

# REZERVUAR SICAKLIKLARINI HESAPLAMA AMACIYLA KULLANILAN SİLİS JEOTERMOMETRESİ

(Fournier (1977) ile Truesdell ve Fournier (1977)' den kısmen tercüme edilmiştir)

Mert ARSLAN\*

## GİRİŞ

Sıcak sular yeryüzüne doğru yükselirken aşağıdaki gibi üç şekilde soğurlar.

- 1- Adyabatik olarak,
- 2- Kondüksiyonla,
- 3- Soğuk sularla karışarak

Yüzeye doğru oldukça büyük kütle oranlarında akan sular kaynatarak (adyabatik) soğuyacaktır. Yüzeye çıkan kaynak suyu mevcut atmosferik basınç yüzünden kaynama sıcaklığında veya biraz üzerinde olacaktır.

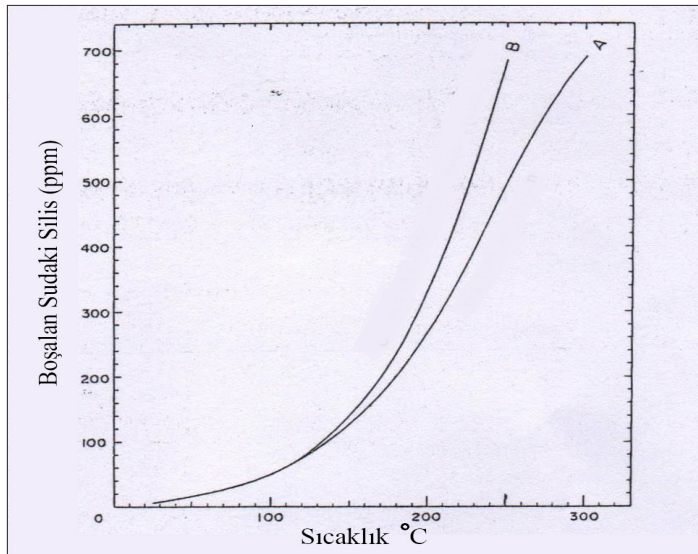
Suların yavaşça veya dolaylı olarak yüze çıktığı yerde kondüksiyonla soğuma

oluşur. Böyle bir soğuma durumunda farklı kaynaklar, farklı sıcaklıklara ancak benzer kompozisyonlara sahip olurlar. Büyük kütle oranlarında akan sular kaynatarak (adyabatik) soğusalar da, farklı sıcaklıklı ve benzer klorid içerikli ılık kaynakların olması akma oranlarının oldukça büyük olduğu yerde bile kondüksiyonla soğumayı ifade eder.

Fournier ve Rowe (1966)'nın silis jeotermometresi, kuvars eriyebilirliğini esas alır (Şekil 1). Eğer su örneği örnekleme öncesi kaynatarak soğumuşsa şekil 1'deki B eğrisi kullanılır. Kondüksiyonla soğumuşsa şekil 1'deki A eğrisi kullanılır.

Soğuk suyla karışmış derindeki bir sıcak su bileşeninin sıcaklık ve oranını hesaplama adına kolaylaştırılmış grafiksel yöntem buharla dengedeki sıvı suyun entalpisine karşı çözülme silis olarak şekil 2'de gösterilmektedir. Yöntemi kolaylaştırmak için uluslararası tablodaki, gram başına jul den ziyade gram başına kalori cinsinden işaretleme seçilmiştir. Karışmadan önce ısı kaybetmemiş veya buharın ayrılmasıyla ısı kaybetmiş kaynamayan ılık kaynak sularına yukarıda sözü edilen yöntem uygulanabilir.

Yükselen sıcak suların daha soğuk yer altı suyuyla karışmasıyla soğuduğu yerde,



Şekil 1- Sıcaklığın fonksiyonu olarak kuvars eriyebilirliği.

\* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi, Ankara.

farklı sıcaklıklı kaynaklar farklı kimyasal kompozisyonlara sahip olurlar.

Şekil 2'nin kullanılması halinde, yükselen sıcak suların daha soğuk yer altı suyuyla karışmasından önce sıcak su bileşeninden buhar ve ısının kaybedilmediğini veya sıcak su bileşeninden orta sıcaklıkta buharın ayrıldığını varsayabiliriz. Her iki durumda da; karışmadan sonra hiçbir ısı kaybının oluşmadığını, derin sıcak suyun önceki silis içeriğinin kuvars eriyebilirliği ile kontrol edildiğini, karışmadan önce veya sonra ilave olunan herhangi bir silis erimesinin ve çökmesinin oluşmadığını göz önüne almak gerekir.

### SOĞUK SUYLA KARIŞMIŞ SICAK BİR SU BİLEŞENİNİN SICAKLIK VE ORANINI HESAPLAMA YÖNTEMİ

**Karışmadan önce buhar ve ısı kaybının olmadığını düşünerek aşağıdakiler yapılır.**

1. Bölgedeki termal olmayan yer altı suyunun sıcaklık ve silis içeriği belirlenir. Entalpi-silis içeriği grafiği Şekil 3'te bir nokta olarak işaretlenir (Şekil 3'te A noktası).

2. Karışım kaynak suyunun entalpi ve silis içeriği grafik üzerinde diğer bir nokta olarak işaretlenir (şekil 3'teki B noktası).

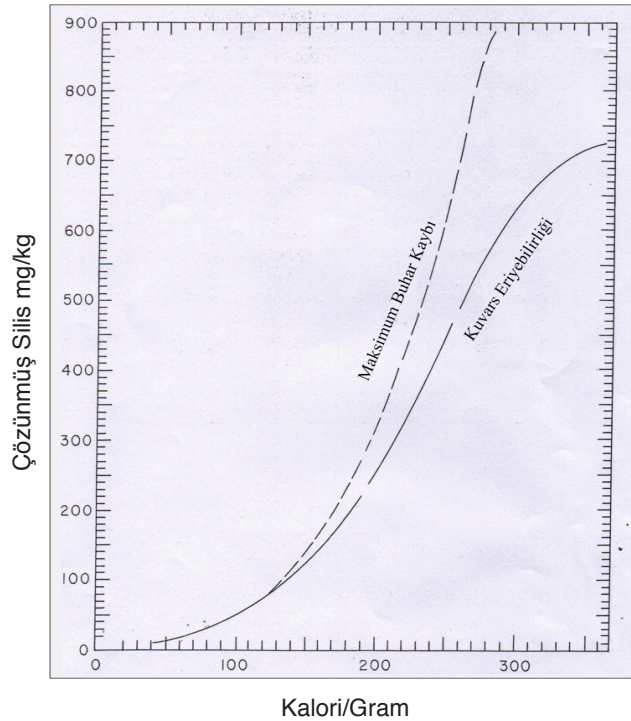
3. İki nokta arasında düz bir çizgi çizilerek, bu çizgi kuvars eriyebilirlik eğrisini kesene dek şekil 3'teki C noktasına kadar uzatılır. C noktası derin sıcak su bileşeninin entalpisi ve silis içeriğidir.

4. Buhar tablolarını kullanarak sıcak su bileşeninin entalpisinden veya şekil 4'ten sıcak su bileşeninin sıcaklığı bulunur.

5. AB uzaklığını AC ye bölerek ılık sudaki sıcak su fraksiyonu belirlenir.

B noktasının konumu kuvars eriyebilirlik eğrisini kesecek olan AB hattı uzatmasına göre çok yüksek bir silis değeri içerebilir. Bu olay da termal olmayan suyun çok düşük bir silis değerine uygun olabilir. Eğer uygun görülürse bu değer artırılabilir.

### Soğuk Suyla Karışmadan Önce Adyabatik Olarak Soğumuş Sıvıdan Buhar Kaybı Varsayarak Aşağıdakiler Yapılır



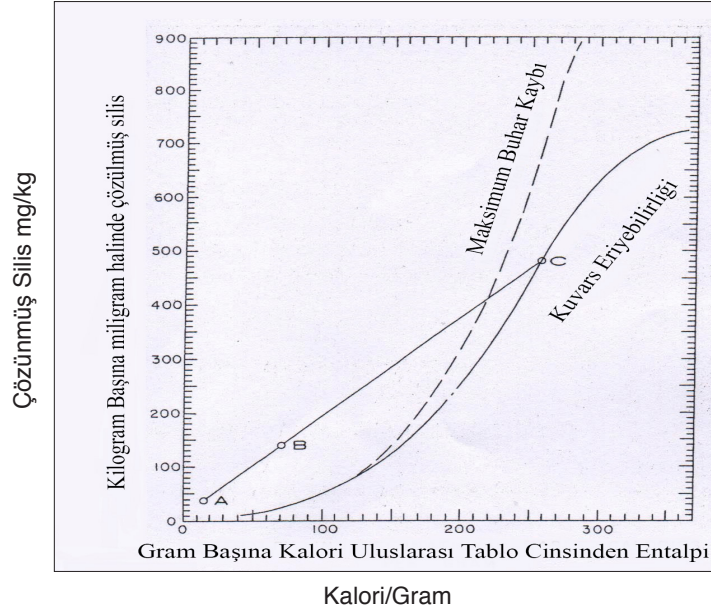
Şekil 2- Ilık kaynak suyunu türeten soğuk suyla karışmış sıcak su bileşeninin sıcaklığını belirleme adına çözünmüş silis-entalpi grafiği.

1. Yukarıda belirtilen yöntemdeki gibi ılık ve soğuk suların entalpi ve silis içerikleri işaretle edilir (Şekil 5, A ve D noktaları).

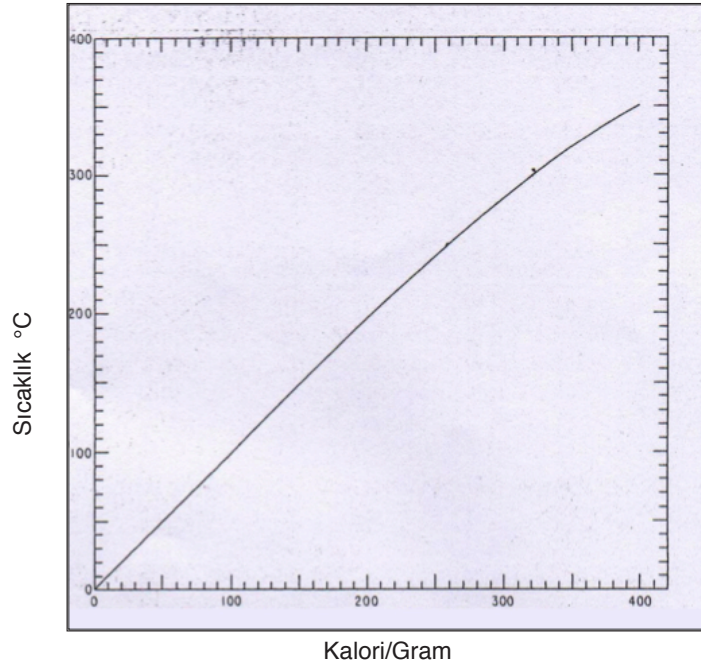
2. A ve D noktaları arasında düz bir çizgi çizilir, bu çizgi karışmadan önce buharın kaçtığına varsayıldığı entalpi değerine kadar uzatılır (Şekil 5'teki 100°C adına E noktası).

3. Maksimum buhar kaybı eğrisi kesilene kadar apsise paralel ve yatay olarak hareket ettirilir (Şekil 5'teki F noktası). F noktası kaynama başlamadan önceki sıcak su bileşeninin entalpisini verir. G noktası ise buhar kaybı olmadan önceki orijinal silis içeriğini verir.

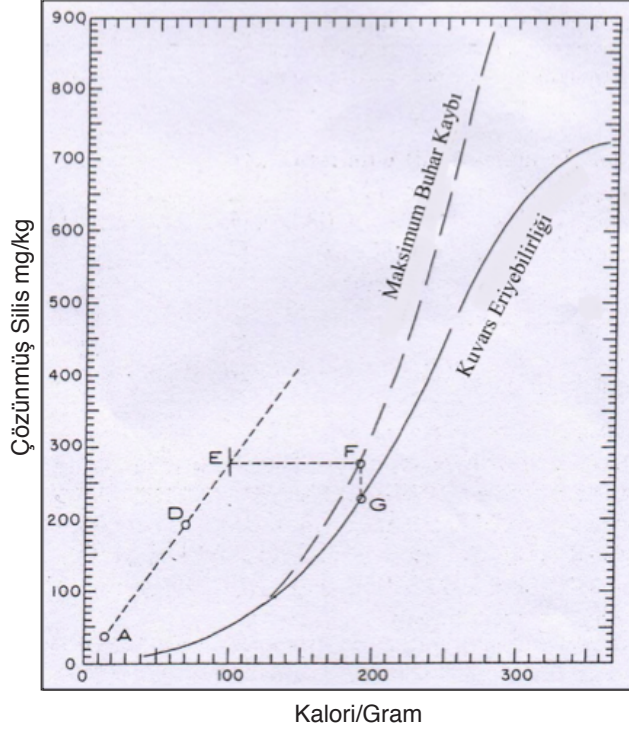
4. AD mesafesini AE ye bölerek buhar kaybindan sonra ılık sudaki sıcak su fraksi-



Şekil 3- Karışmadan önce hiç buhar veya ısının kaybedilmediği varsayıldığında kullanılan çözünmüş silis-entalpi grafiği.



Şekil 4- Buharla dengedeki sıvı su adına sıcaklık-entalpi ilişkileri.



Şekil 5- Karışmadan önce sıcak su bileşeninden 100°C de buharın ayrıldığıının varsayıldığı zaman kullanılan çözünmüş silis-entalpi grafiği.

yonu belirlenir. Karışmadan önce buhar olarak kaybolan orijinal sıcak su fraksiyonu X,

$$X=1-(G \text{ noktasındaki silis}/F \text{ noktasındaki silis})$$

Formülüyle verilir. Eğer 100°C üzerindeki sıcaklıklarda buhar kaybedilirse, F noktası maksimum buhar kaybı eğrisi ile kuvars eriyebilirlik eğrisi arasındaki buhar kaybı eğrisi üzerinde yer alacaktır.

Eğer buhar 1 atmosfer basınçtan daha azken ayrılırsa geri kalan sıvının entalpisi 100 kal/gr'dan daha az olacaktır.

## TARTIŞMA

Sıcak su bileşeninin maksimum entalpisi, AB olarak uzatılan hattın (Şekil 3) kuvars eriyebilirlik eğrisine teğet olduğu noktayla belirlenir. Termal olmayan suyun en uygun silis içeriğine karşı, bu nokta yaklaşık 300 kalori/gram (285°C) de olacaktır. Sıcak su bileşeninin daha yüksek ilk entalpileri kuvars eriyebilirlik eğrisini iki noktada kesecektir. Çok yüksek entalpili sularda (275-300 kal/gr üzerinde) problem daha ciddidir. Böyle sulardan

kuvars oldukça çabuk çökler ve böylece hiç silis çökmediğini varsayan ilişkiden türetilmiş sıcaklıklar hatalı olmaya uygundur.

Kalsedon ve kristobalit gibi diğer silis fazlarını sağlamada benzer grafiksel yöntemler kullanılır.

## DEĞİNİLEN BELGELER

Fournier, R. O., 1977, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems: *Geothermics*, Vol. 5, p. 41-50.

Fournier, R. O.; Rowe J. J. (1966) Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot spring-sand wet steam wells. *Am. J. Sci.*, 264, 685-691

Truesdell, A. H., Fournier, R. O., 1977, Procedure for estimating the temperature of a hot-water component in a mixed water by using a plot of dissolved silica versus enthalpy: *Journal Research U.S. Geological Survey*, Vol. 5 No. 1, p. 49-52.

## GRAVİTE DÜŞEY GRADYENT VE MODEL UYGULAMALARI

Gökhan YILDIRIM\*, Cemal KAYA\*\* ve Hüseyin YILMAZ\*\*\*

ÖZ - Sunulan bu çalışmada gravite ile gravite düşey Gradyent çalışmaları model uygulamaları ile karşılaştırılmıştır. Gravite ve gravite düşey Gradyent çalışmaları sığ yer altı boşluk sistemlerinin, tünellerin ve terk edilmiş maden sahalarının belirlenmesinde ve jeolojik problemlerin çözümünde uygulanabilir tekniklerdir. Makale içerisindeki karşılaştırmalar düz çözüm 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 Gradyent, Aralıklı gravite düşey Gradyent.

### GİRİŞ

Birçok ülkede boşlukların araştırılmasında gravite ve gravite düşey Gradyent uygulamalarıyla 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 Gradyent ölçümlerini ilk uygulayanlardandır. Uygulama alanları jeolojik problemlerin çözümü, sığ yer altı boşluk sistemleri, eski maden ocaklarının lokasyon tespitleri ve antropojenik yapıların araştırılması vb. şekilde dağılım göstermektedir.

Kumagai vd. (1960), jeolojik uygulamalar için gravimetrik ölçümlerin yerine gravite düşey Gradyent ölçümleri almış ve Japonya'da Aomoni düzlüğündeki Tersiyer yapılarının

arştırılmasında olumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

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 örnek olarak Nevşehir, Ürgüp – Göreme civarındaki yeni yer altı şehirlerinin tespitini verebiliriz. Ayrıca bu yöntem, son günlerin güncel konularından olan Konya ili ve civarında gerçekleşen obruk sistemlerinin bulunmasında da önemli bir uygulama alanı bulacaktır.

Makalede gravite ile gravite düşey Gradyentin karşılaştırılmaları, model uygulamaları ve bir saha uygulaması sunulmuştur. Gravite düşey Gradyentin saha uygulamasında kullanılan kule, topoğrafik ölçümlerde kullanılan tripotun (üçayak) Gradyent ölçümü alabileceği biçimde modifiye edilmiş halidir.

Tüm çalışmalar sonucunda gravite düşey Gradyent sonuçları ile gravite sonuçları karşılaştırılarak yöntemler arasındaki üstünlükler incelenmiştir.

### GRAVİTE DÜŞEY GRADYENT

Gravite düşey Gradyent 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.

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

Kule yapısının oldukça portatif, sağlam ve hafif olması, obzervasyonda önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Portatif oluşu etüt saha-

\* MTA Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara. gokhanyildirim1909@gmail.com

\*\* Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü – Sivas. caubkaya@gmail.com

\*\*\* Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü – Sivas. yilmazh@cumhuriyet.edu.tr

sındaki uygulamalarda topoğrafya kaynaklı düzeçleme konusunda kolaylık sağlamaktadır; 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 azalacaktır.

Gravite düşey Gradyent uygulamalarında kule düzeneğinin genel yapısı nedeniyle bir noktadaki ölçüm süresi normal gravite uygulamalarına oranla daha fazladır. Kule ile yapılan gravite düşey Gradyent ölçümlerinin uygulama sürelerine örnek olarak Fajklewicz'in (1976) çalışmasında kullandığı yüksekliği 3,00 m olan duraliminyumdan yapılmış bir kule (Şekil 1-a) uygulaması örnek verilebilir. Fajklewicz bu çalışmasında bir noktadaki ölçüm süresinin 25 dakika ile 30 dakika arasında değiştiğini ifade etmiştir.

Makalede anlatılan gravite düşey Gradyent arazi uygulaması için modifiye edilen üç ayaklı topoğraf sehpa (Şekil 1-b) ile MTA bahçesi içerisinde gravite düşey Gradyent saha uygulaması yapılmıştır. Ölçüm düzeneği tasarlanırken Ager, C. A., ve Liard, J. O. (1982) tarafından tanımlanan ölçüm sehpa-sından esinlenilmiştir.

Örnek uygulama çalışmasında kullanılan ölçüm sehpa, üç ayaklı topoğraf sehpa ve üzerine monte edilebilen bir düzeçleme tablasından (sehpasından) ibarettir. Saha çalışmasında gradyent aralığı ( $\Delta h$ ) 1,00 m seçilerek yapılmıştır ve bir noktadaki gravite düşey Gradyent ölçümü için geçen süre ortalama 8 ile 10 dakikadır. Arazi uygulamasının detay ve sonuçları, Gravite ve Gravite Düşey Gradyent Arazi uygulaması başlığı altında anlatılmıştır.

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

Fajklewicz (1976) jeolojik yapının belirlenmesi ve eski maden ocağı galerilerinin doğrultu ve yönelimini belirlemek üzere yap-

tığı çalışmasında oldukça doğruya yakın sonuçlar elde edildiğini ifade etmektedir. Butler (1984)da Massachusetts Medford mağarası üzerinde yaptığı test çalışmalarında olumlu sonuçlar aldığını ifade etmektedir.



(a)



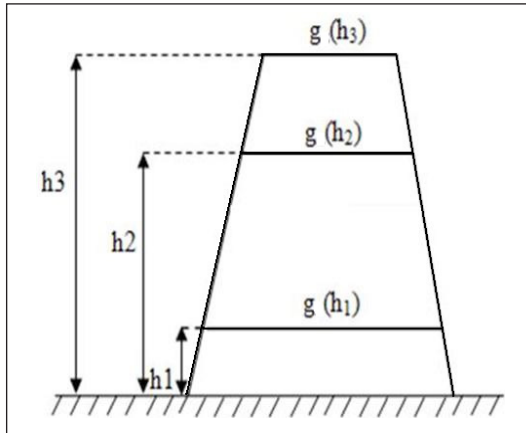
(b)

Şekil 1- (a) 3,00 m yüksekliğindeki, üç seviyeli kule düzeneği (Fajklewicz, 1976), (b)Modifiye edilmiş üç ayaklı topoğraf sehpa, CG-5 mikrogravidimetre, şerit metre ve CG-5 düzeç sehpa-sı.

## YÖNTEM

Gravite düşey Gradyent değerleri, bir noktada düşey yönde iki yada daha fazla seviyede ölçülen gravite değerlerinden elde edilir. Gravite düşey Gradyent 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 Gradyent değeridir. Birden fazla ölçüm seviyesine sahip kule üzerinde ki gravite düşey Gradyent aralıkları:  $\Delta g'_{ij}/\Delta z_{ij}$  şeklinde tanımlanır. Burada  $\Delta g'_{ij}=g_z(h_i) - g_z(h_j)$  ve  $\Delta z_{ij}=h_i - h_j$  dir.

Şekil 2' de gösterilen kule düzeneği ile üç ayrı seviyede gravite ölçüleri yapılarak  $\Delta g'_{13}/\Delta z_{13}$ ;  $\Delta g'_{12}/\Delta z_{12}$  ve  $\Delta g'_{23}/\Delta z_{23}$  gravite düşey Gradyent değerleri hesaplanabilir.



Şekil 2- Aralıklı düşey Gradyent ölçümleri için üç seviyeli kule yapısı (Butler, 1894).

Aralıklı gravite düşey Gradyentin hesaplanması aşağıda ki bağıntı ile tanımlanır,

$$\frac{\Delta g_z}{\Delta z} = \frac{g_0 - g_h}{h} \quad [1]$$

Bağıntıda  $g_0$  yüzeyde (0 metre) ölçülen gravite değeridir.  $g_h$  ise yüzeyden h yüksekliğinde ölçülen gravite değeridir. H ise iki ölçüm seviyesi arasındaki uzaklıktır.

Örnek olarak en alt seviye ile en üst seviyede ölçü alınarak yapılan düşey gravite Gradyent değeri için,

$$\Delta g'_{13} = g(h_1) - g(h_2) \quad [2]$$

$$\Delta z_{-13}=h_1-h_2 \quad [3]$$

[2] ve [3] bağıntıları tanımlanır ve birbirine oranları nokta üzerinde ki gradyent değerini verir.

Z ekseninin pozitif yöndeki eğilimi,  $\Delta g'_{ij}$  ve  $\Delta z_{ij}$  değerlerinin oranının pozitif olmasına neden olur. Bu durumu açıklayabilmek amacı ile gravite düşey Gradyent tekniğinin uygulama yapısı göz önüne alınarak Fortran'da hazırlanan iki boyutlu gravite düşey Gradyent programı ile basit geometrik şekle sahip küre için gravite düşey Gradyent değerleri hesaplanarak grafiklendirilmiştir.

Hesaplamada 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 Gradyent aralığı 1 m olarak seçilmiştir. Bu değerler doğrultusunda elde edilen grafik şekil 3' te gösterilmektedir.

Şekilde göze çarpan özellik ise model sınırlarının gravite düşey Gradyent grafiğinde belirginleştiğidir.

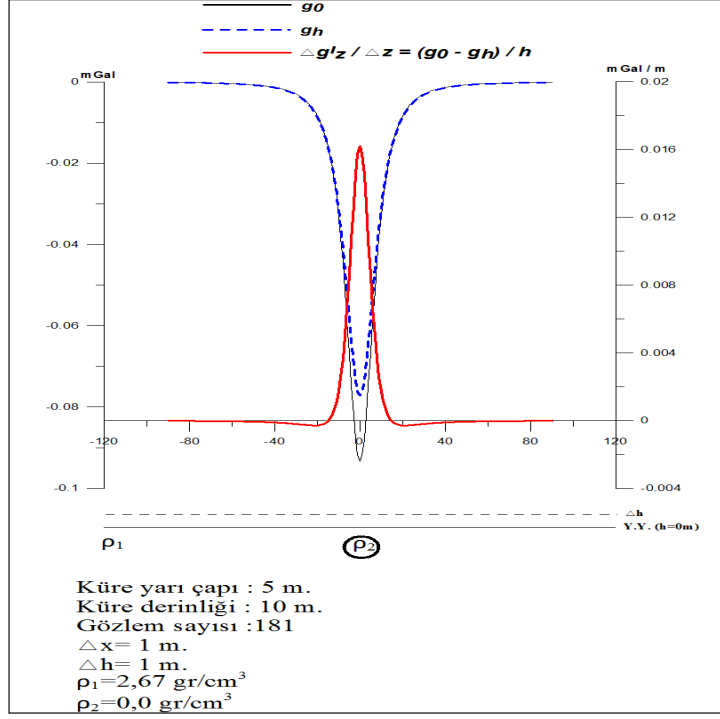
## GRAVİTE – GRAVİTE DÜŞEY GRADYENT MODEL ÇALIŞMALARI

Modeller tasarlanırken iki farklı sistem uygulanmıştır. Bunlar tek yoğunluk farkı olan ortam ile birden fazla yoğunluk farkı olan ortam tasarımlarıdır.

Modeller, temel gravite ölçüm anomalilerinin seçilebilirliğinin az olacağı ortamlar düşünülerek, çeşitli geometrik şekillere, derinliklere ve yoğunluklara sahip kütlelerden oluşan ortamları temsil edecek şekilde tasarlanmıştır.

### Modeller ve Gravite Düşey Gradyent

1. Model.- 160 x 160 m' lik alan içerisinde kalan üst derinliği 8 m olan duvar kalınlığı 4 m, yüksekliği 2 m olan yer altı şehri olarak tasarlandı. Model yer altı şehrinin duvarları-



Şekil 3- Küre model yapısı için iki farklı seviyede hesaplanan gravite anomalisi ve gravite düşey Gradyent anomalisi.

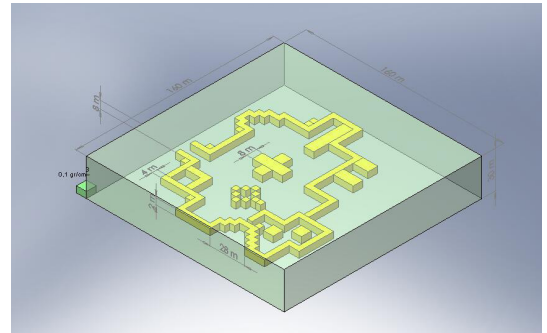
nın yoğunluğu  $0,1 \text{ gr/cm}^3$  ve çevreleyen örtü katmanının yoğunluğunun  $0,0 \text{ gr/cm}^3$  olduğu kabulü yapılarak model tasarımı tamamlandı (Şekil 4).

Model – 1' e ait gravite değerleri  $h=0$  m,  $h=1$  m,  $h=2$  m ve  $h=3$  m için hesaplanmıştır.  $\Delta g_0$ ,  $\Delta g_1$ ,  $\Delta g_2$  ve  $\Delta g_3$  değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile  $\Delta g_0$  gravite haritası ve  $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  haritaları gravite gradyent bağıntısı ile hesaplanarak hazırlanmıştır (Şekil 5).

Şekil 5 incelendiğinde gravite anomali haritasında ( $\Delta g_0$ ) yer altı şehrinin sınırlarının kısmen belirginleştiği görülmüş olsada gravite düşey Gradyent haritaları ( $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$ ) incelendiğinde sınırların daha belirgin olarak ortaya çıktığı görülmüştür. Gravite düşey Gradyent haritalarını kendi aralarında karşılaştırdığımızda  $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$ 'e doğru kontur kapanımlarının daralması ile yapıların belirginliğinin arttığı söylenebilir. Özel-

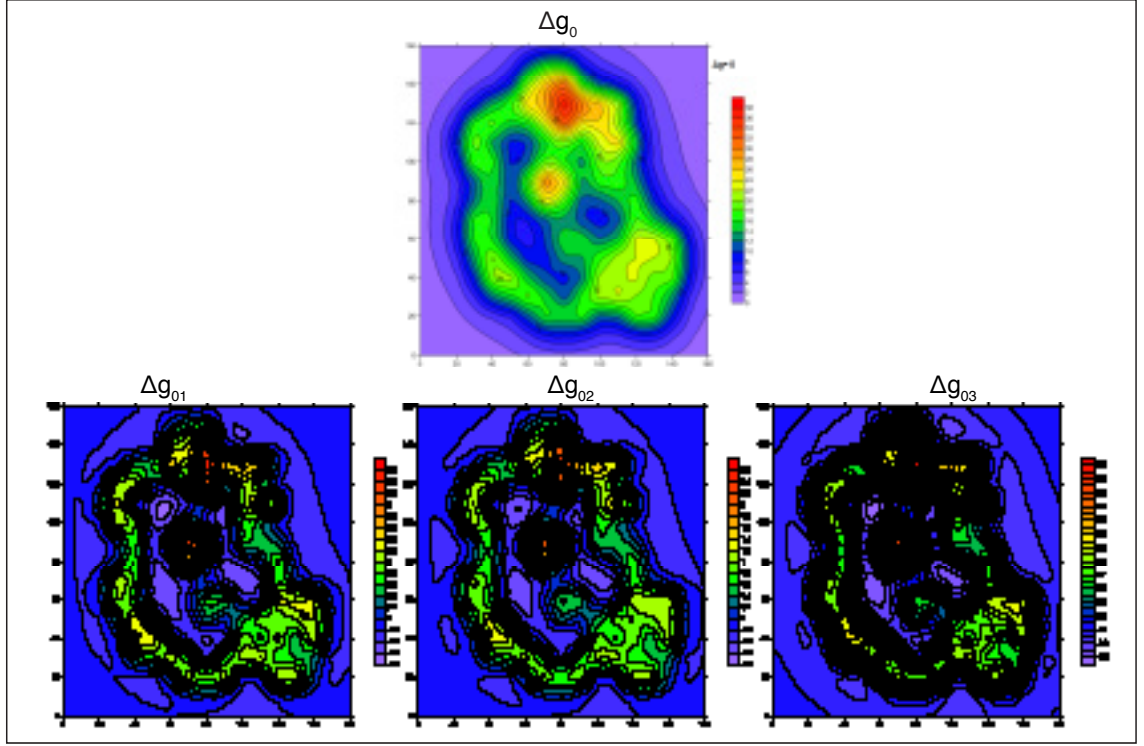
likle bu artışa şekil 4'teki işaretli alanın etkisi belirgin olarak izlenmiştir.

2. Model.- Yoğunluğu  $0,0 \text{ gr/cm}^3$  olan  $250 \times 250$  m' lik alan içerisinde farklı derinlik, ebat ve geometrilere sahip kütleler şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 6). 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



Şekil 4- B ir farklı yoğunluk değeri kullanılan,  $160 \times 160$  m'lik alan içerisinde kalan bir yer altı şehri.



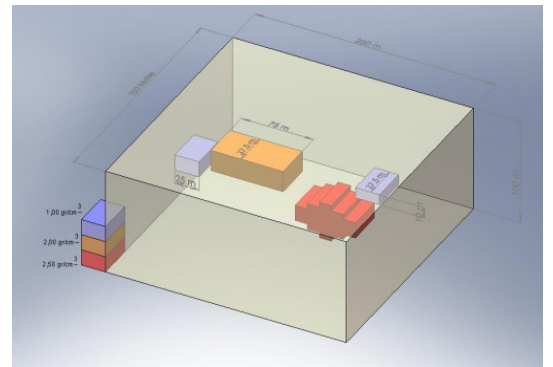


Şekil 5- h=0, 1, 2 ve 3 m için hesaplanan gravite değerlerinden hazırlanan gravite ( $\Delta g_0$ ) ve,  $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  için gravite düşey gradyent haritaları.

ekseni üzerindedir ve tüm kütlelerin üst derinlikleri sırasıyla 40 m, 25 m, 45 m ve 20 m şeklindedir (Şekil 6).

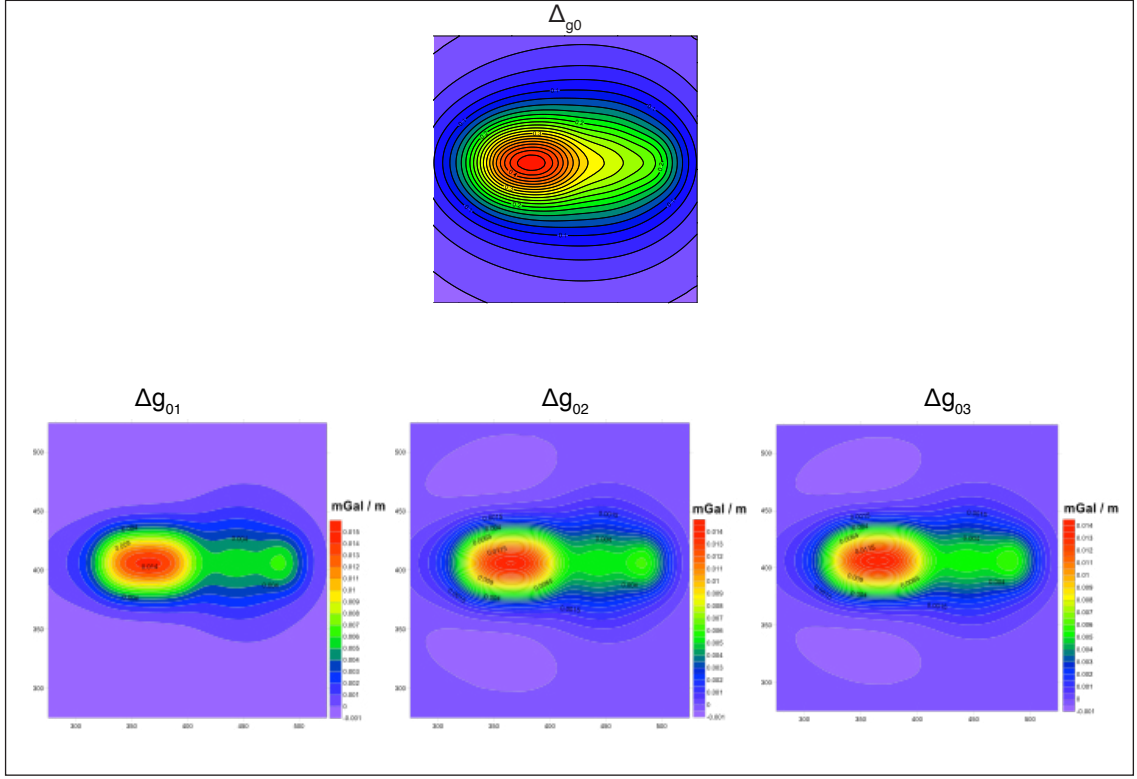
Model – 2'ye ait gravite değerleri h=0 m, h=1 m, h=2 m ve h=3 m için Grablox programı kullanılarak hesaplanmıştır. h=0 m için hesaplanan değerlerden  $\Delta g_0$  gravite haritası çizdirilmiştir. Ayrıca h=1, 2 ve 3 m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak  $\Delta g_1$ ,  $\Delta g_2$  ve  $\Delta g_3$  için gravite düşey Gradyent değerleri hesaplanmış ve haritalanmıştır (Şekil 7). Model üzerinden hesaplanarak hazırlanan gravite ( $\Delta g_0$ ) haritası incelendiğinde gözlemlenen anomalinin model yapısını yansıtmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, model kütlelerinin birbirine yakın mesafelerde ve derinliklerde olması olabilir. Bu model kütleler arasında en fazla 1,5 gr/cm<sup>3</sup> en az 0,5 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk farkı olması da kütle anomalilerinin birbirlerini maskelemelerine neden olmuş olmalarıdır. Ancak h=1, 2 ve 3 m için hesaplanan gravite

değerleri kullanılarak  $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  için hazırlanan gravite düşey Gradyent anomali haritaları incelendiğinde model kütlelerinin anomalilerinin kısmi olarak belirginleştiği gözlenmiştir.

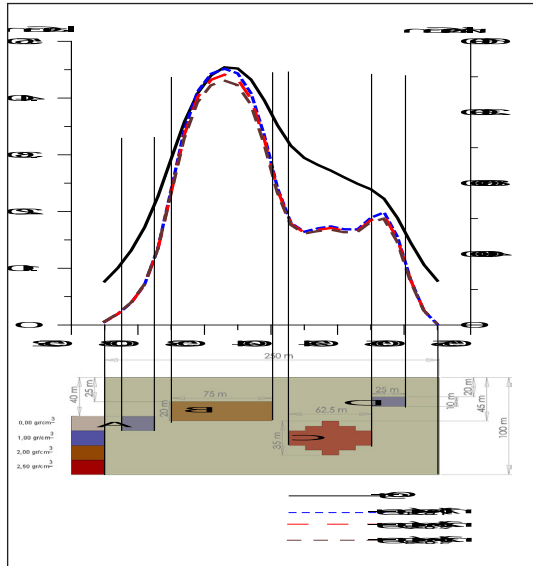


Şekil 6- Farklı yoğunluk, derinlik, ebat ve geometrilere sahip kütleler kullanılarak hazırlanan model.

Model-2 için gravite ve gravite düşey Gradyent anomali haritaları üzerinde alınan kesitin grafiği Şekil 8' de verilmiştir.



Şekil 7-  $\Delta g_0$  gravite anomali haritası ve  $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  için gravite düşey Gradyent haritaları.

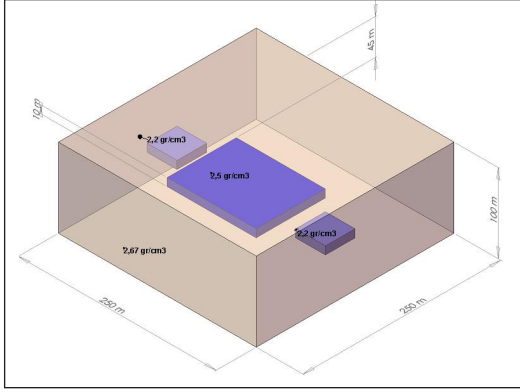


Şekil 8- Model-2 için gravite ve gravite düşey Gradyent anomali haritaları üzerinde alınan kesitin grafiği.

Kesit incelendiğinde model kütlelerin sınırları  $\Delta g_0$  grafiğinde çok belirgin olmamasına karşın  $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  için gravite düşey Gradyent grafiklerinde model kütlelerin sınırlarının daha belirgin olduğu gözlenmiştir.

3. Model.- Yoğunluğu  $2,67 \text{ gr/cm}^3$  olan  $250 \times 250 \text{ m}$  lik alan içerisinde  $45 \text{ m}$  derinlikte, farklı ebatlara sahip kütleler şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 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



Şekil 9- Farklı yoğunluk ve ebatlara sahip kütleler kullanılarak hazırlanan model.

Model-3'e ait gravite değerleri  $h=0$  m,  $h=1$  m,  $h=2$  m ve  $h=3$  m için Grablox programı kullanılarak hesaplanmış ve  $h=0$  m için hesaplanan değerlerden  $\Delta g_0$  gravite haritası  $h=1, 2$  ve  $3$  m için hesaplanan gravite değerlerinden de  $\Delta g_1, \Delta g_2$  ve  $\Delta g_3$  için gravite düşey Gradyent değerleri hesaplanarak haritalandırılmıştır (Şekil 10).

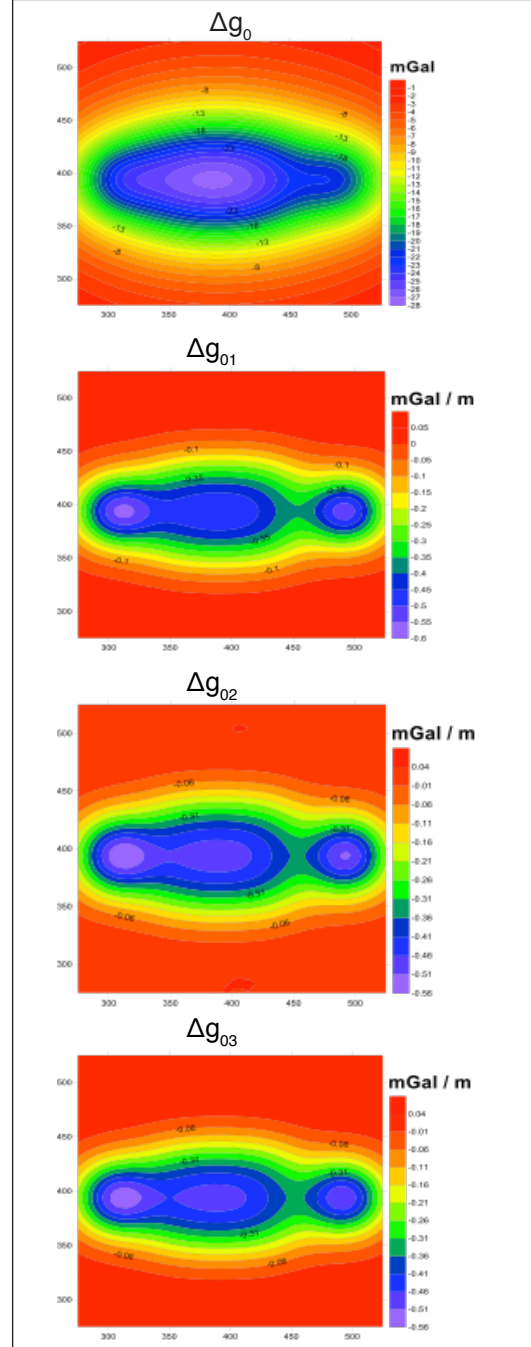
Model-3' te ortam yoğunluğu  $2,67 \text{ gr/cm}^3$ 'dir ve kütlelerin yoğunluğundan daha yüksektir, bu nedenle gravite anomali haritasında kütleler negatif anomali olarak gözlemlenmiştir.

Model-3 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 ölçüde ayrımlılık göstereceği belirlenmeye çalışılmıştır.

Model-3' ten elde edilen gravite ( $\Delta g_0$ ) haritası incelendiğinde bir eksen boyunca uzanan elips şeklindeki kütlelerin gravite anomalisi, yorumlardan biridir. Ancak  $h=1, 2$  ve  $3$  m için hesaplanan gravite değerleri kullanılarak hazırlanan  $\Delta g_{01}, \Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  gravite düşey Gradyent değerlerinden türetilen anomali haritaları incelendiğinde, gömülü kütlelerin sınırlarının belli bir oranda belirginleştiği gözlemlenmiştir. C kütlelerinin ortadaki B kütlelerinden daha uzakta olmasından dolayı  $\Delta g_{01}$  gravite düşey Gradyent haritasında daha belirgin olmuş, sonraki  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  haritalarında daha

da belirgin hal almıştır. Ancak A ve B kütlelerinin birbirine yakın olmalarından dolayı bu iki kütle arasındaki ayrımlılık ancak  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  haritalarında ortaya çıkmıştır (Şekil 10).

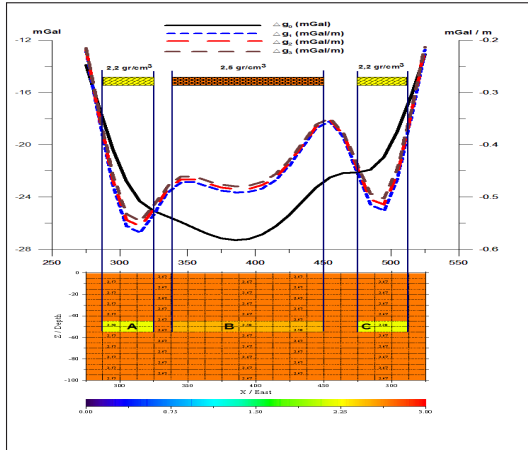
$h=0, 1, 2$  ve  $3$  m için hesaplanan gravite değerlerinden hazırlanan  $\Delta g_0$  gravite haritası



Şekil-10-  $\Delta g_0$  gravite anomali haritası ve  $\Delta g_{01}, \Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  için hesaplanan gravite düşey Gradyent haritaları.

tasında ve  $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  gravite düşey Gradyent haritalarında kesikli çizgi ile gösterilen hat boyunca kesitin grafikleri Şekil 11’de verilmiştir.

Grafikler model yapı göz önünde bulundurularak incelendiğinde model içindeki kütle sınırları daha belirgin olarak gözlenmektedir.  $\Delta g_0$  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 kütlelerinin etkisini maskeleymiştir. B ve C kütleleri arasındaki mesafenin A ve B kütleleri arasındaki mesafeye oranla 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 (Şekil 11).

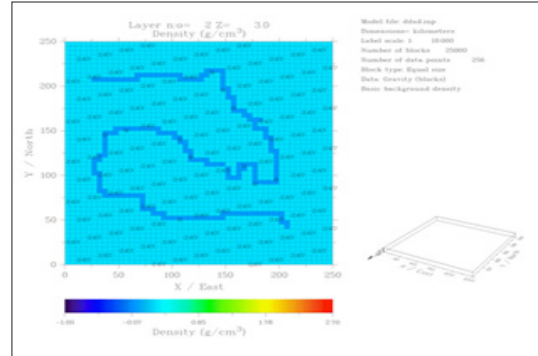


Şekil 11- Model-3 için gravite ve gravite düşey Gradyent anomali haritaları üzerinde alınan kesitin grafiği.

Yukarıdaki anlatım, model yapı göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Ancak model yapı bilinmediğinde  $\Delta g_0$  gravite eğrisi için düşük yoğunluklu bir kütleinin etkisinin olduğu ve ilerleyen metrelerde (450 – 500 m) ikinci bir kütleinin bulunma ihtimalinin olabileceğini söylemek mümkündür.  $\Delta g_1$ ,  $\Delta g_2$  ve  $\Delta g_3$  gravite düşey Gradyent haritalarında anomali boyunca alınan kesitin grafikleri incelendiğinde düşük yoğunluklu A, B ve C kütlelerinin etkileri açıkça gözlenmektedir.

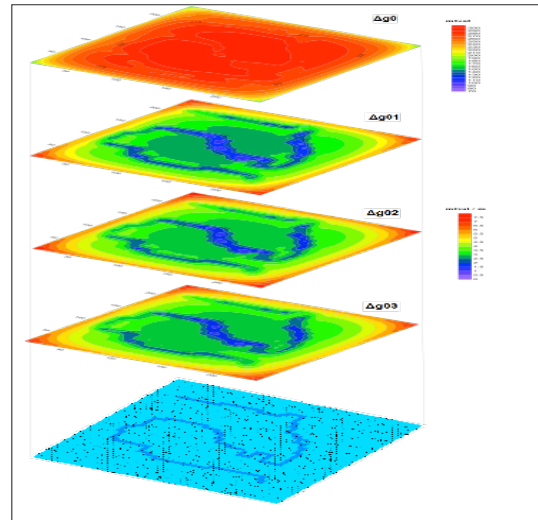
Gravite düşey Gradyent kesitleri model yapı bilinmeden de incelense gravite düşey Gradyent eğrilerinin üç farklı kütleinin etkisini taşıdığını söylemek doğru olacaktır.

4. Model- ortam yoğunluğu  $2,67 \text{ gr/cm}^3$   $250 \times 250 \text{ m}$  alan içerisinde  $3\text{m}$  derinlikte  $5 \times 2 \text{ m}$  ebatlarında tünel yapısı ( $0,0 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluklu) olarak tasarlanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12-  $250 \times 250 \text{ m}$ ’ lik alan içerisinde ki  $3 \text{ m}$  derinlikteki,  $5 \times 2 \text{ m}$  ebatlarına sahip tünel geometrisi.

Model-4’e ait gravite değerleri  $h=0 \text{ m}$ ,  $h=1 \text{ m}$ ,  $h=2 \text{ m}$  ve  $h=3 \text{ m}$  için  $\Delta g_0$ ,  $\Delta g_1$ ,  $\Delta g_2$  ve  $\Delta g_3$  değerleri Grablox programında hesaplanmıştır. Ayrıca  $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$  ve  $\Delta g_{03}$  gravite düşey Gradyent değerleri hesaplanıp haritalandırılmıştır (Şekil 13).



Şekil 13-  $\Delta g_0$  gravite anomali haritası,  $\Delta g_1$ ,  $\Delta g_2$  ve  $\Delta g_3$  gravite düşey Gradyent haritaları ve model-6.

Model-4'ün tasarımında model tünelin gravite ( $\Delta g_0$ ) ve gravite düşey Gradyent ( $\Delta g_{01}$ ,  $\Delta g_{02}$ ,  $\Delta g_{03}$ ) haritalarında tespiti amaçlanmıştır. Gravite haritasında tünelin gravite etkisi görülmemektedir ama gravite düşey Gradyent haritalarında tünel yapısı açık olarak izlenmektedir. Gravite düşey Gradyent haritalarında tünel etkisinin gözlenmesinin yanı sıra haritalar arasında bir farklılık göze çarpmaktadır.

Gravite düşey Gradyent haritalarında tüneli temsil eden anomali kontur kapanımları tünelin dönüm yerlerinde kesintiye uğramaktadır. Diğer bir gözlem ise,  $\Delta h$  Gradyent aralığı arttıkça tünel anomalisinin belirginliğinin de azaldığıdır. Bu azalmanın nedeni, her iki seviye için tünelin ebatlarının küçük olması olabilir.

#### **GRAVİTE VE GRAVİTE DÜŞEY GRADIENT ARAZİ UYGULAMASI**

Gravite düşey Gradyent ile ilgili teori ve model çalışmalarının sonuçlarını görmek amacıyla MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde ki 1973 yılında yapılmış olan Madencilik Tatbikat Ocağında bir profil üzerinde saha uygulaması yapıldı (Şekil 14).

Galerinin girişindeki ölçümlerden ocağın genişliği ve yüksekliği sırasıyla yaklaşık 2,5x2,5 m olarak ölçülmüştür.

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.

Gravimetrik ölçümlerde profil hattı, tahmini geçiş güzergahı belirlenen galeriyi olabildiğince açılı kesecek şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarımın 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 ( $\Delta g_0$  ve  $\Delta g_1$ ) 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 ikinci seviyede alınacak ölçünün hem yüksekliğinin hem de kaba düzcecinin ayarlanamamasıdır. Temenni olunur ki bu duruma

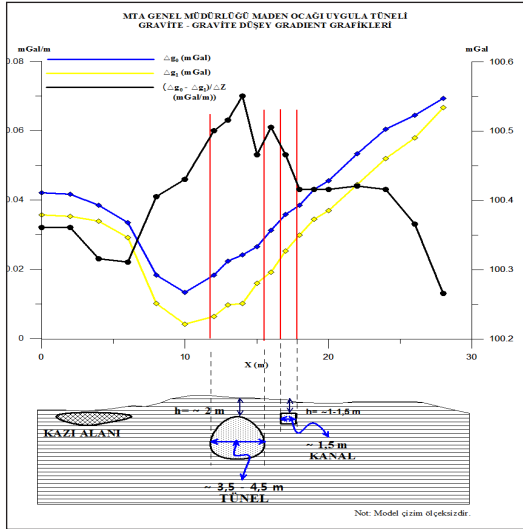


Şekil 14- Arazi uygulama sahasından bir görünüm.

çözüm olarak ölçüm sehпасına modifiye edilecek bir lazer mesafe belirleyicisi ile obzerver aynı anda hem sehpanın kaba düzecini hem de yükseklik ayarlamasını aynı anda 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 Gradyent eğrisi şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15- Saha uygulaması sonucunda elde edilen  $h=0$  m ve  $h=1$  m aralığında ölçülen gravite eğrileri ile gravite düşey Gradyent eğrisi.

Gravite eğrisi incelendiğinde, ilk aşamada profil hattının geçiş güzergâhında, alta çevre yoğunluğundan daha düşük yoğunlukta bir yapı görülmektedir. Gravite eğrisi geniş bir negatif alanı işaret etmektedir. Ancak, madencilik tatbikat ocağının genişliği ve derinliğinin minimum 2,5 m olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla saha uygulamasında galeriyi ve revine kesecek şekilde çalışma yönlendirildiğinden, galerinin genişliği 2,5 m ile 4,0 m arasında yansıyacaktır. Ayrıca  $\Delta g_0$  ve  $\Delta g_1$

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 gözlenmemiştir. Profilin başlangıcına denk gelen bu alanda inşaat amaçlı yapılan bir çalışmanın etkileri yüzeyde gözlenmiştir (Şekil 16). Ancak gravite düşey Gradyent eğrisi incelendiğinde galerinin yanı sıra hemen yanından geçen ve yüzeye daha yakın olan kanalın etkisi ile profil başlangıcındaki alanın etkisi daha net olarak gözlenmiştir.



Şekil 16- Profilin başlangıcına denk gelen inşaat amaçlı yapılan alan.

Saha uygulamasının hedeflerinden biri olan gravite eğrisi ile gravite düşey Gradyent eğrisinin karşılaştırılması bu çalışmada başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Gravite düşey Gradyent derinlikle ilişkilendirildiğinde yöntemin sığ yapılar üzerinde etkin olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni her seviye için alınan gravite ölçülerinin birbirinden farkı alındığında daha derinde olan yapıların etkisini elemine etmiş olmasıdır. Gradyent ölçümleri zaten bir anlamda rejyonal/rezidüel ayrımı yapan birinci ve ikinci düşey türev yöntemleri gibi çalışmaktadır. Ancak türev haritaları ile tam eş değer olarak düşünmemek gerekir.

Model uygulamalarında gravite düşey Gradyent haritalarının gravite haritalarına oranla yapı sınırlarını daha etkin şekilde verdiği ortaya konmuştur.

Gravite düşey Gradyent ile ilgili teori ve model çalışmalarının sonuçlarını görmek amacı ile yapılan saha uygulamasında MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan ve 1973 yılında yapılmış Madencilik Tatbikat Ocağı üzerinde bir profil hattı ile çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar gravite düşey Gradyent 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 Gradyent eğrisinde net bir şekilde gözlemlenmiş olmasıdır. Bu sonuçlar doğrultusunda gravite uygulamalarında hedef çalışmanın kriterleri göz önünde bulundurularak yapılacak bir gravite düşey Gradyent uygulamasının yorumcu açısından daha açıklayıcı bilgiler sunabileceğini söylemek doğru olacaktır.

Sonuç olarak gravite düşey Gradyent uygulamalarında saha çalışması fiziksel koşullar açısından bu kadar zor ve zaman alıcı olmasına karşın hedef uygulamalarda uygun bir ölçüm ve yorumlama yöntemidir.

## DEĞİNİLEN BELGELER

Aydın, C. 2007. Marmara Bölgesi Gravite Değişimlerinin Belirlenmesi İçin Model Tasarımı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Ager, C. A., Liard, J. O. 1982. Vertical gravity Gradyent surveys: Field results and interpretations in British Columbia, Canada: , Geophysics., v47, p. 919-925.

Butler, D. K. 1984. Gravity Gradyent determination concepts: *Geophysics*, v. 49, p.828-832.

Butler, D. K. 1984. Microgravimetric and gravity Gradyent techniques for detection

of subsurface cavities, *Geophysics*.,v. 49, p.1084-11096.

Butler, D. K. 1984. Interval gravity-Gradyent 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 Gradyent Measurements For The Detection of Small Geologic and Anthropogenic Forms, *Geophysics*, v. 41, p. 1016-1030.

Kumagai, N., Abe E., Yoshimura Y. 1960. Measurements of the vertical Gradyent of gravity and its significance, *Boll. Geof. Teor & Appl.*, 8, 607-630.

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. Stackler, W.F. 1956. Observation of The Vertical Gradyent of Gravity in The Field, *Geophysics*, v. 21, p.771-779.