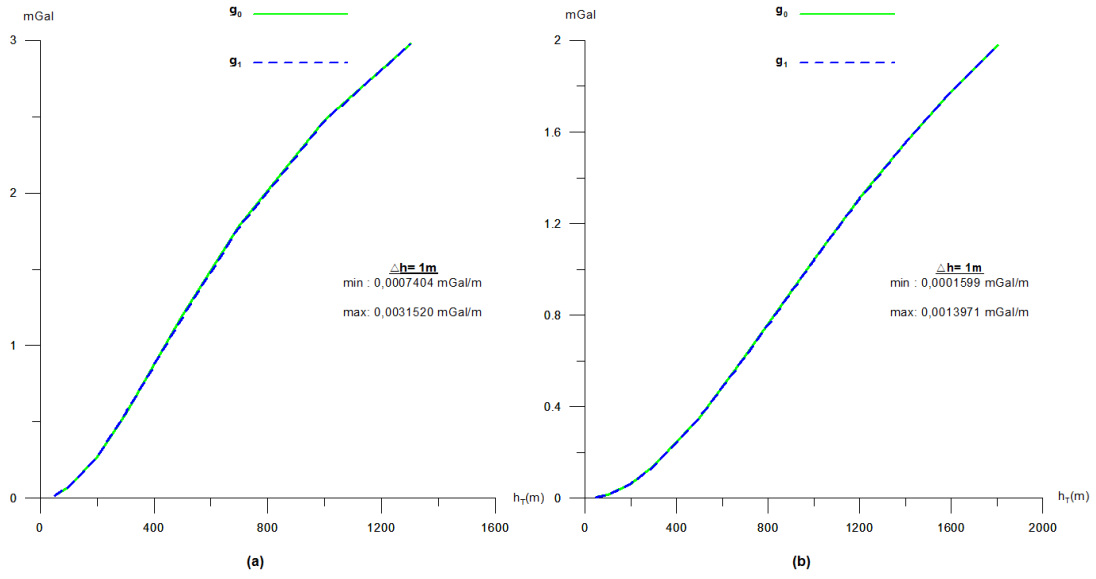
A zonu için yapılan hesaplamalar ayrıca B, C, D, E, F ve G zonları içinde yapıldı. Bu altı zon için yapılan hesaplamalara ait Gravite Düşey Gradient topografik düzeltme (GDG_{TD}) grafikleri Şekil 3.8., 3.9. ve 3.10.' da verilmiştir. Tüm grafikler incelendiğinde en büyük değerin 0.0056 mGal/m en küçük değerin ise 0.00 mGal/m olduğu görülmektedir. Özellikle A zonu ile kıyasladığımızda bu değerlerin etkin birer değer olmadığını söylemek doğru olacaktır. Ayrıca bu şekillerden gözlemlenen B'den G zonuna kadar hatta M zonuna kadar belirleyeceğimiz gradient aralığının çok etkin olmadığıdır. Tüm gradient aralıkları (kule seviyesi) için birbirine çok yakın sonuçlar elde edildiği için sadece A zonu dikkate alınarak kule seviyesinin belirlenmesi uygun bir uygulama olacaktır.



Şekil 3.8. (a) B ve (b) C zonuna ait $\Delta h = 0$ m ve $\Delta h = 1$ m için topografik etkiyi gösterir grafik.



Şekil 3.9. (a) D ve (b) E zonuna ait $\Delta h = 0$ m ve $\Delta h = 1$ m için topografik etkiyi gösterir grafik.



Şekil 3.10. (a) F ve (b) G zonuna ait $\Delta h = 0$ m ve $\Delta h = 1$ m için topografik etkiyi gösterir grafik.

4. GRAVİTE – GRAVİTE DÜŞEY GRADIENT MODEL UYGULAMALARI

4.1. Modellerin hazırlanışı

Tüm modeller Bloxer isimli interaktif bir bilgisayar programında hazırlandı. Bloxer (Pirttijarvi,2005) programı dikdörtgen prizma blokları kullanarak düz çözüm ve ters çözüm amaçlı modellerin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Hazırlanan modellerin üç boyutlu gösterimi SolidWorks isimli makine çizim programında hazırlandı.

Modeller oluşturulurken tek yoğunluk farkı olan ve birden fazla yoğunluk farkı olan çeşitli geometrik şekillere sahip kütlelerden oluşan ortamları temsil edecek şekilde tasarlandı.

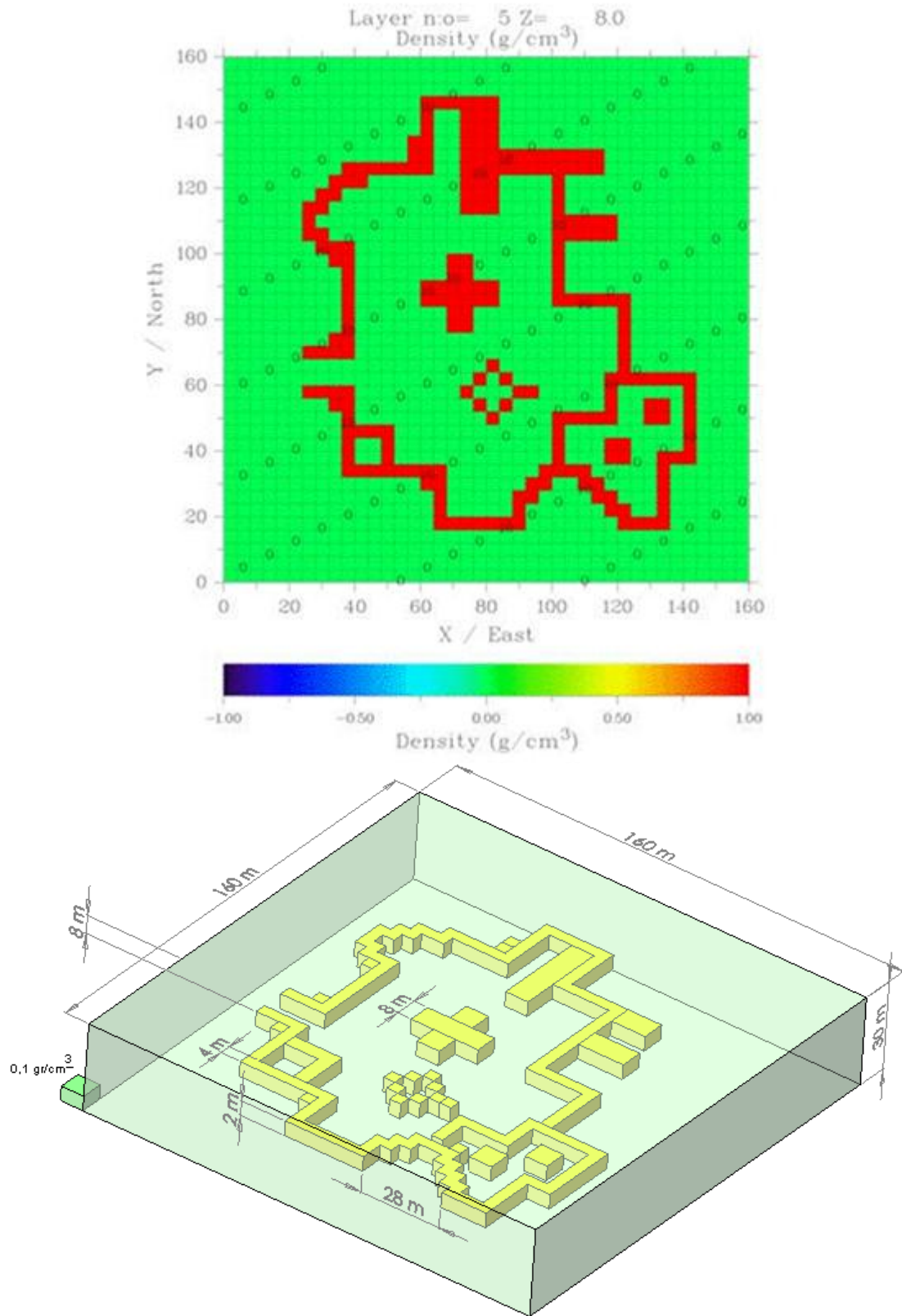
4.2. Modellerin gravite ve gravite düşey gradient değerlerinin hesaplanması

Hazırlanan modeller düz çözüm amaçlıdır. Modellere ait gravite değerleri Grablox (Pirttijarvi,2008) bilgisayar programından elde edildi. Grablox programı modele ait gravite değerlerini yüzeyden ($h=0$ m) ve daha farklı seviyelerden ($h=1,2,5,...100,...$ m) hesaplayabilmektedir. Bu sayede model çizimleri üzerindeki farklı seviyeler için gravite değerleri hesaplandı ve düşey gradient bağıntısı ile her bir modele ait gravite düşey gradient değerleri hesaplanarak haritalandırıldı.

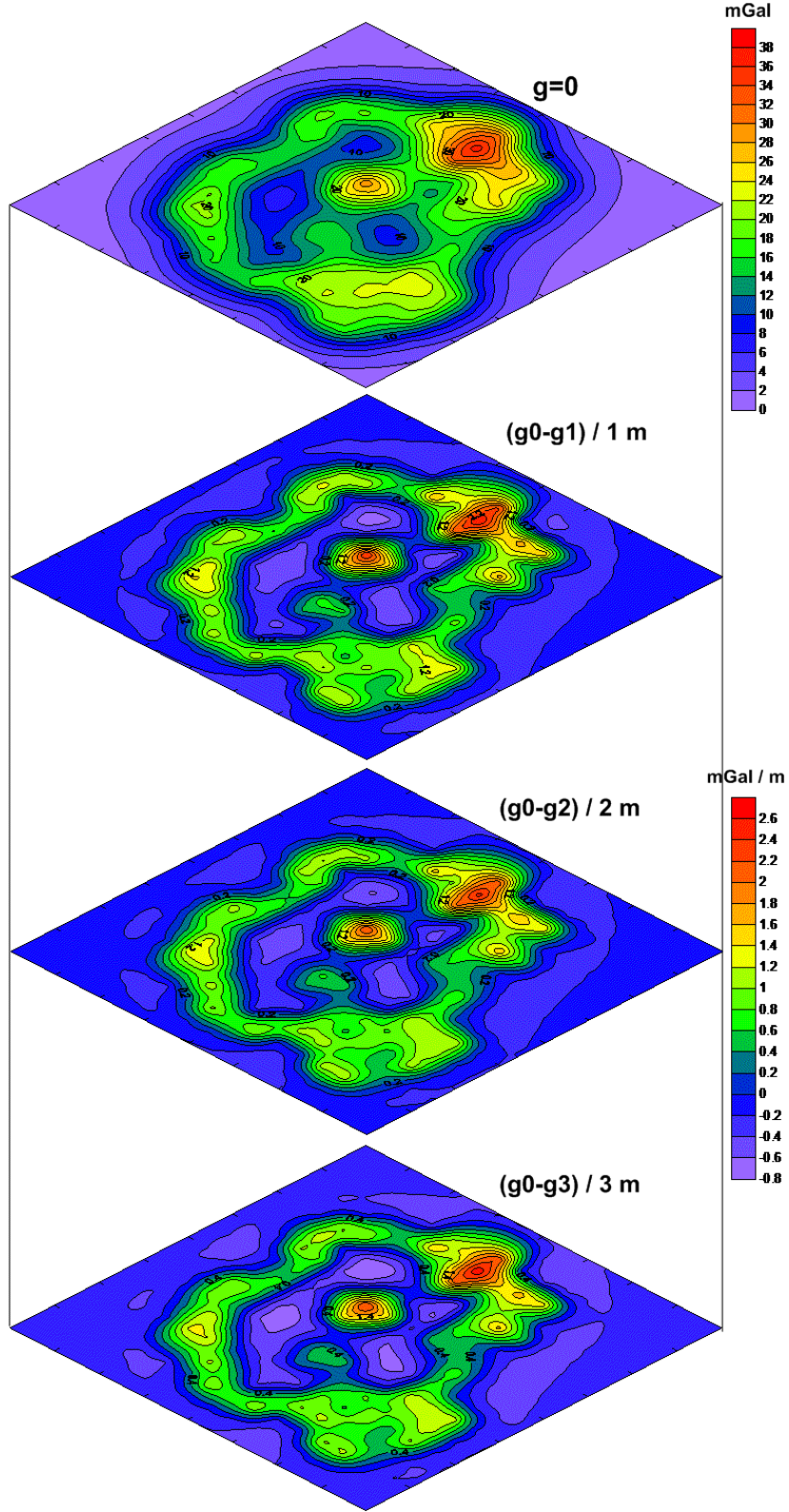
4.3. Modeller

1. **Model;** 160 x 160 m' lik alan içerisinde kalan bir yeraltı şehri olarak tasarlandı. Model yeraltı şehrinin duvar kalınlıkları 4 m, yüksekliği 2 m'dir ve yeraltı şehrinin üzerinde ki örtü kalınlığı 8 m' dir. Model yeraltı şehrinin duvarlarının yoğunluğu $0,20 \text{ gr/cm}^3$ ve çevreleyen örtü katmanının yoğunluğunun $0,0 \text{ gr/cm}^3$ olduğu kabulü yapılarak model tasarımı tamamlandı (Şekil 4.1).

Model – 1' e ait gravite değerleri $h=0$ m, $h=1$ m, $h=2$ m ve $h=3$ m için Grablox programında hesaplatıldı. $h=0$ m için hesaplanan değerlerden Δg_0 gravite haritası çizdirildi. Ayrıca $h=1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 için gravite düşey gradient değerleri hesaplandı ve haritalandırıldı (Şekil 4.2).

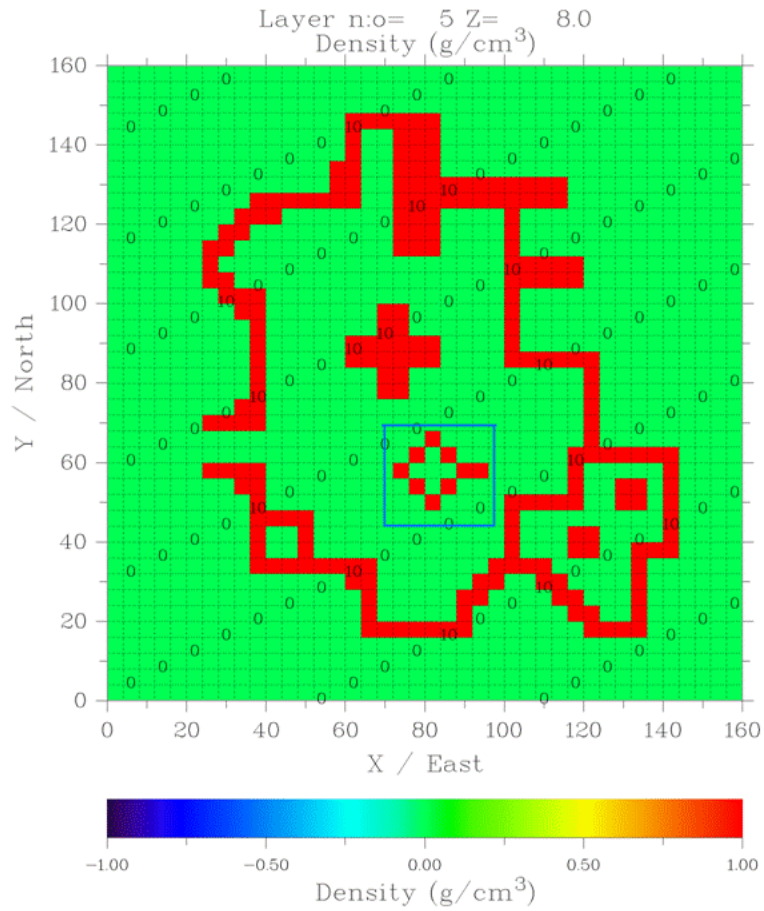


Şekil 4.1. Bir farklı yoğunluk değeri kullanılan, 160 x 160 m’lik alan içerisinde kalan bir yeraltı şehri.



Şekil 4.2. $h=0, 1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerlerinden hazırlanan gravite (Δg_0) ve, Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} için gravite düşey gradient haritaları.

Model tasarımının ana hedefi düşük yoğunluk farkına sahip bir yapının gravite anomali haritası ile gravite düşey gradient anomali haritasının karşılaştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda Şekil 4.2 incelendiğinde gravite anomali haritası (Δg_0) yeraltı şehrinin sınırlarını kısmen belirlemekte ancak gravite düşey gradient haritaları (Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03}) incelendiğinde sınırların daha çok belirginleştiği gözlenmektedir. Gravite düşey gradient haritalarını kendi aralarında karşılaştırdığımızda Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} 'e doğru yapıların belirginliğinin kontur kapanımlarının daralması ile arttığını söyleyebiliriz ve özellikle bu artışa Şekil 4.3' te ki işaretli alanın etkisini örnek verebiliriz.



Şekil 4.3. 160 x 160 m'lik alan içerisinde kalan bir yeraltı şehri.

2. **Model;** 160 x 160 m'lik alan içerisinde kalan bir yeraltı şehri olarak tasarlandı. Model yeraltı şehrinin duvar kalınlıkları 2 m, yüksekliği 1 m ve örtü kalınlığı 5 m olarak belirlendi ve duvarların yoğunluğu 3,0 gr/cm³ alındı. Model

yeraltı şehrinin üstünde $0,0 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu örtü tabakası kabulü yapıldı. Yeraltı şehrinin hemen altından başlayan 6 m ' den 15 m ' ye kadar yoğunluğu $2,0 \text{ gr/cm}^3$ olan ikinci bir katman ve 15 m ' den 30 m ' ye kadar da yoğunluğu $3,0 \text{ gr/cm}^3$ olan üçüncü bir katman kabulü ile model tasarımı tamamlandı (Şekil 4.4).

Model – 2'ye ait gravite değerleri $h=0 \text{ m}$, $h=1 \text{ m}$, $h=2 \text{ m}$ ve $h=3 \text{ m}$ için Grablox programında hesaplatıldı. $h=0 \text{ m}$ için hesaplanan değerlerden Δg_0 gravite haritası çizdirildi. Ayrıca $h=1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} için gravite düşey gradient değerleri hesaplanarak ve haritalandırıldı (Şekil 4.5).

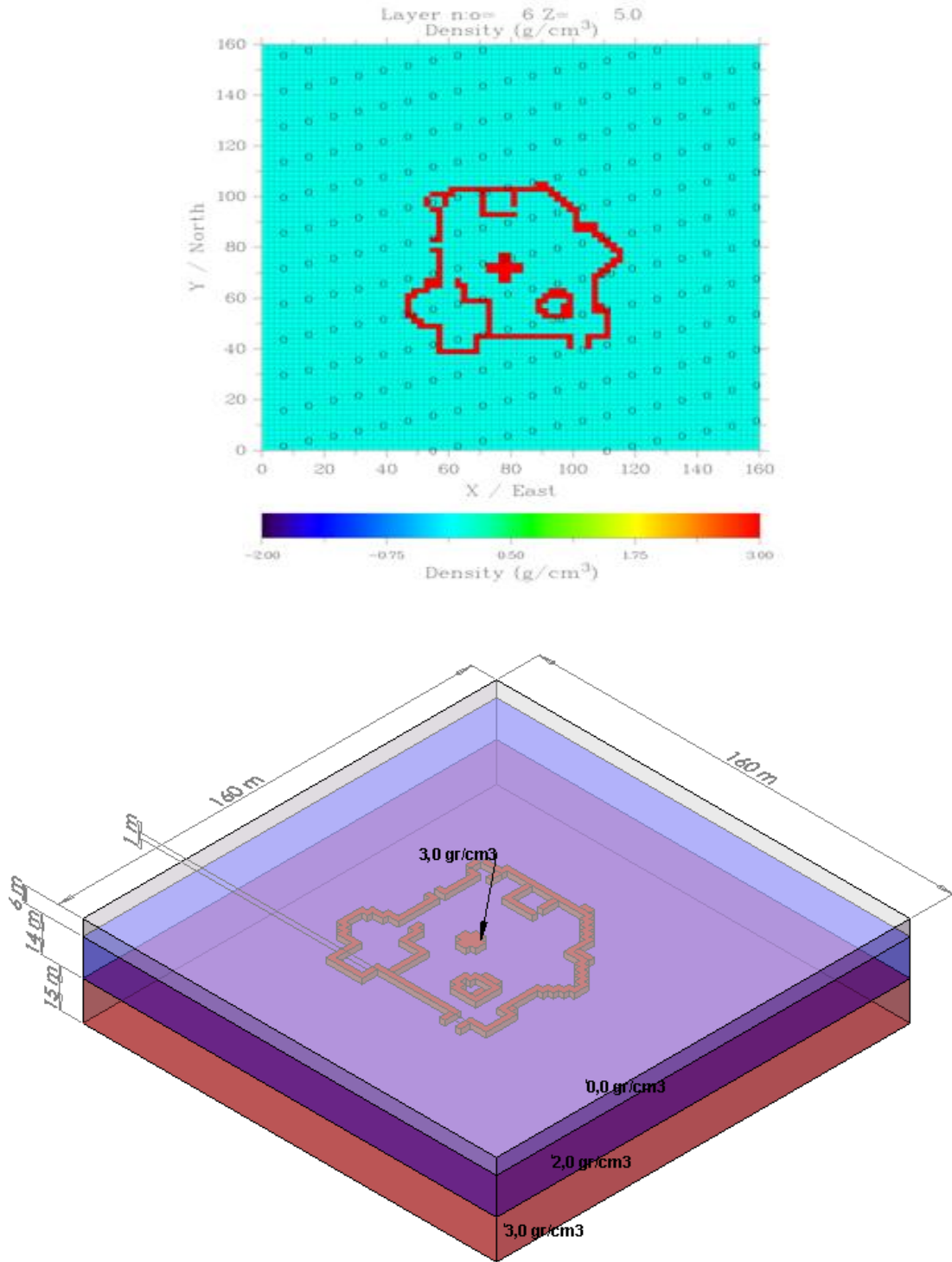
Model-2'nin tasarımında ana hedef yoğunlukları birbirine yakın üç katmanın olduğu ortamda en altta ki katmanla aynı yoğunluğa sahip ve hacimce daha küçük olan bir yapının gravite ve gravite düşey gradient haritalarını karşılaştırmaktır. Bu hedefle yoğunlukları aynı olan katmanın model yapıyı maskeleyip maskelemediği gözlemlendi.

Bu modelde yeraltı şehrinin sınırları Δg_0 gravite haritasında görülmemektedir. Bunun nedeni olarak $15 \text{ m} - 30 \text{ m}$ arasındaki yoğunluğu yeraltı şehir duvarlarının yoğunluğuyla ($3,0 \text{ gr/cm}^3$) aynı olan katmanı gösterebiliriz. Bu katman gravite haritasında yeraltı şehri maskeleymiştir. Ancak gravite düşey gradient haritaları incelendiğinde yeraltı şehrinin yapı sınırlarının azda olsa belirginleştiğini söylemek mümkün.

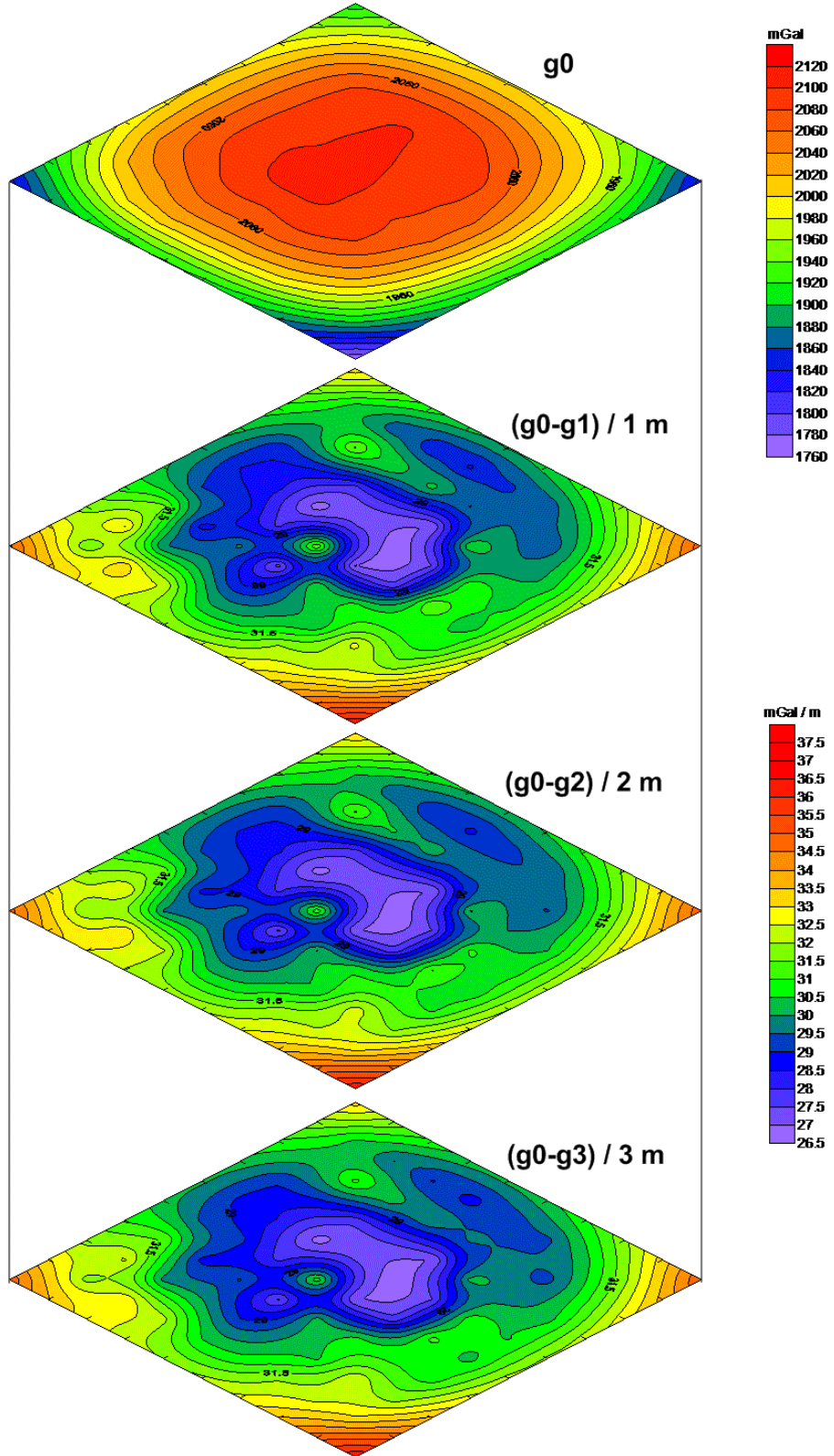
Bir önceki model-1'de yoğunluk farkı $0,2 \text{ gr/cm}^3$ olup tek bir yoğunluk farkının olması gradient hesabında daha etkin bir sonuç ortaya koymuştur. Bu modelde yoğunluk farkı daha fazla olmasına karşın yeraltı şehrinin duvar yoğunluğu $3,0 \text{ gr/cm}^3$ dür ve hemen altında $2,0 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu 9 m kalınlığında bir tabaka ve onun altında bulunan 15 m kalınlığındaki $3,0 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğundaki ikinci tabaka gravite ve gravite düşey gradient değerlerinin birbirini maskelemesine neden olmuştur. Aynı yoğunluğa sahip iki yapıdan biri ne kadar yüzeye yakın olsada iki yapı arasındaki boyut farkı gravite değerleri arasındaki farkı azaltmaktadır.

Hesaplanmış gravite (Δg_0) haritasına bakıldığında bir anomalinin varlığı görülmektedir ancak anomalinin kaynağı konusunda net bir yorum yapmak oldukça zordur. Δg_0 'daki anomali görsel olarak model yeraltı şehri hiç yansıtmamaktadır. Buna rağmen Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} gravite düşey gradient haritaları model yapının

sınırlarını tam olarak belirlemese de düşük anomali kapanımları model yapının sınırlarını nispeten temsil etmektedir (Şekil 4.5).



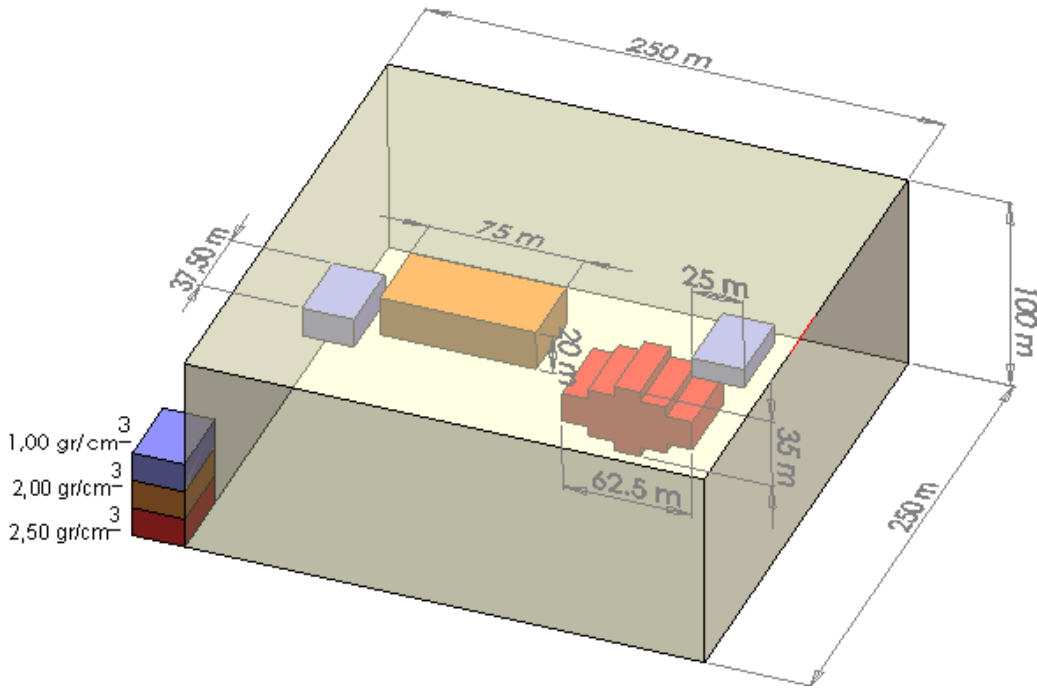
Şekil 4.4. Üç farklı yoğunluk değeri kullanılan 160 x 160 m’lik alan içerisinde kalan bir yeraltı şehri.



Şekil 4.5. $h=0, 1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak hazırlanan gravite ve $\Delta g_0, \Delta g_1, \Delta g_2$ ve Δg_3 için gravite düşey gradient haritaları.

3. **Model;** yoğunluğu $0,0 \text{ gr/cm}^3$ olan $250 \times 250 \text{ m}$ 'lik alan içerisinde farklı derinlik, ebat ve geometrilere sahip kütleler şeklinde tasarlanmıştır. Bu kütlelerin yoğunlukları $1,0 \text{ gr/cm}^3$, $2,0 \text{ gr/cm}^3$ ve $2,5 \text{ gr/cm}^3$ şeklinde değişmektedir. A ve D kütleleri $1,0 \text{ gr/cm}^3$, B kütlesi $2,0 \text{ gr/cm}^3$ ve C kütlesi $2,5 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklarına sahiptir. Tüm kütleler aynı Y eksenı üzerindedir ve tüm kütlelerin üst derinlikleri sırasıyla 40 m, 25 m, 45 m ve 20 m şeklindedir (Şekil 4.6).

Model -3'ün hazırlanmasında ki ana hedef, farklı derinliklere ve yoğunluklara sahip geometrik şekillerin gravite ve gravite düşey gradient anomali haritalarında birbirlerini maskeleyip maskelemedikleridir. Bu amaç doğrultusunda yoğunluğu $1,0 \text{ gr/cm}^3$ olan A kütlesi yoğunluğu $2,0 \text{ gr/cm}^3$ olan B kütlesinden daha derinde konumlandırıldı. Bunun yanı sıra karşıt düşünceyle yoğunluğu $1,0 \text{ gr/cm}^3$ olan D kütlesi, yoğunlu $2,5 \text{ gr/cm}^3$ olan C kütlesinden daha yukarı seviyede konumlandırıldı.

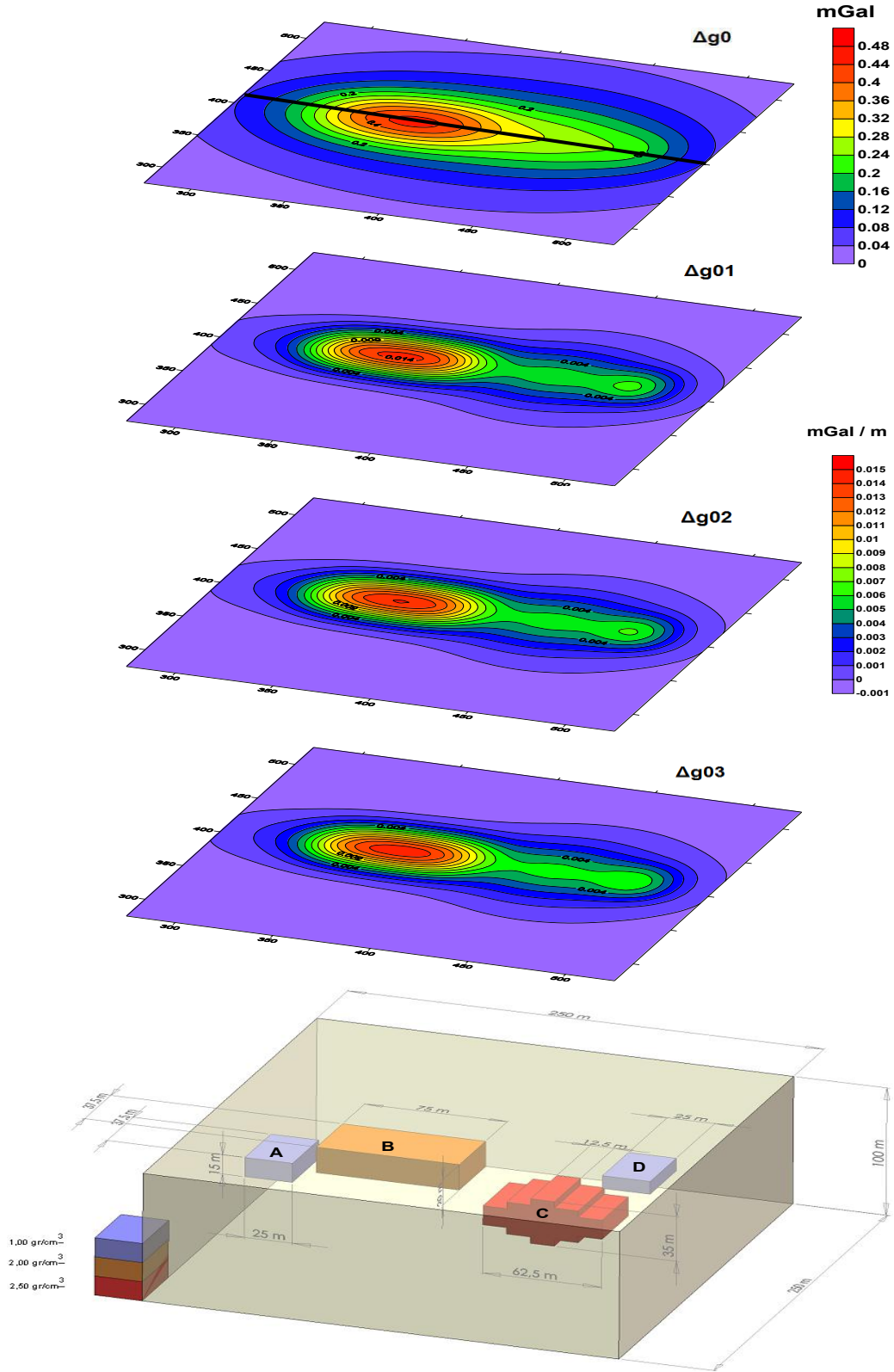


Şekil 4.6. $160 \times 160 \text{ m}$ 'lik alan içerisinde farklı yoğunluk ve derinliklere sahip, aynı Y eksenı üzerinde hizalandırılan basit geometrik şekiller modeli.

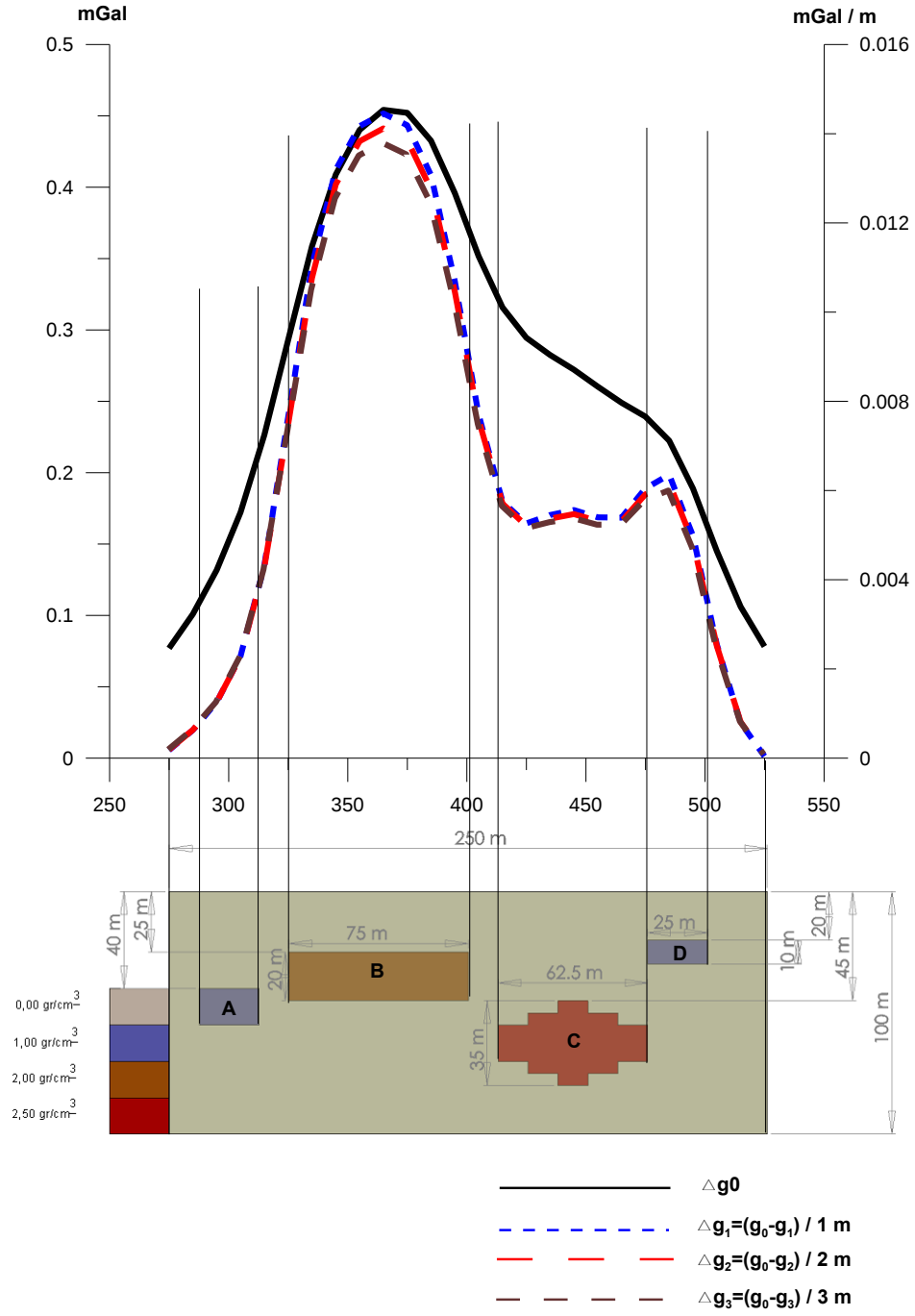
Model – 3' e ait gravite değerleri $h=0$ m, $h=1$ m, $h=2$ m ve $h=3$ m için Grablox programında hesaplatılmıştır. $h=0$ m için hesaplanan değerlerden Δg_0 gravite haritası çizdirilmiştir. Ayrıca $h=1$, 2 ve 3 m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 için gravite dūřey gradient değerleri hesaplandı ve haritalandırıldı (şekil 4.7).

Model üzerinden hesaplatılarak hazırlanan gravite (Δg_0) haritası incelendiğinde gözlemlenen anomali model yapısını yansıtmamaktadır. Buna neden olarak model kütlelerinin birbirine yakın mesafelerde ve derinliklerde olmasını söyleyebiliriz. Bu model kütleler arasında en fazla $1,5 \text{ gr/cm}^3$ en az $0,5 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluk farkı olması da kütle anomalilerinin birbirini maskeleye nedeni olan diğer bir etkidir. Ancak $h=1$, 2 ve 3 m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} için hazırlanan gravite dūřey gradient anomali haritaları incelendiğinde model kütlelerin anomalilerinin kısmi olarak belirginleştiği gözlemlenebilmektedir.

Model-3 için gravite ve gravite dūřey gradient anomali haritaları üzerinde alınan kesitin grafiği şekil 4.8' de verilmiştir. Kesit incelendiğinde model kütlelerin sınırları Δg_0 grafiğinde çok belirgin olmamasına karışın Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} için gravite dūřey gradient grafiklerinde model kütlelerin sınırlarının daha belirgin olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.7. Δg_0 gravite anomali haritası, Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 için gravite düşey gradient haritaları ve model-3.

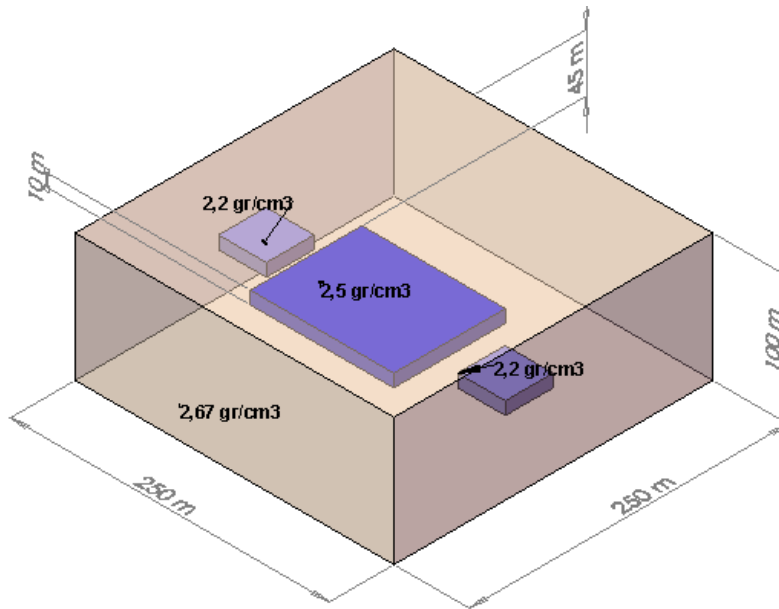


Şekil 4.8. Model-3 için gravite ve gravite düşey gradient anomali haritaları üzerinde alınan kesitin grafiği.

4. **Model;** yoğunluğu $2,67 \text{ gr/cm}^3$ olan $250 \times 250 \text{ m}$ ' lik alan içerisinde 45 m derinlikte, farklı ebatlara sahip kütleler şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 4.9). A, C kütleleri $2,2 \text{ gr/cm}^3$ ve B kütlesi $2,5 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklarına sahiptir ve kütlelerin ebatları aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Kütle	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)
A	37,5	37,5	10
B	87,5	112,5	10
C	37,5	37,5	10

Model -4'ün hazırlanmasında ki ana hedef, aynı derinlikte olan ve farklı yoğunluklara sahip geometrik şekillerin gravite ve gravite düşey gradient anomali haritalarında birbirlerini maskeleyip maskelemedikleridir. Bu amaç doğrultusunda ortam yoğunluğundan farkları $0,47 \text{ gr/cm}^3$ ve $0,17 \text{ gr/cm}^3$ seçilmiştir. Ayrıca A ve C kütlelerinin yoğunluğu $2,2 \text{ gr/cm}^3$ olup B kütlesinin yoğunluğu $2,5 \text{ gr/cm}^3$ dür. Dolayısıyla kütleler arası yoğunluk farkıda olabildiğince birbirine yakın olacak şekilde $0,3 \text{ gr/cm}^3$ seçilmiştir.



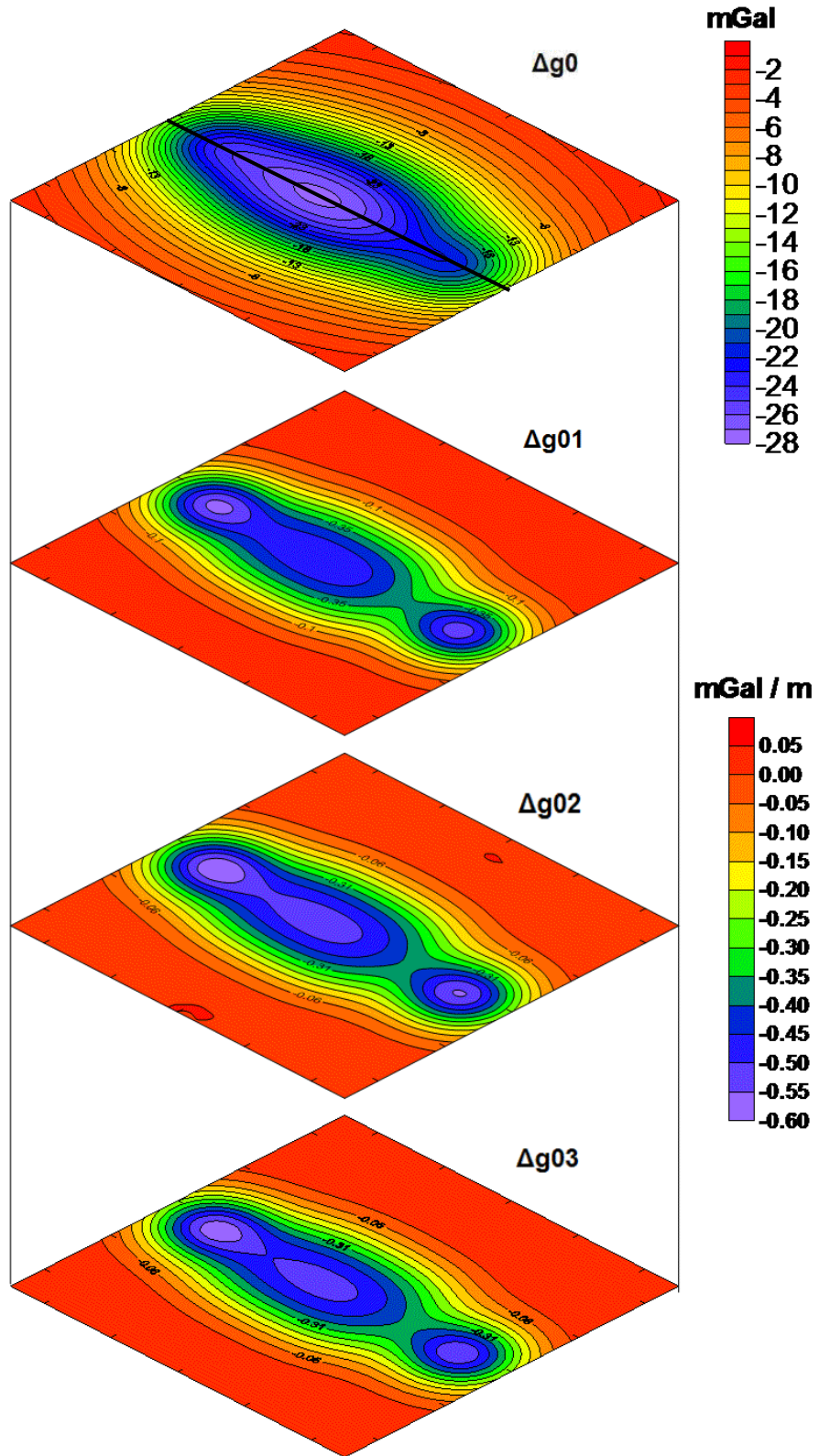
Şekil 4.9. $250 \times 250 \text{ m}$ 'lik alan içerisinde farklı yoğunlukta, aynı derinlikte ve aynı Y eksenini üzerinde hizalandırılan basit geometrik şekiller modeli.

Model-4'e ait gravite değerleri $h=0$ m, $h=1$ m, $h=2$ m ve $h=3$ m için Grablox programında hesaplatıldı ve $h=0$ m için hesaplanan değerlerden Δg_0 gravite haritası ve $h=1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerlerinden de Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 için gravite düşey gradient değerleri hesaplanarak haritalandırıldı (Şekil 4.10).

Model-4' te ortam yoğunluğu $2,67 \text{ gr/cm}^3$ 'dir ve kütlelerin yoğunluğundan daha yüksektir, bu nedenle gravite anomali haritasında kütleler negatif anomali olarak gözlemlenmiştir.

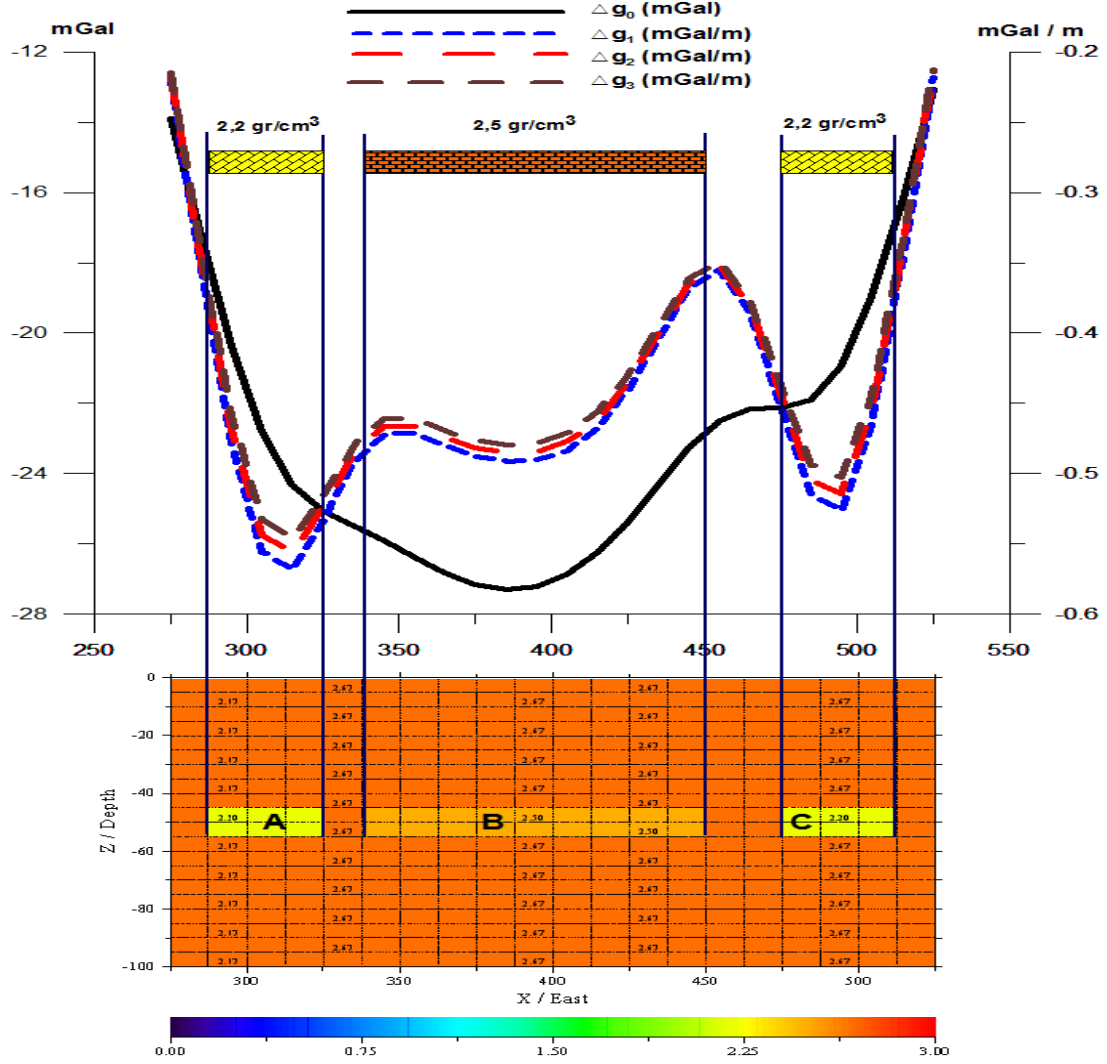
Model-4 tasarlanırken yoğunlukları birbirine yakın olan (*ortam yoğunluk kontrastı en az $0,27 \text{ gr/cm}^3$ en çok $0,47 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Kütleler arası yoğunluk farkı $0,3 \text{ gr/cm}^3$ ' tür.*) kütlelerin yüzeyde gözlemlenen gravite değerlerinde ne lde ayrımlılık göstereceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Model-4' ten elde edilen gravite (Δg_0) haritası incelendiğinde bir eksen boyunca uzanan elips şeklinde ki kütlenin gravite anomali yorumlardan biridir. Ancak $h=1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak hazırlanan Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} gravite düşey gradient değerlerinden türetilen anomali haritaları incelendiğinde gömülü kütlelerin sınırlarının belli bir oranda belirginleştiği gözlemlenmektedir. C kütlesinin ortadaki B kütlesinden daha uzakta olmasından dolayı Δg_{01} gravite düşey gradient haritasında daha belirgin olmuştur ve sonraki Δg_{02} ve Δg_{03} haritalarında daha da belirgin hal almıştır. Ancak A ve B kütlelerinin birbirine yakın olmalarından dolayı bu iki kütle arasındaki ayrımlılık ancak Δg_{02} ve Δg_{03} haritalarında belirginlik göstermiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Δg_0 gravite anomali haritası, Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 için hesaplanan gravite düşey gradient haritaları ve model-4

$h=0, 1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerlerinden hazırlanan Δg_0 gravite haritasında ve $\Delta g_1, \Delta g_2$ ve Δg_3 gravite düşey gradient haritalarında anomali boyunca alınan kesitin grafikleri Şekil 4.11’ da verilmiştir.



Şekil 4.11. Model-4 için gravite ve gravite düşey gradient anomali haritaları üzerinde alınan kesitin grafiği.

Grafikler model yapı göz önünde bulundurularak incelendiğinde model içindeki kütle sınırları daha net gözlenmekte. Δg_0 gravite haritasında ortam yoğunluğundan daha düşük olan A kütlesi gravite eğrisini aşağı çekmiştir ancak yine ortam yoğunluğundan düşük olan B kütlesi bu etkiyi devam ettirmiş ve A kütlesinin

etkisini maskeleymiştir. B ve C kütleleri arasındaki mesafenin fazla olması nedeni ile gravite eğrisi ortam yoğunluğunun etkisi ile pozitif yönelim göstermiş ve ardından C kütlelerinin etkisiyle eğri yataylaşıp kütle etkisinden kurtulduktan sonra ortam yoğunluğu etkisiyle tekrar pozitif artan eğri olmuştur.

Yukarıdaki anlatım model yapı göz önünde bulundurarak yapılmıştır. Ancak model yapı bilinmediğinde Δg_0 gravite eğrisi için düşük yoğunluklu bir kütlelerin etkisi olduğunu ve ilerleyen metrelerde (450 – 500 m) ikinci bir kütle ihtimalinin olabileceğini söylemek mümkündür. Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 gravite düşey gradient haritalarında anomali boyunca alınan kesitin grafikleri incelendiğinde düşük yoğunluklu A, B ve C kütlelerinin etkileri açıkça gözlenmektedir. Gravite düşey gradient kesitleri model yapı bilinmeden de incelense gravite düşey gradient eğrilerinin üç farklı kütlelerin etkisini taşıdığını söylemek doğru olacaktır.

5. **Model;** ortam yoğunluğu $2,67 \text{ gr/cm}^3$ olan $250 \times 250 \text{ m}^2$ lik alan içerisinde farklı derinlik ve ebatlarda dikdörtgen prizmalar şeklinde kütleler tasarlanmıştır. Bu kütlelerin yoğunlukları $2,3 \text{ gr/cm}^3$, $2,0 \text{ gr/cm}^3$ ve $1,8 \text{ gr/cm}^3$ olarak değişmektedir. A, B, C ve E kütleleri yüzeyden 60 m derinlikte D ve F kütleleri ise 70 m derinliktedir (Şekil 4.12.). Kütlelerin ebatları ise aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Kütle	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	Yoğunluk (gr/cm^3)
A	62,5	112,5	10	2,3
B	37,5	37,5	10	2,0
C	62,5	37,5	10	2,0
D	62,5	62,5	10	1,8
E	37,5	37,5	10	2,0
F	62,5	50	10	1,8

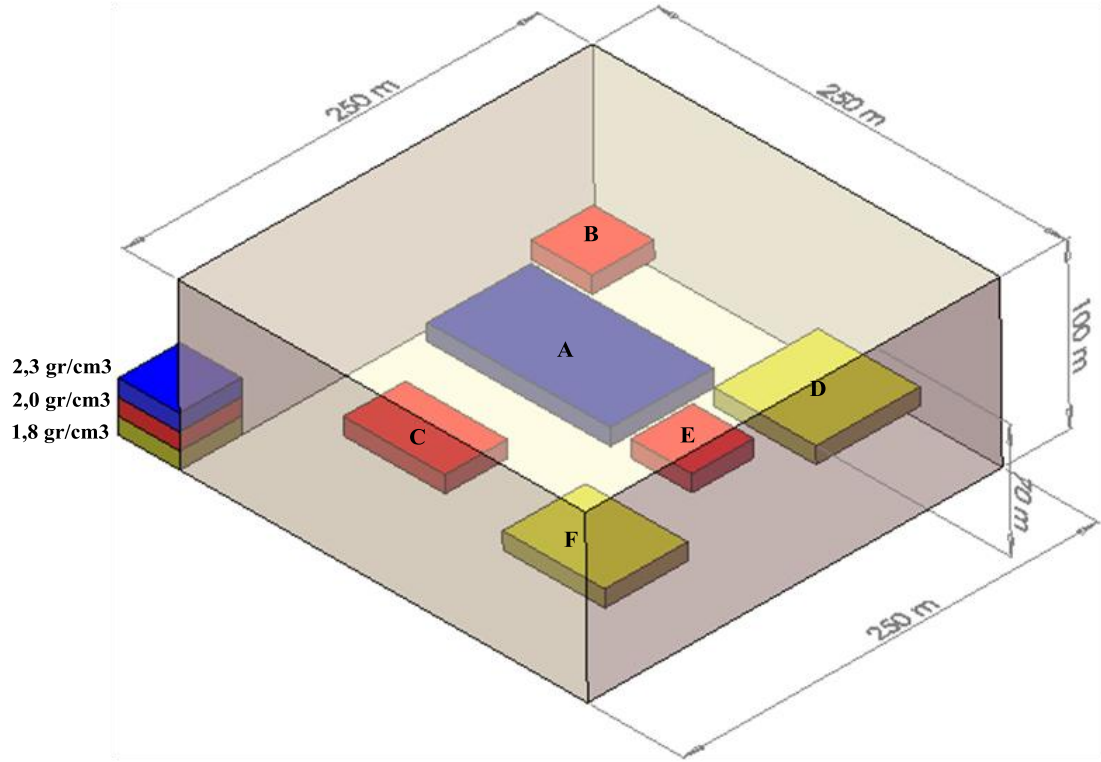
Model-5'e ait gravite değerleri $h=0 \text{ m}$, $h=1 \text{ m}$, $h=2 \text{ m}$ ve $h=3 \text{ m}$ için Grablox programında hesaplatıldı ve $h=0 \text{ m}$ için hesaplanan değerlerden Δg_0 gravite haritası ve $h=1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerlerinden de Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 gravite düşey gradient değerleri hesaplanarak haritalandırıldı (Şekil 4.13.)

Model-5' te ortam yoğunluğu $2,67 \text{ gr/cm}^3$ 'dir ve kütlelerin yoğunluğundan daha yüksektir, bu nedenle gravite anomali haritasında kütleler negatif anomali olarak gözlemlendi.

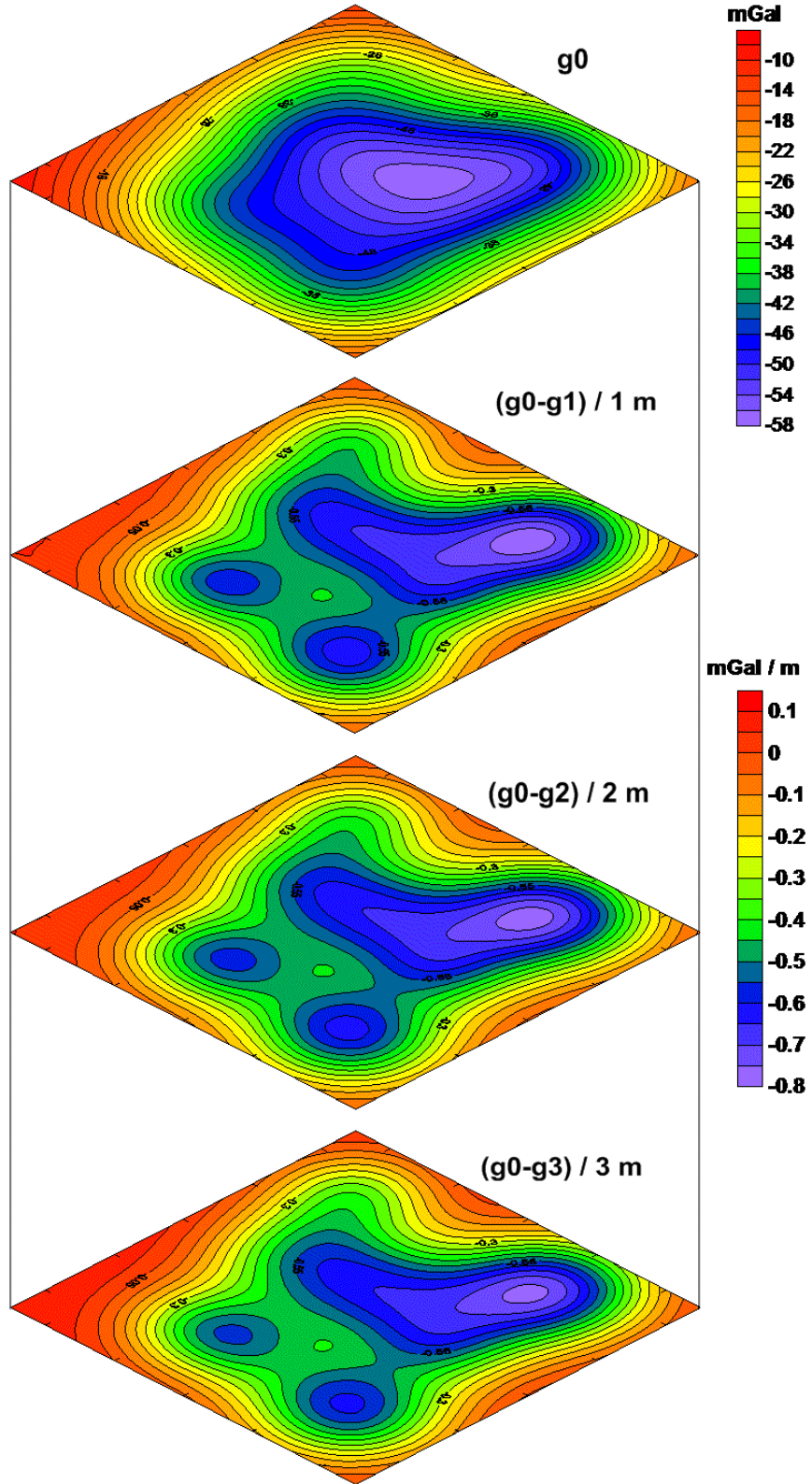
Model-5 tasarlanırken ana hedef yüzeyde gözlemlenen gravite değerlerindeki yüzeye yakın (60 m) yüksek yoğunluklu ($2,3 \text{ gr/cm}^3$, $2,0 \text{ gr/cm}^3$) kütlelerin daha derinde bulunan (70 m) düşük yoğunluklu ($1,8 \text{ gr/cm}^3$) kütleleri maskeleyesi ve bu maskeleye etkisinin gravite düşey gradient ölçümleriyle ne ölçüde azaltılabildiğidir.

Belirlenen bu hedef doğrultusunda şunları söyleyebiliriz. Eğer model yapı hakkında bir fikrimiz olmadan Δg_0 gravite haritası incelenirse (*geometrisi bilinen dörtgen ya da diğer geometrik şekiller haricinde*) tek bir kütleden oluşan yapının gravite anomalisi olarak yorumlanabilir.

Ancak $h=1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak hazırlanan Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03} gravite düşey gradient değerlerinden türetilen anomali haritaları incelendiğinde kütlelerin anomalileri nispeten ayrımlaşıyor. Özellikle C ve F kütlelerinin sınırları eş gravite konturları ile belirginleşiyor ancak B, D ve E kütlelerinin sınırları tek bir kontur çizgisi kapanımı ile temsil ediliyor. Ayrıca D kütlesi hacim olarak büyük bir yapıya sahip olması nedeniyle eş gravite kontur çizgileri D kütlesi üzerinde merkezleniyor ve B kütlesi küçük yapısından dolayı kontur çizgisinde küçük bir çekme oluşturuyor. E kütlesine ait gravite etkisinin ise A ve D kütleleri tarafından Gravite (Δg_0) ve gravite düşey gradient (Δg_{01} , Δg_{02} ve Δg_{03}) haritalarında maskelendiği görülmektedir.



Şekil 4.12. 250 x 250 m’lik alan içerisinde farklı yoğunlukta, farklı derinlikte ve aynı Y eksenini üzerinde hizalandırılan basit geometrik şekiller modeli.



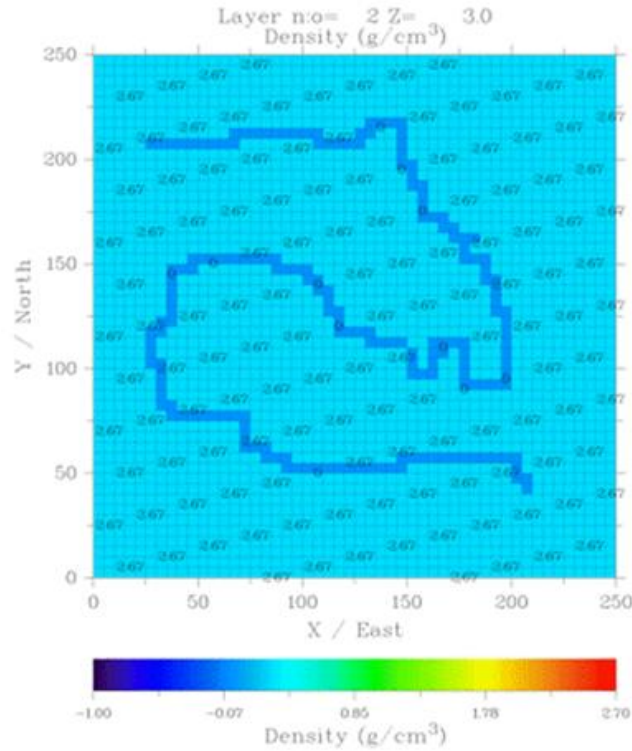
Şekil 4.13. Δg_0 gravite anomali haritası, Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 için hesaplanan gravite düşey gradient haritaları ve model-5.

6. **Model;** ortam yoğunluğu $2,67 \text{ gr/cm}^3$ 250 x 250 m alan içerisinde 3m derinlikte 5 x 2 m ebatlarında tünel yapısı ($0,0 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu) olarak tasarlandı.

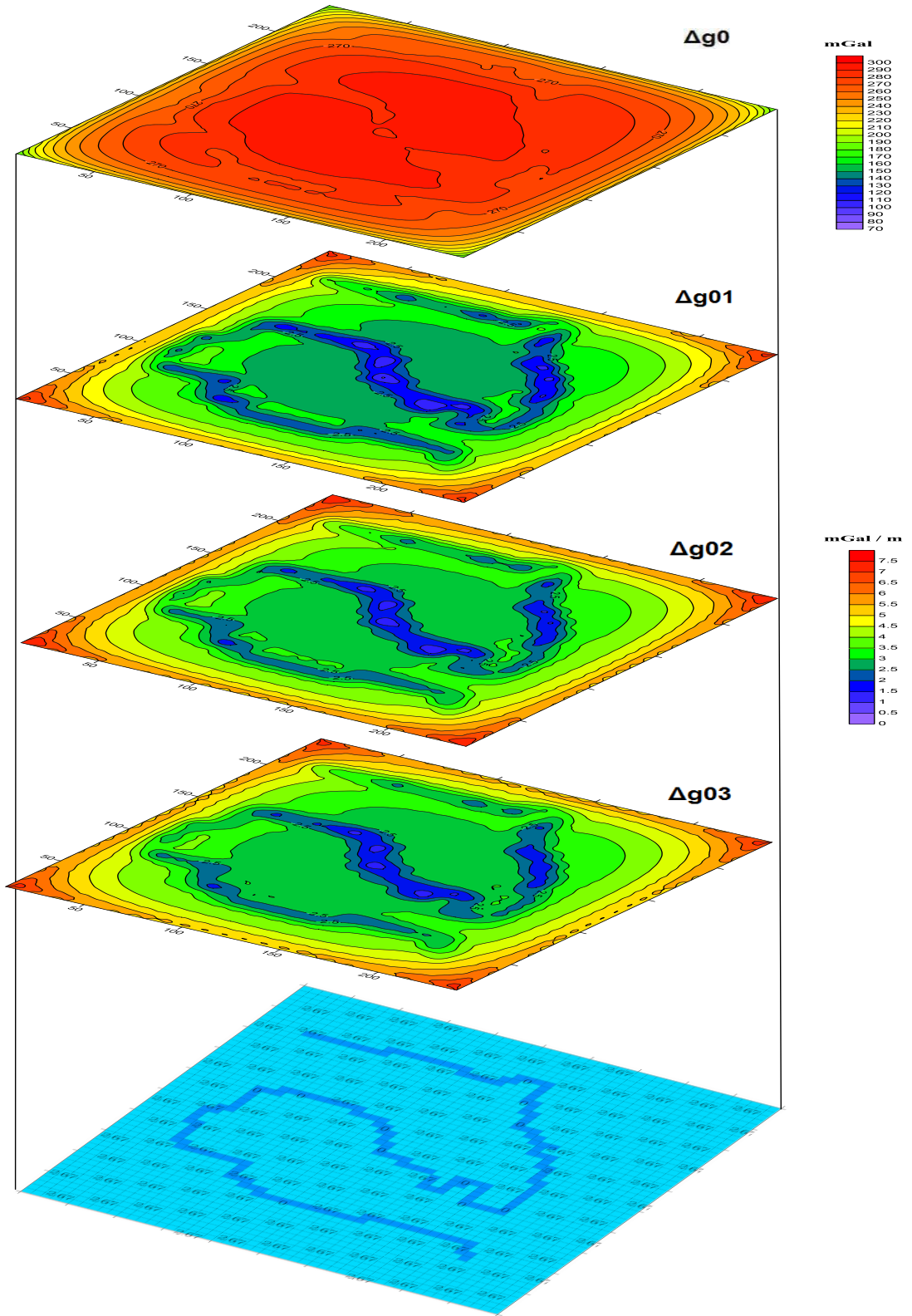
Model-6'ya ait gravite değerleri $h=0 \text{ m}$, $h=1 \text{ m}$, $h=2 \text{ m}$ ve $h=3 \text{ m}$ için Grablox programında hesaplatılarak ve $h=0 \text{ m}$ için hesaplanan değerlerden Δg_0 gravite haritası ve $h=1, 2$ ve 3 m için hesaplanan gravite değerlerinden de Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 gravite düşey gradient değerleri hesaplanıp haritalandırıldı (Şekil 4.14 – 15)

Model-6'nın tasarımında model tünelin gravite (Δg_0) ve gravite düşey gradient (Δg_{01} , Δg_{02} , Δg_{03}) haritalarında tespiti amaçlanmıştır. Gravite haritasında tünelin gravite etkisi görülmemektedir ama gravite düşey gradient haritalarında tünel yapısı izlenmektedir. Gravite düşey gradient haritalarında tünel etkisinin gözlenmesinin yanı sıra haritalar arasında bir farklılık göze çarpmaktadır.

Gravite düşey gradient haritalarında tüneli temsil eden anomali kontur kapanımları tünelin dönüm yerlerinde kesintiye uğramaktadır ve diğer gözlem ise Δh gradient aralığı arttıkça tünel anomalisinin belirginliğinin de azaldığıdır.



Şekil 4.14. 250 x 250 m' lik alan içerisinde ki 3 m derinlikteki, 5x2 m ebatlarına sahip tünel geometrisi, Model-6.

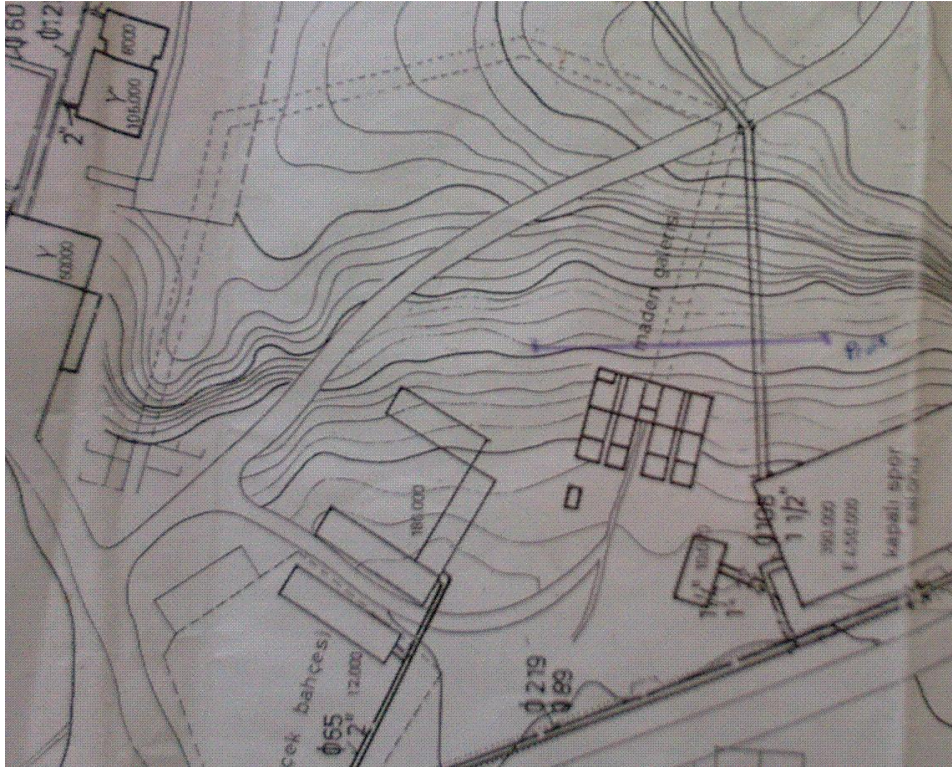


Şekil 4.15. Δg_0 gravite anomali haritası, Δg_1 , Δg_2 ve Δg_3 gravite düşey gradient haritaları ve model-6.

5. GRAVİTE ve GRAVİTE DÜŞEY GRADIENT ARAZİ UYGULAMASI

Gravite düşey gradient ile ilgili teori ve model çalışmalarının sonuçlarını görmek amacı ile saha uygulaması yapıldı. Bu amaç doğrultusunda MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan 1973 yılında yapılmış olan Madencilik Tatbikat Ocağı hedef alındı. Ocak üzerinde yapılan ilk çalışmalarda sonuç alınamadı bunun nedeni galerinin büyük bir kısmının artık kullanılmaması ya da üzerine yapıların yapılması gerekliliği ile ilgili olarak göçertilmesi ve boşalan yerlerin de yine aynı tür malzemelerle doldurulmuş olmasıdır. Göçen ve hemen yanındaki aynı fiziksel özelliklere sahip toprakla doldurulan galerinin yoğunluk farkı yaratmaması gravite için çözümsüzlük oluşturmuştur. Bu bilgiler çalışmaların başlangıcında elde olmamasından dolayı saha uygulaması olarak yapılan birden fazla profil hattı gereksiz yere çalışılmıştır. Dolayısıyla zaman kaybına neden olmuştur.

Maden mühendisleri için yapılan tatbikat ocağının bir krokisi elde olmasına karşın ocağın koordinatları ve derinliği tam kesinlikte krokiye işlenmemiş (Şekil 5.1.). Ayrıca galerinin yüzey topografyasında da bir belirtisi yoktur (Şekil 5.2.). Bu nedenle galerinin giriş ve çıkış noktaları göz önünde bulundurularak galerinin güzergahı tahmin edilmiştir. Galerinin ebatları giriş ve çıkış noktalarında ki ölçümlerden genişliğinin ve yüksekliğinin sırasıyla minimum 2,5x2,5 m olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca galeri güzergahının yanından geçen ve MTA Genel Müdürlüğü'ndeki binalar arasında çok amaçlı (iletim kablosu vb.) yapılmış olan yer yer ebatları 1,5x1,5 m'ye varan kanallar da bulunmaktadır (Şekil 5.3.).





Şekil 5.3. Çok amaçlı yapılmış kanalın bacasından bir görüntü.

Gravimetrik ölçümlerde profil hattı, tahmini geçiş güzergahı belirlenen galeriyi olabildiğince dik kesmeyecek şekilde, açılı kesecek şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarının amacı galeri üzerinden geçen profil hattındaki ölçüm noktalarından olabildiğince fazla sayıdaki noktanın galerinin üzerine denk gelmesini sağlamaktır. Gravimetrik ölçümler profil hattı boyunca $h=0$ m ve $h=1$ m (Δg_0 ve Δg_1) seviyelerinde alınmıştır.

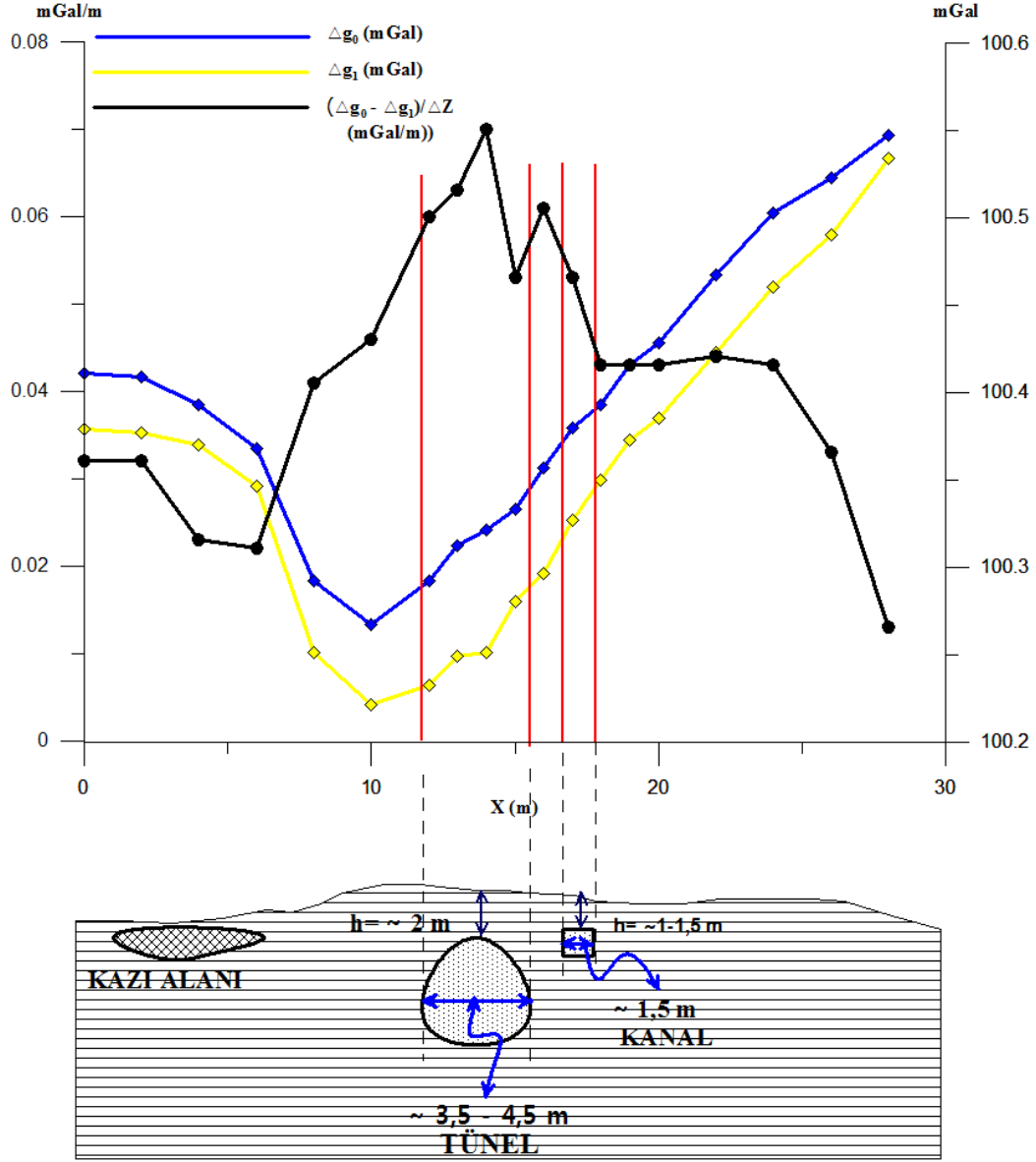
Saha uygulamalarında geçen ölçüm süreleri 8 ile 10 dakika arasında değişmiştir. Ölçüm sürelerinin azaltılması konusunda bazı düşünceler saha uygulaması esnasında geliştirilmiştir. Ancak bu düşüncelerin uygulanmasına olanaklar dahilinde geçilememiştir. Ölçüm süresinin uzamasına neden olan etken ölçümler sırası da ikinci seviyede alınacak ölçünün yüksekliğinin ayarlanmasıdır. Bu duruma çözüm olarak ölçüm sehpasına modifiye edilecek bir lazer mesafe belirleyicisinin, sehpanın konumlandırılması aşamasında obzervere dijital olarak yükseklik değerini verecek olmasıdır. Bu sayede obzerver aynı anda hem sehpanın kaba düzecini hem de yükseklik ayarlamasını yapmış olacaktır.

Galeri üzerinde alınan profil toplam on dokuz noktadan oluşmaktadır. Tünelin olduğu tahmin edilen hat üzerinde daha fazla ölçü alabilmek amacıyla ölçü noktaları arası 1 m seçilmiştir, profil hattın başlangıç ve bitiş noktalarına doğru ölçü aralığı 2 m seçilmiştir.

Saha uygulaması sonucunda elde edilen $h=0$ m ve $h=1$ m aralığında ölçülen gravite eğrileri ile gravite düşey gradient eğrisi Şekil 5.4. de gösterilmiştir. Gravite eğrisi incelendiğinde ilk aşamada profil hattının geçiş güzergâhında altta çevre yoğunluğundan daha düşük yoğunlukta bir yapı görülmektedir. Gravite eğrisi geniş bir negatif alanı işaret etmektedir ancak bilmekteyiz ki madencilik tatbikat ocağının genişliği ve derinliği minimum 2,5m'dir. Dolayısıyla saha uygulamasında galeriyi verevine kesecek şekilde çalışmamızı yönlendirdiğimizden galerinin genişliği 2,5 m ile 4,0 m arasında olacaktır ve gravite eğrilerinin işaret ettiği gibi tünelin genişliği 8,0 m ile 10 m arasında değildir. Ayrıca Δg_0 ve Δg_1 gravite eğrilerinde yukarıda bahsettiğimiz ebatları daha küçük olan çok amaçlı yapılmış kanalın etkisinin gözlenmemesinin yanı sıra profilin başlangıcına denk gelen kısımda önce kazılıp daha sonra pekiştirilerek doldurulduğu düşünülen alanın etkisi de gözlenmemektedir. Profilin başlangıcına denk gelen bu alanda inşaat amaçlı yapılan bir çalışmanın etkileri yüzeyde gözlenmektedir (Şekil 5.5.). Ancak gravite düşey gradient ($[\Delta g_0 - \Delta g_1] / \Delta Z$) eğrisi incelendiğinde galerinin yanı sıra hemen yanından geçen ve yüzeye daha yakın olan kanalın etkisi ile profil başlangıcındaki alanın etkisi daha net gözlenmektedir (Şekil 5.5.).

Saha uygulamasının hedeflerinden biri olan gravite eğrisi gravite düşey gradient eğrisinin karşılaştırılması bu çalışma ile net olarak görülmektedir. Sonuç olarak gravite düşey gradient uygulamalarında saha çalışması fiziksel koşullar açısından bu kadar zor ve zaman alıcı olmasına karşın hedef uygulamalarda uygun bir ölçüm ve yorumlama yöntemidir.

MTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ MADEN OCAĞI UYGULA TÜNELİ
GRAVİTE - GRAVİTE DÜŞEY GRADIENT GRAFİKLERİ



Şekil 5.4. Saha uygulaması sonucunda elde edilen $h=0$ m ve $h=1$ m aralığında ölçülen gravite eğrileri ile gravite düşey gradient eğrisi.



Şekil 5.5. Profilin başlangıcına denk gelen inşaat amaçlı yapılan alan.

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Gravite düşey gradient yeraltı boşluk sistemleri, jeolojik yapı ve antropojenik şekillerin bulunmasında uygulanabilir yöntemlerden biridir ve gravite düşey gradient uygulamaları kule sistemleri ile yapılmaktadır.

Kule yapısının portatif, sağlam ve hafif olması, obzervasyonda önemli kolaylıklar sağlayacaktır. Ayrıca kulenin çalışma sahasının topografyasına uyum sağlaması açısından kule ayaklarının yükseltilip alçaltılabilmesi topografya kaynaklı düzeçleme sıkıntısını azaltacaktır. Ölçüm kulesinin hafifliğinin yanı sıra stabil bir yapısının olması da önem kazanmaktadır çünkü rüzgâr vb. etmenlerden etkilenmesini azaltmak gerekir. Son olarak kulenin ağırlığı ne kadar az olursa taşıma kolaylığı ile orantılı olarak ihtiyaç duyulacak iş gücünde azalacaktır. Kule yapısı için sağlanacak tüm optimum koşullar gravite düşey gradient uygulamalarında çalışma sahasında bir noktadaki ölçüm süresini azaltacaktır. Gravimetrik uygulamalarda ölçüm süresi iki ile beş dakika arasındadır ama gravite düşey gradient uygulamalarında bu süre daha fazladır. Fajkiewicz'in 3 m yüksekliğindeki kule ile yaptığı çalışmalarda 3 farklı seviyede ölçüm almış ve ölçüm için geçen sürenin ortalama 25 dakika ile 30 dakika arasında olduğunu ifade etmiş. Ayrıca tez için MTA bahçesinde yapılan çalışmada kullanılan kule yapısı, topografya ölçümlerinde sehpa olarak kullanılan tripodtur (uçayak) ve modifiye edilerek ölçüme hazırlanan tripod ile iki seviyede ölçüm alınmıştır ve geçen süre ortalama 8 ile 10 dakika arasındadır.

Gravite düşey gradient derinlikle ilişkilendirildiğinde yöntemin sığ yapılar üzerinde etkin olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni her seviye için aldığımız gravite ölçülerinin birbirinden farkı alındığında daha derinde olan yapıların etkisini elemine etmiş olmamızdır. Gradient ölçümleri zaten bir anlamda rejyonal rezidüel ayrımı yapan birinci ve ikinci düşey türev yöntemleri gibi çalışmaktadır. Ancak türev haritalarını tam eşdeğer olarak düşünmemek gerekir, bunun yanı sıra sahada uygulanan gravite gradient ölçümleri eşdeğerdir.

Serbest hava düzeltmesi ve Bouguer düzeltmesi olarak iki aşamadan oluşan yükseklik düzeltmesi ilgili bölümde anlatıldığı gibi teorik bağıntılar gereği gravite düşey gradient ölçüm yöntemiyle etkisini kaybetmektedir. Dolayısıyla yöntemin gereği olarak yükseklik düzeltmesinin yapılmaması veri işlem aşaması için bir kazanım olacaktır.

Gravite etütlerinde topografik düzeltme çalışmaları her zaman sıkıntılı bir uygulama olmuştur. Topografyanın gravite değerleri içindeki etkisini kaldırma işlemi bilgisayar ortamında yapılmaktadır ancak bu işlem sonunda çok sağlıklı sonuçlar alınamayabilir. Gravite düşey gradient uygulamalarında topografya etkisi bazı hallerde etkisini yok sayabileceğimiz seviyeye gelmektedir. Bu konuda tek dikkat edilmesi gereken özellik yapacağımız çalışmada aradığımız mGal farklılığıdır. Bölüm 3.3.' te verilen örnek uygulama (Ek-2) gereğince gravite düşey gradient için etki edecek topografya etkisi 0,13275 mGal/m' dir. Bu değer eğer çalışmamızın gerektirdiği ölçüm aralığından çok küçük bir değer ise örnekte verilen topografya için gradient çalışması uygulanabilir bir yöntemdir sonucunu çıkarırız.

Model uygulamalarında da gravite düşey gradient haritalarının gravite haritalarına oranla yapı sınırlarını daha etkin şekilde verdiğini gözlemliyoruz.

Son olarak gravite düşey gradient ile ilgili teori ve model çalışmalarının sonuçlarını görmek amacı ile yapılan saha uygulaması MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan 1973 yılında yapılmış Madencilik Tatbikat Ocağı üzerinde bir profil hattı ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar gravite düşey gradient uygulamaları açısından beklenen sonuçlardır. Ancak bu çalışmada asıl gözlemlenen önemli bulgu galeri yanında ilerleyen ve yüzeye daha yakın bulunan kanalın etkisi ile profil başındaki diğer oluşumun etkisinin gravite düşey gradient eğrisinde net bir şekilde gözlemlenmiş olmasıdır. Bu sonuçlar doğrultusunda gravite uygulamalarında hedef çalışmanın kriterleri göz önünde bulundurularak yapılacak bir gravite düşey gradient uygulamasının yorumcu açısından daha açıklayıcı bilgiler sunabileceğini söylemek doğru olacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Aydın, C. (2007). Marmara Bölgesi Gravite Değişimlerinin Belirlenmesi İçin Model Tasarımı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Ager, C. A., ve Liard, J. O. (1982). Vertical gravity gradient surveys: Field results and interpretations in British Columbia, Canada: , Geophysics., v47, p. 919-925.
- Butler, D. K. (1984). Gravity gradient determination concepts: Geophysics, v. 49, p.828-832.
- Butler, D. K. (1984). Microgravimetric and gravity gradient techniques for detection of subsurface cavities, Geophysics.,v. 49, p.1084-11096.
- Butler, D. K. (1984). Interval gravity-gradient determination concepts, Geophysics, v. 49, p.828-832.
- Erden, F. (1979). Uygulamalı Gravite, MTA Enstitüsü Yayınları, Eğitim Serisi No. 21. Ankara.
- Ergin, K., (1981). Uygulamalı Jeofizik, İTÜ Yayınları.
- Fajkiewicz, Z. J. (1976). Gravity Vertical Gradient Measurements For The Detection of Small Geologic and Anthropogenic Forms, Geophysics, v. 41, p. 1016-1030.
- Hammer, S. (1939). Terrain correction for gravimeter stations, Geophysics, v.4, p. 184-194.
- Pirttijärvi, M. (2005). BLOXER Version 1.5a “Interactive visualization and editing software for 3-D block models”, University of Oulu, Department of Physical Science, Division of Geophysics.
- Pirttijärvi, M. (2008). GRABLOX Version 1.6b “Interpretation and modeling software based on a 3-d block model”, University of Oulu, Department of Physical Science, Division of Geophysics.
- Thyssen-Bornemisza, S. Ve Stackler, W.F. (1956). Observation of The Vertical Gradient of Gravity in The Field, Geophysics, v. 21, p.771-779.

8. EKLER

Ek-1. Bazı kayaç ve minerallerin özgül ağırlıklarının değişim aralığı ve ortalamaları (Ergin,1981)

Kayaç Cinsi	Değişim aralığı(kg/m ³)	Ortalama (kg/m ³)
Toprak ve alüvyon	1500-1700	1600
Şeyl	1500-3200	2100
Kil	1300-2400	1700
Kumtaşı	1600-2700	2300
Kireçtaşı	1700-2700	2200
Granit	2500-2800	2600
Siyenit	2600-3000	2800
Gabro	2700-3500	3000
Andesit	2400-2800	2600
Bazalt	2700-3300	2900
Serpantin	2400-3100	2800
Kromit	4200-4600	4400
Manyetit	4900-5200	5100
Hematit(masif)	4900-5300	5200
Kalkopirit	4100-4300	4200
Galenit	7400-7600	7500
Uranit	8000-10000	9200
Pirit	4900-5200	5000
Barit	4300-4700	4500
Kaolin	2200-2600	2500

Ek-2. Örnek topografik etki tablosu.

ZON	ht	Δh	g_t (mGal)	$g_{t\Delta h}$ (mGal)	GDG_T (mGal/m)
A	2	1	0,008007477	0	0,008007477
	5	1	0,012280338	0,008007477	0,00427286
	9	1	0,01692658	0,016014955	0,000911625
	1	1	0,018888018	0,018662599	0,000225418
	8	1	0,019572415	0,019473993	9,84218E-05
	9	1	0,019918263	0,019863527	5,47359E-05
	10	1	0,020265828	0,020241814	2,40136E-05
	6	1	0,020440079	0,020426666	1,34126E-05
	TOPLAM		0,136298996	0,122691032	0,013607965
B	5	1	0,056858089	0,027779135	0,005815791
	10	1	0,091430145	0,077250241	0,002835981
	9	1	0,10902006	0,101553025	0,001493407
	7	1	0,122705708	0,119146822	0,000711777
	6	1	0,130066528	0,12802916	0,000407474
	35	1	0,133308692	0,131806418	0,000300455
	25	1	0,13576984	0,134618355	0,000230297
	15	1	0,139252391	0,138515963	0,000147286
	TOPLAM		0,918411453	0,858699119	0,011942467
C	50	1	0,102808262	0,098751648	0,004056614
	35	1	0,170704734	0,167899241	0,002805492
	40	1	0,216389252	0,214510643	0,00187861
	50	1	0,247438935	0,246137702	0,001301233
	15	1	0,259307328	0,258207159	0,001100169
	20	1	0,278058205	0,277248124	0,000810081
	8	1	0,292113919	0,291496392	0,000617527
	10	1	0,297880803	0,297335578	0,000545225
	TOPLAM		1,864701438	1,851586488	0,01311495
D	30	1	0,175724128	0,170122908	0,00560122
	25	1	0,45808359	0,452823218	0,005260372
	80	1	0,68713826	0,683202032	0,003936228
	90	1	0,85519641	0,852330254	0,002866155
	50	1	1,070369197	1,068762819	0,001606378
	60	1	1,277977288	1,277310381	0,000666907
	TOPLAM		4,524488873	4,504551612	0,019937261
E	80	1	0,153117124	0,150414582	0,002702542
	120	1	0,463124885	0,459920515	0,003204371
	160	1	0,762776753	0,760044796	0,002731957
	90	1	1,194896622	1,193234905	0,001661717
	110	1	1,457474304	1,456443471	0,001030833
	80	1	1,625401102	1,624718032	0,00068307
	90	1	1,687698781	1,687129821	0,00056896
	130	1	1,784289081	1,783878892	0,000410189
	TOPLAM		9,128778651	9,115785012	0,012993639
F	50	1	0,160981641	0,15895813	0,002023511
	90	1	0,274625559	0,27213409	0,002491469
	120	1	0,556177685	0,553121587	0,003056098
	110	1	0,873023212	0,869796969	0,003226243
	80	1	1,193373264	1,190221238	0,003152026
	800	1	2,038381586	2,035944926	0,002436659
	1000	1	2,475942779	2,473987586	0,001955193
	1300	1	2,974710485	2,97330418	0,001406305
	TOPLAM		10,54721621	10,52746871	0,019747506

ZON	ht	Δh	g_t (mGal)	$g_{\Delta h}$ (mGal)	GDG_T (mGal/m)
G	300	1	0,138381062	0,137506125	0,000874938
	500	1	0,353283154	0,352046705	0,00123645
	800	1	0,760760433	0,759341952	0,001418481
	1000	1	1,042334542	1,04095108	0,001383462
	1200	1	1,310136146	1,308847529	0,001288617
	1300	1	1,436106485	1,434875798	0,001230687
	1400	1	1,556121653	1,5549517	0,001169953
	1500	1	1,670013084	1,668904571	0,001108512
	1700	1	1,879580501	1,87859157	0,000988931
	2000	1	2,151385212	2,150557261	0,000827951
	2200	1	2,307487148	2,306751612	0,000735536
	2300	1	2,378907009	2,378213253	0,000693756
	TOPLAM		16,98449643	16,97153916	0,012957274
H	500	1	0,225524206	0,224666124	0,000858082
	700	1	0,422707609	0,42160727	0,001100338
	1000	1	0,790939851	0,789612407	0,001327444
	1200	1	1,064508225	1,063109769	0,001398456
	1400	1	1,347041895	1,34562232	0,001419575
	1600	1	1,629887552	1,628483715	0,001403836
	1800	1	1,906859549	1,905496856	0,001362693
	2000	1	2,173839525	2,172534191	0,001305333
	2300	1	2,550413791	2,549210298	0,001203494
	2600	1	2,895274405	2,894178544	0,001095861
	3000	1	3,305543462	3,304585782	0,000957681
	3300	1	3,57838127	3,577518235	0,000863035
	TOPLAM		21,89092134	21,87662551	0,014295829
I	1000	1	0,518474649	0,517504596	0,000970053
	1300	1	0,839360775	0,83820174	0,001159035
	1600	1	1,208427653	1,207135741	0,001291913
	1800	1	1,473179065	1,471827368	0,001351697
	2000	1	1,747796074	1,746404981	0,001391093
	2200	1	2,028462666	2,027049936	0,00141273
	2400	1	2,311897551	2,310478257	0,001419294
	2600	1	2,595348547	2,593935178	0,00141337
	3000	1	3,153731393	3,152358075	0,001373318
	3300	1	3,558925212	3,557598929	0,001326283
	3600	1	3,948575368	3,947304905	0,001270464
	4000	1	4,440577697	4,439388806	0,001188892
	TOPLAM		27,82475665	27,80918851	0,015568141

	RHO= 2 gr/cm3 için		RHO= 2,4 gr/cm3 için	
	GT-0	GT-1	GT-0	GT-1
Düzeltililecek miligal değeri	93,82007004	93,6873246	78,1833917	78,0727705
Düzeltililecek miligal/m değeri	0,132745442		0,110621202	

9. ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Bolu’ da doğdu. İlk öğrenimini Manisa’da orta ve lise öğrenimini Kayseri’de tamamladı. 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2000 yılında bu bölümden mezun oldu. 2004 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığında Jeofizik Mühendisi olarak göreve başladı. 2008 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.