

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BERGAMA–DİKİLİ JEOTERMAL ALANININ
GRAVİTE VERİLERİNİN YORUMU

Yağmur YILMAZ

Mart, 2018
İZMİR

BERGAMA–DİKİLİ JEOTERMAL ALANININ GRAVİTE VERİLERİNİN YORUMU

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

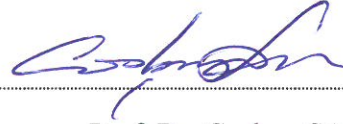
Yağmur YILMAZ

Mart, 2018

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

YAĞMUR YILMAZ, tarafından PROF. DR. COŞKUN SARI yönetiminde hazırlanan “BERGAMA-DİKİLİ JEOTERMAL ALANININ GRAVİTE VERİLERİNİN YORUMU” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



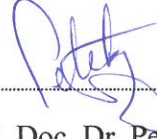
Prof. Dr. Coşkun SARI

Yönetici



Prof. Dr. Aysel ŞEREN

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Petek SINDIRGI

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca çalışmalarından örnek aldığım kıymetli danışmanım sayın Prof. Dr. Coşkun SARI'ya tez çalışmamın öncesinde ve esnasında yaptığı değerlendirme, yönlendirme ve katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Ayrıca, öğrenim hayatım boyunca gösterdikleri sonsuz sabır ve özveri için başta anne ve babama ardından kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.



BERGAMA-DİKİLİ JEOTERMAL ALANININ GRAVİTE VERİLERİNİN YORUMU

ÖZ

Bu çalışmada, Bergama-Dikili jeotermal alanının Bouguer gravite verileri değerlendirilerek bu bölgeye ait yapısal unsurların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bergama-Dikili jeotermal alanı bölgeye kattığı değer ve gelecekteki potansiyeli açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu değer göz önüne alındığında jeolojik yapıların sınır ve derinlik gibi parametrelerinin belirlenmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Değerlendirme kapsamında veri işlem aşamaları olan süzgeçleme, analitik uzanımlar, ikinci türev, trend analizi, sınır analizi ve güç spektrumu işlemleri uygulanmıştır. Ayrıca, incelenen alanın taban derinliği haritası belirlenmiştir. Alçak geçişli süzgeçleme işlemiyle bölgedeki sığ değişimler süzölmüş, rejyonel etkiler haritalandırılmıştır. Süzgeçleme işleminde farklı kesme dalga boyu için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı seviyeler için yukarı ve aşağı analitik uzanımlar yapılmış ve haritalanmıştır. İkinci türev ve sınır analizi yöntemiyle yeraltındaki yapının olası sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulanan trend analizi sonucunda yapıya en uygun matematiksel yüzey olarak dördüncü derece trend yüzeyi seçilmiştir. Görüntü odaklı üç boyutlu gravite ters çözümü yöntemi ile bölgeye ait gravite verisinin yoğunluk farkı modelinin görüntülemesi yapılmıştır. Modelin x, y ve z yönlerindeki kesitleri çıkarılıp yoğunluk farkları irdelenmiştir. Bu işlem ile karmaşık jeolojik yapı için ters problemin kararlı bir çözümünü üretmek ve yapıların yoğunlaşmış görüntüsünü elde etmek amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Jeotermal, gravite veri, Bergama-Dikili, ısı enerjisi, jeofizik yöntemler

INTERPRETATION OF GRAVITY DATA OF BERGAMA-DİKİLİ GEOTHERMAL FIELD

ABSTRACT

The main purpose of this study is to evaluate the geophysical data of the Bergama-Dikili geothermal field. Bergama-Dikili geothermal field is contributing to the region. Therefore, it is a great importance also in the future. Considering these circumstances, the importance of determination of some parameters such as geological boundaries and depths is increased. In this study, gravity data were interpreted for defining geological structures. Filtering process, upward and downward continuations, second derivation, trend analysis, boundary analysis and power spectrum methods were utilized during the evaluation of data. Besides, the calculated basement depth values with using 3D modeling were mapped.

Residuel effects in the data were eliminated by using low pass filter and obtained regional data were mapped respectively using five different cut-off wave numbers. Also, upward and downward continuation methods were applied and mapped for various levels. Second derivation method was made to obtain the boundaries of subsurface structures. After application of trend analysis method, fourth degree trend provided the most suitable mathematical surface for the data.

Keywords: Geothermal, gravity data, Bergama-Dikili, heat energy, geophysical methods

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x

BÖLÜM BİR – BERGAMA-DİKİLİ BÖLGESİNİN JEOLojİSİ VE JEOTERMAL ÖZELLİKLERİ..... 1

1.1 Bölge Jeolojisi.....	1
1.2 Yapısal Jeoloji.....	3
1.3 Volkanizma	4
1.4 Bölgenin Jeotermal Özellikleri	7
1.4.1 Dikili-Kaynarca Jeotermal Alanlarının Oluşumu	7
1.4.2 Dikili-Kaynarca Jeotermal Alanlarının Tanıtımı	8
1.4.2.1 Dikili Jeotermal Sahası	8
1.4.2.2 Bergama Jeotermal Sahası	9
1.4.2.3 Kaynarca Jeotermal Sahası	9

BÖLÜM İKİ – GRAVİTE VERİLERİNE UYGULANAN VERİ-İŞLEM YÖNTEMLERİ..... 11

2.1 Süzgeçleme	11
2.1.1 Genel Süzgeçleme Kuramı.....	13
2.2 Analitik	15
2.3 Türevler	18
2.4 Trend Analizi	20
2.5 Sınır Analizi	21
2.6 Güç Spektrumu Analizi.....	22

2.7 Yeraltı Taban Derinliğinin Saptanması.....	23
BÖLÜM ÜÇ – VERİ İŞLEM UYGULAMALARI VE SONUÇLAR.....	26
3.1 Süzgeçleme Uygulaması ve Sonuçlar	27
3.2 Analitik Uzanım Uygulamaları ve Sonuçlar	29
3.2.1 Aşağı Analitik Uzanım Uygulamaları.....	29
3.2.2 Yukarı Analitik Uzanım Uygulamaları.....	30
3.3 Türev Yöntemi	33
3.4 Trend Analizi	33
3.5 Sınır Analizi	39
3.6 Güç Spektrumu	40
3.7 Yeraltı Taban Derinliğinin Saptanması.....	43
3.7.1 Yeraltı Taban Derinliğinin 3B’ lu Saptanması	43
3.7.2 Yeraltı Taban Derinliğinin Görüntü Odaklı 3B’ lu Gravite Ters Çözümü	45
BÖLÜM DÖRT –SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	49
EKLER.....	54
Ek-A: Yeraltı Taban Derinliğinin 3B’ lu Ters Çözüm Tekniği ile Saptanması...54	
Ek-B: Yeraltı Taban Derinliğinin Görüntü Odaklı 3B’ lu Gravite Ters Çözümü İle Saptanması	56

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Dikili – Kaynarca jeotermal sahasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	2
Şekil 1.2 Dikili ılıcaları ve çevresinden bir görünüm	3
Şekil 1.3 Dikili – Kaynarca alanının jeolojisi	5
Şekil 1.4 Dikili – Kaynarca alanından oluşturulan A-A’ ve B-B’ hatları boyunca düşey kesit haritaları	6
Şekil 1.5 Dikili-Bergama jeotermal alanlarının oluşumunu gösteren şematik kesit.....	7
Şekil 2.1a Alçak geçişli süzgeç dalgasayısı tepki işlevi	12
Şekil 2.1b Yüksek geçişli süzgeç dalgasayısı tepki işlevi.....	13
Şekil 2.1c Band geçişli süzgeç dalgasayısı tepki işlevi.....	13
Şekil 2.2a Yukarı analitik uzanım dalgasayısı tepki işlevi	17
Şekil 2.2b Aşağı analitik uzanım dalgasayısı tepki işlevi.....	17
Şekil 2.2c İkinci türev dalgasayısı tepki işlevi.....	19
Şekil 2.3 Manyetik belirti ve yapay gravite belirtisi	22
Şekil 2.4 Kaynak yapının manyetik belirtisi, yapay gravite belirtisi ve yatay türev büyüklükleri.....	23
Şekil 2.5 Yoğunluk modeli	26
Şekil 3.1 Dikili-Bergama alanındaki jeotermal oluşumun Bouguer anomali haritası.....	27
Şekil 3.2 Alçak geçişli süzgeç haritası (kesme frekansı 0.0-0.25 Hz.)	28
Şekil 3.3 Alçak geçişli süzgeç haritası (kesme frekansı 0.0-0.3 Hz.)	29
Şekil 3.4 Alçak geçişli süzgeç haritası (kesme frekansı 0.0-0.35 Hz.)	29
Şekil 3.5 h=0.5 km için aşağı analitik uzanım	30
Şekil 3.6 h=0.5 km için yukarı analitik uzanım	31
Şekil 3.7 h=1 km için yukarı analitik uzanım	32
Şekil 3.8 h=1.5 km için yukarı analitik uzanım	32
Şekil 3.9 h=2 km için yukarı analitik uzanım	33
Şekil 3.10 h=2.5 km için yukarı analitik uzanım	33

Şekil 3.11 İkinci düşey türev anomali haritası	34
Şekil 3.12 1. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonel anomali	35
Şekil 3.13 2. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonel anomali	36
Şekil 3.14 3. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonel anomali	37
Şekil 3.15 4. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonel anomali	38
Şekil 3.16 5. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonel anomali	39
Şekil 3.17 Trend derecesi ile uyumun iyiliği ve korelasyon katsayısı grafiği	40
Şekil 3.18 Trend derecesi ile F-Testi değerleri grafiği	40
Şekil 3.19 Gravite verisine uygulanan sınır analizi sonucu	41
Şekil 3.20 Güç Spektrumunda kullanılan kesitler.....	42
Şekil 3.21 A-A', B-B', C-C' kesitleri için; a) A-A' kesitinin güç spektrumu analizi, b) B-B' kesitinin güç spektrumu analizi, c) C-C' kesitinin güç spektrumu analizi...	43
Şekil 3.22 Model 1. $a_0=-0.3$, $a_1=-0$, $a_2=0$ iken katman derinliğine ilişkin 3B' lu gösterim.....	44
Şekil 3.23 Model 2. $a_0=-0.35$, $a_1=-0$, $a_2=0$ iken katman derinliğine ilişkin 3B' lu gösterim.....	45
Şekil 3.24 Model 3. $a_0=-0.4$, $a_1=-0$, $a_2=0$ iken katman derinliğine ilişkin 3B' lu gösterim.....	45
Şekil 3.25 Modelleme işlemi için kullanılan çalışma alanına ait Bouguer gravite anomali haritası	46
Şekil 3.26 Oluşturulan modelin 3B 'lu ters çözümü	46
Şekil 3.27 Modelden elde edilen kesitler; a) kuzey-güney yönüne karşılık derinlik haritası, b) doğu-batı yönüne karşılık derinlik haritası, c) kuzey-güney yönüne karşılık doğu-batı yönlü kesit haritası.....	47

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Bölgedeki başlıca doğal sıcak su kaynakları	6
---	---



BÖLÜM BİR

BERGAMA–DİKİLİ BÖLGESİNİN JEOLojİSİ VE JEOTERMAL

ÖZELLİKLERİ

1.1 Bölge Jeolojisi

Dikili-Bergama yöresinin jeolojisini, temel kayaçları, Kozak plütunu, I.Yuntdağ volkanitleri, Soma formasyonu, piroklastik kayaçlar, II. Yuntdağ volkanitleri, III. Yuntdağ volkanitleri ve Dededağ bazaltları ile alüvyonlar oluşturmaktadır (Eşder, 1998).

Tersiyer öncesi temel kayaçlar Kozak Dağı çevresinde yer alan, Çamoba ve Kınık Formasyonlarıdır. Bu oluşuklar; Permien kireçtaşları ve silttaşlarından ibarettir. Daha sonra başlıca Triyas yaşlı kireçtaşı ve çamurtaşları yer almaktadır. Bunlar, bu bölgede yer alan Dikili-Bergama grabeni içerisinde daha büyük derinliklere kadar devam etmektedir (MTA-JICA, 1987). Dikili-Kaynarca jeotermal sahasına ait stratigrafik kesidine Şekil 1.1’ de yer verilmiştir.

Metamorfik temel birimleri, Mesozoyik konglomeraları, kumtaşı ve rekristalize kireçtaşı olistolitleri plütunun etrafını çevreler. Bunlar, sırayla patlama kayaçları tarafından çevrelenen andezitik volkanoklastik kayaçlar, farklılaşmamış ara volkanik lav akma domları ve Yürekli dasitidir. Bunlar kısmen eşzamanlı yerleşen Erken Miyosen sırasında hipabisal granodiyorit porfiri sokulumlarıdır (Yılmaz ve diğ., 2007).

Bölgedeki en eski birimler Paleozoik yaşlı metamorfik kayaçların içerdikleri düşük dereceli muskovit, klorit ve kuvars şistlerdir. Bergama sahasında bölgesel ölçekte ayrıntılı olarak yapılan araştırma ve bölgenin yapısal özellikleri Türkiye’nin batısında Geç Oligosen’den Erken Miyosen’e kadar yaygın magmatizma oluştuğunu göstermektedir (Yılmaz ve diğ., 2007).

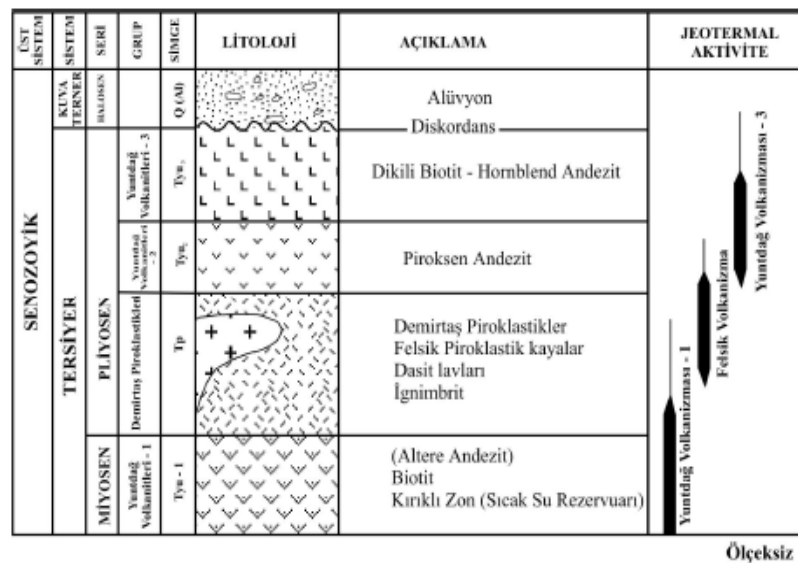
Soma Formasyonu; bu formasyon büyük miktarda sedimanter tuf, siltli kireçtaşı, silttaşı ve kumtaşından ibarettir. Aynı zamanda alçalma hareketi burada bu formasyonun çökmesine neden olup, büyük bir olasılıkla felsik magmanın neden olduğu volkanik aktivite ile de ilgili bulunmaktadır (MTA-JICA, 1987).

I. Yuntdağ Volkanitleri; Kozak dağlarının GB'sında geniş alana yayılmıştır. Bunların piroksen andezitten, dasite doğru değişen çeşitli andezitlerden ibaret olduğu saptanmıştır. Bu kayalar çok defa kuvvetli bir alterasyona uğramışlardır (Eşder, 1998).

Yuntdağı'nı oluşturan II. Yuntdağı Volkanitleri; hornblend andezit ile piroksen andezitten oluşmuştur.

III. Yuntdağı Volkanitleri; Bergama grabeninin KB 'sında ve Dikili sahasında lav domları olarak yer almışlardır. Bunlar genellikle, biyotit-hornblend andezit ve dasitten oluşmuşlardır.

Demirtaş Piroklastikleri; Dikili İlçası 'nın güneybatısında çok küçük bir bölgede görülmektedir. Bu kayalar, Yuntdağ Volkaniti-I 'in üzerini örter. Kalınlıkları 100 m 'den azdır (Özen, 2002).



Şekil 1.1 Dikili- Kaynarca jeotermal sahasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (MTA-JICA, 1987'den derlenmiştir)

Dikili Biotit-Hornblend Andezit; Dikili Ilıcası çevresinde doğrudan Demirtaş piroklastiklerinin üzerine uzanırlar. Dom yapılı volkandan oluşur (Şekil 1.2). Bu birimin bulunduğu alanın topoğrafyası lav domuyla, lav akışının bir karışımıdır. Sıkça gözlenen hidrotermal damarlar boyunca zayıf ve orta dereceli alterasyonlar gözlenir. Kuvars ve kalsit dolgulu damarlar belirli bir yön boyunca uzanmazlar. Bu damarlar jeotermal aktivitenin Dikili lavı sonrası oluştuğunu gösterir (MTA-JICA, 1986).



Şekil 1.2 Dikili Ilıcaları ve çevresinden bir görünüm (Özen, 2002)

1.2 Yapısal Jeoloji

Batı Anadolu plakasının doğudan batıya hareket etmesi sonucunda Batı Anadolu 'da Miyosen ve Pliyosen zamanında açılma ve gerilme hareketleri sonucu oluşan grabenler ile tektonik zonlarda önemli jeotermal sistemler meydana gelmekte olup, Dikili-Kaynarca jeotermal alanları da bu graben sistemi içinde yer alan önemli bir sahadır (Özen, 2002).

Kaynarca jeotermal alanında KB-GD, KD-GB doğrultulu faylanmalar hakimdir. Gravite çalışmaları sonucunda grabeni oluşturan kuzeydeki fayın Kaynarca'nın bulunduğu yerden geçerek D-B doğrultusunda uzandığı, aynı şekilde Bakırçay grabenin güneyini sınırlayan fayın da Kargın Tepe kuzeyinden geçtiği belirlenmiştir (MTA-JICA, 1986).

Yapılan araştırmalara göre Bakırçay grabeni üzerinde bulunan Kaynarca jeotermal kaynaklarının yzeylenmesi faylanmalar boyunca olmaktadır. Grabeni oluşturan ana faylar alüvyonla örtülmüştür. Bunun dışında volkanikler içinde etkin faylar da görülmektedir (MTA-JICA, 1987).

MTA-JICA (1987) tarafından tektonik zonda aktif fayların belirlenmesi için jeokimyasal çalışmalar yapılmıştır. Bunlar; sıcaklık, gaz lmleri (CO₂), hidrotermal alterasyon ve izotoplar ile yapılan araştırmalardır. Jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal çalışmalar sonucunda; Kaynarca yöresi belirlenmiş ayrıca Kaynarca jeotermal alanındaki kaynakların bulunduğu sahada yaklaşık D-B uzanımlı ve grabeni oluşturan yüzey gravite fayının GB-KD, KD-GB doğrultulu faylarla kesildiği saptanmıştır.

1.3 Volkanizma

Bölgede çeşitli zamanlarda oluşmuş volkanizma dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

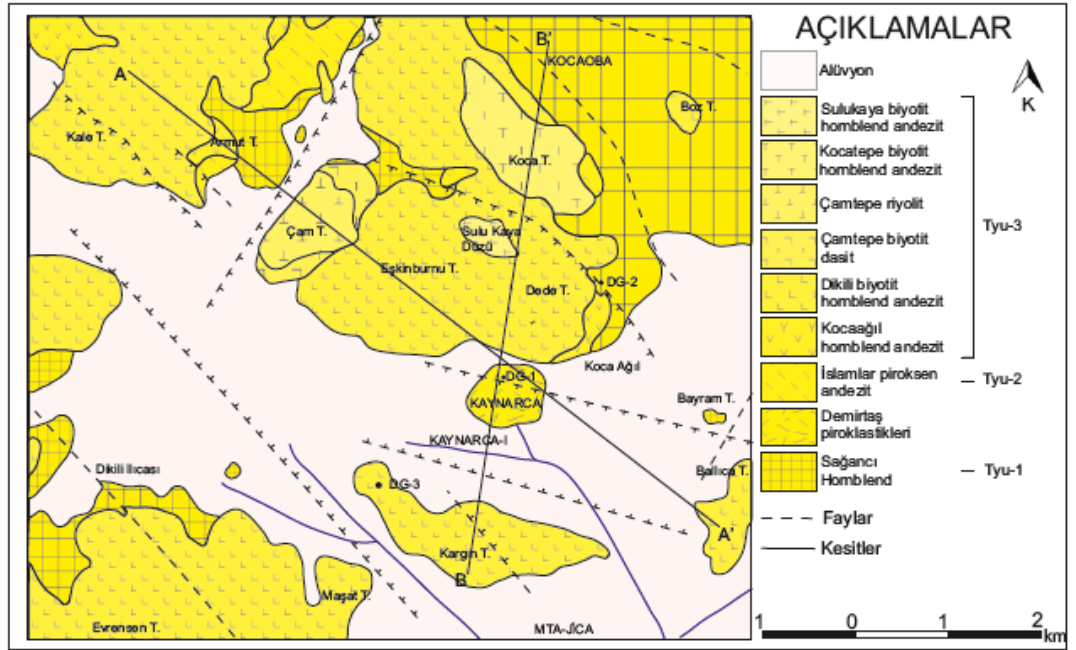
1. Miyosen yaşlı andezitik volkanizma (Tyu₁)
2. Pliyosen yaşlı andezitik volkanizma (Tyu₂)
3. Pliyosen yaşlı mafik volkanizma (T_p)
4. Pliyosen-Pleyistosen yaşlı riyodasitik volkanizma (Tyu₃)

Miyosende andezitik volkanizma faaliyetinin bir merkezi Kozak Masifi 'nin kuzeybatısında olan maksimum kalınlığı 1.500 metre olan hornblend andezitlerdir. Bunlar Kaynarca etrafında yeraltında kalınca gözlenmektedir. Yaygın hidrotermal alterasyona maruz kalmışlardır. Bölgenin güneybatı kısmında depresyon zonu içinde çamur ve tf birikmiştir. Çalışma alanında gözlenmeyen Soma formasyonu ile piroklastik kayaçların kalınlığı güneye doğru yavaş yavaş artar. Bununla beraber bu birikim doğu ve kuzeydoğuda azdır. Gerçekte tortulların birikmemiş olduğu düşünülmektedir (MTA-JICA, 1987).

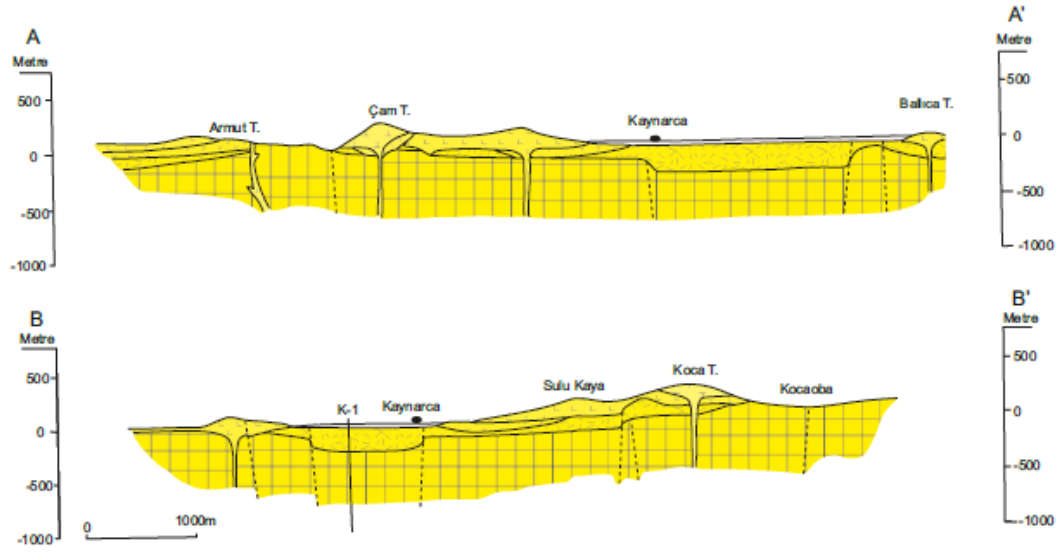
Pliyosen boyunca Soma formasyonunun sedimantasyonu ve felsik volkanizma bölgenin kuzeyinde oluşmaya başlamıştır. Bu aktivite büyük boyutlu tf ve tf bresi pskrmeleriyle karakterize edilir. Dasit ve ignimbirit içerir. Volkanizmanın bir

merkezi Dikili' nin güneydoğusunda yer alan Demirtaş' ta tabakalar şeklinde olup maksimum kalınlığı 300 metredir (MTA-JICA, 1987).

Bölge içerisinde bu olayları takiben bir yükselti oluşmuştur. Bazalt, piroksen, andezit gibi mafik magma felsik volkanizma üzerine akmıştır. Genç Pliyosende Yuntdağ Volkanitleri-III olarak tanımlanan andezitik volkanizma oluşmuştur. Bu volkanizma Dikili grabeni içinde dom şekilli bir yapı sunar. Eş zamanda DKD-BGB yönlü bir ova Dikili-Bergama arasında oluşmuştur (MTA-JICA, 1987). MTA-JICA işbirliği ile hazırlanan Kaynarca alanının jeoloji haritasında bölgeye ait formasyonlar ve faylanmalar görülmektedir (Şekil 1.3) ve bölgede iki farklı yönde hatlar boyunca düşey kesit haritasına MTA' nın 1990 tarihli raporunda yer verilmiştir (Şekil 1.4).



Şekil 1.3 Dikili – Kaynarca bölgesinin jeolojisi (MTA, 1990)



Şekil 1.4 Dikili – Kaynarca alanından oluşturulan A-A’ ve B-B’ hatları boyunca düşey kesit haritaları (MTA, 1990)

Dikili- Bergama jeotermal alanları doğal sıcak su kaynakları bakımından oldukça zengindir. Bunlardan önemlilerine aşağıda yer verilmiştir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1 Bölgedeki başlıca doğal sıcak su kaynakları (MTA, 1990)

Kaynak Adı	Bulunduğu Yer	Sıcaklık °C	Debi (lt/sn)
Kaynarca	Dikili- Kaynarca	80-100	180-200
Dikili Kaplıcası	Dikili Kaplıcaları	42-64	2.5
Nebiler Kaplıcası	Dikili -Nebiler Köyü	34-57	6-7
Bademli Kaplıcası	Dikili- Bademli	41-70	1-2
Kocaoba Ilıcası	Dikili- Kocaoba Köyü	57-60	4
Paşa Kaplıcası	Bergama- Paşaköy	39-44	1
Güzellik Kaplıcası	Bergama	35	1.5
Mahmudiye Ilıcası	Bergama- Mahmudiye Köyü	26	4

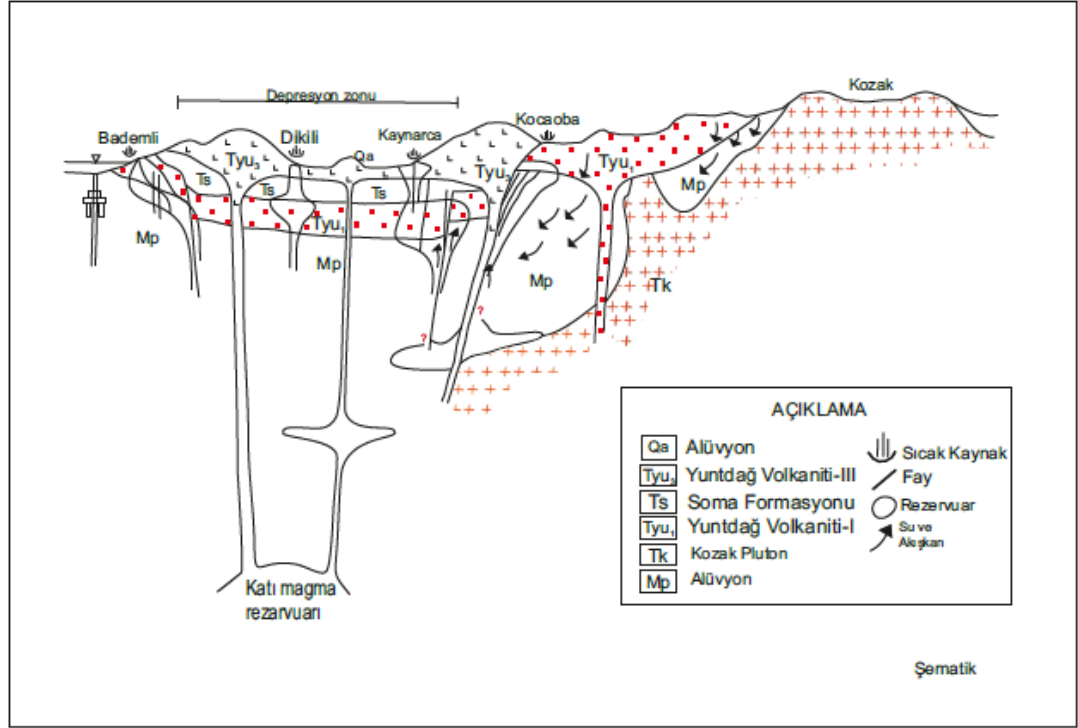
1.4. Bölgenin Jeotermal Özellikleri

1.4.1 Dikili-Kaynarca Jeotermal Alanlarının Oluşumu

Tektonik hareketlerle oluşan fay zonlarında magmanın yüzeye yaklaşması veya aktivitesini kaybetmemiş magma ısısının iletim (kondüksiyon) yoluyla yeraltı sularını ısıtması sonucunda jeotermal akışkanlar oluşmakta ve bu akışkanlar gaz (CO₂) ve buhar olarak yüzeye çıkarak jeotermal kaynakları meydana getirmektedir (Yılmazer, 1984).

Yuntdağ Volkaniti-I kuzeybatıda komşu Kozak Masifi'ni kesmektedir. Dikili'yi içine alan depresyon zonunun bir sonucu oluşan düzlük içinde Yuntdağ Volkaniti-II ve bunu takiben Yuntdağ Volkaniti-III 'ün dom yapılı volkanizması oluşmuştur. Jeotermal aktivite bu genç volkanizmanın çevresindeki sıcak kaynaklarda gözlemlenmiştir (Şekil 1.5).

Bölgedeki sıcak sular tektonik hatlar boyunca Kozak Bölgesi'nden yeraltına süzülen meteorik suların derinlerde ısınıp, kırık ve faylar boyunca tekrar yüzeylemesi ile oluşan devirli sistem özelliğindedirler. Sıcak sular bu yükselimleri sırasında belirli oranda soğuk yeraltı suları ile karışabilmektedirler (Özen, 2002).



Şekil 1.5 Dikili-Bergama jeotermal alanlarının oluşumunu gösteren şematik kesit (MTA-JICA, 1987)

1.4.2 Dikili-Kaynarca Jeotermal Alanlarının Tanıtımı

1.4.2.1 Dikili Jeotermal Sahası

Kaynak sıcaklığı 51 °C olup; kaynaklar bikarbonatlı, sodyum sülfatlı, karbondioksitli ve hipotermalidir. Dikili kaynakları D-B yönlü fayın çatlaklarından gelip alüvyon şeridinin üzerinde birkaç yerden yüzeye çıkarlar. Kaynakların yüksek sıcaklıklı olanları, koyu renkli andezitler (Yuntdağ Volkaniti-III) arasından çıkarak alüvyonlardan boşalmaktadır (Yılmaz, 1984). Bölgedeki kaynaklar 1939 yılında meydana gelen depremden etkilenmişlerdir. Bu sırada beliren sıcak kaynaklardan bir bölümü, kısa zamanda kaybolmuş, kalanlar ise 1941 yılından bugüne kadar özelliklerini korumuşlardır. Yapılan sondajlarla sıcaklık ve debi artırılmıştır. Kaynakların çevresi kaplıca uygulamalarının yanı sıra tarımsal uygulamalar için de oldukça idealdir (Yılmaz, 1984).

Kaynarca ve Çamur kaplıcalarının bulunduğu sahada günümüzde 600 dönüm sera jeotermal su ile ısıtılırken, Dikili Belediyesinin konut ısıtma projesi 2008 başında

başlamıştır. Ayrıca elektrik üretimine dönük bazı çalışmalar olduğu da bilinmektedir. Sahada Dikili Belediyesi ve İzmir Valiliği ve Sera İşletmelerine ait 15 kadar ruhsatlı kuyu çalışmaktadır. Seraların ticari başarısı nedeniyle, seracılık açısından bir çekim merkezi olmuştur. Seralar çevredeki istihdam sorununa ve sosyal yaşamına önemli katkılar sağlamaktadır. Sahanın öncelikle seracılık için tahsis edilmesini sağlayacak ve olası kapasite artışlarında (sera, bölge ısıtma, elektrik) önceden kurulu olan işletmelerin zarar görmesini önleyecek bir işletme modeline gereksinim olduğu Aksoy (2003) tarafından belirtilmiştir.

1.4.2.2 Bergama Jeotermal Sahası

Düşük sıcaklığa (62 °C) sahip sahada Bergama Belediyesi, MTA ve İller Bankası tarafında (belediye adına) kuyular delinmiştir. 2003 yılında başlayan Bergama Belediyesi kentin jeotermal enerji ile ısıtılması için bir proje başlatmıştır. Planlamada önce saha potansiyelinin belirlenmesi ve ardından potansiyele uygun kapasitede ısıtma yapılması öngörülmüştür. Ancak mali sıkıntılar nedeniyle, hemen 150-200 konutluk örnek bir ısıtma yapılması benimsenmiştir. Örnek ısıtmada başlangıçta büyük sorunlar çıkmış, yeterli jeotermal su bulunamamıştır. Acele ile kazılan bazı kuyulardan arzu edilen miktarda jeotermal akışkan bulunamayınca proje gözden düşmüştür. 2006 ve 2007 yıllarında İller Bankası ve MTA tarafından delinen kuyulardan iyi sonuçlar alınmış olmasına rağmen proje önceki başarısızlıklar nedeniyle olduğu yerde kalmıştır. Halen birçok konut jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Sular altında kalmakta olan Allioani ve Pergamon (Asklepion) antik kentleri tıp tarihinde özel öneme sahiptirler. Aksoy (2003), Bergama'nın jeotermal potansiyelinin tarihi mirasına uygun projelerle değerlendirilmesi amacıyla planlanması gerektiğini belirtmiştir.

1.4.2.3 Kaynarca Jeotermal Sahası

Çanakkale yolu, Dikili Kavşağı'nın 4,8 km doğusunda alüvyonal alan içinde yer alır. 2500 m² alan üzerinde dört adet sıcak su gölü ile irili ufaklı 80 değişik termal su ve buhar çıkışları vardır. Bu termal suyun oluşumu doğrudan 1939 depreminin bir

sonucudur (Jeckelman, 1998). İzmir Dikili İlçesi Köylerine Hizmet Götürme Birliği ile MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan 07.05.2004 tarihli sözleşme gereği daha önce açılmış T-1 sıcak su kuyusuna ilaveten 2 adet daha sıcak su kuyusu (T-2 ve T-3) açılmıştır. Sahada açılan sondajlardan elde edilen sıcak suların, konut ve sera ısıtması ile termal turizm gibi birçok alanda entegre olarak kullanılması planlanmaktadır. T-2 ve T-3 sondajlarında yüzeyden itibaren alüvyon, yeşil-gri renkli silisifiye dasitik tuf ve andezit bloklarından oluşan Demirtaş Piroklastikleri ve yoğun altere, griyeşil renkli, silisifiye ve bol kırıklı andezitler (Yuntadağ Volkanitleri-I) kesilmiştir. Üretim her iki sondajda da, Yuntadağ Volkanitleri-I içerisindeki çatlaklardan ve T-2 sondajında 330 m’de, T-3 sondajında ise 509,60 m’ de kesilen fay zonlarından yapılmaktadır.

Sondaj çalışmaları sonunda, Kaynarca T-2 jeotermal sondajından kuyu dibi sıcaklığı 131,5 °C, üretim sıcaklığı 99,8 °C ve debisi 46,7 l/s olan artezyen şeklinde, T-3 jeotermal sondajından ise sıcaklığı 97 °C ve debisi 45 l/s (kompresör) olan sıcak su üretimi sağlanmıştır. Bu sıcak sular Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (AIH) sınıflamasına göre “Sodyumlu, sülfatlı, bikarbonatlı termal sular” sınıfına girmektedir (Peker ve Güdücü, 2005). Kaynaklardan çıkan bu akışkanlar oluşturdıkları kanallardan akarak Bakırçay’ a karışırlar ve denize ulaşırlar.

BÖLÜM İKİ

GRAVİTE VERİLERİNE UYGULANAN VERİ-İŞLEM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, Bergama-Dikili bölgesinin gravite anomali haritasının sayısallaştırılması sonucunda elde edilen veri setine veri işlem yöntemleri uygulanmıştır. Bu veri işlem yöntemleri sırasıyla süzgeçleme, analitik uzanımlar, trend analizi ve ikinci türev işlemleridir. Bu yöntemlerden başka, sınır analizi ve güç spektrumu gibi teknikler de uygulanmıştır. Bu işlemlerin sonuçları bize söz konusu bölgenin yeniden yorumlanması olanağı sağlamıştır. Yapılan işlemlerin amacı Bergama-Dikili bölgesinde yer alan jeotermal akışkanının varlığının ve yapıya ait fiziksel özelliklerinin (sınırları ve derinliği) jeofizik yöntemlerle ile yeniden yorumlamasını yapmak ve bu sayede var olan jeotermal potansiyelin daha net bir biçimde ifade edilebilmesini sağlamaktır.

2.1 Süzgeçleme

Potansiyel alan verilerine uygulanan veri işlem yöntemleri için geçerli olan matematiksel bağıntılar elektrik süzgeç devrelerinde olanlar gibidir. Potansiyel alan verileri zamana göre değil, uzay boyutları cinsinden değişkendir. Bu nedenle de uzay boyutunda elde edilen potansiyel alan verilerini dalga sayısı ortamına dönüştürerek gerekli dalga sayılarını geçirme, diğerlerini durdurma işlemine süzgeçleme adı verilir (Sarı, 1984). Analitik uzanım ve 2. türev işlemleri de bir süzgeçleme işlemi olarak değerlendirilebilir.

Uygulamada kullanılan süzgeç türleri, süzgeçleme işlevlerinin biçimine göre alçak geçişli, yüksek geçişli ve band geçişli süzgeçler olmak üzere üçe ayrılırlar.

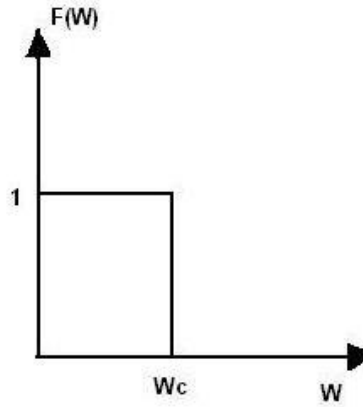
Alçak geçişli süzgeçler, seçilecek bir dalga sayısından daha alçak dalga sayılı değişimleri geçiren, diğerlerini süzen bir süzgeç türü olup, yüzeysel etkileri süzüp yalnızca derin etkileri ortaya çıkarmak için kullanılır (Şekil 2.1a).

Yüksek geçişli süzgeçler, belirli bir dalga sayısından daha yüksek dalga sayılı değişimleri geçiren, diğerlerini süzen bir süzgeç türüdür ve derin etkileri süzerek yalnızca yüzeysel etkileri belirginleştirmek amacıyla kullanılır (Şekil 2.1b).

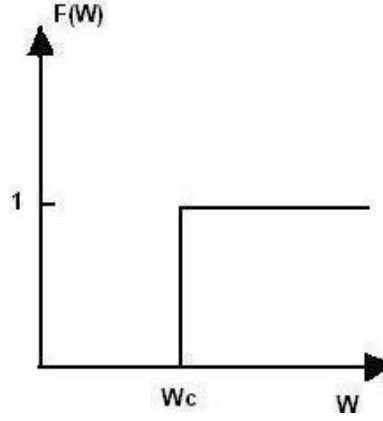
Band geçişli süzgeçler ise, seçilen belirli iki dalga sayısı arasındaki değişimleri geçiren, diğerlerini süzen bir süzgeç türüdür (Şekil 2.1c).

Süzgeç düzenlenmesinde dikkat edilen en önemli özellik evre kaymasının olmamasıdır. Bu nedenle de dalga sayısı tepki işlevinin çift işlev, diğer bir deyişle dürtü (impuls) tepki işlevinin bakışık olması gerekir.

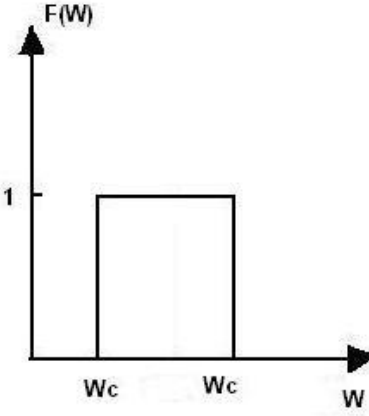
Süzgeçleme işleminde önemli olan bir diğer özellik de kesme dalga sayısının seçimidir. Bu nedenle süzgeçleme işlemi sırasında incelenecek sinyalin sayısallaştırılmasında seçilecek zaman (uzunluk, grid) aralığı çok önemlidir. Bu aralık Nyquist frekansı ($f_N = 1/2\Delta x$) (Δx = örnekleme aralığı) kullanılarak bulunur (Sarı, 1984).



Şekil 2.1a Alçak geçişli süzgeç dalgasayısı tepki işlevi



Şekil 2.1b Yüksek geçişli süzgeç dalgasayısı tepki işlevi



Şekil 2.1c Band geçişli süzgeç dalgasayısı tepki işlevi

2.1.1 Genel Süzgeçleme Kuramı

İki boyutlu süzgeç işlemi, iki boyutlu evrişim işleminden yararlanılarak,

$$\phi' = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) \cdot \phi(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta \quad (2.1)$$

bağıntısı ile tanımlanır (Fuller, 1967). Bu bağıntıda,

$\phi(x, y)$: giriş verisi

$\phi'(x, y)$: süzgeçlenmiş veri

$f(x, y)$: süzgeçleme işlevidir.

Süzgeçleme işlevinin anlamlı olabilmesi için sonlu boyutta olması gerekmektedir.

$$f(x, y) = 0 \quad \begin{cases} |x| \geq X \\ |y| \geq Y \end{cases} \quad (2.2)$$

(2.2) no.lu bağıntı, verinin bir dikdörtgen pencere içinde olması anlamına gelir. Dikdörtgen pencerenin dalga sayısı ortamında yan salınımlarının fazla olması nedeniyle bu yan salınımların önüne geçmek için pencere işlevleri (kosinüs pencere veya başkaları gibi) kullanmak gerekmektedir.

Bu durumda (2.1) bağıntısı,

$$\phi' = \int_{-X}^X \int_{-Y}^Y f(\alpha, \beta) \cdot \phi(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta \quad (2.3)$$

şeklinde yazılır ve her iki yanın Fourier dönüşümleri alınır,

$$\phi'(u, v) = F(u, v) \cdot \phi(u, v) \quad (2.4)$$

elde edilir. (2.4) bağıntısı, zaman (uzay) ortamındaki evrişim işleminin dalga sayısı ortamında çarpım işlemi olarak gösterimidir. $f(x, y)$ işleminin Fourier dönüşümü $F(u, v)$ dalga sayısı tepki işlevi olarak bilinir ve

$$F(u, v) = \int_{-X}^X \int_{-Y}^Y f(x, y) \cdot \exp(-2\pi i(ux + vy)) dx dy \quad (2.5)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Eğer $f(x, y)$ her iki eksen için bakışık (2.5) numaralı bağıntı,

$$F(u, v) \cong 4 \int_0^X \int_0^Y f(x, y) \cdot \cos(2\pi ux) \cdot \cos(2\pi vy) dx dy \quad (2.6)$$

şeklini alır. Zaman (uzay) ortamında $\Delta x = \Delta y = 1$ örnekleme aralıklarıyla sayısallaştırılmış verilerde (2.6) bağıntısıyla tanımlanan dalga sayısı tepki işlevi,

$$F(u, v) \cong 4 \sum_{n=0}^Y \sum_{k=0}^X W(k, n). \text{Cos}(2\pi n v). \text{Cos}(2\pi k u) \quad (2.7)$$

ile tanımlanır. Burada $W(k, n)$, süzgeç operatörlerinin ağırlık katsayılarıdır. Dalga sayısı ortamındaki örnekleme adımları Δu ve Δv olmak üzere, örnekleme kuramına göre en büyük dalga sayısı 0.5 devir/veri aralığı olacağından, (2.7) bağıntısından yararlanılarak $W(k, n)$ süzgeç katsayıları,

$$W(k, n) = 4 \sum_{l=0}^{0.5/\Delta u} \sum_{m=0}^{0.5/\Delta v} F(l\Delta u, m\Delta v). \text{Cos}(2\pi l\Delta u k). \text{Cos}(2\pi m\Delta v n) \Delta u \Delta v \quad (2.8)$$

elde edilebilir. Böylece, tanımlanan dalga sayısı yanıtından ağırlık katsayıları her koordinat için saptanmış olur. (2.8) bağıntısı ile elde edilen $W(k, n)$ ağırlık katsayıları uygun bir pencere işlevi ile pencerelelendikten ve normalleştirildikten sonra esas katsayılar elde edilir (Fuller, 1967; Sarı, 1984).

2.2 Analitik Uzanımlar

Belirli bir bölgeyi ilgilendiren potansiyel alan (gravite ve manyetik) verileri yeraltının jeolojik yapısı hakkındaki bilgileri doğrudan doğruya yansıtmaz. Bu nedenle, verilerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden birisi, ölçülerek belirli bir düzlem üzerine indirgenmiş potansiyel alan verilerinin, bu düzlem altındaki veya üzerindeki başka bir düzlem üzerindeki dağılımının bulunması işlemidir. Bu işleme analitik uzanım adı verilir. Yukarı ve aşağı analitik uzanım olmak üzere ikiye ayrılan uzanım yöntemlerinden yukarı doğru yapılan uzanım yüzeye yakın sığ kütlelerin etkisinin giderilmesi, aşağı doğru yapılan uzanım ise yüzeye yakın kütlelerin etkilerinin belirginleştirilmesi amacıyla yapılır. Burada en önemli koşul uzanımın yapılacağı yüzeyde anomaliye neden olan cismin bulunmasıdır.

Potansiyel kuramı sonuçlarından yararlanarak $\phi(x, y, 0)$ potansiyelinin $z=0$ düzleminden $z=h$ düzlemine yukarıya doğru analitik uzanım bağıntısı Henderson ve Zietz (1949) tarafından

$$\phi(x, y, h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h \cdot \phi(\alpha, \beta, 0)}{2\pi((x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + h^2)^{3/2}} d\alpha d\beta \quad (2.9)$$

bağıntısı ile verilir. Görüldüğü gibi (2.9) bağıntısı bir evrişim bağıntısı olup, $z=h$ düzlemindeki potansiyel alan değeri $\phi(x, y, h)$, $z=0$ düzlemindeki potansiyel alan değeri $\phi(x, y, 0)$ ile uzanım işleci $f(x, y, h)$ 'nin evrişiminden elde edilir.

Yukarı uzanım işleci $f(x, y, h)$,

$$f(x, y, h) = \frac{h}{2\pi(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} \quad (2.10)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Bu işlecin dalgasayısı tepki işlevi, (2.10) bağıntısının Fourier dönüşümünün alınmasıyla elde edilir.

$$F(u, v, h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h \cdot \exp(-2\pi i(ux + vy))}{2\pi(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} dx dy \quad (2.11)$$

Tümleme işleminin çözümü sonucunda yukarı doğru analitik uzanım dalga sayısı tepki işlevi,

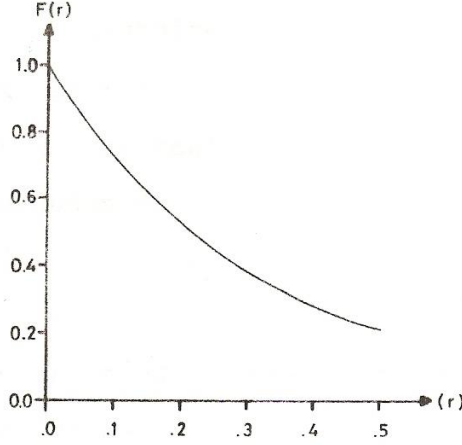
$$F_Y(u, v, h) = \exp(-2\pi h(u^2 + v^2)^{1/2}) \quad (2.12)$$

bağıntısı ile gösterilebilir (Şekil 2.2a).

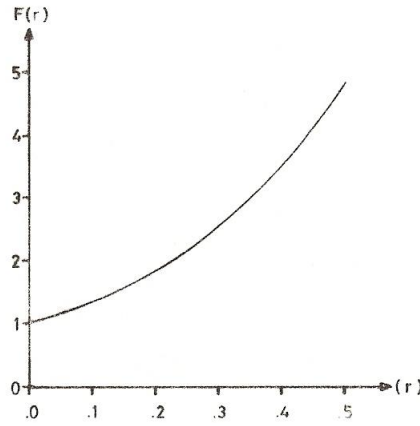
Benzer şekilde, aşağı doğru analitik uzanım işlevinin dalga sayısı tepki işlevi de,

$$F_A(u, v, h) = \frac{1}{F_Y(u, v, h)} = \exp(2\pi h(u^2 + v^2)^{1/2}) \quad (2.13)$$

ile tanımlanır (Şekil 2.2b).



Şekil 2.2a Yukarı analitik uzanım dalgasayısı tepki işlevi (Sarı, 1984)



Şekil 2.2b Aşağı analitik uzanım dalgasayısı tepki işlevi (Sarı, 1984)

Süzgeçleme işleçlerini elde etmek için kullandığımız (2.8) numaralı bağıntı, yukarı ve aşağı analitik uzanımlar için gerekli işleç katsayılarının saptanmasında da kullanılabilir.

2.3 Türevler

Potansiyel alan verilerinin nitel değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntem olup, küçük boyutlu sığ yapıları ve yeraltındaki yapıların sınırlarının belirlenmesi ikinci türev yardımı ile gerçekleşir. Bu özelliği ile de yüksek geçişli süzgeç işlemine benzer.

Gravite ve manyetik anomali haritasındaki doğrusal değişimler ikinci düşey türev anomali haritasında tümüyle giderilir. Birinci dereceden bir eşitliğin ikinci türevinin sıfır olması nedeniyle sonlu boyutlardaki cisimlerin sınırları yaklaşık olarak anomalinin dönüm noktalarına rastlar. Bu nedenle, gravite ve manyetikte ikinci düşey türev anomali haritasındaki sıfırlar yeraltındaki yapının olası sınırlarını izler. Böylelikle de yapının olası boyutları hakkında yaklaşık bilgiler sağlanabilir.

Eğer $z=0$ düzlemindeki $\phi(x, y, z)$ potansiyel verisinin Fourier dönüşümü $\phi(u, v)$ olarak düşünürsek,

$$\phi(x, y, z) \Big|_{z=0} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(u, v) \cdot \exp\{2\pi i(ux + vy)\} du dv \quad (2.14)$$

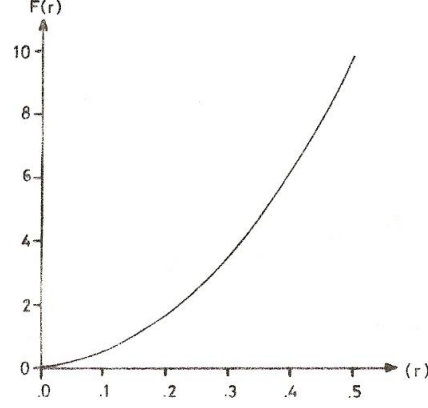
olur. Potansiyel veriler kaynağın olmadığı yerlerde Laplace denklemini sağlayacağından,

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} \phi(x, y, z) = -\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) \cdot \phi(x, y, z) \quad (2.15)$$

yazılabilir. (2.14) no.lu bağıntının x ve y 'ye göre ikinci türevleri alınarak bağıntı (2.15) 'te yerine konacak ikinci türevin dalga sayısı yanıtı (Şekil 2.2c).

$$F(u, v) = 4\pi^2 (u^2 + v^2) \quad (2.16)$$

elde edilir (Fuller, 1967). Bu bağıntının (2.8) no.lu bağıntıda yerine konulmasıyla da ikinci türev işleç katsayıları saptanmış olur.



Şekil 2.2c İkinci türev dalgasayısı tepki işlevi (Sarı, 1984)

Buraya kadar anlatılanları kısaca şöyle özetleyebiliriz:

- 1) Yapılmak istenen işlemin (süzgeçleme, analitik uzanımlar ve ikinci türev) dalga sayısı ortamında dalga sayısı tepki işlevi tanımlanır.
- 2) Tanımlanan dalga sayısı tepki işlevleri, Fourier dönüşümü veya bakışıklık nedeniyle kosinüs dönüşümü ile dalga boyu (zaman, uzay) ortamına alınarak dürtü (impuls) tepki işlevi saptanır.
- 3) Dürtü tepki işlevi, dalga boyu ortamında amaca uygun bir pencere ile çarpılarak kısaltılır (sınırlanır).
- 4) Kısaltılan dürtü tepki işlevi veri ile evrime sokularak yapılması amaçlanan işlem gerçekleştirilmiş olur.

Yukarıda anlatılan süzgeçleme, analitik uzanımlar veya ikinci türev işlemleri, Fourier dönüşümü ile dalga sayısı ortamına alınan verinin yine dalga sayısı ortamında tanımlanan dalga sayısı tepki işlevleri ile birebir çarpımı yapılarak da gerçekleştirilebilir. Elde edilen çıktının ters Fourier dönüşümü alınarak yapılması amaçlanan işlem dalga boyu ortamında elde edilir. Burada işlemleri yaparken dalga sayısı tepki işlevlerinin sanal kısımlarının sıfır alınmasına (yapılmasına) dikkat etmek gereklidir (Sarı, 1984).

2.4 Trend Analizi

Eldeki Bouguer veya manyetik anomali haritasının dizgesel ve düzgün olarak değişen bölümü matematiksel bir yüzey ile gösterilebilir. Bu yüzeye “Trend” denir. Trend analizinin tanımındaki bu matematiksel yüzey jeofizikteki uygulamasında bölgesel ve yüzeyden olan sapmalar da kalıntı olarak isimlendirilir.

Gözlenen değerleri G_i , trend değerleri T_i ve kalıntı değerleri R_i olmak üzere, bunlar arasındaki ilişki;

$$R_i = G_i - T_i \quad (2.17)$$

bağıntısı ile verilir. Burada istatistiksel olarak iki ana varsayım kabul edilmektedir. Bunlar;

- 1) Kalıntılar gelişigüzel dağılım gösterirler (kovaryansları=0),
- 2) Tüm verinin kalıntılar toplamı ise sıfırdır ($\sum R_i = 0$), (Ergün ve Akçığ, 1982; Sarı, 1984).

Gözlenen veri ile bulunacak trend arasındaki farkların karelerinin en küçük olması ilkesine dayanan en küçük kareler yönteminden yararlanılarak (2.17) numaralı bağıntı,

$$\sum_{i=1}^n R_i^2 = \sum_{i=1}^n (G_i - T_i)^2 = En\ Küçük \quad (2.18)$$

şeklinde yazılabilir. Genellikle, bir trend yüzeyinin işlevsel biçiminin nasıl olması gerektiği önceden bilinemez. Bu nedenle de, çeşitli bilinmeyen işlev yaklaşımları yapılır. Özellikle de, doğrusal trend yüzeyinin çokterimlisel dağılımı kullanılır. Trend analizinde iki tür çokterimli kullanılır:

- a) normal çokterimliler
- b) ortogonal çokterimliler.

Ortogonal çokterimlilerin kullanılması daha az bilgisayar zamanı gerektirdiğinden, normal çokterimlilere göre daha çok tercih edilir.

Çokterimliler aşırı derecede esnek olduklarından uygun bir şekilde yüksek derecelere genişletilebilirlerse çok karmaşık yüzeylere uyabilirler. Kurulacak daha fazla eşitlikler yardımıyla, daha büyük derecedeki trend yüzeylerinin saptanması yapılabilir.

Bir trend yüzeyinin uyumunun iyiliği istatistik olarak araştırılabilir. Amaca uygun trend yüzeyinin derecesi uyumluluk ve *F-testi* incelemesi ile bulunur. Trend yüzeyinin derecesi arttıkça uyumluluk (korelasyon) katsayısı da artar. Belirli bir dereceden sonra uyumluluk katsayısının artışı azalmaya başlar. Uyumluluk katsayısının azalmaya başladığı trend derecesi, bizim için en uygun trend yüzeyidir. Uyumluluk katsayısı 1'e eşit olduğunda trend yüzeyi ile verilerin yüzeyi çakışır. Buradan da görüleceği gibi, en iyi trend verinin kendisidir (Sarı, 1984).

2.5 Sınır Analizi

Sınır analizi ilk kez, Cordel ve Grauch (1982 ve 1985) tarafından belirtilere neden olan kaynak yapıların yoğunluklarında ve manyetik duyarlıklarında ani değişimlerin yerlerinin belirlenebilmesi ve bu kaynak yapıların yatay yönde sınırlarının saptanabilmesi amaçlarıyla kullanılmıştır. Yöntemin amacı, yatay türev haritasında en yüksek genlik noktalarını belirleyebilmektir. Daha sonraları Blakely ve Simpson (1986) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda yöntem geliştirilmiş ve yatay türev genliklerinin harita düzlemi üzerinde en yüksek noktalarının belirlenmesi için bir algoritma haline getirilmiştir (Yüzgöl, 2010). Sınır analizi yöntemi, gravite verilerine uygulanmakta olup, eğer manyetik verilerle çalışılıyorsa yapay gravite dönüşümü gerçekleştirilmelidir (Ekinci ve Kayaç, 2006). Böylece belirtinin en yüksek değerlerinin kütle merkezi üzerinde yer alması sağlanmaktadır.

Yatay türev genlikleri,

$$h(x,y)= \left[(\partial g_z(x,y)/\partial x)^2 + (\partial g_z(x,y)/\partial y)^2 \right]^{0,5} = \left[\partial_{zx}^2 + \partial_{zy}^2 \right]^{0,5} \quad (2.22)$$

bağıntısı ile elde edilmektedir (Cordel ve Grauch, 1985). Yukarıdaki bağıntıda g_{zx} ve g_{zy} terimleri sırasıyla yapay gravite alanının x ve y yönlerindeki türevleri olup, sonlu farklar yaklaşımı kullanılarak elde edilir. Yatay türev yöntemi, belirtiyen neden olan kaynak yapının yerinin, diğer bir ifadeyle sınır yerlerinin hesaplanmasında en basit yaklaşımdır ve manyetik kaynak üzerinde analitik sinyal büyüklüğünün bir yaklaşımı olarak kullanılmaktadır (Roest ve Pilkington, 1993; Phillips, 2001; Özyalın, 2003). Yatay türev genliklerinin kaynağı sınırlarında her zaman en yüksek noktada yer alabilmesi için bölgesel manyetik alan ve kaynak manyetik duyarlılık yönü düşey, kontak izole edilmiş ve kaynak kalın olmalıdır (Özyalın, 2003). Üçüncü ve son aşama ise, en yüksek yatay türev noktalarının yerleri ve genlik değerlerinin bulunmasıdır.

2.6 Güç Spektrumu Analizi

Veri işlem yöntemleri yardımıyla yapılan yorumlama çalışmaları, potansiyel alan verilerinin yorumlanmasında oldukça yararlı sonuçlar vermektedir. Ancak kuramsal olarak sonsuz çözüme sahip olan bu tür verilerden daha sağlıklı parameter kestirimi için birden fazla değerlendirme yöntemi kullanılması yararlı olacaktır. Jeofizik aramacılıkta elde edilen potansiyel alan verilerinden yapı derinliği kestirimi için kullanılan yöntemlerden birisi de güç spektrumu yöntemidir.

Güç spektrumunun potansiyel alan verilerine uygulanması ve bozucu kütlelerin oluşturduğu anomalilerin güç spektrumlarının elde edilmesi ile ilgili ilk çalışmalar Bhattacharyya (1966) ve Spector ve Bhattacharyya (1966) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra anomaliye neden olan kütlelerin derinliklerinin saptanması ise Spector ve Grant (1970) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Potansiyel alanların dalga sayısı özelliklerine dayalı olarak Fourier güç spektrumundan anomali kaynaklarının ortalama derinliklerinin kestirimi mümkündür (Spector ve Grant, 1970; Bhattacharyya ve Leu, 1977). Yöntemin en önemli avantajı kaynak geometrisi ve yoğunluk/manyetik duyarlılık farkı bilgisine gerek duyulmaksızın derinlik çözümleri sunmasıdır. Potansiyel alan anomalileri (manyetik ve gravite) içindeki kaynak derinlik bilgileri anomalilerin dalga sayısı ortamında güç spektrumundan ortaya çıkarılabilir. Sonlu sayıda örneklenen bir profil verisinin ($f(x)$) dalga sayısı ortamına geçişi Fourier dönüşümü yoluyla gerçekleştirilmektedir. $f(x)$ 'in Fourier dönüşümü olan $F(w)$, gerçel kısmı $P(w)$ ve sanal kısmı $Q(w)$ olmak üzere;

$$F(w) = P(w) + iQ(w) \quad (2.23)$$

bağıntısıyla gösterilebilir. Güç spektrumu genlik spektrumunun karesi alınarak hesaplanır.

$$A(w) = |F(w)|^2 = P(w)^2 + Q(w)^2 \quad (2.24)$$

Güç spektrumunun dalga sayısına göre logaritmik olarak çizilen grafiğinin eğiminden araştırılan yapının ortalama derinliği belirlenir (Eğim= $-2h$, h : derinlik).

2.7 Yeraltı Taban Derinliğinin Saptanması

Gravite anomalilerine neden olan yer altı yapılarının modellenmesi için, birçok yöntemde yoğunluk bilgilerinin yanı sıra derinlik bilgilerinin de belirtilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin gerçeğe yakın değerlerde kullanılması yapılan modellemenin güvenilirliği açısından önem kazanmaktadır.

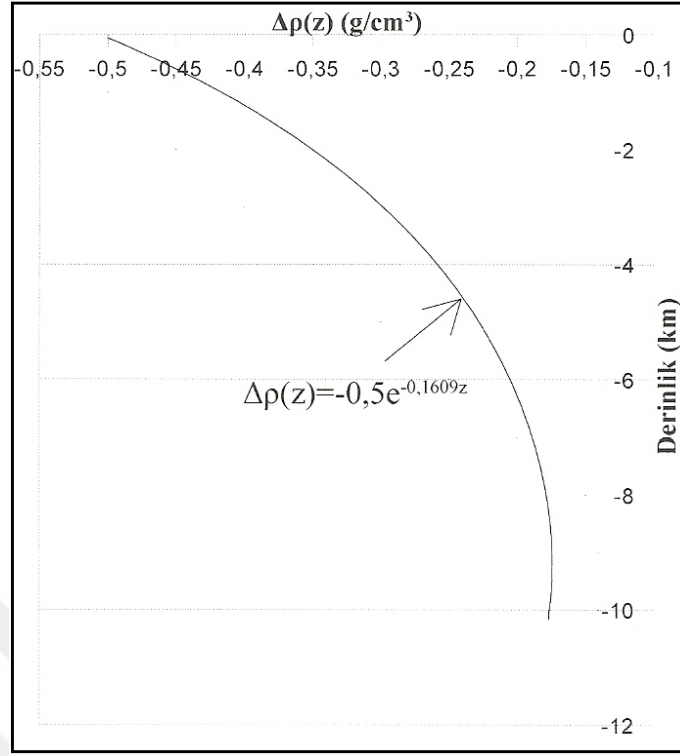
Gelişigüzel biçimli iki boyutlu yapıların neden olduğu anomalilerin ters çözümü, yapının enine kesitinin bir çokgen olarak tanımlanmasıyla başlar. Çokgenin koordinatlarına yaklaşık değerlerin atanmasıyla başlayan işlem optimizasyon işlemi ile daha da iyileştirilir (Murthy ve Rao, 1993; Yüzgöl, 2010). Bazen parametreleri

araştırılan yapıyı kuramsal olarak yan yana konmuş prizma serileri veya sonlu düşey dayklar olarak tanımlamak, bir çokgen ile sınırlamaktan daha uygun olabilir. Bu amaçla, Dyrelus ve Vogel (1972), iki boyutlu dikdörtgen prizma bloklarının üst yüzeylerini $Z=0$ 'da sabit tutarak σ yoğunluk farkı için yer altı topografyasını blokların alt yüzeylerinin derinliklerine bağlı olarak saptamışlardır. Pedersen (1977) ise, iki boyutlu düşey yönde sonsuza uzanan dikdörtgen prizma bloklarının üst yüzeylerinin derinliklerini Z referans derinliğine göre σ yoğunluk farkı ve K manyetik duyarlılık (süseptibilite) farkı için hem gravite hem de manyetik verilerden saptanmıştır.

Murthy ve Roa (1990) ise dikdörtgen prizma bloklarının üst yüzeylerinin derinliğini saptarken ortalama derinlik kavramı yanında blokların üst yüzeylerinin alabileceği en büyük ve en küçük derinlik değerlerini de tanımlayarak saptanacak parametrelerin daha güvenilir olmasını sağlamışlardır (Yüzgöl, 2010).

Tortul kayaçların yoğunluk-derinlik ilişkisi Athy (1930), Hedberg (1936) ve Maxant (1980) tarafından geniş olarak araştırılmıştır. Tortul havzalardaki yoğunluk farkı azalımının ikinci dereceden bir işlev yolu ile tanımı gravite verilerinin uzay ortamında üç boyutlu ters çözümü için bir çözüm türetmeyi mümkün kılar (Yüzgöl, 2010).

Tortul havzalar çevre kayaçların yoğunluklarına kıyasla havzayı dolduran düşük yoğunluklu kayaçların neden olduğu negatif gravite anomalileri ile ilişkilidir. Gravite yorumunun amacı, bu negatif gravite anomalilerinden havzanın yapısını saptamaktır. Sığ derinliklerde yoğunluk hızla artar, sonra yavaşça asimtotik olaral temel kayaçlar yoğunluğuna ulaşır (Şekil 2.5) (Murthy ve Rao,1993).

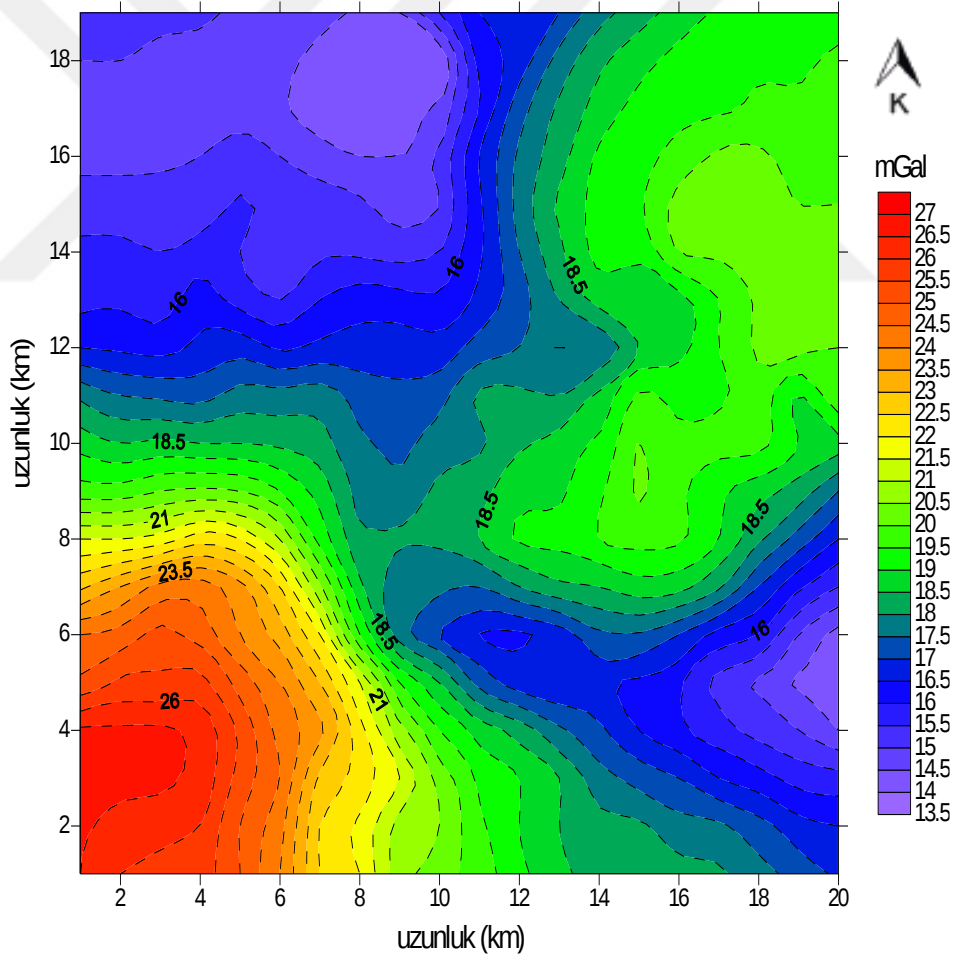


Şekil 2.5 Yoğunluk modeli (Murthy ve Rao,1993)

BÖLÜM ÜÇ

VERİ İŞLEM UYGULAMALARI VE SONUÇLAR

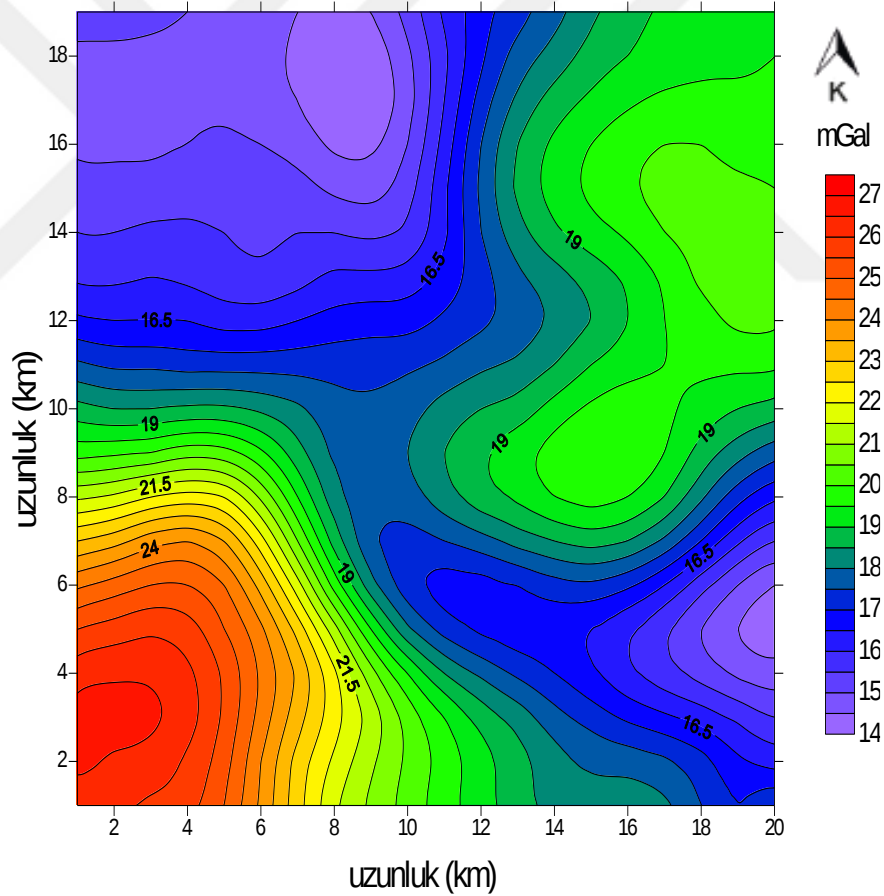
Bu bölümde Bergama-Dikili bölgesi jeotermal alanlarına ait Bouguer gravite anomali haritasının sayısallaştırılmasından elde edilen verilere veri işlem yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerle, yapının derinliği ve sınırları gibi fiziksel özelliklerinin kestirilmesi amaçlanmıştır. Sayısallaştırılan Bouguer gravite verilerine; süzgeçleme (alçak geçişli süzgeç), analitik uzanımlar (aşağı analitik uzanım, yukarı analitik uzanım), ikinci türev yöntemi, trend analizi, katman derinliği saptanması, sınır analizi, güç spektrumu ve görüntü odaklı üç boyutlu ters çözüm yöntemleri uygulanmıştır.



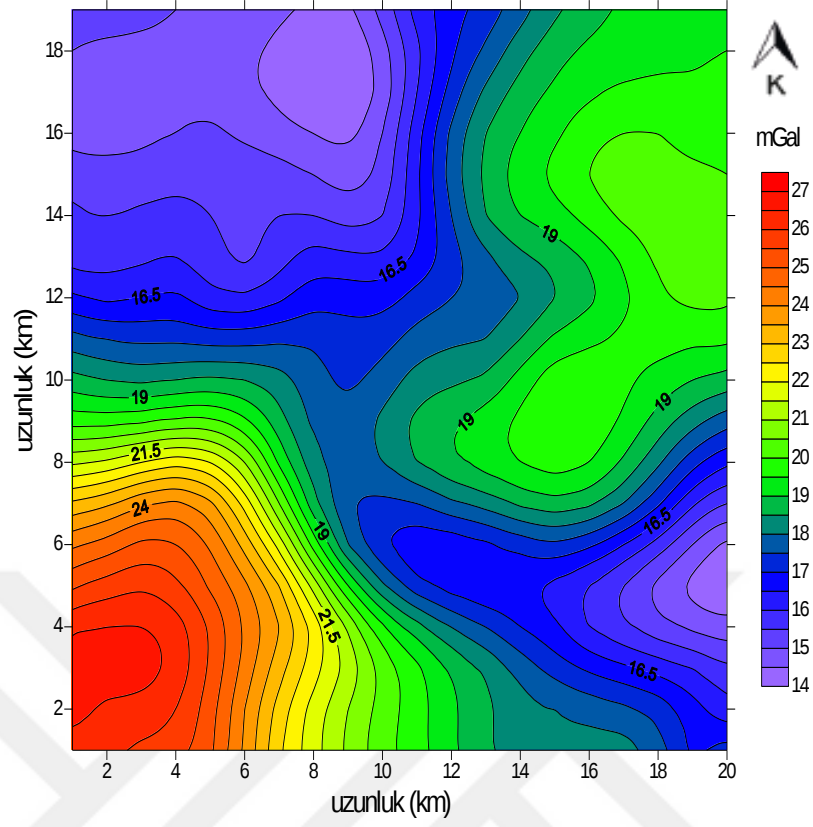
Şekil 3.1 Dikili-Bergama Alanındaki Jeotermal Oluşumun Bouguer Anomali Haritası

3.1 Süzgeçleme Uygulaması ve Sonuçlar

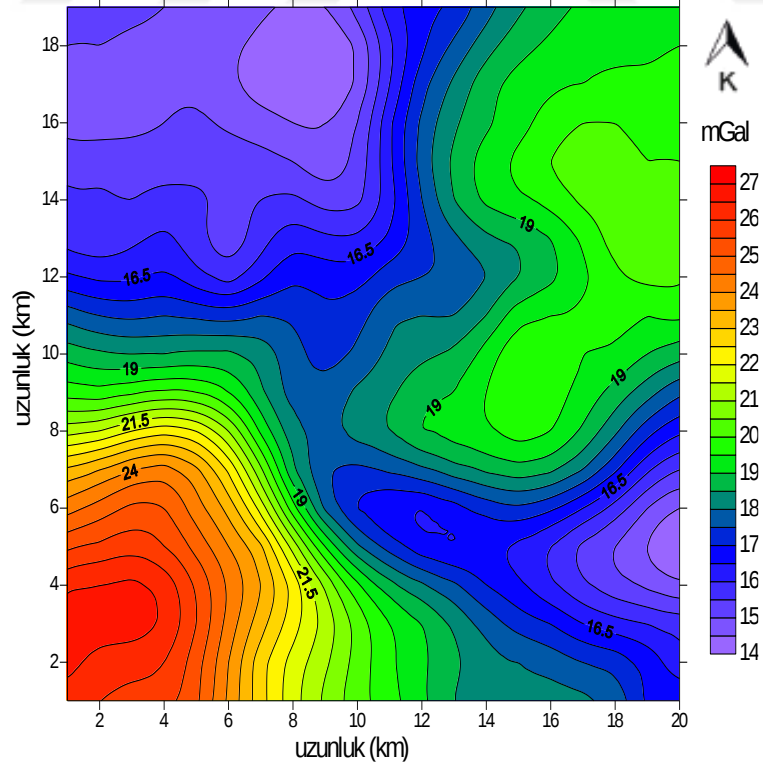
Bu bölümde gravite verisine uygulanan süzgeçleme çıktılarına yer verilmiştir. Süzgeçleme işlemi aşamasında Bouguer gravite verilerine 0.0-0.25, 0.0-0.3 ve 0.0-0.35 Hz olmak üzere 3 farklı kesme frekansı kullanılarak uygulanmıştır. Süzgeçleme işlemleri ile yapıya ait derin ve sığ etkilerin görülmesi amaçlanmıştır. Belirlenen kesme frekanslarına göre üretilen haritalara bakıldığında (Şekil 3.1, şekil 3.2, şekil 3.3) jeoloji haritasıyla özellikle Dikili Ilıcası' nın yer aldığı bölgede jeotermal kaynağın etkisinin uyumlu olduğunu görmek mümkündür. Burada gravite değerleri 21.5 ve yaklaşık olarak 26 mGal arasında görülmektedir ve bu olası sıcak su kaynağını ifade ettiği düşünülmektedir. Uygulamaya ait çıktılar aşağıdaki gibidir;



Şekil 3.2 Alçak geçişli süzgeç haritası (kesme frekansı 0.0-0.25 Hz.)



Şekil 3.3 Alçak geçişli süzgeç haritası (kesme frekansı 0.0-0.3 Hz.)



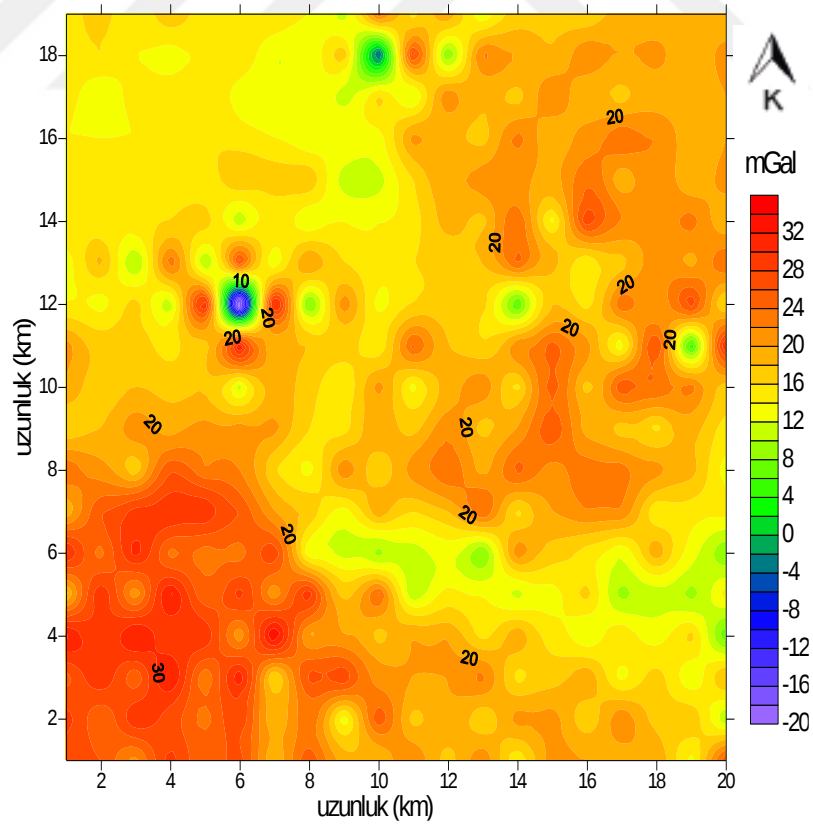
Şekil 3.4 Alçak geçişli süzgeç haritası (kesme frekansı 0.0-0.35 Hz.)

3.2 Analitik Uzanım Uygulamaları ve Sonuçları

Kullanılan veriye aşağı analitik uzanım ve yukarı analitik uzanım işlemleri uygulanmıştır. Uygulama esnasında h için ($z=0$ düzleminde uzaklık) 0.5 km'den 2.5 km'ye kadar uzanım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlere ait aşağı analitik uzanım ve yukarı analitik uzanım çıktıları aşağıdaki gibidir;

3.2.1 Aşağı Analitik Uzanım Uygulaması

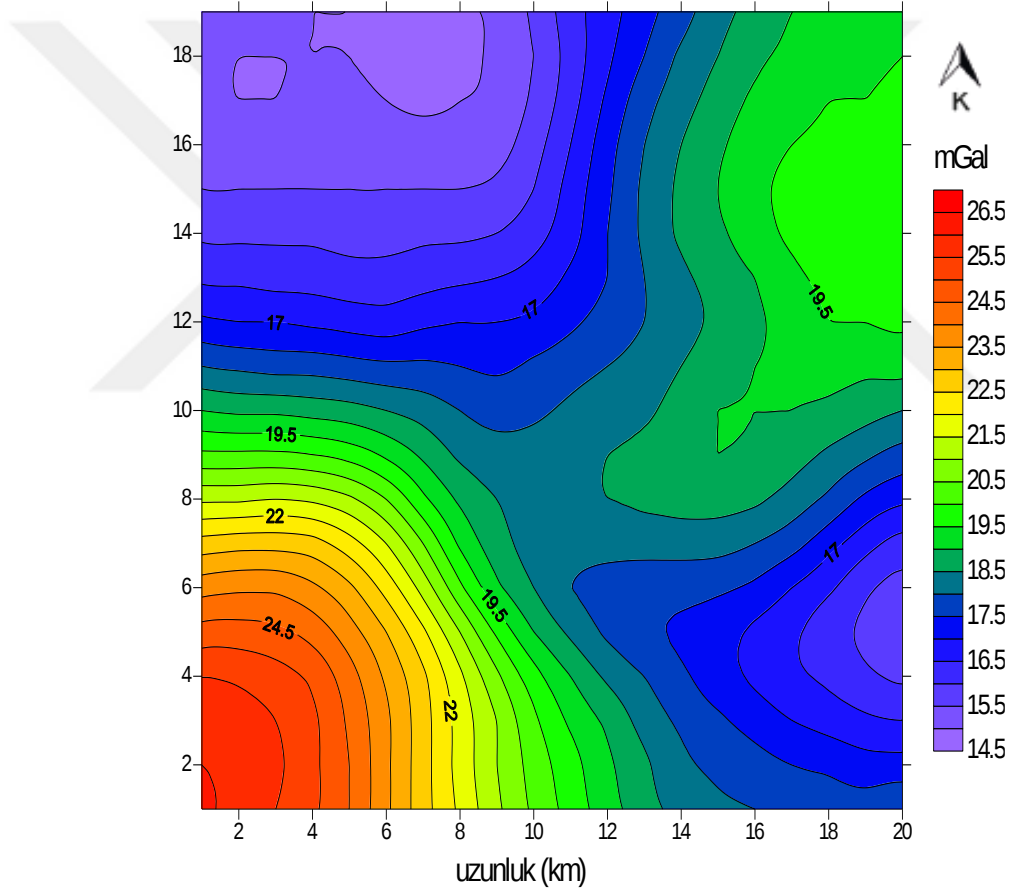
Aşağı analitik uzanım uygulamasına ait çıktıda h 'nin yalnızca 0.5 km olan değeri için oluşan sonucuna yer verilmiştir. Çünkü diğer h değerleri anomaliye neden olan yapının içerisine girmiştir. Burada güneybatı kuzeydoğu doğrultusunda karşılıklı olarak nispeten yüksek gravite değerlerine sahip kapanımlar oluşmuştur (20 mGal ve 30 mGal). Bu kapanımlar bölgede yer alan Dikili Ilıcası ve Kaynarca-I kuyusu ile çakışmaktadır.



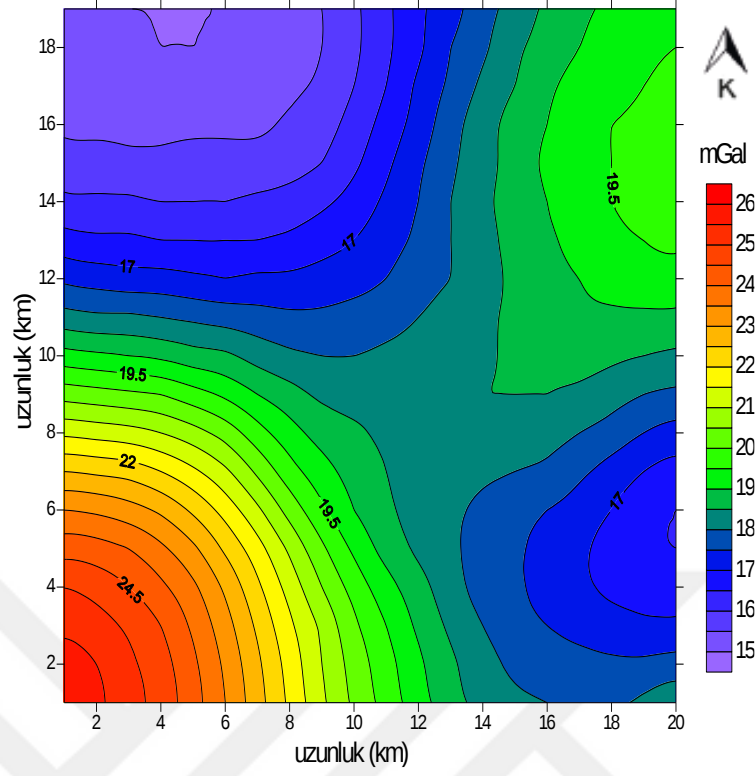
Şekil 3.5 $h=0.5$ km için aşağı analitik uzanım

3.2.2 Yukarı Analitik Uzanım Uygulaması

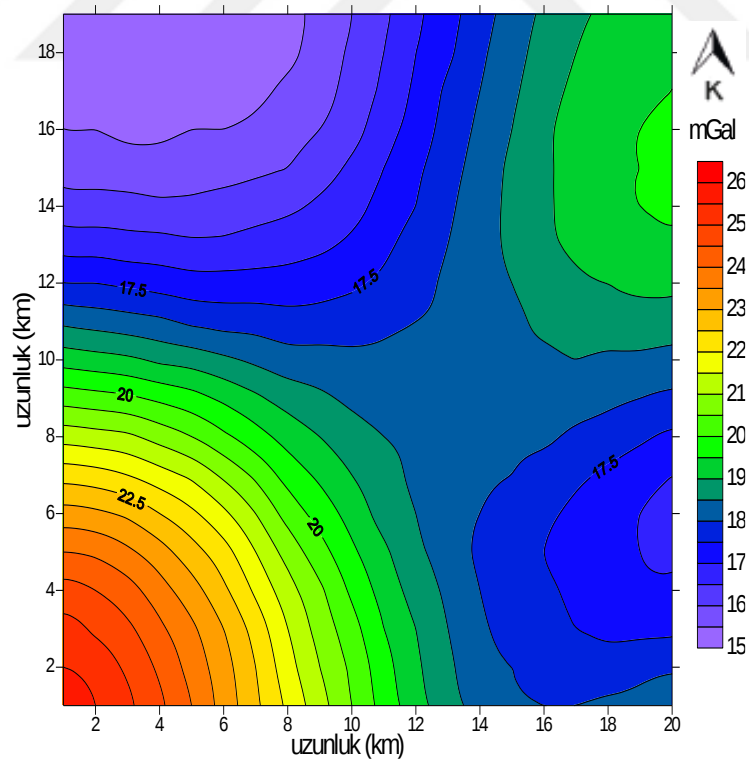
Yukarı analitik uzanım işlemi 0,5 km aralıkla olmak üzere $h=0,5$ km ile $h=2,5$ km arasında gerçekleştirilmiştir. Burada yukarı analitik uzanım işlemine ait haritaların alçak geçişli süzgeç işlemi haritaları ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Haritalarda, kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı olarak gravite değerleri 17 mGal civarında çıkmıştır ve bu bölgenin alüvyondan oluştuğu jeoloji haritasından görülebilmektedir. Aynı zamanda yukarı analitik uzanım işleci olan h değerinin artırılması ile haritanın ayrımlılığı da artmıştır (Şekil 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10).



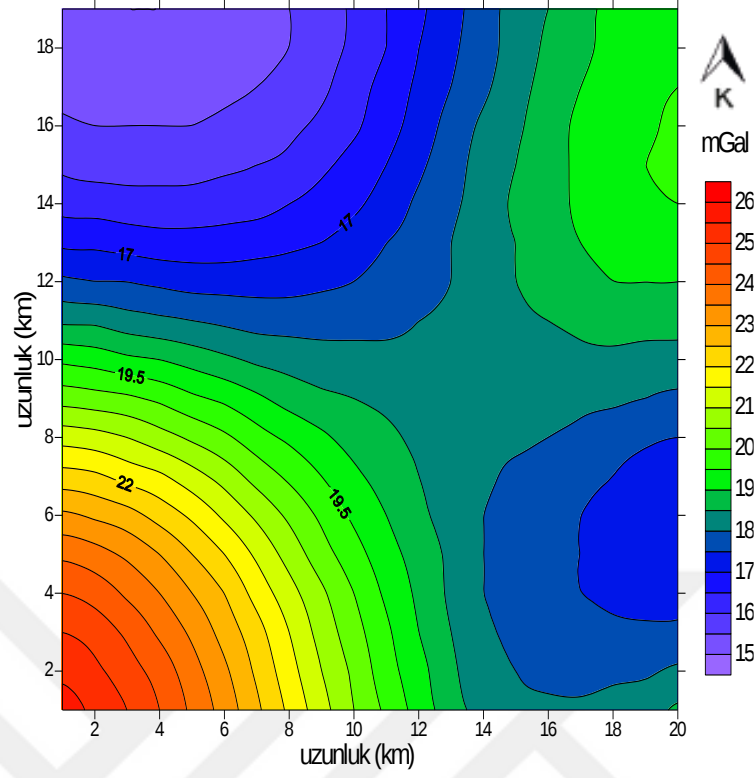
Şekil 3.6 $h=0.5$ km için yukarı analitik uzanım



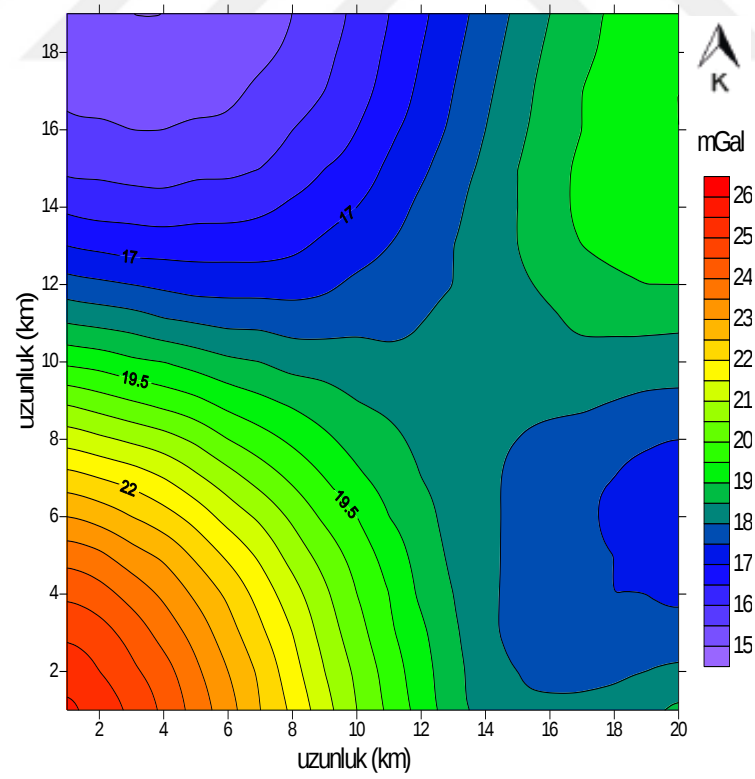
Şekil 3.7 $h=1$ km için yukarı analitik uzanım



Şekil 3.8 $h=1.5$ km için yukarı analitik uzanım



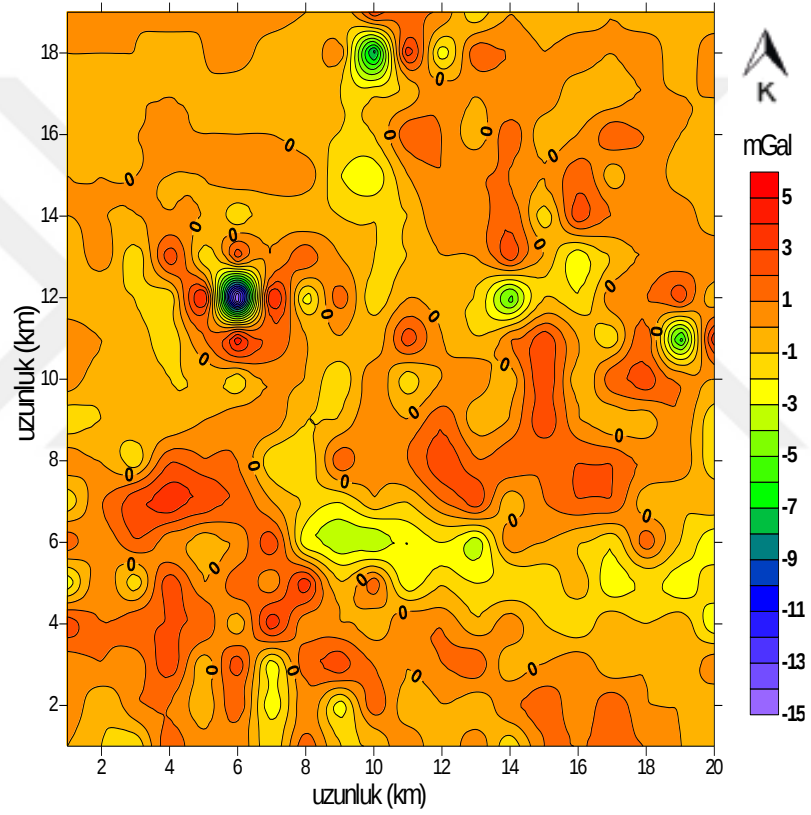
Şekil 3.9 $h=2$ km için yukarı analitik uzanım



Şekil 3.10 $h=2.5$ km için yukarı analitik uzanım

3.3 Türev Yöntemi

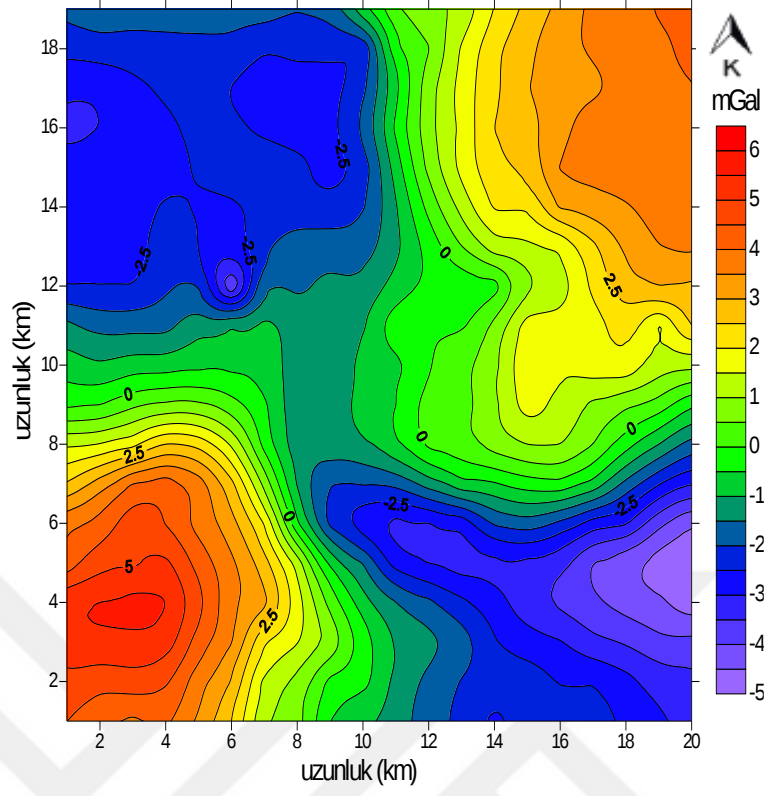
Sayısallaştırılan Bouguer gravite anomali haritasına ikinci düşey türev yöntemi uygulanmıştır. Yüksek geçişli bir süzgeçleme işlemi olan bu yöntemle yüzeye yakın, sığ etkileri görmek mümkündür. Bu işlemle nitel bir gözlem yapılır ve sonlu boyuttaki yapıların sınırları yaklaşık olarak anomalinin dönüm noktalarına rastlar. Birinci dereceden bir eşitliğin ikinci türevinin sıfır olması nedeniyle haritada görülen sıfırlar yapının olası sınırlarını ifade eder.



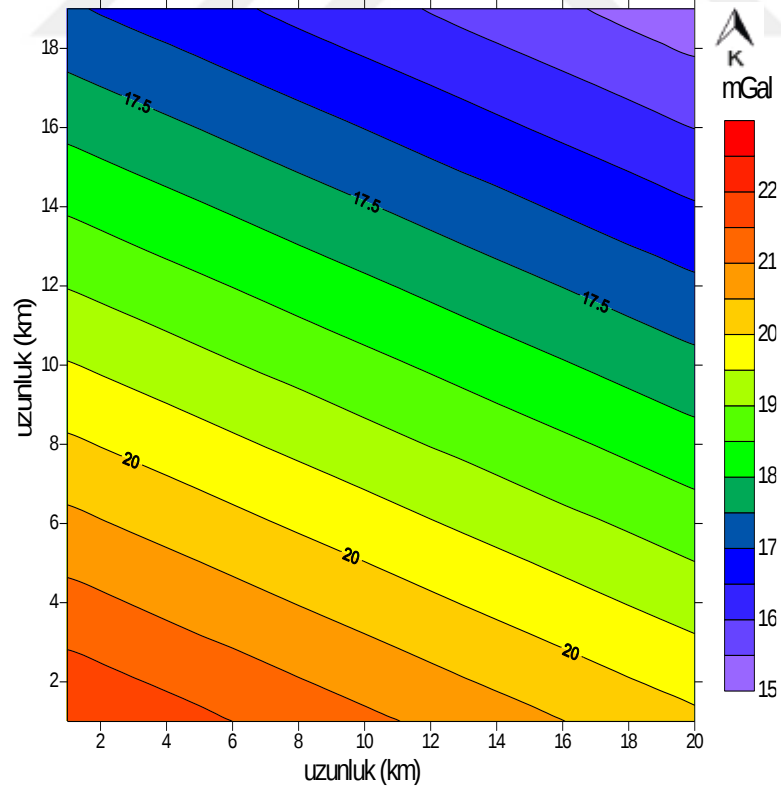
Şekil 3.11 İkinci düşey türev anomali haritası

3.4 Trend Analizi

Trend analizi uygulaması 5 adet trend değeri ile yapılmıştır. Trend derecesi ile *F-testi*, korelasyon katsayısı ve uyumun iyiliği ilişkileri grafiklendirilmiştir. Korelasyon katsayısının azalmaya başladığı trend derecesi, en uygun trend yüzeyidir. Korelasyon katsayısı 1 olduğunda trend yüzeyi ile veri yüzeyi çakışır (Sarı, 1984). Buna göre bu çalışmada 4. trend derecesi trend yüzeyi olarak belirlenmiştir.

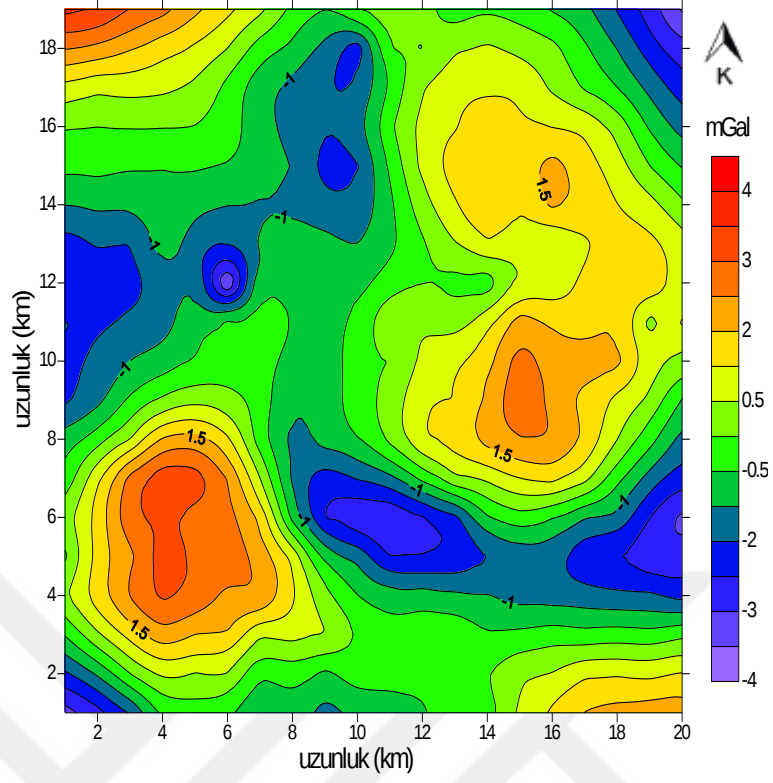


(a)

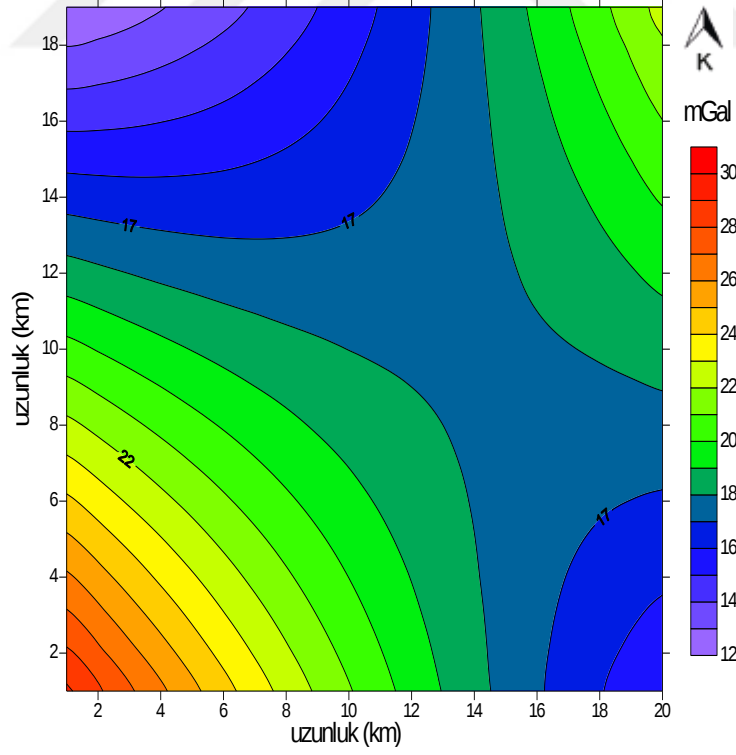


(b)

Şekil 3.12 1. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonal anomali

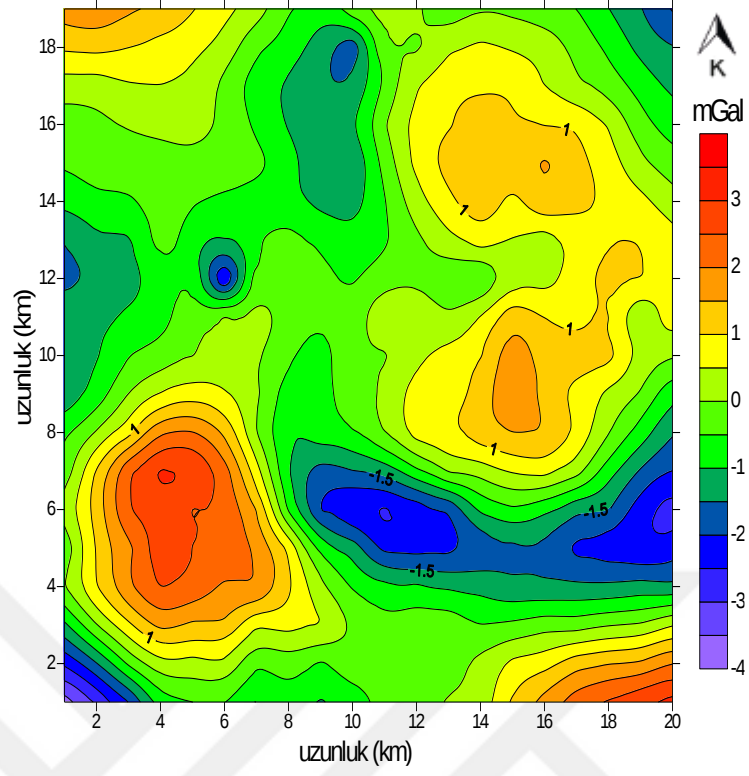


(a)

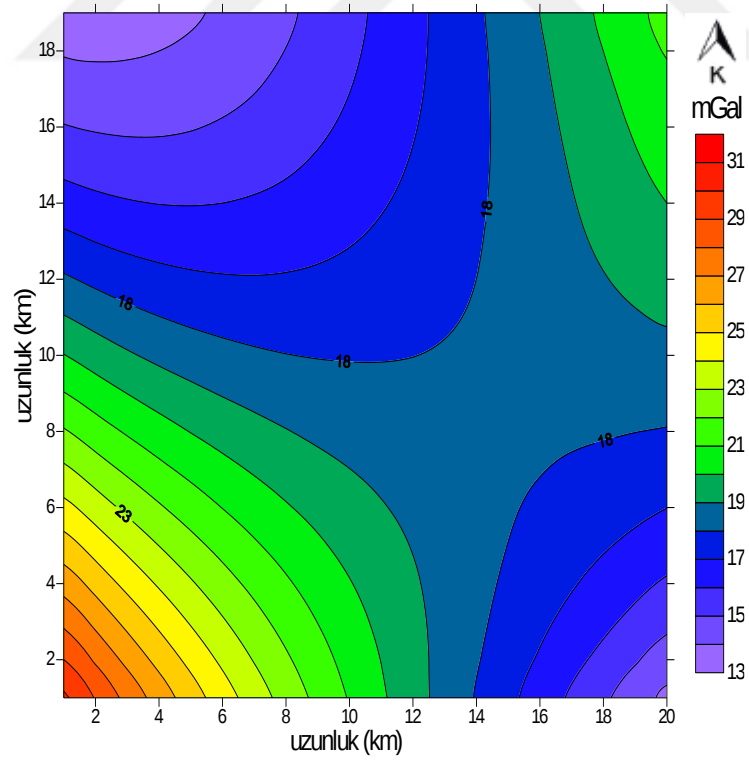


(b)

Şekil 3.13 2. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonel anomali

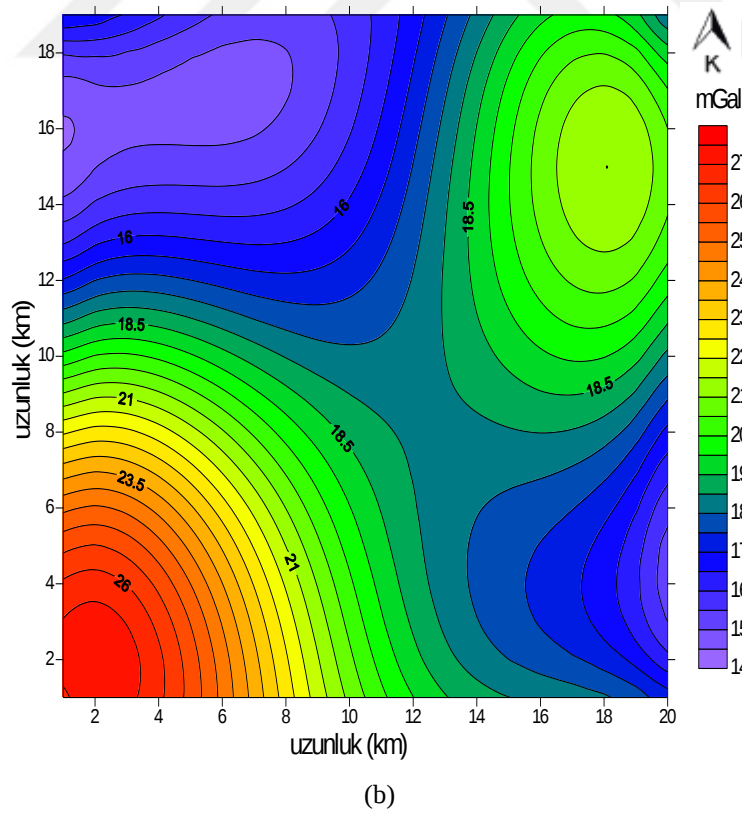
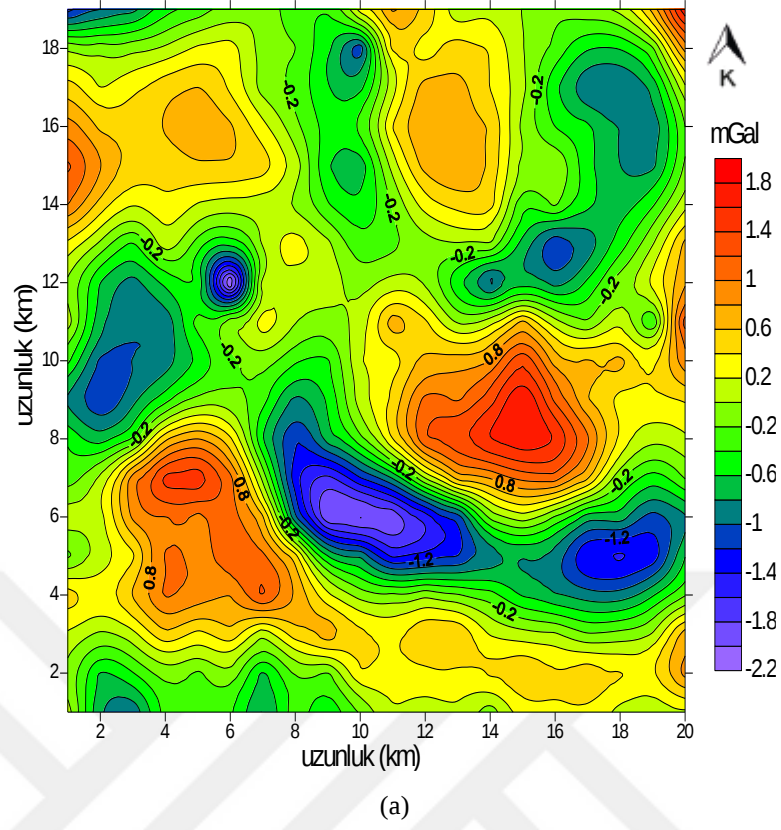


(a)

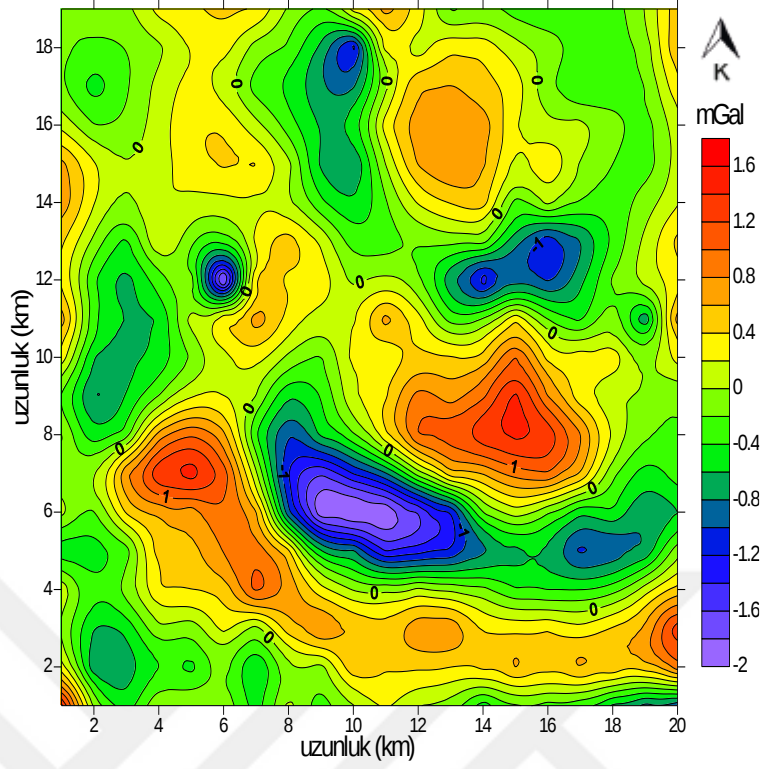


(b)

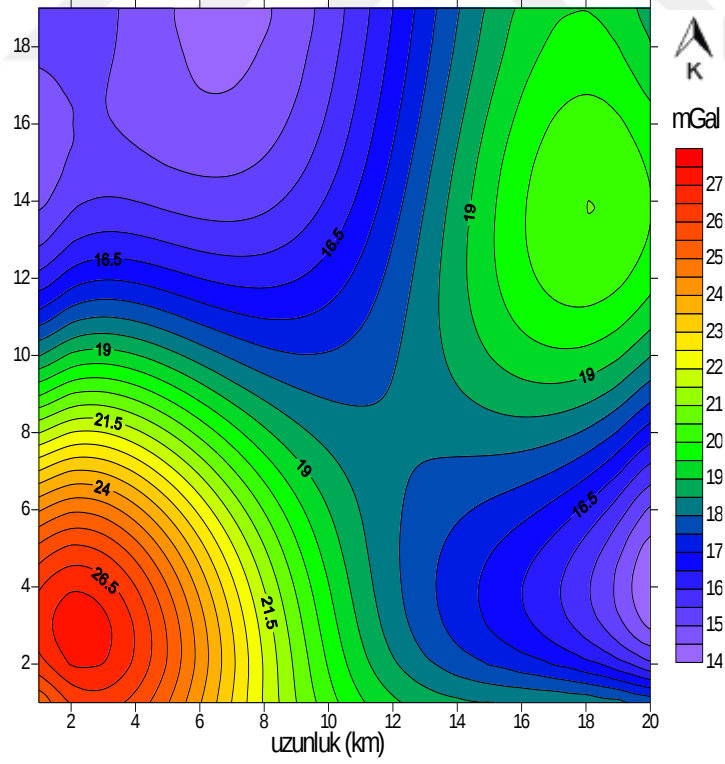
Şekil 3.14 3. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonel anomali



Şekil 3.15 4. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonal anomali

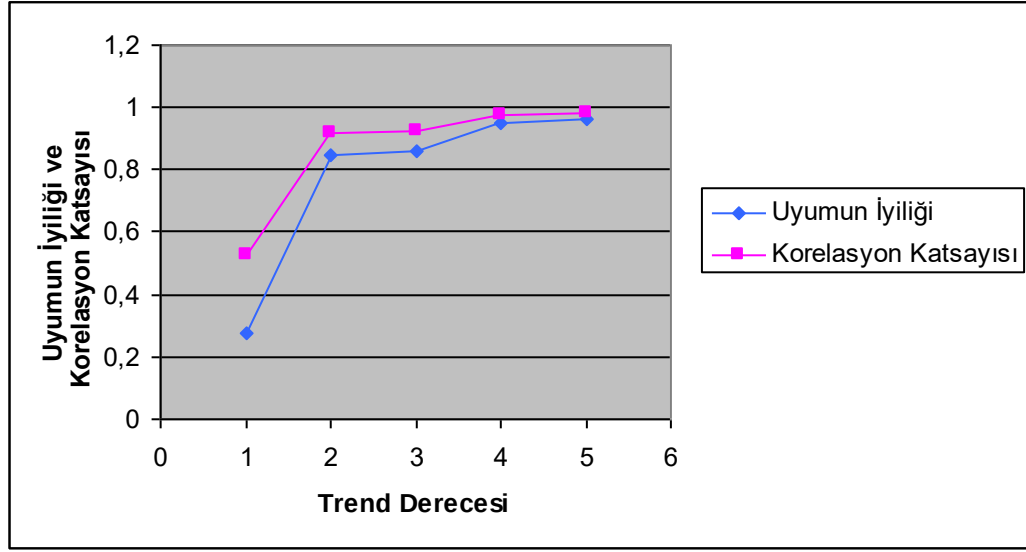


(a)



(b)

Şekil 3.16 5. Derece trend için; a) Rezidüel anomali, b) Rejyonal anomali



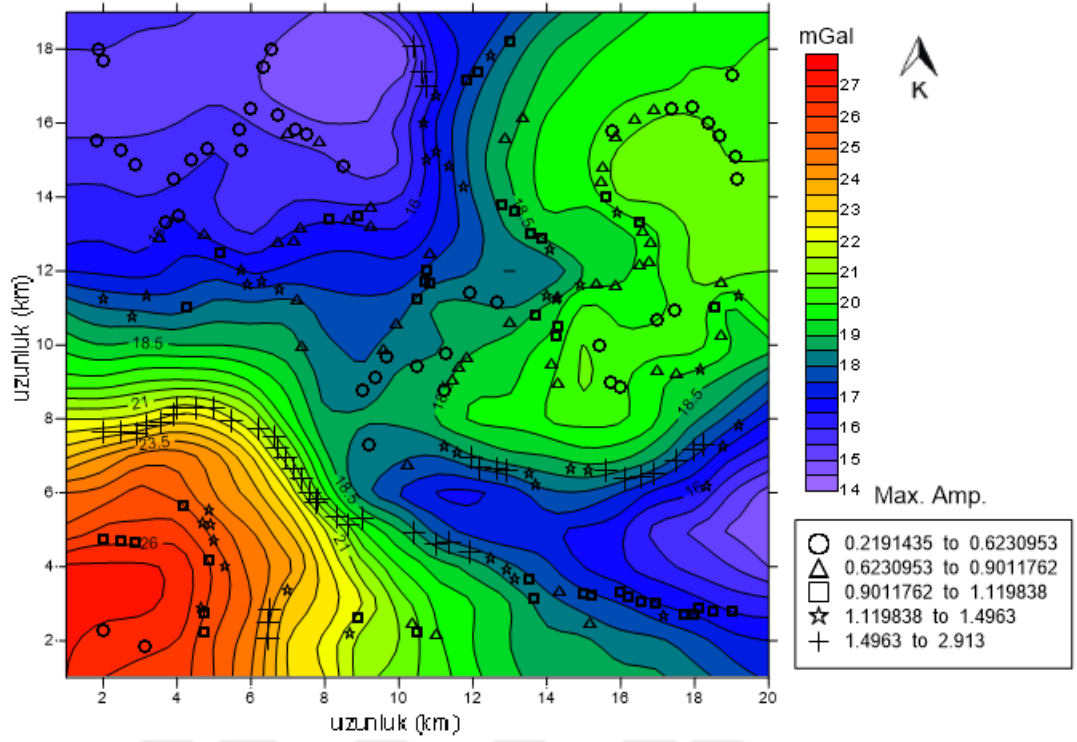
Şekil 3.17 Trend derecesi ile uyumun iyiliği ve korelasyon katsayısı grafiği



Şekil 3.18 Trend derecesi ile F-Testi değerleri grafiği

3.5 Sınır Analizi

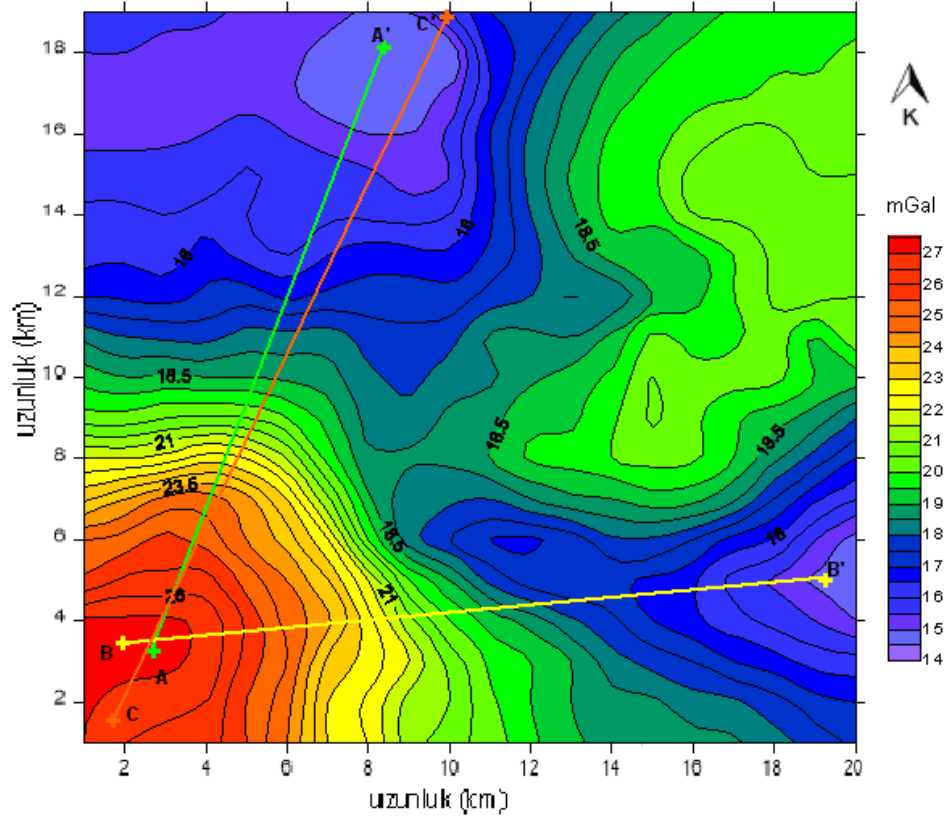
Sınır analizi yöntemi ile yapıya ait en büyük ve en küçük genlik değerlerine ulaşılmıştır. Buna göre haritada yer alan eş gösterimli işaretler aynı aralıktaki genlikleri ifade eder ve yapılara ait olası sınırların kestirimini yapmak mümkündür. Yapılan sınır analizi işlemi sonucundaki genlik değerlerinin yerleşimi gravite haritasında belirlenen yapı sınırları ile uyum içerisinde olduğu ve bunların da bölgenin jeolojisiyle benzer şekilde konumlandığı görülmektedir.



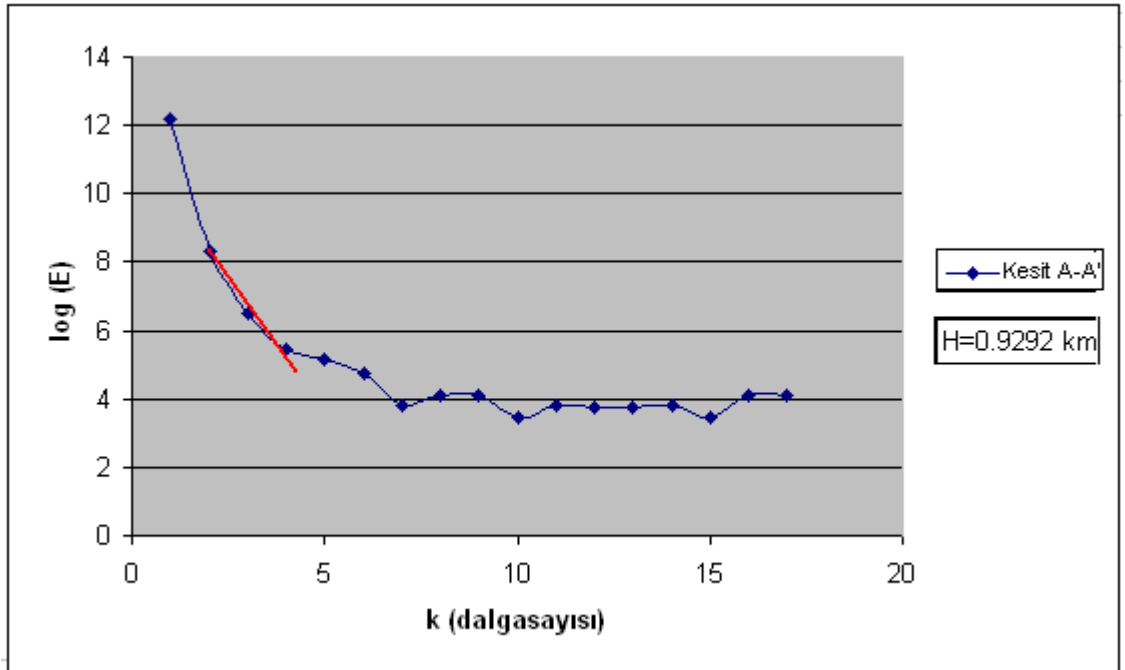
Şekil 3.19 Gravite verisine uygulanan sınır analizi sonucu

3.6 Güç Spekturumu

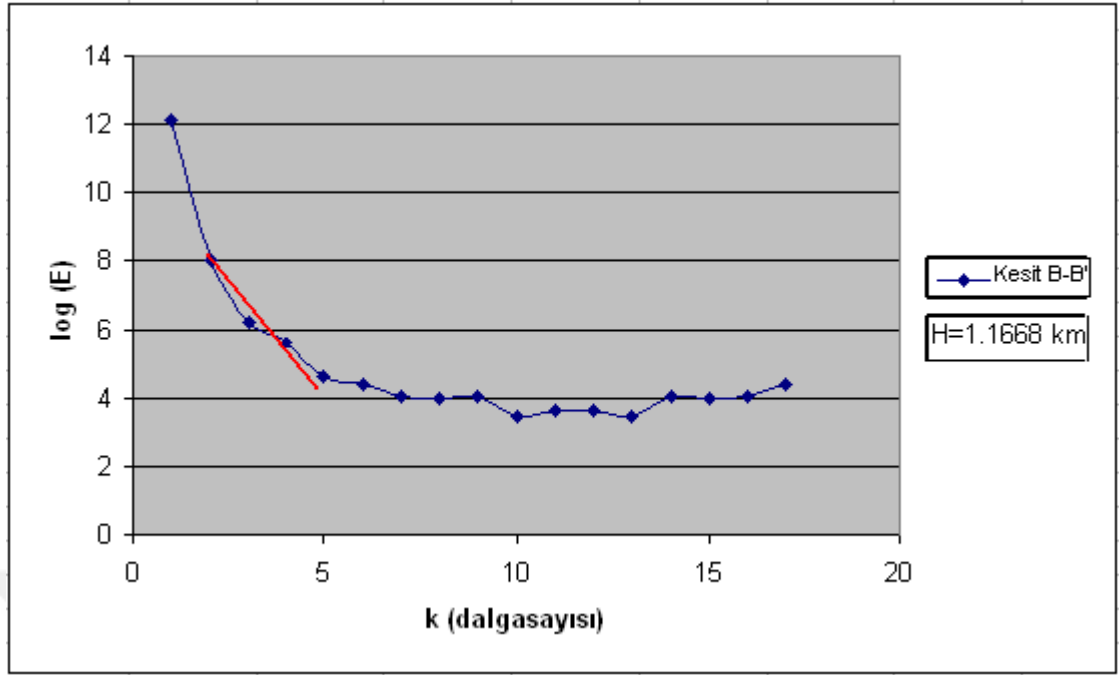
Güç spektrumu analizleriyle yapıların kalınlıkları ve derinlikleri hakkında bilgiler sağlanabilir. Saptanacak değişkenler anomaliye neden olan yapıların ortalama etkilerinin sonucudur (Sarı, 1984). Veriden 3 farklı kesit alınmış ve güç spektrumu analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara aşağıda yer verilmiştir. Burada H yapı derinliğini ifade etmekle birlikte kesit A-A' için; 0,9292 km, kesit B-B' için; 1,1668 km, kesit C-C' için; 1,1088 km olarak bulunmuştur.



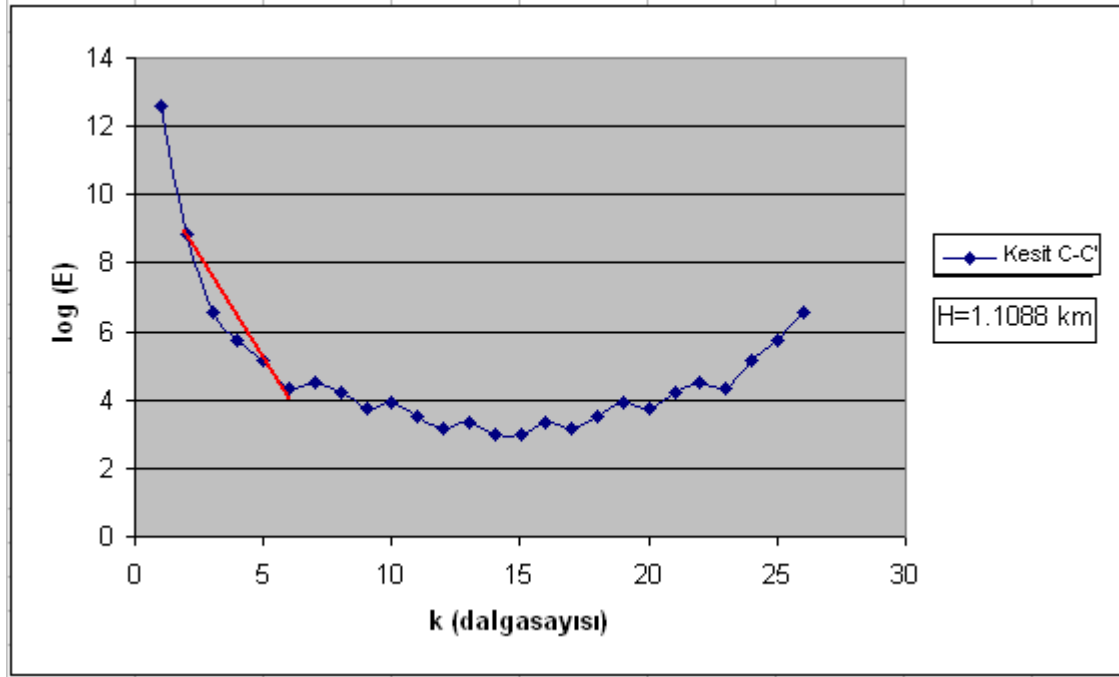
Şekil 3.20 Güç Spekturumunda kullanılan kesitler



(a)



(b)



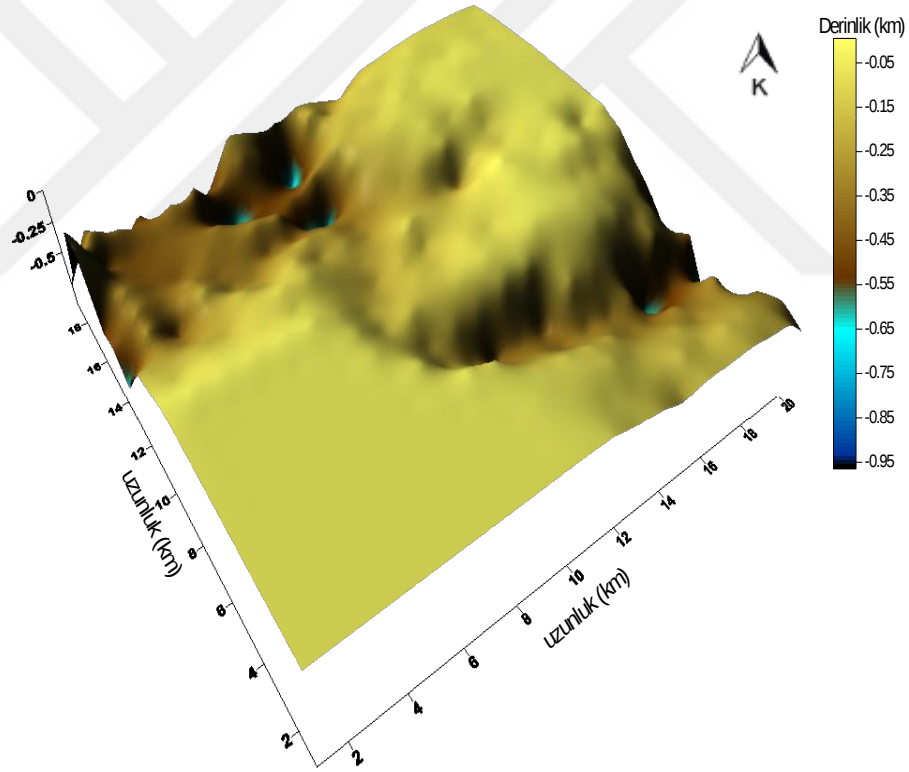
(c)

Şekil 3.21 A-A', B-B', C-C' kesitleri için; a) A-A' kesitinin güç spektrumu analizi, b) B-B' kesitinin güç spektrumu analizi, c) C-C' kesitinin güç spektrumu analizi

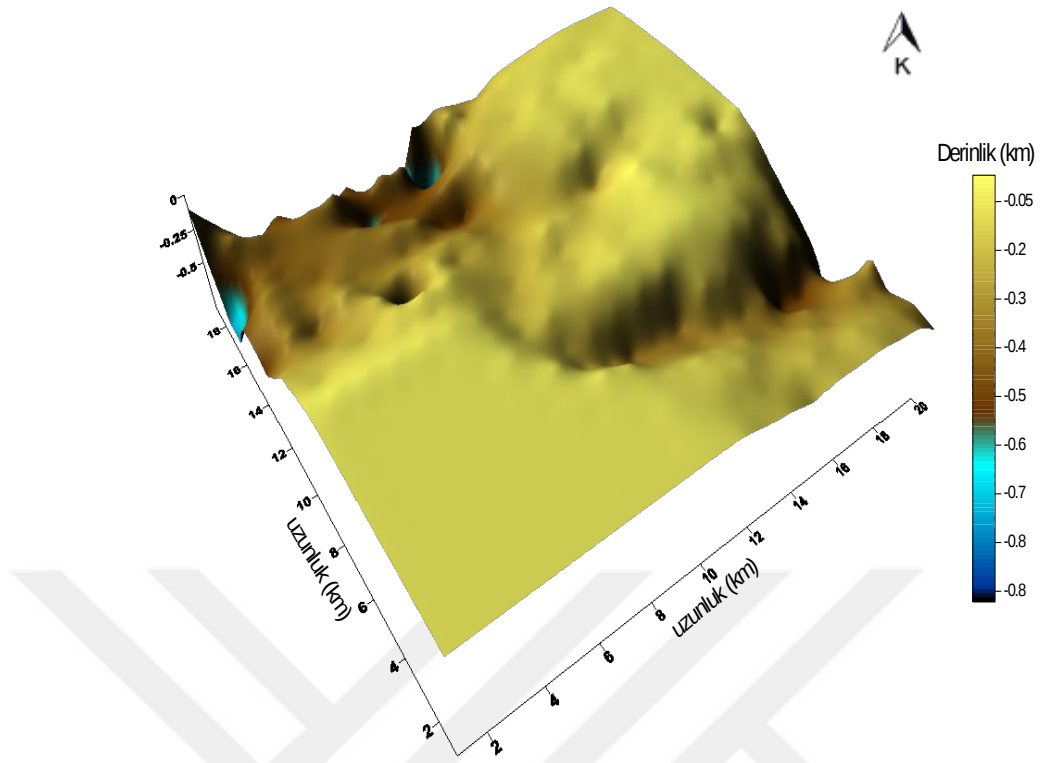
3.7 Yeraltı Taban Derinliğinin Saptanması

3.7.1 Yeraltı Taban Derinliğinin 3B' lu Saptanması

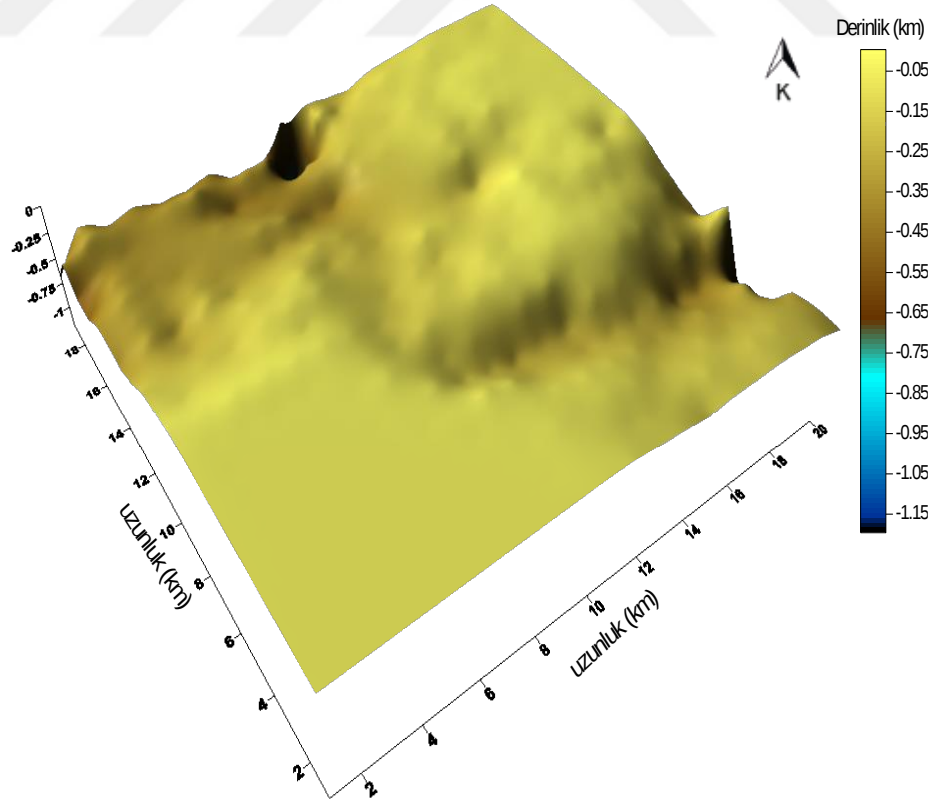
Bu uygulamayı gerçekleştirirken Rao ve Murthy (1993) tarafından tanımlanan 3B 'lu değerlendirme programından faydalanılmıştır (Ek A). Uygulamada; 3 adet model oluşturulmuştur. Örnekleme aralığı 0.5 km iken; a_1 , ve a_2 katsayıları sabit tutulup (0), a_0 için model 1, 2, ve 3'te sırasıyla -0.3, -0.35, ve -0.4 (tortul havza olduğu için bu katsayılar kullanılmıştır) katsayıları kullanılarak yaklaşık katman derinlikleri elde edilmiştir. Katman derinliği saptaması ile ilgili teorik bilgilere ek A'da yer verilmiştir.



Şekil 3.22 Model 1. $a_0=-0.3$, $a_1=0$, $a_2=0$ iken katman derinliğine ilişkin 3B' lu gösterim



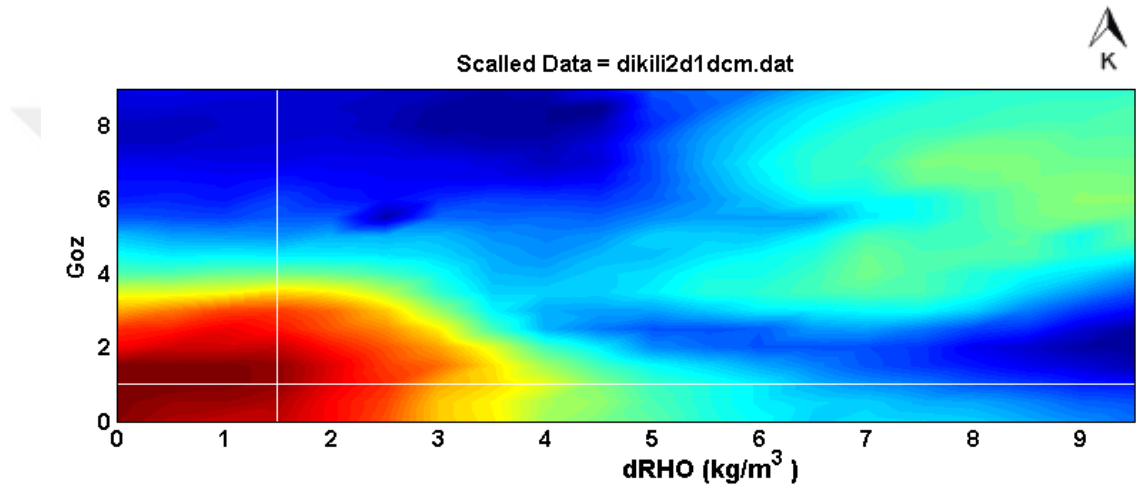
Şekil 3.23 Model 2. $a_0=-0.35$, $a_1=0$, $a_2=0$ iken katman derinliğine ilişkin 3B' lu gösterim



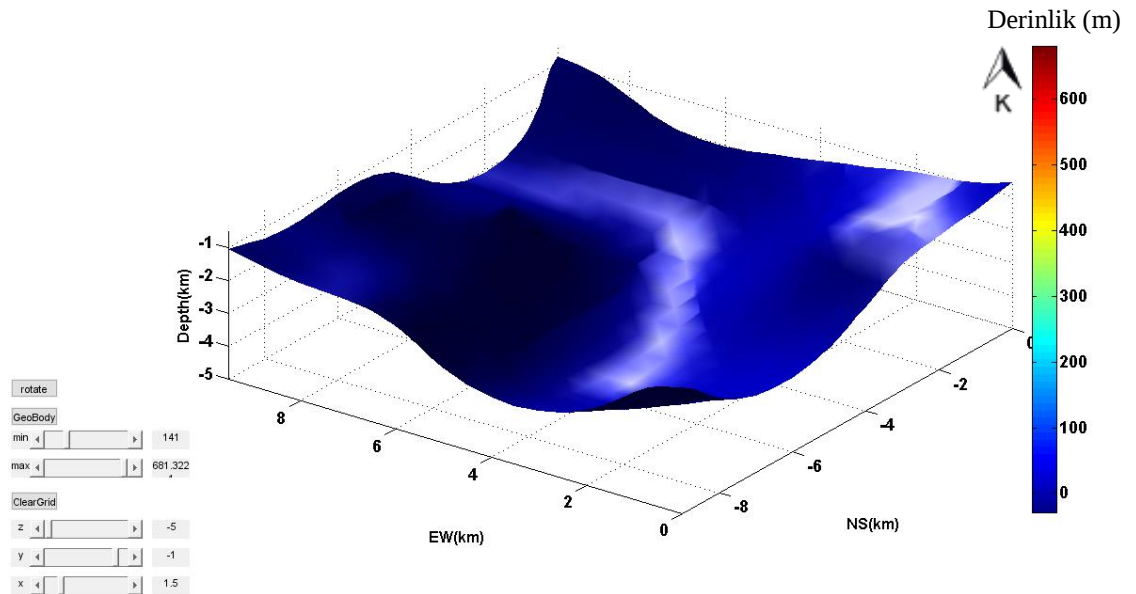
Şekil 3.24 Model 3. $a_0=-0.4$, $a_1=0$, $a_2=0$ iken katman derinliğine ilişkin 3B 'lu gösterim

3.7.2 Yeraltı Taban Derinliğinin Görüntü Odaklı 3B' lu Gravite Ters Çözümü

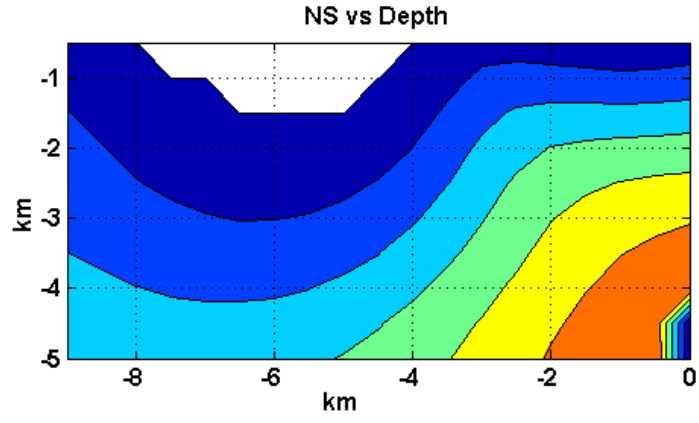
Görüntü odaklı üç boyutlu gravite ters çözümü işlemini yaparken Matlab tabanlı bir algoritma kullanılmıştır. Model için x, y, z sırasıyla $x=-125:250:9500$, $y=-125:250:9500$, $z=0:100:5000$ şeklinde oluşturulmuş ve ölçüm yüzeyi $z_0=0$ olarak alınmıştır. Model üzerinde ters çözüm yapılmıştır. Modelleme işlemine ait çıktılar aşağıda gösterilmiştir. Görüntü odaklı üç boyutlu gravite ters çözümü ve gravite verilerinin modellemesi ile ilgili kuramsal bilgiler Ek-B 'de verilmiştir.



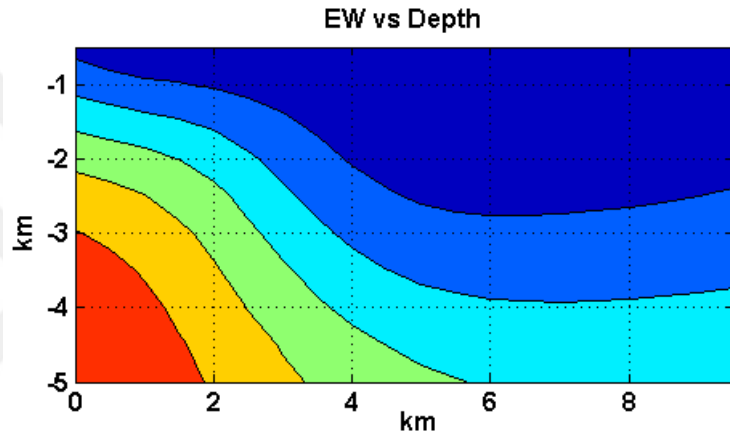
Şekil 3.25 Modelleme işlemi için kullanılan çalışma alanına ait Bouguer gravite anomali haritası



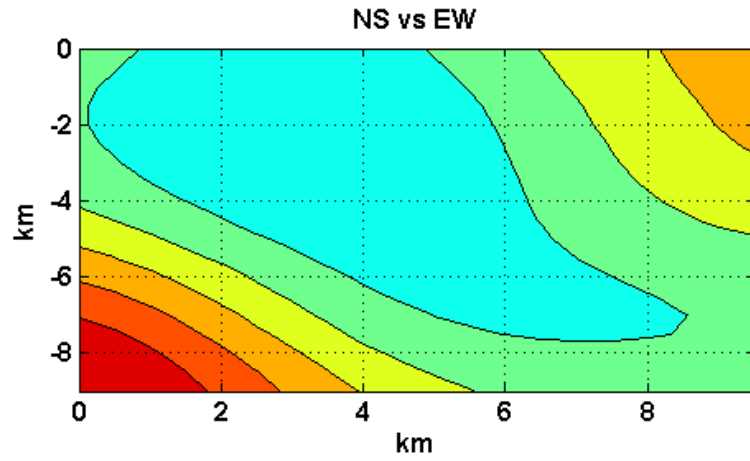
Şekil 3.26 Oluşturulan modelin 3B 'lu ters çözümü



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.27 Modelden elde edilen kesitler; a) kuzey-güney yönüne karşılık derinlik haritası, b) doğu-batı yönüne karşılık derinlik haritası, c) kuzey-güney yönüne karşılık doğu-batı yönlü kesit haritası

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada gravite verisine toplam yedi adet veri işlem yöntemi uygulanmıştır. Sonuçlar birbirini destekler nitelikte olup; süzgeçleme, aşağı analitik uzanım işlemi ve trend analizi işlemleri sonrasında elde edilen haritaların Dikili – Kaynarca bölgesine ait jeoloji haritasıyla uyum içerisindedir. Buralarda yüksek gravite değerlerine karşılık gelen bölgelerde hali hazırda Dikili Ilıcalarını ve Kaynarca kuyularının varlığı bilinmektedir. Bunlara ek olarak sınır analizi yöntemi ile yapıların olası sınırlarının belirlenmesi sağlanmış ve güç spektrumunu analizi yöntemi ile jeotermal yapı derinliği hakkında yaklaşık bilgiye ulaşılmıştır.

Aşağı analitik uzanım işleminde h 'ın 0,5 km'den sonraki değerleri için anomaliyi oluşturan yapıya girilmiş olduğu ifadesi güç spektrumunu yönteminde elde edilen yapı derinliğinin yaklaşık değerleri ($H=1,1$ km) ile teyit edilmiştir.

Alçak geçişli süzgeç işleminde kesme frekansının arttırılması ile anomaliye neden olan sığ yapıların etkisi azaltılmış, derin yapıların etkisi görülmüştür. Aynı şekilde yukarı analitik uzanım işlemi ile anomaliye neden olan yapıdan uzaklaştıkça sığ etkiler azalmış, derin etkiler daha belirginleşmiştir.

Son olarak ise tüm bu işlemlerin yanı sıra bölgeye ait gravite verilerinin üç boyutlu ters çözümü yapılarak katman derinliği saptanması yapılmış bölgenin üç boyutlu modellemesi yapılmıştır ve sonuçların iki boyutlu haritalar ve bölgenin jeolojisi ile uyumu görülmüştür.

Tarihsel veriler ve yapılan çalışmanın sonuçları bölgede bir jeotermal potansiyele ilişkin uygun bir jeolojik yapının varlığını kanıtlamaktadır. Bölgede sera ısıtmacılığı ve elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanılacak yeni jeotermal kaynakların ortaya çıkarılması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, Bergama-Dikili bölgesinin jeotermal potansiyelinin belirlenmesi amacıyla gravite çalışmaları yanı sıra

manyetik, derin sismik yansıma, CSAMT ve derin düşey elektrik sondaj gibi jeofizik yöntemlerle daha ayrıntılı araştırmalar gerçekleştirilmelidir.



KAYNAKLAR

- Aksoy, N. (2002). "Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahasındaki Gelişmeler : 2000-2002" Geocen Rap. No:2003-2, 2003.
- Athy, L. F. (1930). *Density, prosity and compaction of sedimantary rocks*. Bulletin of the American Association of petroleum Geologists 14, 1-24.
- Baranov, V. (1957). A new method for interpretation of aeromagnetic maps pseudogravimetric anomalies. *Geophysics*, 22, 359-383.
- Bhaskara R. D. and Babu N. R. (1991). "A rapid method for three-dimensional modeling of magnetic anomalies." *Geophysics*, 56(11), 1729-1737.
- Bhattacharyya, B. H. (1966). Continuous spectra of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body: *Geophysics*, 31, 97-121.
- Bhattacharyya, B. K. & Leu, L.K. (1977). Spectral analysis of gravity and magnetic anomalies due to rectangular prismatic bodies. *Geophysics* 42, 41-50.
- Bhattacharyya B. K. (1980). "A generalized multibody model for inversion of magnetic anomalies." *Geophysics*, 45(2), 255-270.
- Blakely, R. J. & Simpson, R.W. (1986). Approximating edge of source bodies from magnetic or gravity anomalies.
- Blakely, R. J. (1995). Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge University Press.
- Boyer, C. A. (1993). *Değişken yoğunluk farkı ile gravite anomalilerinin üç boyutlu analizi*, Bitirme Ödevi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 3-41.

Cordell, L. & Grauch, V.J.S. (1982). Reconciliation of the discrete and integral fourier transform. *Geophysics*, 47, 237-243.

Cordell, L. & Grauch, V.J.S. (1985). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico, in (Hinze, W.J.), *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*. Soc. Of Exploration Geophysics, Tulsa, 181-197.

Doğan, M. ve Ateş, A. (1998). Methods for interpretation of synthetically produced archaeomagnetic data. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 1(2), 27-37.

Dyrelus, D. & Vogel, A. (1972). Improvement of convergency in iterative gravity interpretation. *J. R. Astr. Soc.* 27, 195-205.

Ekinci, Y. L. ve Kayaç, M. A. (2006). Manyetik verilerde sınır analizi yöntemi kullanılarak gömülü arkeolojik yapı sınırlarının tanımlanması, *Yerbilimleri*, 27(2), 97-107.

Ergün, M. ve Akçığ, Z. (1982). Jeofizikte trend analizi: *Jeofizik*, 9, 35-51.

Eşder, T. (1998). Kaynarca ve çamur ılıcaları (Dikili) jeotermal alanları ve çevresinde bugüne kadar yapılan jeotermal araştırmalara ilişkin derleme raporu. Ankara.

Fuller, B. D. (1967). Two dimensional frequency analysis and grid operators: *Mining Geophysics*, 2, 658-708.

Hedberg, H.(1936). The gravitational compaction of clays and shales. *American Journal of Science* 31, 241-287.

Henderson, R.G. & Zeitz, I. (1949). The upward continuation of anomalies in total magnetic intensity fields: *Geophysics*, 14, 517-534.

- Jeckelman, C. (1998). *Genese Lokaler Thermal Wasser Vorkommen in der Region. Bergama/W-Türkei*, Doktor der Naturwissenschaften der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zurich. (Doktora Tezi, Almanca, İngilizce Özetli).
- Last, B. J. & Kubik, K. (1983). Compact gravity inversion. *Geophysics*, 48, 6, 713-721
- Li, Y. & D. Oldenburg, (1996). 3-D inversion of magnetic data: *Geophysics*, 61, No. 2, 394-408.
- Maxant, J. (1980). Variation of density with rocktype depth and formation in the Western Canada Basin from density logs. *Geophysics* 45, 1061-1076.
- MTA-JICA. (1987). Pre-Feasibility Study on the Dikili Bergama Geothermal Development Project in the Republic of Turkey. Progress Report II, Final Report, M.T.A, Ankara.
- M.T.A.-JICA. (1986). Pre-Feasibility Study on the Dikili-Bergama Geothermal Development Project in the Republic of Turkey. Progress Report I, MTA, Ankara.
- MTA-JICA. (1990). Batı Anadolu Bölgesinin Jeotermal Bakımından İncelenmesi Raporu, MTA, Ankara (Yayımlanmamış).
- Murthy, I.V.R. & Rao, P. R. (1990). Magmatic anomalies of two-dimensional bodies and algorithms for magmatic inversion of dykes and basement topographies. *Proc. Indian Acad. (Earth Planet)* 99, 4, 549-579.
- Murthy, I. V. R. & Rao, P. R. (1993). Inversion of gravity and magmatic anomalies of two dimensional polygonal cross section. *Computers & Geosciences* 19, 1213-1228.

- Özen, T. (2002). *Dikili Sıcak ve Soğuk Su Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelemesi*. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 81. (Yayımlanmamış).
- Özyalın, Ş. (2003). *Potansiyel alanlarda otomatik değerlendirme teknikleri ve arkeolojik alanlara uygulanması*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış).
- Pedersen, L. B. (1977). Interpretation of potential field data. A generalized inverse approach. *Geophys. Pros.* 25, 199-230.
- Peker, B. ve Güdücü, A. (Temmuz 2005). MTA Raporları. 20 Ocak 2018, https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/product&filter_name=kaynarc_a_jeotermal&product_id=11625.
- Phillips, J. D. (2001). Processing and interpretation of aeromagnetic data for the Santa Cruz basin-Patagonia mountains area, South-Central Arizona-A Preliminary Report. U.S. Geological Survey Open File Report.
- Portniaguine O. & Zhdanov, M. S. (1999). "Focusing geophysical inversion images", *Geophysics*, 64, (3), 874-887.
- Portniaguine, O. & Zhdanov, M. S. (2002). "3-D magnetic inversion with data compression and image focusing", *Geophysics*, V. 67, (5), (Sep.-Oct. 2002), 1532-1541.
- Roest, W. R. & Pilkington, M. (1993). Identifying remanent magnetization effects in magnetic data. *Geophysics*, 58, (5), 653-659
- Sarı, C. (1984). *Ankara-Polatlı bölgesi potansiyel alan verilerinin veri-işlem yöntemleriyle yorumu*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 7-19, (Yayımlanmamış).

Spector, A. & Grant, F.S. (1970). Statistical models for interpreting aeromagnetic data: *Geophysics*, 35, 293-302.

Yılmaz,H., Oyman,T., Arehart, G.B., Çolakoğlu, A. R., Billor,Z. (2007). Lowsulfidation type Au–Ag mineralization at Bergama, İzmir, Turkey. *Ore Geology Reviews* 32 (2007) içinde (81–124).

Yılmazer, S. (1984). Dikili- Bergama (İzmir) Geothermal Field of Turkey, Seminar On Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, Florence (Italy).

Yüzgöl, S. (2010). *Eskişehir Grabeni'nin potansiyel alan verileri (gravite ve manyetik) ile araştırılması ve yorumu*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış).

EKLER

EK-A

Yeraltı Taban Derinliğinin 3B' lu Ters Çözüm Tekniği ile Saptanması

Gravite anomalilerine neden olan yer altı yapılarının modellenmesi için, birçok yöntemde yoğunluk bilgilerinin yanı sıra derinlik bilgilerinin de belirtilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin gerçeğe yakın değerlerde kullanılması yapılan modellemenin güvenilirliği açısından önem kazanmaktadır.

Gelişigüzel biçimli iki boyutlu yapıların neden olduğu anomalilerin ters çözümü, yapının enine kesitinin bir çokgen olarak tanımlanmasıyla başlar. Çokgenin koordinatlarına yaklaşık değerlerin atanmasıyla başlayan işlem optimizasyon işlemi ile daha da iyileştirilir (Murthy ve Rao, 1993), (Yüzgöl, 2010). Bazen parametreleri araştırılan yapıyı kuramsal olarak yan yana konmuş prizma serileri veya sonlu düşey dayklar olarak tanımlamak, bir çokgen ile sınırlamaktan daha uygun olabilir. Bu amaçla, Dyrelus ve Vogel (1972), iki boyutlu dikdörtgen prizma bloklarının üst yüzeylerini $Z=0$ 'da sabit tutarak σ yoğunluk farkı için yer altı topografyasını blokların alt yüzeylerinin derinliklerine bağlı olarak saptamışlardır. Pedersen (1977) ise, iki boyutlu düşey yönde sonsuza uzanan dikdörtgen prizma bloklarının üst yüzeylerinin derinliklerini Z referans derinliğine göre σ yoğunluk farkı ve K manyetik duyarlılık (süseptibilite) farkı için hem gravite hem de manyetik verilerden saptanmıştır.

Murthy ve Rao (1990) ise dikdörtgen prizma bloklarının üst yüzeylerinin derinliğini saptarken ortalama derinlik kavramı yanında blokların üst yüzeylerinin alabileceği en büyük ve en küçük derinlik değerlerini de tanımlayarak saptanacak parametrelerin daha güvenilir olmasını sağlamışlardır (Yüzgöl, 2010).

Tortul kayaçların yoğunluk-derinlik ilişkisi Athy (1930), Hedberg (1936) ve Maxant (1980) tarafından geniş olarak araştırılmıştır. Tortul havzalardaki yoğunluk farkı azalımının ikinci dereceden bir işlev yolu ile tanımı gravite verilerinin uzay

ortamında üç boyutlu ters çözümü için bir çözüm türetmeyi mümkün kılar (Yüzgöl, 2010).

Tortul havzalar çevre kayaçların yoğunluklarına kıyasla havzayı dolduran düşük yoğunluklu kayaçların neden olduğu negatif gravite anomalileri ile ilişkilidir. Gravite yorumunun amacı, bu negatif gravite anomalilerinden havzanın yapısını saptamaktır. Sığ derinliklerde yoğunluk hızla artar, sonra yavaşça asimtotik olarak temel kayaçlar yoğunluğuna ulaşır (Boyuer, 1993; Yüzgöl, 2010).



EK-B

Yeraltı Taban Derinliğinin Görüntü Odaklı 3B' lu Gravite Ters Çözümü ile Saptanması

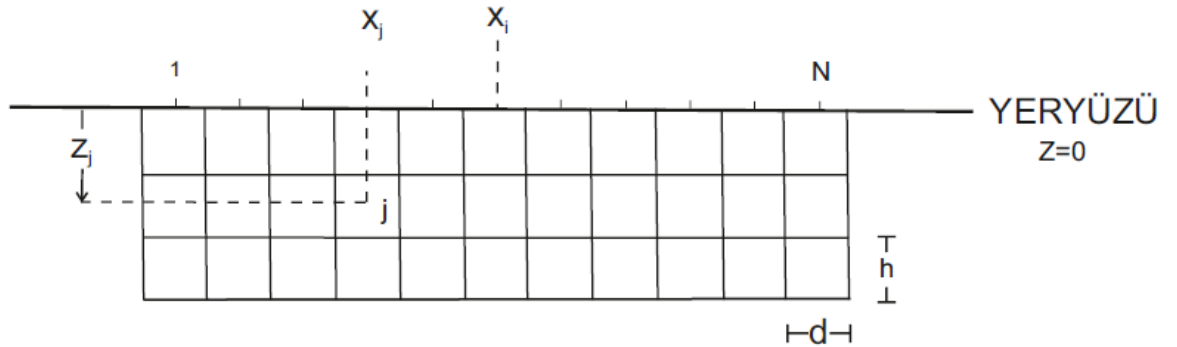
Homojen olmayan jeolojik yapılar üzerinde ölçülen gravite verisinin üç boyutlu yorumu jeofizik araştırmalarında halen zorlu bir sorundur. Geleneksel jeofizik ters çözüm yöntemleri genellikle en büyük düzgünlük duraylılığı işlevine dayanır. Gerçek jeolojik yapılar tipik olarak farklı bloklar ve katmanların fiziksel özelliklerindeki güçlü fark (kontrast) ile tanımlanırken, elde edilen çözüm genellikle düzgün bir görüntü sağlar. Portniaguine and Zhdanov (1999, 2002), özel olarak seçilen minimum destek veya minimum gradyan destek duraylılığı işlevlerini kullanmaya dayanan jeolojik görüntülerin yeniden yapılanmasına yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Bu işlevler karmaşık jeolojik yapı için ters problemin kararlı bir çözümünü üretirken keskin görüntü elde etmeyi sağlar. Bu yaklaşım ters çözüm görüntülerine odaklanma yaklaşımı olarak isimlendirilir. Görüntü odaklama yöntemleri 3B potansiyel alan ters çözüm problemine uygulanmıştır. Odaklama, yapıların keskin sınırlarla ayrılmışlığını sağlar. Sıklıkla gözlenen verilere oldukça benzer düzgün ters çözüm işlemi sağlayan görüntü odaklama potansiyel alanlar için özellikle önemlidir ve bu nedenle az ek bilgi gerektirir.

Homojen olmayan jeolojik yapılar üzerinde 3 boyutlu gravite verilerinin yorumlanması jeofizik araştırmalarında önemli bir sorundur. Son on yılda kaydedilen önemli gelişmelere karşın, gravite verilerinin ters çözümünde hala birçok pratik sorun yaşanmaktadır. En büyük sorun gravite ters çözüm probleminin kuramsal olarak tekil olmaması ile ilişkilidir. Sıfır dış alanlar üreten gravite kütle dağılımlarının var olduğu bilinmektedir. Ters problem çözümünde eşdeğerliğe neden olan bu kütleler jeolojik yapılar hakkında bir ön bilgi sunularak aşılabilir. Tekil olmama sorununu aşmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu modelin geometrik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla parametrik ters çözüm işlemlerine dayanmaktadır ve parametreler verilen bir geometri içindeki bir grid düzeni üzerinde ters çözüm işlemiyle belirlenir (Bhattacharyya, 1980; Bhaskara ve Babu, 1991).

Bu sorunun çözümüne bir diğer yaklaşım Li ve Oldenburg (1996) tarafından verilmiştir. Li ve Oldenburg, mevcut veri miktarından önemli ölçüde daha büyük sayıda hücrelerin bulunmasıyla tanımlanan kısıtlı (eksik) tanımlı ters çözüm problemini çözmek için genel bir ters çözüm yönteminin güçlü aracını uygulamışlar ve olası çözümlerden oluşan bir kümeden istenen jeolojik modeli seçmek için ön bilgi kullanmışlardır

Gravite Verilerinin Modellenmesi

Burada kullanılan model, yoğunlukları ayrı ayrı değiştirilebilen dikdörtgen bloklardan oluşan sabit geometriye sahip iyi bilinen bir modeldir (Şekil 1.). Basitlik için 2B 'lu bir durumu gösterilmekte olup, tüm açıklamalar 3B 'lu duruma da benzer şekilde uygulanır ve ilgili hesaplama işlem ve süresinde bir artış olur.



Şekil 1. i ; veri noktasını ve j ; bloğu göstermek üzere dikdörtgen bloğun yatay ve dikey boyutlarının d (dx) ve h (dz) ile tanımlandığı 2D modeli (Last ve Kubik, 1983).

3B durumunda, blok kenarları dx , dy , dz ve $k= 1, \dots, Nm$ olmak üzere, blok merkezinin koordinatları $r_k = (x_k, y_k, z_k)$ olarak tanımlanır. Ayrıca, ayrık gözlem noktaları $r_n = (x_n, y_n, 0)$, $n= 1, \dots, Nd$ olmak üzere tanımlanır. Birim yoğunluk kontrastlı (σ), küçük bir k hücresinin merkezinden n noktasındaki çekim potansiyeli

$$U = \gamma \iiint_{x,y,z} \left(\frac{\sigma}{r} \right) dx dy dz$$

bağıntısıyla tanımlanır. g , z yönünde (düşey yönde aşağı doğru pozitif) yerçekimi ivmesi olduğundan ve σ sabit olduğu varsayıldığından

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)$$

$$g = \gamma \sigma \iiint \left(\frac{z}{r^3}\right) dx dy dz$$

sonucuna ulaşılır.

Yoğunluk dağılımı nedeniyle oluşan gravite anomalileri için ayrık ileri modelleme işleci matris gösterimiyle

$$d = G.m$$

olarak ifade edilebilir. Burada, m , uzunluğu N_m olan model parametrelerinin bir vektörü olup, bu vektörün her bir bileşeni karşılık gelen hücrenin yoğunluk farkıdır. d , N_d uzunluğunda gözlemlenen verilerin bir vektörüdür. G ise, $N_d \times N_m$ boyutunda karşılık gelen gravite alan çekirdeği tarafından oluşturulmuş dikdörtgen bir matristir. Ters çözüm işlemleri ile model parametrelerinin bir vektörü olan yeraltını simgeleyen hücrelerin yoğunluk farkı değerlerini simgeleyen m değerlerinin dağılımı iki veya üç boyutlu olarak hesaplanabilir.