

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UYGULAMALI JEOFİZİK VERİLERİ
İÇİN SUNUM VE DEĞERLENDİRME PROGRAMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Berkay DOĞAN

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UYGULAMALI JEOFİZİK VERİLERİ
İÇİN SUNUM VE DEĞERLENDİRME PROGRAMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Berkay DOĞAN

505121408

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülçin ÖZÜRLAN AĞAÇGÖZGÜ

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505121408 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mustafa Berkay DOĞAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**UYGULAMALI JEOFİZİK VERİLERİ İÇİN SUNUM VE DEĞERLENDİRME PROGRAMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Gülçin Özür lan AĞAÇGÖZGÜ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Gülçin Özür lan AĞAÇGÖZGÜ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. İlyas ÇAĞLAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Bülent ORUÇ
Kocaeli Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Aralık 2014

Savunma Tarihi : 21 Ocak 2015

ÖNSÖZ

Öncelikle İstanbul Teknik Üniversitesi'ne, tüm sağladığı imkan ve katkı için teşekkür eder, yüksek lisans bitirme projemde bana geniş çalışma imkanı sağlayan, tezimin hazırlanma aşamasında, konu seçiminden başlayarak, çalışmanın sonlandırılmasına kadar bilgi birikimi ve tecrübesi ile her aşamada desteğini esirgemeyen danışmanım, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Gülçin ÖZÜRLAN AĞAÇGÖZGÜ'ye ve .seg2 formatlı dosya ile ilgili yardımlarından dolayı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Tuğrul GENÇ'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans yıllarım boyunca sadece hocam olarak değil aynı zamanda bir büyüğüm olarak örnek aldığım, jeofizik mühendisliği eğitimim boyunca en önemli motivasyon kaynağım olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Caner İMREN'e tüm yardım ve desteklerinden dolayı sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecim boyunca yanımda olan ve desteğini esirgemeyen başta Simay DOĞAN, Umut DOĞAN ve Özge MERCAN olmak üzere anneme, babama ve anneanneme manevi desteğinden dolayı sonsuz saygı sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2015

Mustafa Berkay DOĞAN

Jeofizik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. AMAÇ VE KAPSAM.....	3
3. UYGULAMALI JEOFİZİK YÖNTEMLERİ.....	5
3.1 Gravite Yöntemi.....	5
3.2 Elektrik Yöntemler.....	8
3.2.1 Doğal gerilim yöntemi.....	9
3.2.2 Özdirenç yöntemi.....	10
3.3 Sismik Kırılma.....	12
3.4 Manyetik Yöntem.....	13
4. GEOSOF MODELLEME PROGRAMI.....	15
4.1 Giriş.....	15
4.2 Dosya Çağırma, Düzeltmelerin Yapıtırılması ve Grafik Çizdirme.....	17
4.2.1 Gravite yöntemi düzeltmeler ve anomali çizdirme.....	18
4.2.2 Elektrik Yöntem İçin Grafik Çizdirme.....	22
4.2.2.1 Doğal gerilim yöntemi.....	22
4.2.2.2 Özdirenç yöntemi grafik çizdirme.....	23
4.2.3 Sismik kırılma.....	30
4.2.4 Manyetik yöntem.....	33
4.3 Modelleme.....	34
4.3.1 Farklı yeraltı modellerine göre düz çözüm.....	36
4.3.1.1 Gravite yöntem için düz çözüm.....	36
4.3.1.2 Doğal gerilim yöntemi için düz çözüm.....	41
4.3.1.3 Özdirenç yöntemi için düz çözüm.....	43
4.3.1.4 Manyetik yöntem için düz çözüm.....	45
4.3.2 Kontrollü modelleme ve RMS hatası.....	48
5. GEOSOF İLE ARAZİ VERİLERİNİN GÖRSEL SUNUMU VE YORUMU.....	53
5.1 Giriş.....	53
5.2 Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Alan Gravite ve Özdirenç Çalışmaları.....	53
5.3 Batı Türkiye Hisar Jeotermal Alanı Özdirenç ve Doğal Potansiyel Yöntemi Çalışması.....	55
6. SONUÇLAR.....	61
KAYNAKLAR.....	63

ÖZGEÇMİŞ	65
-----------------------	-----------

KISALTMALAR

- G** : Evrensel Çekim Sabiti
M : Dipol Momenti
P : Kutup Şiddeti
Z : Manyetik Alanın Düşey Bileşeni
H : Manyetik Alanın Yatay Bileşeni
m : Kütle
S₀ : İç Gerilim
C : Streaming Gerilimi Katsayısı
SP : Doğal Gerilim (mV)
E : Hata Sabiti
RMS: Ortalama Karesel Hata (Root Mean Square)

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1: Özdirenç yöntemi kuramsal eğrileri için filtre katsayıları (Guptasarma, 1982).....	29

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1	: İndirgeme düzlemi ve ölçüm noktaları (Sanver ve İşseven, 2007)	7
Şekil 3.2	: Bouguer etkisinin hesaplanması için varsayılan tabaka (Sanver ve İşseven, 2007).....	7
Şekil 3.3	: Özdirenç yöntemi örnek elektrod dizilimi	11
Şekil 4.1	: GEOSOFT Modelleme Programı akış diagramı.	17
Şekil 4.2	: Ana Menü ekranı	18
Şekil 4.3	: Gravite Yöntemi için veri girişi	19
Şekil 4.4	: Gravite Yöntemi için kuramsal veri örneği	22
Şekil 4.5	: Doğal Gerilim Yöntemi kuramsal veri örneği ve ayarlar menüsü.	24
Şekil 4.6	: Schlumberger dizilimi	25
Şekil 4.7	: Elektrik delgi tekniği ile görünür özdirençleri hesaplama.	26
Şekil 4.8	: Özdirenç Yöntemi için kesit çizdirme.	27
Şekil 4.9	: Wenner dizilimi	28
Şekil 4.10	: Kanal bilgilerinin program tarafından otomatik kaydedildiği notepad dosyası.....	31
Şekil 4.11	: Sismik Kırılma yöntemi için çizdirilen ve kırılma noktası işaretlenen kanalların incelendiği ekran görüntüsü.....	32
Şekil 4.12	: Gürültülü manyetik anomalilerin düzeltme işlemleri	35
Şekil 4.13	: Düşey şerit modeli.....	38
Şekil 4.14	: Gömülü sırt modeli	39
Şekil 4.15	: Küre modelinin gürültülü gravite anomalisi.	40
Şekil 4.16	: Doğal Gerilim yöntemi fay modeli için parametrelerin değiştirilmesi	41
Şekil 4.17	: Özdirenç Yöntemi için tabaka özdirençlerinin ve kalınlıklarının kontrollü modelleme ile kestirimi.....	44
Şekil 4.18	: Manyetik Yöntemi için programın ürettiği gürültülü sentetik veri ile gürültüsüz verinin kontrollü modelleme uygulanarak karşılaştırılması.	46
Şekil 4.19	: Manyetik yöntemi tek kutup modeli.....	47
Şekil 4.20	: Parametre uzayı sınırını belirleme ekranı.....	49
Şekil 4.21	: Gravite Yöntemi sentetik veri ile kontrollü modelleme uygulaması	52
Şekil 5.1	: Tüm hat için hesaplanmış özdirenç kesiti (Gailler ve diğ., 2014).....	54
Şekil 5.2	: Basse-Terre bölgesinden elde edilen gravite anomalisinin (Gailler ve diğ., 2014) gömülü sırt modeli yaklaşımıyla kontrollü modellemesi ...	55
Şekil 5.3	: Eğimli fay modelinin kontrollü modelleme ile hesaplanan SP anomalisi ve gözlemsel SP anomalisinin karşılaştırılması	56
Şekil 5.4	: Düşey Elektrik Sondaj verisinin kontrollü modelleme kullanılarak değerlendirilmesi.....	56
Şekil 5.5	: Doğal gerilim yöntemi ölçümleri B-8 profili (Özürlan ve Şahin, 2006).....	57
Şekil 5.6	: Özdirenç kuramsal eğrisi, yatay yeraltı tabakaları ve bu tabakaların jeolojisi (Özürlan ve Şahin, 2006)	58

Şekil 5.7	: A hattı Özdirenç kesiti (Özürlan ve Şahin, 2006).....	59
Şekil 5.8	: B hattı Özdirenç kesiti (Özürlan ve Şahin, 2006).....	59

UYGULAMALI JEOFİZİK VERİLERİ İÇİN SUNUM VE DEĞERLENDİRME PROGRAMI

ÖZET

Günümüze kadar yapılmış jeofizik çalışmalar incelendiğinde arazi çalışmalarında birden fazla jeofizik yöntemin birlikte uygulandığını görebilmekteyiz. Jeofizik yöntemlerin yerisine gönderilen sinyale yeraltı yapısına bağlı olarak verdiği tepkisi okunduğu için çok çözümlü sonuçlar elde edilmektedir. Buna bağlı olarak istenilen parametrelere ait değerler net ve kesin olarak tespit edilememektedir. Bunun sonucu olarak farklı fizik esaslarına dayanan jeofizik yöntemler uygulanır ve çözümler farklı modelleme programları aracılığı ile değerlendirilmektedir. Bu bitirme çalışmasında, arazi verilerinin tek bir modelleme/değerlendirme programı çatısı altında farklı yöntemlerin birarada değerlendirildiği bir programın Microsoft tarafından tasarlanan C# programlama dilinin görsel programlama özelliği kullanılarak derlenmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen GeoSof programının tasarımı ekran görüntüleri ve kod arkaları ayrıntılı olarak açıklanmış ve farklı jeofizik yöntem verileri için işleyişi örneklerle gösterilmiştir.

GeoSof modelleme programı, kullanım açısından üç uygulamayı mümkün kılmaktadır. Bu program ile, ham veri üzerinde düzeltmeler yapılarak veri bir ve iki boyutlu olarak çizdirilebilir. Diğer bir uygulama olarak, düz çözüm modelleme ile istenilen yönteme ait farklı yeraltı modellerine göre kuramsal anomaliler hesaplanabilmektedir. Son olarak sisteme girilen gözlemsel verinin kullanıcı tarafından istenen model parametrelerin kontrolüyle (arttırma-azaltma ile) *kontrollü modelleme* olarak ifade edilen uygulama kullanılarak ölçülen anomaliden yeraltı modeline geçiş yapılabilmektedir. GeoSof modelleme programının eğitici, tecrübe arttırıcı ve analiz yetisini geliştirici özelliğe sahip olması amaçlanarak, kullanım açısından pratik olması odaklı tasarlanmıştır.

Programın amaç ve kapsamı, farklı basit iki ve üç boyutlu modeller kullanılarak programın kendi ürettiği kuramsal veriler ile incelenmiş, literatürde yer alan ve modelleme çalışmalarında kullanılan diğer programlar ile benzerlik ve farklılıkları incelenmiştir. Son olarak kontrollü modelleme özelliği Özürlan ve Şahin (2006) ve Gailler ve diğ. (2014) tarafından yapılmış arazi çalışmasından alınmış verilere uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar özdirenç kesiti ve sondaj sonuçları ile mukayese edilerek GeoSof modelleme programı test edilmiştir.

Özürlan ve Şahin (2006) ve Gailler ve diğ., 2014 tarafından yapılan çalışmada belirlenen bir hat üzerinden şiddetli anomalinin gözlemlendiği kısa bir hat ayıklanarak GeoSof programında değerlendirildiğinde sonuçların özdirenç kesitinde gözlemlenen yeraltı yapısı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

CONSIDERATION AND PRESENTATION SOFTWARE FOR APPLIED GEOPHYSICS DATUM

SUMMARY

Main purpose of the geophysical surveys are to build a contact with subsurface. This is possible with some geophysical equipment and geophysical methods. In order to understand the location, dept, density and the other parameters of subsurface materials, modelling method is used for geophysical applications. It is possible with couple method.

Firs one is forward solution method. Forward solution method is used to calculate geophysical anomaly of known parameters of subsurface model.

Second one is inversion method. This method is more complex and prevalent than forward solution method. it is easy to calculate the geophysical anomaly of known subsurface material but significant thing is the calculate the unknown parameters of subsurface model using geophysical datum. For geophysical enginners, most significant aim is to predict the model parameters with minimum error. In this case, there are some teorical solution method to calculate unknown model parameter or parameters using geophysical anomaly as input datum. In geophysical science, building a contact with subsurface and calculate the model parameters is called as modelling.

In this project, a geophysical software which is called GeoSof is intended to understand and analysis the subsurface model with forward solution and manual modelling method. There are widely usage area of GeoSof for geophysical engineering. Although, there are some software in the litherature for forward and inversion solution, huge part of these software is used for just one or two geophysical method. Hence, it is very necessary to use a software for all applied geophysical datum. In this point, GeoSof can be used for lots of applied geophysical method which is Self Potential (SP), Gravity method, magnetic method, Resistivity method, Seismic Refraction method.

Today, it is very possible to recognize multiple ways of geophysical methods when we want to examine the recent geophysical studies in the field of terrain analysis. It is known that there are different geophysicalresult of same underground structure. This is significant problem for geophysical observations and modelling. Consequently, the values for intended parameters might not be easily retained decisively. Due to solve this geophysical problem, some other geophysical methods, which depend on distinctive physical principals, are used and the results coming from those methods are evaluated by means of other different modelling programs.

Consequently, in this project, it is intended to create a new program called GeoSof that gathers all other existing modelling programs under one roof. GeoSof is not only a program but also it gathers all visual properties of Microsoft C# in a simple and useful way. Moreover, all design of screenshots and its' working codebehinds are being explained step by step.

There are some advantage of the GeoSof modelling software.

Firstly, it is possible to say GeoSof is easy and practical software. GeoSof is intended with *object-oriented programming* which is important for easy and practical usage for users. Object-oriented programming is used firstly in the end of 1980s. Nowadays, usage area of object-oriented programming is improved but still, this programming method is not used widely for geophysical engineering. GeoSof is the first object-oriented modelling program for five different applied geophysical method datum. It is important to say user use pointer in this program due to new originality of C# programming language. Using pointer (mouse or something else) is crucial process to make software easy and practical. Surely, it is one of the advantage of GeoSof modelling software.

Secondly, it is possible to say GeoSof is interactive and educational application. GeoSof is uses forward solution algorithm which is used for most of geophysical modelling software. It is possible to apply this algorithm to inversion solution with using some advantage of computer like speed. Manual modelling is used for inversion modelling application in the GeoSof program. This application make subsurface model parameter interactively modifiable with trackbar property of the visual C# programming language. For manual modelling application, it is necessary to load observed and predicted datum to the GeoSof software. Manual modelling application is basically observation of coordination of observed and predicted datum using trackbars which is possible to make paremeters fastly modifiable. Because of advantage of visual observation of users and interactively modeified model parameters, it is possible to say GeoSof modelling software is considerably educational.

On the other hand, GeoSof is pratically and easily used for Window 8.1 and the other all Windows Operation Systems. Also, with some additional patches software which is Mono and Wine, it can be correctly uses for Linux Operation Systems. Clearly, this is the other advantage of GeoSof according to other geophysical modelling software.

GeoSof makes it possible to use 3 different modelling programs at once. First of all, in order to clarify its' properties. It will be reasonable to say that by using GeoSof, it is easy to draw either one or two dimensional results of raw data sets with the help of RMS errors from the table which is seen on the screen. Secondly, one other application field is creating underground modelling by generation of synthetic datum along with calculation of anomalies gathered from different methods. The last advantage of the GeoSof is that manual modelling application changes parameter values using tracebar with user defined increase-decrease method. Thus, it is clear that, GeoSof modelling program can be used as educational.

It is not just a modelling program like others. GeoSof is planned to make people gain experiance and improve the user's ability of analyzing. First and foremost, unlike other modelling programs, GeoSof is much more convenient and handy to use.

On the other hand, the purpose and the scope have been studied carefully by means of using its own models that creates synthetic datum. Any resemblances or differences to other modelling programs which are taking place in the fields of modelling processes and literature, have also been examined carefully and successfully. At last, the restrained recursive solution property of GeoSof program has been tested by comparing the resistivity section and the results of well-logging

through with applying the datum coming from the studies of Özürlan and Şahin (2006) and Gailler et al (2014) in field.

When a single short line which is observed a severe anomaly sorted out of a study done by Özürlan and Şahin (2006), Gailler et al (2014) was interpreted by GeoSof, it has been seen that the results are coherent with the results of underground structure coming from the resistivity section.

1. GİRİŞ

Jeofizikte yer ile iletişim mutlak bir öneme sahiptir. Jeofizikçi için yerini anlamak jeofizik belirtiyeye neden olan kaynağı tanımlamak demektir. Jeofizikte yer ile iletişim iki yol ile gerçekleşir: Pasif ve aktif iletişim. Pasif iletişim yerinin belirli bir fiziksel alanından kaynaklanan sinyallerin çeşitli jeofizik alet ve yöntemler ile algılanmasıdır. Pasif iletişimde yerine bir uyarı gönderilmeksizin sinyaller okunur. Bu noktada aktif iletişim pasif iletişimden ayrılmaktadır. Aktif iletişim jeofizikçinin yerine gönderdiği imle veya dürtüden kaynaklanan yerin tepkisinin jeofizik alet ile okunması olarak tanımlanabilir. Aktif iletişim yapay kaynaklı, pasif iletişim ise doğal kaynaklı uygulama olarak ifade edilmektedir. Hem yapay kaynaklı hem aktif kaynaklı jeofizik çalışmalarda amaçlanan yeraltındaki jeolojik bir yapının modellenmesidir. Jeofizikte modelleme düz (forward) ve ters problem çözümü olarak incelenmektedir. Düz çözümde jeolojik bir modelin vereceği jeofizik belirti, ters çözümde ise jeofizik belirtilerden yola çıkarak jeolojik modelin parametreleri hesaplanmaya çalışılır. Bu nedenle modelleme jeofizik çalışmalarının temelini oluşturmaktadır (Canitez, 1997), (Oruç, 2013).

Uygulamalı jeofizik çalışmalarında toplanan verinin gürültü ve benzeri istenmeyen sinyallerden arındırılarak modelleneyecek olan yeraltı yapısına ait bilgileri içermesi mutlak bir öneme sahiptir. Buradan planlanan jeofizik çalışmanın arazi şartlarına ve aranan yeraltı parametresine göre seçilmesi gereklilik arz etmektedir. Yöntemlere göre değişen araç trafiği, trafo gibi elektrik kaynakları, fabrika ve benzeri yapıların yaydığı çeşitli dalgalar veride çeşitli gürültülere neden olmaktadır. Gürültüler yerin gönderilen sinyale verdiği tepkiler ile birlikte kaydedilir. Bu nedenle çalışma için yöntem seçiminde yöntemlerin gürültü kaynaklarına duyarlılıklarında önem taşır. Buna bağlı olarak verinin toplanmasından modelleme çalışmalarına kadar tüm jeofizik çalışma sürecinde gürültülerin mümkün mertebe arındırılması öncelikli amaçlar arasındadır.

Gürültülerin arındırılması ve verilerin değerlendirilmesi için birçok jeofizik programı geliştirilmiştir. Farklı yöntemler için farklı programlardan elde edilen yaptığı

modellemeler, arazide toplanan verinin hangi yeraltı modelinden kaynaklandığını kestirmek için faydalı olmaktadır. Modelleme programları içerisinde tüm uygulamalı jeofizik yöntemlerini kapsayan bir tasarı literatürde karşımıza çıkmamaktadır. Buna bağlı olarak bu çalışmada uygulamalı jeofizik yöntemleri için toplanan verileri tek bir çatı altında grafiklemek, gözlemek ve modelleme ile yeraltı yapısını analiz etmeyi mümkün kılmak amacıyla bir program geliştirilmiş ve programın uygulamalı jeofizikteki kullanım sınırları incelenmiştir.

Temel olarak bu projede Elektrik Özdirenç Yöntemi, Manyetik Yöntem, Gravite Yöntemi, Doğal Gerilim (SP) yöntemi ve Sismik Kırılma yöntemi için düz ve ters çözümü temel alan GeoSof programı kullanılarak bu yöntemlerin görsel sunum ve değerlendirilmesi yapılarak sonuçları yorumlanmıştır.

2. AMAÇ VE KAPSAM

Çeşitli jeofizik yöntemler için hazırlanmış ters ve düz çözüm programları incelendiğinde programların bir veya en fazla iki yöntemi kapsadığı, tek bir program ile birden fazla yönteme ait verilerin değerlendirilemediği görülecektir. Bunun yanı sıra ters çözüm programları, jeofiziksel model parametrelerine ait kestirimsel bilgileri yaklaşık olarak ekrana yansıtmaktadır. Dolayısıyla ters çözüm programlarının kullanıcıya eğitsel açıdan katkı sağlamadığı düşünülebilir. Bu noktalar dikkate alınarak tasarlanmış olan GeoSof programı birkaç esas üzerine oturtulmaya çalışılmıştır.

Öncelikle tüm jeofizik yöntemler için arazide veri kaydedilirken çalışma süresince öndeğerlendirmelerin yapılması mutlak bir öneme sahiptir. Öndeğerlendirme sonuçları dikkate alınarak çalışmaya yön verilmesi çalışmanın amacı ile elde edilen sonuçlar arasında daha iyi bağlantı olmasını sağlar. GeoSof yazılımı geliştirilirken bu nokta dikkate alınmıştır. Bununla birlikte yeraltı yapısını tayin etmek gibi kapsamlı inceleme ve değerlendirme gerektirecek çalışmaların GeoSof ile yapılabilmesi için ileride ayrıntılı olarak açıklanacak olan kontrollü modelleme özelliği programa eklenmiştir.

Programın temel aldığı bir diğer ayrıntı ise veriler değerlendirilirken kullanıcı odaklı çözümün elde edilmesidir. Bu çözümde, sonuca kullanıcı tarafından belirlenen limit içerisinde model parametrelerinin değerlerini arttırıp azaltmak suretiyle her bir parametrenin değişimini görsel olarak analiz ederek ulaşılmaktadır. Böylece optimum model kestirimi yapılabilmektedir. Bu noktada programın verilerin değerlendirilmesi kapsamında eğitici olması ön plana çıkmaktadır.

Programın diğer bir özelliği kullanım alanı açısından mümkün oldukça kapsamlı olması hedeflenirken hem akademik hem de mühendislik uygulamalarında kullanım kolaylığı sunmasıdır. Bunun yanı sıra hızlı ve etkin sonuçlar sunması nedeniyle kullanıcı dostu özelliğe sahiptir. İçerik olarak kapsamlı bir program tasarlarken kullanım açısından karmaşadan uzak durulmaya özen gösterilmiştir.

Kapsam açısından programı birkaç başlık altında değerlendirelim.

Gravite yöntemi veya elektrik özdirenç yöntemi ele alındığında verilerin düzeltilmeyle birlikte, kuramsal eğrileri veya gravite anomalileri otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Programın içerdiği tüm yöntemler ve bu yöntemlerin programda kullanımı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Burada gravite yöntemi örnek alınır, gravite ölçüleri, ölçümün alındığı yüksekliği, enlemi, drift değeri, indirgeme enlemini girilerek tablo oluşturulur. Oluşturduğumuz tablo programa verildiğinde topoğrafya düzeltmesi dışındaki tüm standart düzeltmeler program tarafından yapılır ve gravite anomalisi kullanıcıya sunulur. Düzeltmeleri yapılmış değerler notepad formatı ile kaydedilir. Bu noktada veriyi okuma, düzenleme, hesaplama ve çizdirmeyi programın uygulama alanındaki bir başlığı olarak düşünebiliriz.

Bir diğer başlık ise tasarlanan bir yeraltı modeline göre kuramsal anomalinin gürültü eklenmiş veya gürültüsüz grafiksel olarak kolaylıkla sunuma hazırlanmasıdır. Bu işlem programın düz çözüm modelleme özelliğini yansıtır.

Diğer bir başlığı kontrollü modelleme özelliği ile ifade edebiliriz. Bu anlamda program, yukarıda da değinildiği gibi kullanıcı için olası modeli tahmin etme ve bu modele bağlı olarak değerleri belirli bir parametre uzayında arttırıp azaltmak suretiyle RMS hata katsayısı kontrolü yaparak modelleme olanağı sunmaktadır.

Uygulamalı jeofizik yöntemlere ait verileri modelleyen GeoSof programının kullanımını açıklamadan ve arazi verisi ile örnek çalışmasını yapmadan önce programda kullanılan uygulamalı jeofizik yöntemlere kısaca değinelim.

3. UYGULAMALI JEOFİZİK YÖNTEMLERİ

3.1. Gravite Yöntemi

Gravite yöntemi, yerçekimi ivmesindeki küçük değişimleri esas alır. Bilindiği üzere yerçekimi ivmesinin değişimi bilinen noktanın altında yer alan yapının yoğunluğu ile ilişkilidir. Bağıl gravite ölçümlerinde istasyonların ölçü değerlerinin, gravite değeri bilinen bir referans noktasının gravite değeri oranındaki farklardan elde edilir. Yöntemin amacı ivme değişimlerine neden olan yeraltı yapılarını araştırmaktır.

Gravite ölçümleri denizde, karada ve havada yapılabilir. Denizde yapılan ölçümler deniz dibinde ve deniz yüzünde olmak üzere iki farklı şekilde uygulanabilmektedir.

Deniz dibinde yapılan ölçümler deniz dibine indirilen su geçirmez bir muhafaza içerisine yerleştirilen aletler ile yapılır. Bu aletler çelik kablolar ile gemiden kontrol edilir. Bu ölçümler daha çok 200 m ve daha sığ sularda yapılır. Deniz dibinde yapılan gravite ölçümlerinin bazı zorlukları vardır. Sığ sularda dalga hareketlerinin alette neden olduğu sarsıntılar, dalgaların sedimanlarda neden olduğu yer değiştirmeler ve çalışmaların yarım saatten kısa sürmesi bunlara örnektir. Deniz dibinde yapılan ölçümlerde hatalar genellikle 0.2 mGal'den azdır.

Denizde yapılan ölçümler deniz yüzeyinde gemilere yerleştirilen aletlerle de yapılabilir. Bu çalışmaların en önemli avantajı kısa sürede uzun bir hat boyunca veri toplanabilmesidir. Genellikle ölçümler sırasında geminin hızı 5 ila 10 not arasındadır (1 NOT = 1853 m/s). Deniz yüzeyinde alınan ölçümlerde aletin okuyacağı ivme değerleri yerin çekim ivmesi değişimlerinden, geminin baş-kıç hareketlerinden, geminin yalpa hareketlerinden, dalga nedeni ile gemideki yükselme-alçalmalardan ve rotadaki yatay hareketlerinden etkilenir. Bu engeller büyük ölçüde "Gimbal Platformu" denilen bir sistemin kullanılmasıyla aşılar. Bu platform motorlar ve amortisörler aracılığıyla hareketleri söndürmek için tasarlanmıştır. Buna rağmen kötü deniz koşullarında ölçümlere ara verilir. Genellikle deniz yüzeyinde yapılan ölçümlerde hata 0.1 mGal civarında olur.

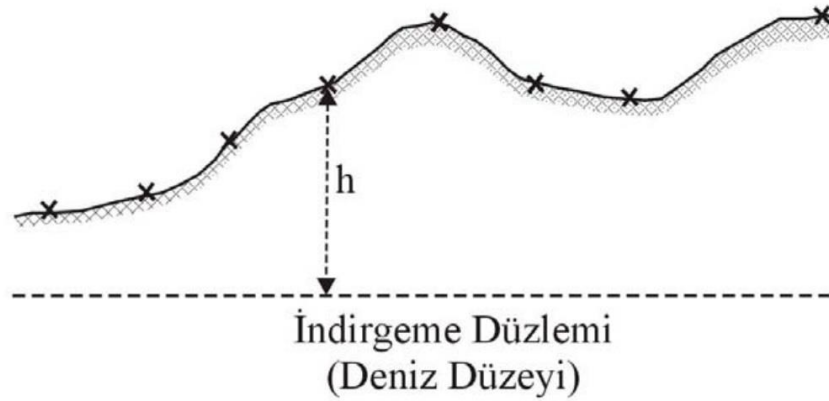
Havada yapılan gravite ölçümleri kısa sürede büyük alanların taranabilmesi amacıyla tercih edilir. Ölçümlerin yüksekten alınması nedeni ile yeryüzünden rahatlıkla okunabilen 5 ila 10 mGal'lik anomaliler havadan yapılan ölçümlerde aletler tarafından algılanamaz. Havadan yapılan ölçümlerde salınım periyodu çok büyük gravimetreler ve çok ağır amortisörler kullanılmaktadır. Havadan yapılan çalışmalarda hava fotoğrafları kullanılır ancak daha çok yatay koordinatlar için elektronik seyir aygıtları düşey koordinat için altimetreler kullanılır. Denizde yapılan çalışmalarda gemi hareketinden karşımıza çıkan zorluklar havadan yapılan çalışmalarda da karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanısıra havdan yapılan çalışmalarda yüksek hız nedeniyle doğu-batı yönlü hareketten doğan merkezkaç kuvvetinin etkisi Eötvös düzeltmesi ile giderilir. Havadan yapılan ölçümlerde düşük hassasiyet nedeni ile hatalar 10 mGal değerlerine kadar ulaşmaktadır.

Karadan yapılan çalışmalarda ölçümler iki aşamada gerçekleşir. İlk olarak ölçüm noktalarının koordinatları topoğrafyayı tanımlamak için belirlenir. İkinci aşamada ölçümler alınır ve yerçekimi ivmesi değişimleri elde edilir. Karadan yapılan ölçümler havadan yapılan ölçümlere göre daha küçük ivme değişimlerine karşı duyarlı olduğu için aletin hassasiyeti önemlidir. Ölçümlere başlamadan önce aletin duyarlılığı ve genel davranışları denetlenir. Karadan yapılan çalışmalarda ölçüm noktaları arasındaki uzaklık çalışmanın amacına göre değişir. Maden aramaları ve mühendislik jeofiziği çalışmalarında anomaliler küçük alanlarda elde edileceği için aralıklar birkaç metre veya birkaç on metre olacak şekilde seçilir. Bu aralıkların petrol aramalarında 0.5 km ile 1 km arasında olacak şekilde belirlenmesi gerekir. Ölçüm noktaları seçimi çalışma alanının topoğrafyasına göre belirlenir. Ölçümlerden sonra topoğrafya düzeltmesi aşaması ölçümlerin alınmasından daha zorlu ve zaman kaybı olacağı için ölçüm noktaları topoğrafyaya göre belirlenir (Sanver ve İşseven, 2007).

Yeryuvarının farklı bölgelerinde, yeraltı yapılarına ait kütle değerleri benzerlik gösterse bile yerçekimi ivmesinde farklılıklar gözlenebilir. Bunun nedeni yeryuvarının tam bir küre olmayışından kaynaklanmaktadır. Bu etkinin en net örneği olarak g değerinin ekvatordan kutuplara gidildikçe artması verilebilir. Gravite ölçümlerinin doğru değerlendirilmesi, ancak düzenli bir yüzey (referans elipsoidi) üzerine hazırlanmış bir harita ile sağlanabilir. Buna bağlı olarak gravite ölçümlerine standart bazı düzeltmeler yapılmaktadır. Bu düzeltmelerin giderilmesi için uygulanan

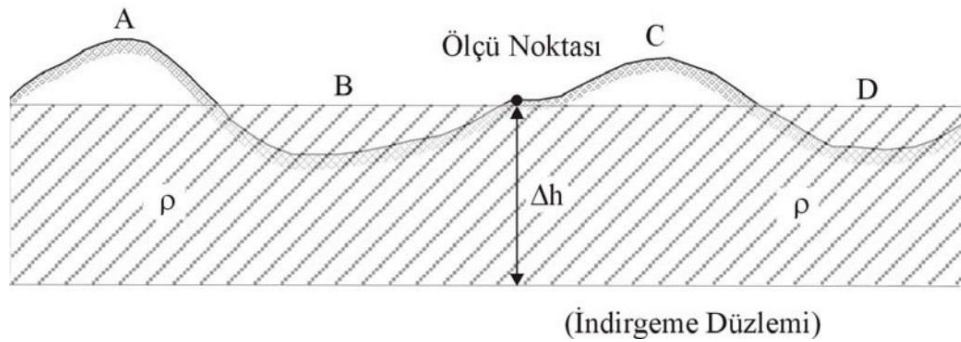
teorik çözümlere GeoSof programının kullanımının anlatıldığı başlıklarda değinilecektir. Kısaca bu düzeltmelere neden olan etkilere değinelim;

Serbest Hava Etkisi: Gravite verilerine düzeltmeler uygulanırken indirgeme yüksekliği ile ölçüm noktası arasında kalan kütleyi yoksayarız. Bu kalınlıktaki alanın boşluk (hava) olarak değerlendirilmesi nedeni ile teorik olarak ölçüm havada, askıda alınmış gibi kabul edilir. Bu değişim serbest hava etkisi (faye etkisi) olarak kabul edilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: İndirgeme düzlemi ve ölçüm noktaları (Sanver ve İşseven, 2007).

Bouguer Etkisi: Serbest hava düzeltmesi için indirgeme yüzeyine olan yükseklik farkını boşluk (hava) olarak değerlendirdiğimiz için bu aralıktaki olası yeraltı yapısını, kütleyi yoksaymış oluyoruz (Şekil 3.2). Bu yapının ölçümlerde oluşturduğu yerçekimi ivme farkı Bouguer etkisi olarak literatürde tanımlanmaktadır. Bouguer düzeltmesi yapılırken bu kütleden kaynaklanan g değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanarak ölçülen g değerinden çıkartılır. Gravite yöntemde ölçümlere yapılan düzeltmeler serbest hava etkisi ve Bouguer etkisi birlikte düşünülerek uygulanır (Sanver ve İşseven, 2007).



Şekil 3.2: Bouguer etkisinin hesaplanması için varsayılan tabaka (Sanver ve İşseven, 2007).

Enlem Etkisi: Yukarıda da değinildiği gibi yeryuvarının oval oluşundan dolayı ekvatorlardan kutuplara gidildikçe veya başka bir ifade ile enlem değeri arttıkça yerçekimi ivmesi de artmaktadır. Enlem derecesinden kaynaklanan bu fark enlem etkisi olarak kabul edilir ve g değerlerinde düzeltmesi yapılır (Ergin, 1985).

Gelgit Etkisi: Dairesel hareket yapan gök cisimlerinin diğer gök cisimlerinin çekimi etkisinde olması ve bunu dengeleye merkezkaç kuvvetinin ölçümlerdeki etkisine gelgit etkisi denir. Ay'ın Dünya çevresindeki ve Dünya'nın Güneş çevresindeki hareketlerinden kaynaklanan merkezkaç kuvveti ölçümlerde çok küçük değişimlere neden olur. Bu değişimler gelgit etkisi olarak kabul edilir. Gel git etkisi sonuçlarda önemli değişimlere neden olmadığı için genellikle yoksayılr (Sanver ve İşseven, 2007).

Engebe Etkisi: Gravite yönteminde en kapsamlı düzeltme engebe veya diğer adı ile topoğrafya düzeltmesidir. Ölçümlerde topoğrafyanın etkisi sadece ölçümün alındığı noktanın altındaki yapıdan değil çevresindeki kütlelerin o noktaya göre düşey bileşenlerinden de kaynaklanmaktadır. Bu nedenle çevredeki kütlelerin ölçüm noktasında neden olduğu yerçekimi ivmesi farkı engebe etkisi olarak tanımlanır ve literatürde belirtilen çizelgelerden yararlanılarak düzeltmesi yapılır (Sanver ve İşseven, 2007).

3.2. Elektrik Yöntemler

Elektrik prospeksiyon yeriçindeki elektrik akımlarının yeryüzündeki etkilerini inceleyen yöntemler olarak tanımlanabilir (Telford ve diğ 1990). Jeofizikte elektrik yöntemler yeriçinde yapay veya doğal kaynaklı akımların neden olduğu potansiyel farkın incelenmesini esas alır. Bu yöntemler literatürde doğal gerilim (SP), tellürik ve manyetotellürik akımlar (MT), öz direnç, elektromanyetik (EM) ve yapay uçuşma (IP) yöntemleri olarak belirtilmiştir (Telford ve diğ., 1990). Bu bölümde programın kapsamı nedeni ile doğal gerilim ve öz direnç yöntemleri anlatılacaktır.

Yeriçine akım verilmeden gerçekleşen yeriçindeki gözenekli yapılarda sıvı akışı kinetik hareketler olarak ifade edilebilir. Kinetik hareketlerden kaynaklanan iyon hareketlerine göre polarize olan yeraltı yapıları ölçümlerde anomaliler gözlemlenmemize neden olur. Doğal gerilim yönteminde bu anomaliler değerlendirilir. Bu yöntemin dezavantajı diğer birçok jeofizik yöntemde de görülen

çok çözümlülük sorunu nedeniyle katman derinliğinin kestirilememesidir. Derinlik bazlı değerlendirmeyi ön planda tuttuğumuz arazilerde daha çok tercih edilen elektrik yöntem Özdirenç (elektrik delgi) yöntemidir (Ergin, 1985). Bu iki yönteme fizik esaslarını ön planda tutarak değinelim.

3.2.1. Doğal gerilim yöntemi

Jeoelektrik yöntemler içerisinde yeriçine akım göndermeksizin uygulanan tek yöntem olan doğal gerilim veya literatürde kullanılan İngilizce adı ile “Self Potential” (SP) yöntemi yeriçinde bir dış etki olmaksızın oluşan polarizasyondan (uçlaşmadan) yararlanarak yeriçideki akım akışının doğal alanını ölçer.

Doğal gerilim yönteminde özellikle üzerinde durulan akma gerilimi ρ özdirencine ve η vizkozitesine sahip bir çözeltinin geçirimli bir ortamdan basınçla geçirilmesi sonucu oluşan gerilim olarak tanımlanmaktadır. Doğal gerilim yönteminin uygulanışına kısaca değinecek olursak, yeriçindeki gerilimin okunabilmesi için elektrodların toprak ile bağlantısının iyi yapılması gerekmektedir. Bu nedenle fincan elektrod olarak ifade edilen elektrodlar yeriçine doğrudan yerleştirilmek yerine yeriçinde hazırlanan çukurdaki çamura yerleştirilerek ölçümler alınır. Elektrodların çamura yerleştirilmesinin nedeni elektrodlar ile toprak bağlantısında kesiklik olmasını engellemektir. Doğal gerilim yönteminde fincan elektrodlar ile okunan gerilim değerleri elektrod arası mesafe ve doğrultu bilgileri ile kaydedilerek değerlendirilir (Çağlar, 1991).

Doğal gerilim yöntemi ayrıca kuyunun farklı derinlik ve doğrultulardaki gözeneklilik ve çatlaklık derecelerinin incelenmesi, yeraltı su akışlarının yeri ve yönünün incelenmesi, su akışı ile bağlantılı olarak veya doğrudan gözeneklilikten kaynaklanan yeraltı yapılarının lokasyon ve derinliklerinin tahmin edilmesi gibi araştırmalar için uygulanılmaktadır. Bu yapıların lokasyonlarının anlaşılması “C” ile sembolize edilen “streaming” gerilimlerinin bilinmesi ile doğrudan ilişkilidir. Porozlu veya fazla kırıklı yapılarda gelişen basınç farkı nedeniyle bir su akışı oluşur. Yeriçinde bulunan her jeolojik yapının değişik basınç farkı vardır ve bu basınç farkı nedeniyle akan suyun neden olduğu gerilim streaming gerilimi olarak tanımlanır. Dolayısıyla yeriçini tanımlamada jeolojik yapının kendisine özel “streaming” gerilimlerinin önemli bir belirleyici olduğu bilinmektedir.

Doğal gerilim yöntemi ile okunan gerilimler üç sınıfta incelenebilir;

Difüzyon gerilimi farklı konsantrasyona sahip çözeltiler içerisinde bulunan anyon ve katyonların çözelti içerisinde yük miktarlarının eşit olacağı şekilde yayılım göstermeleri ile difüzyon sırasında oluşan gerilim olarak tanımlanmaktadır.

Nernst gerilimi ise farklı konsantrasyona sahip çözeltilere batırılmış elektrodların okuduğu milivolt birimindeki gerilim farkıdır. Aynı konsantrasyona sahip çözeltilere batırılan elektrodlar arasında bir elektron akışı olmayacağından bu gerilim ölçülemez. Benzer şekilde farklı sıcaklıklara sahip çözeltilerde de benzer bir gerilim farkı okunmaktadır. Bu gerilim de nernst gerilimi olarak tanımlanmakla birlikte kaynağı termoelektrik kökenlidir.

Ölçülen gerilim kaynaklarının bir diğeri ise elektrokimyasal gerilim veya diğeri bir adı ile mineralizasyon gerilimi olarak tanımlanır. Bu gerilim genellikle sülfürlü metalik cevherleşme sahalarında ölçülür. İletken cevher kollarının bulunduğu yeraltı yapılarının mineral miktarına, sıcaklığa ve ıslaklıklara bağlı ölçülen gerilim elektrokimyasal gerilimler sınıfına girmektedir. Maden aramalarında ölçülmek istenen gerilim türüdür ve genellikle pirit, kalkopirit, galenit, sfelirit, grafit gibi sülfürlü ve oksitli cevherleşmelerin yeraltı yapılarında gözlemlendiği arazilerde bazen -500 milivolta kadar elektrokimyasal gerilim ölçülebilir. Bu gerilim adı geçen jeolojik yapılarda cevherleşmenin üst yüzeyinde negatif yüklerin, alt yüzeyinde ise pozitif yüklerin toplanması ile oluşan akışın sonucu olarak ölçülür (Çağlar, 1991).

3.2.2. Özdirenç yöntemi

Özdirenç yönteminde dışarıdan etki ile yeriçine akım gönderilerek yerin bu akıma karşı gösterdiği tepki ölçülür. Özdirenç yöntemleri temel olarak tek akım elektrodu ve çift akım elektrodu olmak üzere iki uygulama alanına sahiptir. Homojen izotropik ortamlar için tek akım elektrodu kullanılan uygulama *mise-a-la-masse* metodudur. Bu çalışma tek elektrod yeriçine veya sondaj kuyusuna ve diğeri elektrod yeryüzüne yerleştirilerek yapılır. Tek akım elektrodu kullanılması nedeni ile görünür özdirenç sadece r uzaklığına bağlı olarak elde edilir (Telford ve diğ., 1997).

$$\rho = \frac{4\pi Vr}{I} \quad (3.1)$$

Burada, I yeriçine gönderilen akım, V ölçülen gerilim ve r elektrodlar arası uzaklıktır.

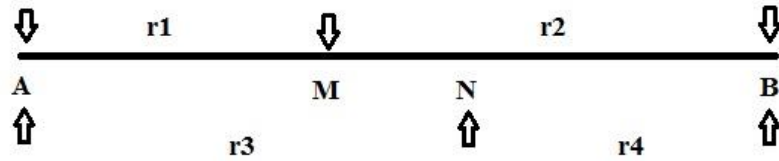
Gravite ve manyetik yöntemlerde de görüldüğü gibi diğer yöntemlerde de derinlik kestirimi tek çözümlü olmadığı için sonuçlar belirsizdir (Ergin, 1985). Özdirenç yönteminde genellikle ikisi akım ikisi gerilim olmak üzere 4 elektrod dizilimleri tercih edilmektedir. Farklı elektrod açılımları ile akım elektrodlarının gerilim elektrodları ile arasındaki uzaklığa bağlı olarak tabaka kalınlıkları ve özdirençlerine yönelik bilgiler elde edilir. Tüm açılımlar için görünür özdirenç,

$$\rho = K \frac{2\pi\Delta V}{I} \quad (3.2)$$

Burada, ΔV gerilim farkını, I akımı, ρ görünür özdirenci ve K ,

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad (3.3)$$

Denklemini kullanarak elektrodlar arası uzaklığa bağlı olarak hesaplanan katsayıyı ifade etmektedir (Telford ve diğ., 1997). Elektrodlar arası r uzaklıkları ise şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Özdirenç yöntemi örnek elektrod dizilimi.

Özdirenç çalışmaları genellikle iki dizilim ile yapılmaktadır. Bunlardan biri Schlumberger dizilimidir. Bu dizilimde genellikle elektrik delgi olarak ifade edilen düşey doğrultuda derinliğe bağlı özdirenç bilgisi elde edilmektedir. Diğer dizilim ise Wenner dizilimidir. Bu dizilimde elektrodlar arası uzaklık sabit tutularak belirli bir hat üzerinde elektrodlar düzenli olarak kaydırılarak ölçümler yapılır ve sabit bir derinlikteki özdirenç değişimleri ile kat haritaları elde edilir. Bunların dışında jeofizik çalışmalarda çok tercih edilmemekle birlikte Wenner beta, Wenner gama, Pol-pol, Pol-dipol, dipol-dipol gibi dizilimlerde kullanılır.

Elektrik delgi tekniğine göre özdirenç yöntemi ile düz çözüm modelleme işleminde tabakaların özdirenç ve kalınlıklarından kuramsal özdirenç eğrileri hesaplanır. Ölçülen görünür özdirenç değerlerinden yola çıkarak yeraltı tabaka modelini kestirmek için ters çözüm teknikleri kullanılır. Aynı zamanda gözlemsel-kuramsal

verilerin eşleştirilmesi ile yeraltı tabaka modeli kestirilebilir. Yardımcı eğri ve abaklar kullanılarak bu uygulama yapılabilmektedir.

Düşey elektrik sondajı ile yeriçi tabakalanmaları kuramsal olarak kestirildiğinde üç tabaka modeli için en üstten en alt tabakaya özdirençler ρ_1 , ρ_2 ve ρ_3 olarak sembolize edilecek olursa kuramsal eğriler H tipi ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$), Q tipi ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$), K tipi ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$) ve A tipi ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$) olmak üzere 4 türde değerlendirilmektedir.

3.3. Sismik Kırılma

Sismik yöntemler sismik kırılma ve yansıma olmak üzere iki uygulamaya sahiptir. Bu kısımda sismik yöntemlerin fizik esasına kısaca değinilecek ve ileriki bölümlerde uygulama örneği çalışma kapsamında yapılacağı için sismik kırılma yöntemini kuramsal açıdan inceleyeceğiz.

Sismik kırılma ve yansıma yöntemleri genellikle farklı güçte kaynaklar ve hat uzunlukları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kaynak ve hat uzunluğu başta olmak üzere uygulanması yansımaya göre daha ekonomik olması nedeni ile mühendislikte genellikle kırılma yöntemi kullanılır. Yansıma sismiği ise daha çok petrol aramaları, jeotermal alan araştırmaları gibi derin yapıların incelenmesinde tercih edilmektedir. Bunun yanısıra veri-işlem aşamaları birbirinden çok farklı olan sismik yöntemlerden kırılmanın veri değerlendirmesine genel hatları ile değineceğiz.

Sismik kırılma jeofonlarda optimum koşullar altında iki tabakalı model varsayımına göre ve alt tabakanın üst tabakadan yüksek sismik hıza sahip olması durumunda kırılarak ikinci tabakaya giren sismik dalganın jeofonlarda gözlemlenmesidir. Yakın jeofondan uzak jeofona doğru kaynak alıcı mesafesinin artışı nedeni ile dalgaların genliklerinde gözlemlenen azalma ve yakın jeofonda kaynağın gücüne bağlı olarak okunan yüksek genlikli dalga kırılma uygulanmadan önce kalitelendirilmesi gerekir. Bu nedenle genliklerin her kanal için aynı oranda artırılması ve yakın jeofondan uzak jeofona doğru üstel fonksiyon ile genliklerin artırılması (genlik kazancı) kırılma öncesi uygulanan temel iki adımdır. Bu adımlar veride değişiklik yaratmadığı halde araştırmacının kırılmanın olduğu kanal ve zamanı daha doğru kestirebilmesine olanak sağlamaktadır.

Hygens prensibi olarak tanımlanan kaynak dalgasının yeriçinde dairesel hatlar halinde yayılması kanallarda okunan değerlerde gürültülerin ve hayalet yansıma olarak bilinen ara süreksizliklerden kaynaklanan yansımalarında okunmasına neden olmaktadır. Kanallarda gözlemlenen bir diğer dalgada doğrudan gelen dalgadır. İlk kaydedilen bu dalgalar daha çok yakın jeofonlar için bozucu etki yaratmaktadır.

Uzak jeofonlarda direk gelen dalganın kısa sürede jeofona varmasına rağmen kırılan dalganın jeofona varış süresi uzundur. Bu nedenle uzak jeofonlarda direk gelen dalga kolaylıkla kırılan dalgadan ayrılabilir.

Kırılan dalgaların jeofonlara varış zamanı iki parametreye bağlıdır. Bu parametreler yoğunluk ve tabakaların sismik dalga hızlarıdır. Tabakaya ait hız ve yoğunluk değerlerinin çarpımı tabakanın akustik empedansı olarak ifade edilir. Akustik empedans bu bağlamda tabakanın sismik yõteme duyarlılığını gösteren bir parametredir ve tabakanın akustik empedansına bağlı olarak değişim gösteren çift yol seyahat zamanı (twt) eğrisi ilk kırılmanın gözlemlendiği kanal ve zaman kestirilerek elde edilir. Sismik yöntemin jeofizikte geniş bir uygulama alanının olmasına rağmen sonuçlar ölçümlerde çalışmanın amacına göre belirlenen kaynak, jeofon aralığı, hat uzunluğu ve çevresel faktörlerden kaynaklanan gürültüler ile veri değerlendirme aşamalarında kullanıcının tecrübesine bağlı olarak değişmektedir.

3.4. Manyetik Yöntem

Manyetik alanın günümüzde kabul gören açıklaması dinamo teorisi olarak bilinmektedir. Dinamo teorisine göre büyük bir kısmı demir olan yerin sıvı durumdaki metalik çekirdeğinde elektrik iletkenliği yüksek kolayca hareket edebilen bir akışkanın olması nedeniyle çekirdekte bulunabilen elektrik akımının ve mekanik hareketin karşılıklı etkileşim ile birbirini beslemesi şiddetini koruyan bir elektromanyetik alan oluşturur (Ergin, 1985).

Manyetik yöntem yeryuvarının manyetik alanındaki değişimini, bu alanın yatay ve düşey bileşenleri, alan vektörü, eğim açısı, sapma açısı gibi parametrelerini inceleyen ve değerlendiren jeofizik yöntemdir. Manyetik yöntem çalışmalarında manyetometre adı verilen birçok ölçüm aleti günümüze kadar kullanılmıştır. Bunlardan günümüzde en çok tercih edileni proton manyetometresidir. Hidrojen atomu ile aynı kütleye sahip olan protonun çok zayıf manyetik alan içinde bile

presesyon hareketi yaptığı görülmüş, prosesyon hareketinin frekansı ile yer manyetik alanının şiddetinin doğru orantılı olduğu anlaşılmıştır.

Manyetik yöntem uygulandığında özellikle üzerinde durulan parametre alan vektörü ya da manyetik alanın düşey bileşenidir. Manyetik yöntemde değerlendirilen parametrelere ve açıklamalarına literatürde kolaylıkla ulaşılabilmektedir ancak daha çok karşımıza çıkacak olan manyetik potansiyel ve alan şiddetini kısaca ifade edecek olursak, kutup şiddeti +p olan bir manyetik kutbun r uzaktaki bir P noktasında neden olduğu manyetik potansiyel, bu noktadaki alanın şiddeti manyetik alan şiddeti olarak tanımlanmaktadır (Ergin, 1985).

Yer manyetik alanının zamana bağlı kayıtları incelendiğinde periyodik olarak bazı değişimlerin olduğu gözlemlenebilir. Bu değişimler jeofizik çalışmalar sırasında ölçümlere etki ettiği için dikkate alınır ve bazı değişimler büyüklüğü nedeniyle jeofizik çalışmaların ertelenmesine sebep olabilir. Bu nedenle bu bölümde kısaca bu değişimlere değinecek olunursa dört başlık altında toplayabiliriz.

Yüksek frekanslı değişimler: Periyodları 10^{-2} ile 10^4 saniye arasında olan değişimler vardır ve bunların en bilinen örnekleri mikropulsasyonlar, dev pulsasyonlar ve manyetik körfezlerdir.

Günlük değişimler: Bu değişimler “D” ile gösterilir ve bazı günler kayıtlarda muntazam değişimler gösterirken bazı günler bozucu etkiler nedeni ile muntazam olmayan değişimler gösterir. Muntazam değişimlerde “S” ile gösterilen günlük güneş değişiminden kaynaklanan ve “L” ile gösterilen S veya D değişimlerine göre genliği çok daha küçük olan ay zamanına bağlı muntazam değişimlerdir. Günlük değişimlerin maksimum genliği 40 gamma mertebesinde olduğu bilinmektedir (Ergin, 1985).

Manyetik fırtınalar: Yıllık ve 11 yıllık değişimlerdir ve genellikle periyodları 10^5 – 10^9 arasındadır. Manyetik fırtınaların ölçümlere etkisi diğer değişimlere göre çok daha büyük olması nedeniyle manyetik fırtınalar sırasında ölçüm alınmaz.

Seküler değişimler: Genliği 25 gamma civarında olan ve uzun bir zaman süresince görülen değişimler seküler değişimler olarak kabul edilir. Manyetik alan bileşeninin eğim ve sapma açısında gözlemlenebilir ve bu değişimlere bakılarak manyetik alanın yılda 0.1 derece kadar batıya kaydığı belirtilmektedir.

4. GEOSOF MODELLEME/DEĞERLENDİRME PROGRAMI

4.1. Giriş

GeoSof programı, gravite, manyetik, sismik, doğal gerilim ve öz direnç yöntemleri uygulanarak toplanmış verileri görsel olarak değerlendirme ve sunma amacı ile Microsoft Visual Studio derleyicisi üzerinde C# programlama dili kullanılarak yazılmış bir modelleme programıdır. Literatürde yer alan diğer modelleme programlarından farklı olarak birçok uygulamalı jeofizik yöntemi için düz çözüm ve kontrollü modelleme yapabilmektedir. Daha sonra ayrıntılı olarak sentetik veri üzerinde de gösterileceği gibi GeoSof programı verilen yeraltı modeline ve bu modele ait jeofizik parametrelere göre sentetik veriyi üretir, sentetik veriye veya gözlemsel elde edilmiş veriyi programa sunarak bu verinin hangi tür olası yeraltı yapısından kaynaklandığını tayin eden, bu yapının kontrollü modelleme yolu ile jeofizik parametrelerine ulaşılan ve grafikleri kaydetme tablo halinde gösterme hata hesaplatma verileri notepad olarak kaydetme gibi sunum ve değerlendirme sürecinde ihtiyaç duyulan uygulamaları kullanıcıya sunan bir görsel programlama tasarımıdır.

Literatürde jeofizik yöntemler için ayrı ayrı kodlanmış Seismic Unix, Madagascar, SEPlib, Free Udoğal gerilim, DDS, CPSeis programları gibi sayısız modelleme programı yer almaktadır. Bu programlardan bazıları GeoSof programında olduğu gibi görsel programlama tercih edilerek C++ veya hesaplamalarda hız ön plana alınarak Matlab görsel arayüzü ile yazılmıştır. Bunlardan öne çıkan 4 modelleme programına örnek verecek olursak; TEM ve IP yöntemleri için C++ dilinde yazılmış modelleme programı TEM-IP (Antonov ve diğ., 2014), IP yöntemi için Matlab'da görsel arayüz kullanılarak tasarlanmış modelleme programı CRDINV, çok alçak frekans elektromanyetik yöntem (VLF-R) için modelleme programı 2LAYINV (Pirttijarvi ve diğ., 2009), Doğal Gerilim yöntemi için modelleme yapan SPInterp (Çağlar, 2000) literatürde kolaylıkla bulabileceğimiz görsel arayüz kullanılarak yazılmış modelleme programlarıdır.

GeoSof modelleme programının akış diagramı Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1'de

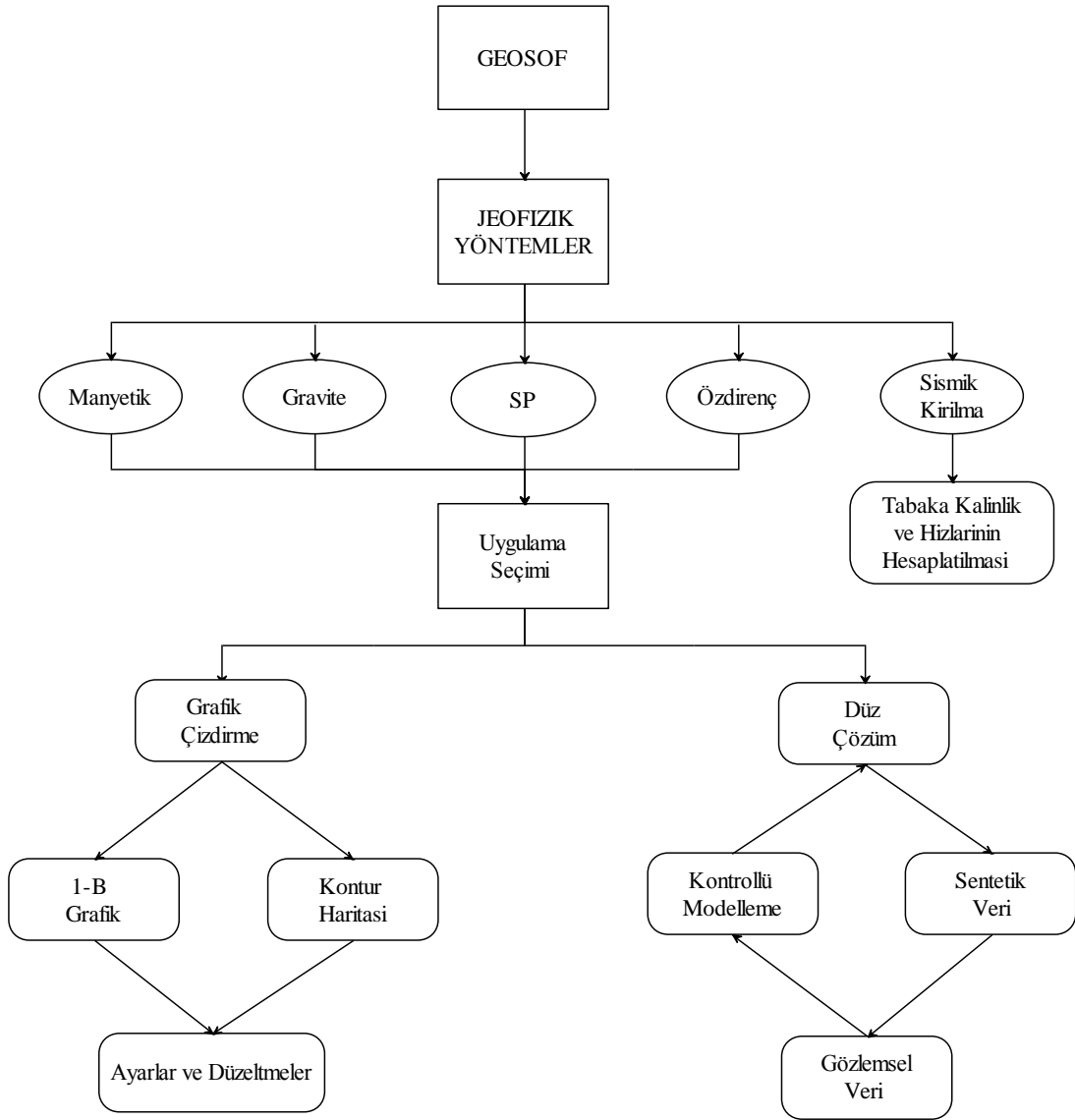
farklı yöntemlere göre 1-2 boyutlu çizim, modelleme ve sentetik veri üretimi diagram üzerinde gösterilmiştir.

Bazı jeofizik yöntemlerde sahada toplanan veri doğrudan çizdirilerek incelenebilir ve ön sunuma hazır hale getirilebilir. Ancak öz direnç yöntemi, gravite gibi yöntemlerde sahada toplanan veriyi sunabilmek için öncelikli olarak bazı düzeltmelerin yapılması gerekmektedir. Öz direnç yönteminde hatalı ölçümlerin veriden ayıklanması dışında düzeltme uygulanmaz. Dizilim tekniğine göre akım, gerilim ve elektrod aralığı bilgilerine göre görünür öz direnç değerleri hesaplanır. Ölçümler sırasında kaydedilen akım, elektrod aralıkları ve okunan gerilim değerleri tabloya girilir. Bu adımdan sonra veriler aşağıda ayrıntılı olarak ifade edilecek olan belirli dosya formatlarında programa verilir ve görünür öz direnç eğrisi çizdirilir.

Gravite yöntemi için düzeltme daha farklıdır. Gravite yönteminde bilindiği gibi toplanan verinin mGal cinsinden yerçekimi ivme farkı değerleri olmasına rağmen daha çok çevresel etkenlerden dolayı yükseklik düzeltmesi, drift düzeltmesi, enlem düzeltmesi, serbest hava indirgemesi, bouguer indirgemesi gibi düzeltmeler uygulanması gerekmektedir (Sanver ve İşseven, 2007). Bu düzeltmelerin yapılabilmesi için indirgeme enlemi, arazi enlemi, varsayılan tabaka yoğunluğu gibi değerler girildiğinde topoğrafya düzeltmesi yapılan veriye program gerekli tüm düzeltmeleri yaparak ekrana doğrultu ve ölçüm zamanına bağlı grafiğin çıktısını vermektedir. Diğer yöntemler için de benzer şekilde veri girişi ve grafik çizimi yapılabilmektedir.

GeoSof modelleme programı daha sonra ayrıntılı olarak anlatılacağı gibi, temel olarak 3 uygulamayı mümkün kılmaktadır (Şekil 4.1). Öncelikle her yöntem için 1-B ve 2-B grafik çizdirmektedir. İkinci olarak seçilen yönteme ve kullanıcının belirttiği yeraltı model parametrelerine göre 1-B anomali çizdirmektedir. Son olarak, *Kontrollü modelleme* olarak ifade edilen uygulama ile kullanıcı interaktif olarak yeraltı parametrelerine ait değerleri bar çubuklarını sağa sola hareket ettirme suretiyle değiştirerek, gözlemsel ve kuramsal veriyi karşılaştırmaktadır. Bu uygulama ile kestirilen yeraltı modeline ait parametreler düz çözüm teorisi ile bir bakıma ters çözüm uygulaması yapmaktadır (Şekil 4.1).

Yöntemler ayrı ayrı GeoSof modelleme programında istenilen eğrinin çizdirilmesi bazında incelenecek ve sentetik veri örnekleri ile aşağıda analiz edilecektir.



Şekil 4.1: GEOSOF Modelleme Programı akış diagramı.

4.2. Dosya Çağırma, Düzeltmelerin Yaptırılması ve Grafik Çizdirme

GeoSof programı, uygulanmak istenilen yöntemin butonuna tıklama sureti ile çalışır (Şekil 4.2). Programda temel olarak tüm yöntemlerde grafiği çizdirme ve düzeltmeleri yapılacak yöntem ve verilere düzeltmelerin yaptırılması benzer metod ve uygulamalarla gerçekleştirilmektedir. Bunlara, her yöntem için programın kullanılmasını aşağıdaki başlıklarda açıklarken ayrıntılı olarak değinilecektir.

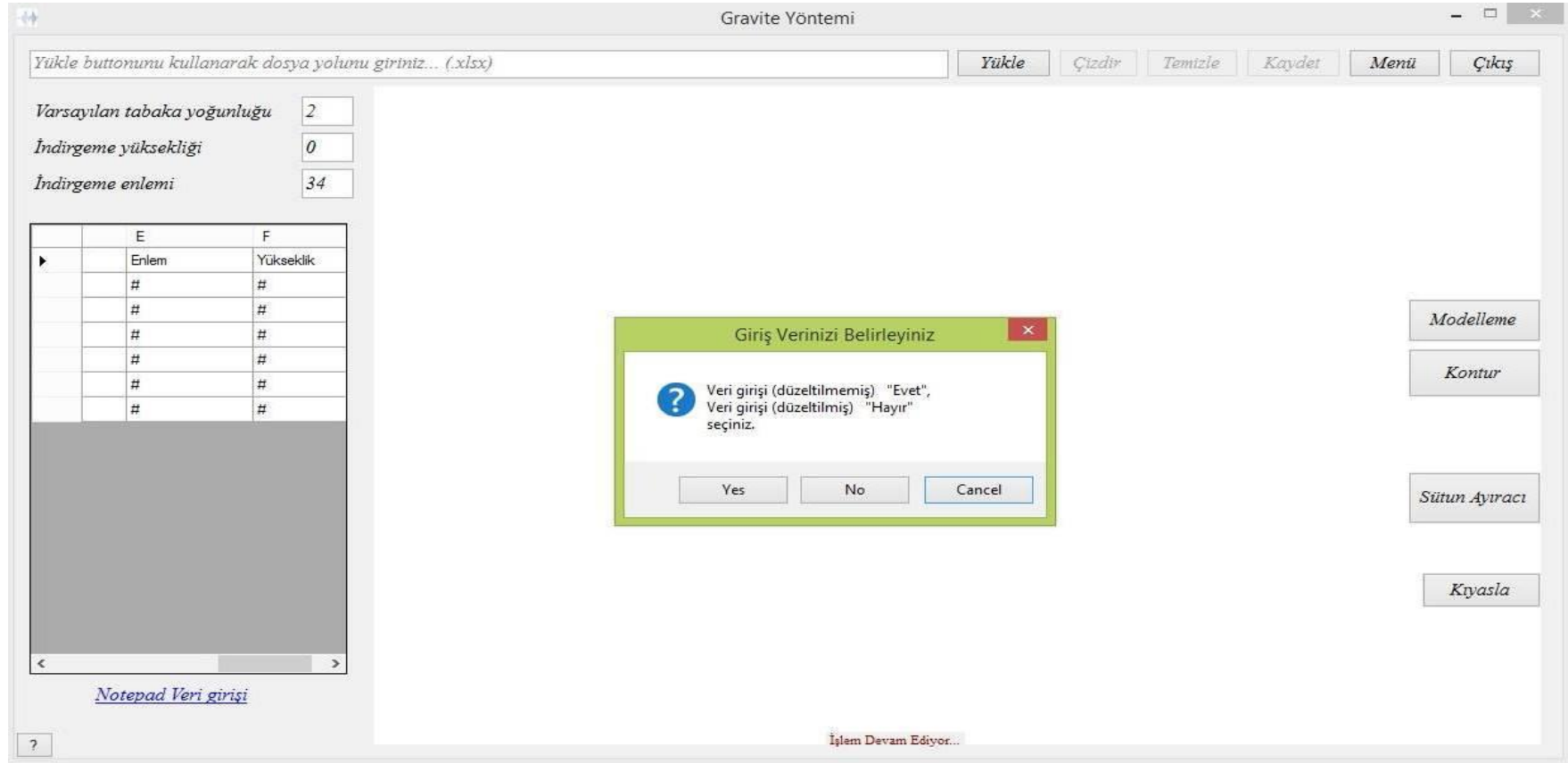


Şekil 4.2: Ana Menü ekranı.

4.2.1. Gravite yöntemi düzeltmeler ve anomali çizdirme

Gravite yönteminde ölçüm karnesinde okunan ivme değeri, doğrultu, okuma zamanı, drift değeri, baz okuması, enlem, deniz seviyesine göre yükseklik değerleri yer alır. Programa düzeltmeleri yapılmamış veri girişi için bu değerlerin yer aldığı tablo excel (.xls) veya notepad (.dat, .txt) formatları ile hazırlanır. Okuma zamanı ve doğrultu değerleri yatay eksen için, diğer değerler ise düzeltmelerin yapılması amacıyla gereklidir. Bu parametrelerden Şekil 4.3’de de görüleceği gibi indirgeme yüksekliği deniz seviyesi ise 0, farklı bir yükseklik ise o yükseklik değeri verilecek şekilde ilgili kutucuğa yazılır. Yükseklik ve Serbest hava düzeltmesinin yapılması için varsayılan tabaka yoğunluğu gr/cm^3 mertebesinde ikinci kutucuğa girilir. Aynı şekilde enlem düzeltmesinin de yapılması için son olarak üçüncü kutucuğa indirgemenin yapılmasının istenildiği indirgeme enlemi girilir. Bu değerler her ölçüm noktası için standart değerler olduğu için tekrar programa girilecek tabloda yer almasına gerek kalmaz. Bu kutucuklar boş bırakıldığında program uyarı verir ve düzeltmelerin eksik parametreler nedeni ile yapılamadığını kullanıcıya belirtir.

Bu üç standart değer girilmesinin ardından data tablosu Microsoft Excel programı ile girilecekse ilk satıra ait sütunlar soldan sağa doğru düzeltme değerlerinin girildiği bölümün altında ifade edildiği gibi büyük küçük harf uyumlu yazılır ve ikinci satırdan itibaren tabloya ilk satırda ifade edilen parametrelerin değerleri girilir. Excel formatını görmek için ekran üzerinde link satırı olarak görülen “Excel formatı” linkine tıklanır. Şekil 4.3’de görülen açıklama satırları kaybolarak onun yerine Excel tablosu gelir ve örnek bir tablo sistem tarafından oluşturulup gösterilir.



Şekil 4.3: Gravite Yöntemi için veri girişi.

Microsoft Excel programının her işletim sisteminde kayıtlı olmadığı durumların mümkün olması nedeni ile data girişi notepad dosyası olarak .dat, .txt veya benzeri formatlarda sisteme girilebilir. GeoSof Şekil 4.3'deki ekran görüntüsünde görülen sol alt bölümde “Notepad Veri Girişi” linkine tıklanıldığında notepad dosyanızın açılan dosya diyalogu aracılığıyla bilgisayarınızdaki lokasyonunu seçmenizi ister. Girilen notepad dosyasının data formatı ilk satırlarında karakter yerine doğrudan veri başlayacak ve her sütun (veri) arasında bir tab boşluk olacak şekilde hazırlanır. Sistem sırasıyla düzeltmeleri aşağıdaki matematiksel denklemleri kullanıcın tabloya girdiği verileri ve kutucuklara girilen 3 düzeltme değerini kullanarak uygulamaktadır.

a. Enlem indirgemesi:

Çalışmanın yapıldığı arazinin enlem değerine göre denklem 4.1 ve denklem 4.2'de verilen katsayı hesaplanır ve indirgeme enlemi güney yarım kürede ise bu sabit çıkartılır, kuzey yarım kürede ise eklenir.

$$\delta_E(i) = 0.812 \sin 2\phi \tag{4.1}$$

$$g_{\ddot{o}}(\phi_i) \pm \delta_E(i) \tag{4.2}$$

Burada ϕ enlem değerini $g_{\ddot{o}}$ ölçülen ivme değerini belirtmektedir.

b. Yükseklik düzeltmesi:

Yükseklik düzeltmesi serbest hava düzeltmesi ve Bouguer düzeltmesinin birlikte değerlendirildiği düzeltmedir. Ölçümlere daima negatif etki eden serbest hava etkisinin değerlere eklenmesi ve daima pozitif etki eden ρ yoğunluklu plaka etkisinin çıkarılması yükseklik düzeltmesi olarak ifade edilir (Oruç, 2013).

Serbest hava etkisi yüksekliğe (h) bağlı olarak;

$$g_s = -0.30804h \tag{4.3}$$

ve plaka etkisi ρ yoğunluklu, h kalınlıklı plaka için;

$$g_p = 0.0419\rho h \tag{4.4}$$

Bağıntıları kullanılmaktadır. Bu bağıntılar dikkate alınarak yükseklik düzeltmesi;

$$g_y = g_s - g_p \tag{4.5}$$

$$g_y = (0.3086 - 0.0419\rho)h \quad (4.6)$$

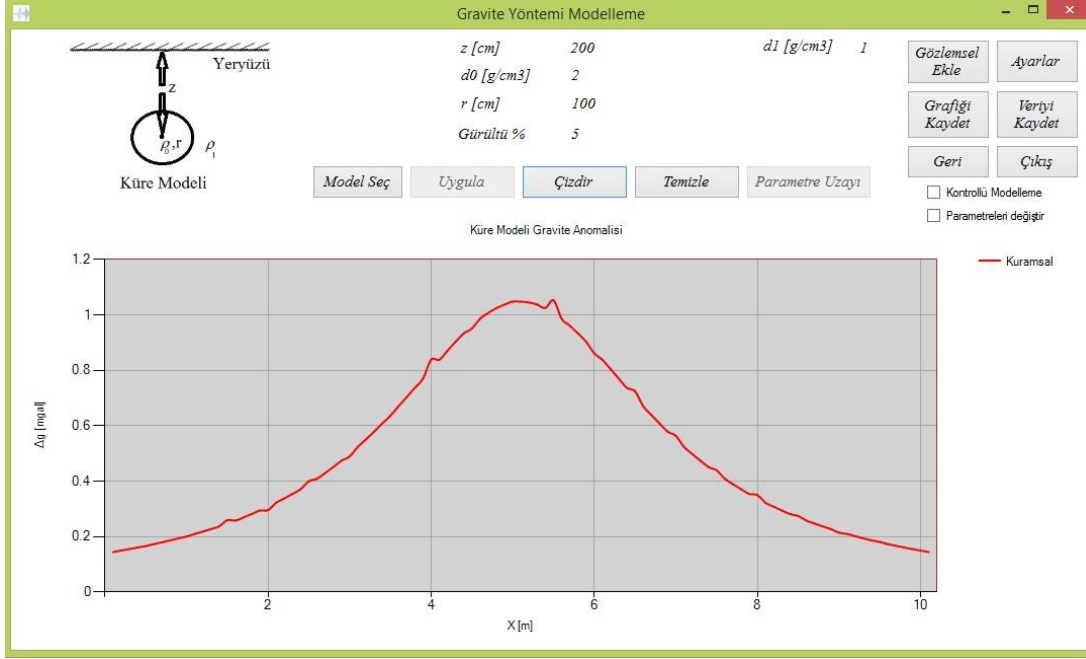
c. Drift düzeltmesi:

Drift düzeltmesi ölçüm sırasında kaydedilen drift değerlerinin ölçülen değerlerden çıkarılması işlemidir. Tabloda yer alan drift değerlerini program dosyanın seçilmesinin ardından otomatik olarak yapmaktadır.

Düzeltilmelerin kullanıcı tarafından yapıldığı durumlarda programa doğrudan düzeltmeleri yapılmış verinin doğrultu değerleri ile girilebilmesi için sistem kullanıcıdan “Notepad Veri Girişi” linkine tıklanıldığında Şekil 4.3’de görüldüğü gibi düzeltmeleri yapılmış veya yapılmamış veri girişi için onay almaktadır. Onayın ardından girilen veri tablosu üzerinde sistem yukarıdaki düzeltmeleri yaptıktan sonra veya düzeltmeleri yapılmış veriyi okuduktan sonra Şekil 4.4’de görülen çizdir butonuna tıklanmasıyla grafik çizdirilir.

Grafiğin çizdirilmesinin ardından aktif olan diğer butonlar Ayarlar, Temizle ve Kaydet’tir. Ayarlar butonuna tıklanmasını takiben açılan yeni pencerede 3 tab olarak kullanıcıya sunulan eksen ve çizim ayarları kutucukları yer alır. Bu kutucukların kullanıcının tercih edeceği şekilde doldurulmasının ardından sistem otomatik olarak yeni ayarları kaydeder ve bu ayarlara göre son işlemleri tekrar ederek çizimi yeniler. Temizle butonu ise çizdirilen grafiği herhangi bir amaç için silmek, kaldırmak için kullanılır. Kaydet butonu bazı formlarda grafiği kaydet ve veriyi kaydet olarak kullanıcının karşısına çıkacaktır. Ancak burada model veri üretilmediği için kaydet butonu grafiğin “jpeg” veya “jpg” olarak kaydedilmesi için kullanılır. Bu butona tıklanmasının ardından açılan dosya diyalogu ile kaydedilecek lokasyon bilgisayar dosyaları içerisinde seçilir ve dosya adı verilerek “tamam” onayı verilir.

Bu formdan önceki formlara (ana menü) dönmek için menü butonu, gravite yöntem için modelleme yapan yeni formu açacak olan “modelleme” butonu, farklı yöntemlerde çizdirilecek farklı grafikleri aynı ekran üzerinde mukayese edebilmemiz için mevcut pencereyi kapatmadan yeni menü açan ve yeni yöntemin seçilmesi için kullanıcıdan onay isteyen pencerenin açılması için “Kıyasla” butonu kullanılabilir. Kıyasla butonuna tıklanmasının ardından ekrana gelecek menüde seçilen her yöntem için yeni bir “kıyaslamayı kapat” butonu görülecektir. Yeni formu kapatarak tek formda çalışmayı sürdürebilmek için bu buton kullanılabilir.



Şekil 4.4: Gravite Yöntemi için kuramsal veri örneği.

4.2.2. Elektrik yöntem için grafik çizdirme:

Bu başlık altında doğal gerilim ve öz direnç yöntem için grafik çizdirme formlarını ayrı ayrı inceleyeceğiz.

4.2.2.1. Doğal gerilim yöntemi

Doğal gerilim yöntemi için fizik esasları yukarıdaki bölümlerde verilmiştir. Doğal gerilim yönteminde baz noktalarında okunan değerler arasındaki fark nokta sayısına bölünerek ölçüm değerlerine eklenir veya değerlerinden çıkarılır. Elektrod-toprak bağlantısındaki kopukluk veya kablo bağlantılarından kaynaklanan sorunlar hatalı değer okunmasına neden olabilir. Bu değerlerin çıkarılması ve baz düzeltmesinin yapılması dışında doğal gerilim yöntemi için başka bir düzeltme uygulanmaz.

Baz noktaları arazi şartlarına göre değiştiği için kullanıcının bu düzeltmeyi yaparak oluşturduğu excel veya notepad dosyasını gravite yöntemi için tasarlanmış formda olduğu gibi sisteme girmesi gerekmektedir. İlk formda verilen bilgi okunarak veya excel formatını görmek için hazırlanmış linke tıklanarak incelenebilen formatta tablo oluşturulur. Bu format excel dosyası için ilk satırlar sırasıyla soldan sağa “x” ve “sp” karakterleri olmak üzere, takip eden satırlara bu parametrelere ait veriler girilerek tablo oluşturulur. Gravite yöntemde olduğu gibi notepad formatı için bu karakterler

yazılmadan doğrudan aynı formatta ilk satırdan itibaren veri girişi iki sütun arasında bir tab boşluk bırakmak sureti ile oluşturulur.

Veri dosyası sisteme açılan dosya diyalogu aracılığıyla girildikten sonra tablo Şekil 4.5’de görülen ekranın sol bölümünde kullanıcıya gösterilir. Bu tablonun ekrana yansımalarının iki noktada önemi vardır.

Öncelikle çizdirilen eğri kontrol edilerek hatalı verilerin kullanıcı tarafından kaldırılabilmesi veya tablo üzerinde düzeltilebilmesi mümkündür. Aynı zamanda tablo üzerinde değerlerin kullanıcı tarafından değiştirilebilmesi, veri dosyasında değişiklik yaparak tekrar dosyayı yükleme sürecine ihtiyaç olmadığı için gereksiz zaman kaybına neden olmaz. Bu noktada programın pratikliği ön plana çıkmaktadır.

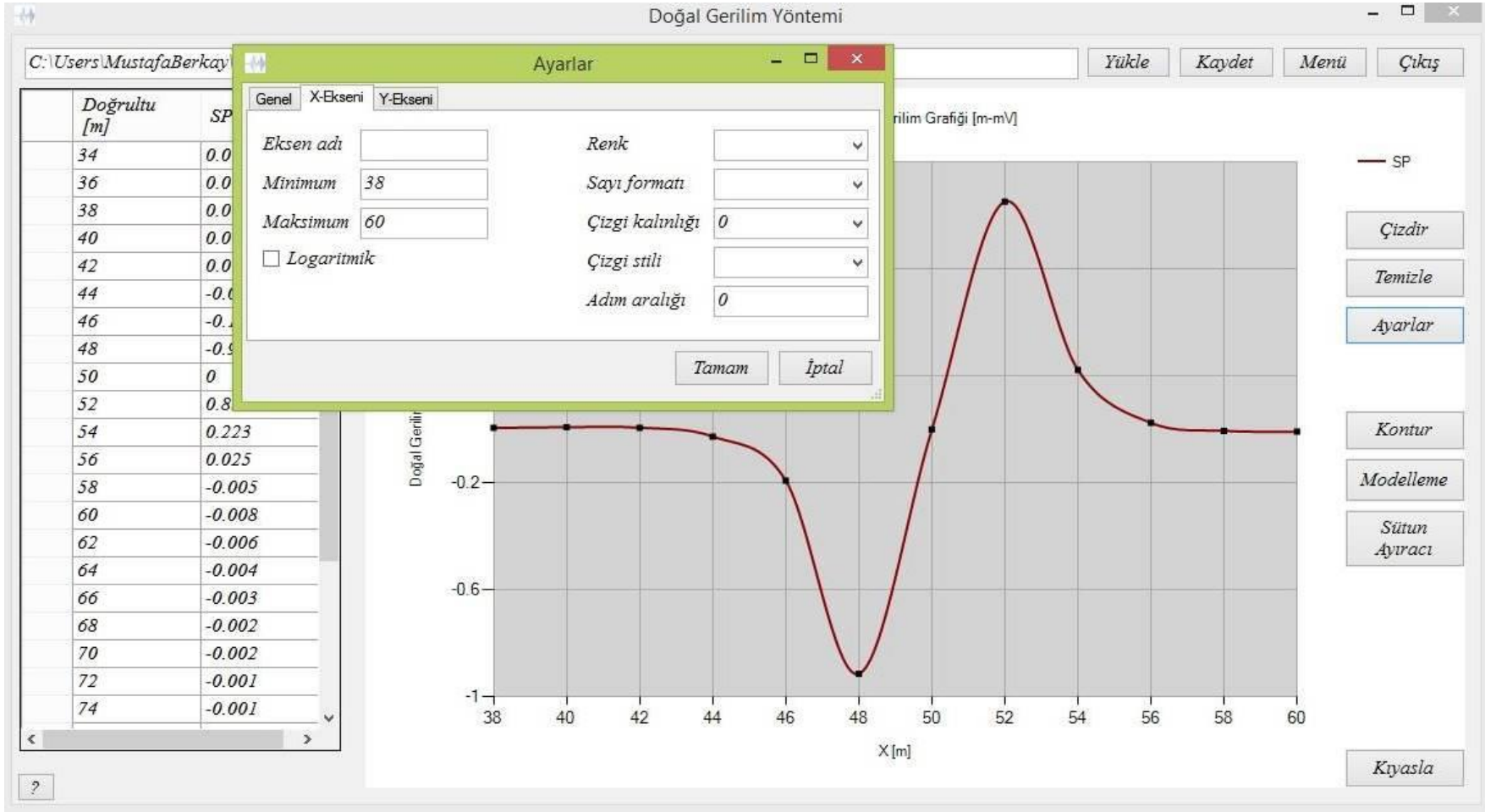
Öncelikle girilen tablonun içeriği görülerek hatalı tablo veya hatalı format ile hazırlanmış değerler düzeltilebilir. Diğer önemi ise kullanıcının aktif olarak değerleri değiştirerek grafiği güncellemesi ve farklı değerlerle oluşturulan eğrileri inceleyebilmesidir. Bu yöntem daha çok modelleme formunda uygulanılacak olmasına rağmen bu formda da uygulanılabilmektedir. Hatalı olduğu tahmin edilen ölçümler çıkartılabilir veya Şekil 4.5’de görüldüğü gibi çizdir butonuna tıklanıldığında bu değerler çizdirilebilir.

Gravite yönteminde ayrıntılı açıklanan ayarlar butonu ile arka fon rengi dahil tüm grafik düzenlemeleri yapılabilir ve tamam onayı ile interaktif olarak grafikte güncelleme sağlanabilir.

Şekil 4.5’de kullanılan veri daha sonra açıklanacak olan modelleme ile üretilmiş sentetik veri örneğidir.

4.2.2.2. Özdirenç yöntemi grafik çizdirme

Gravite ve doğal gerilim yönteminde olduğu gibi menüde “Özdirenç Yöntemi” butonuna tıklanıldığında ekrana benzer bir form gelecektir. Özdirenç yöntemi için ekranda ilgili alanda yazılı olan format bilgisi esas alınarak hazırlanan notepad veya excel dosyası sisteme girilmeden önce veya girildikten sonra ölçümlerin yapıldığı dizilim Şekil 4.6’da görüldüğü gibi seçilir. Dizilimin seçildiği açılır kutucuğun üst bölümüne yerleştirilen alanda kullanıcıya gösterilen dizilimin formatına uygun olarak “a” mesafesi ve gerekli ise “n” katsayısı alınan ölçümlere bağlı olarak tabloya girilir. Düşey elektrik sondaj uygulaması için örnek veri Şekil 4.6’da çizdirilmiştir.



Şekil 4.5: Doğal Gerilim Yöntemi kuramsal veri örneği ve ayarlar menüsü.

Özdirenç yöntemde hem açılım hem kaydırma metodunun uygulanmış olması durumu için kesit oluşturulmasını mümkün kılan forma “Kesit” butonu aracılığıyla geçiş yapılır.

Şekil 4.7’de gösterildiği gibi dizilim seçilerek ve verinin yer aldığı notepad dosyası sistemden çekilerek derinliğe bağlı özdirenç kesiti çizdirilebilir.

Dizilimlere göre farklı K katsayıları literatürde yer almaktadır. Bu K katsayıları denklem 4.7 kullanılarak akım ve potansiyel değerlerine uygulanarak nokta bazında özdirenç değeri elde edilir (Ergin, 1985).

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (4.7)$$

Burada, ρ_a görünür özdirenç, ΔV potansiyel ve I akımı ifade etmektedir.

Elektrik kaydırma ve düşey elektrik sondajı çalışmaları için en çok tercih edilen iki dizilim Schlumberger ve Wenner dizilimleridir (Şekil 4.6, Şekil 4.9). Bu dizilimler için hesaplanan K katsayılarını kısaca inceleyecek olursak;

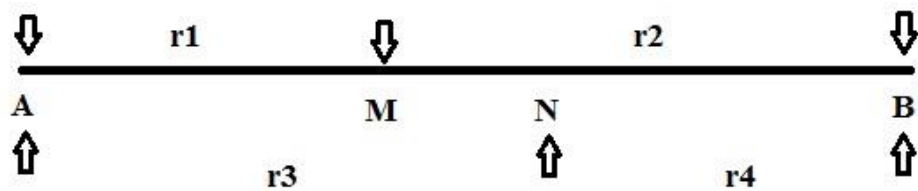
a. Schlumberger:

Elektrodlar arası uzaklığa bağlı olarak K katsayısına,

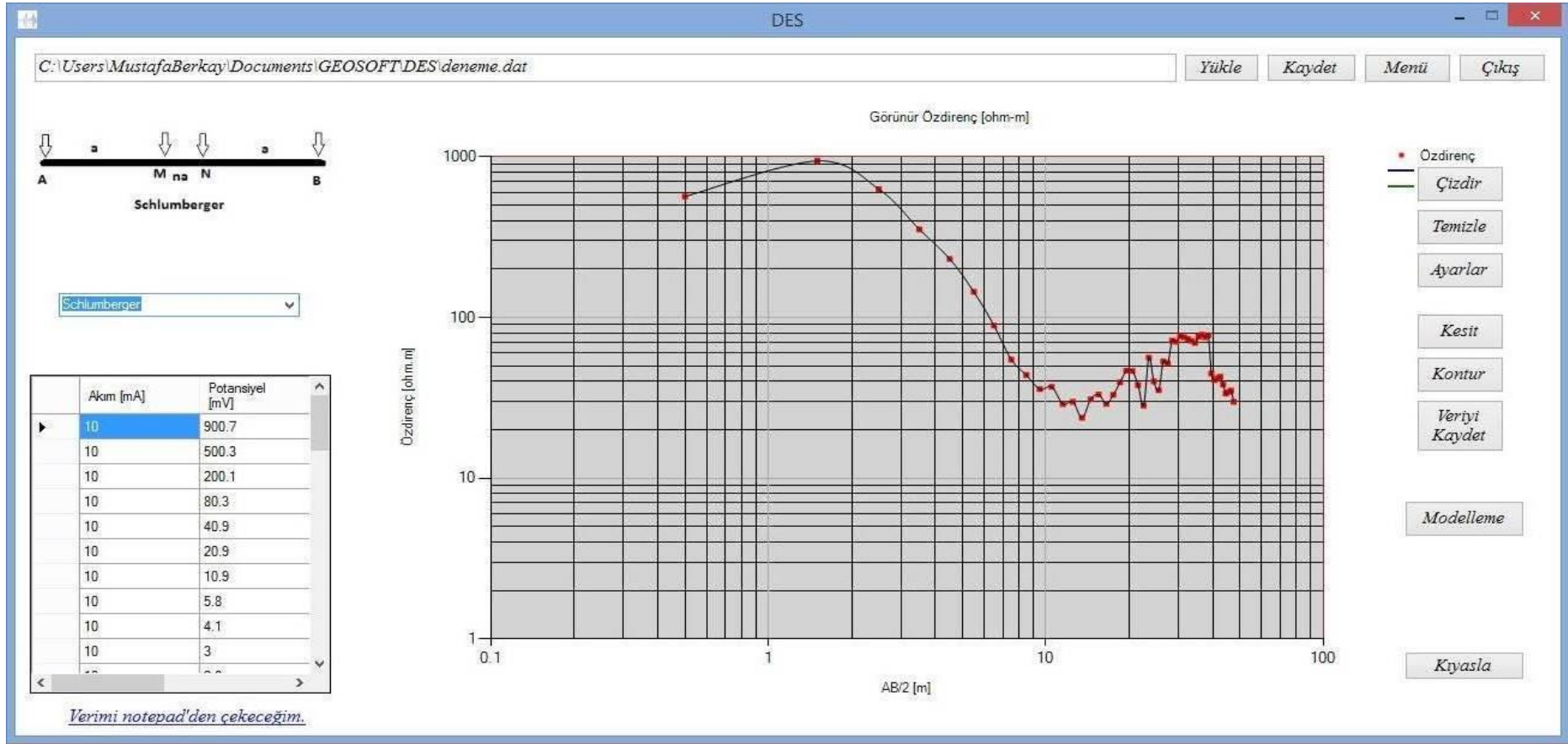
$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad (4.8)$$

Denklemleri ile ulaşılmaktadır.

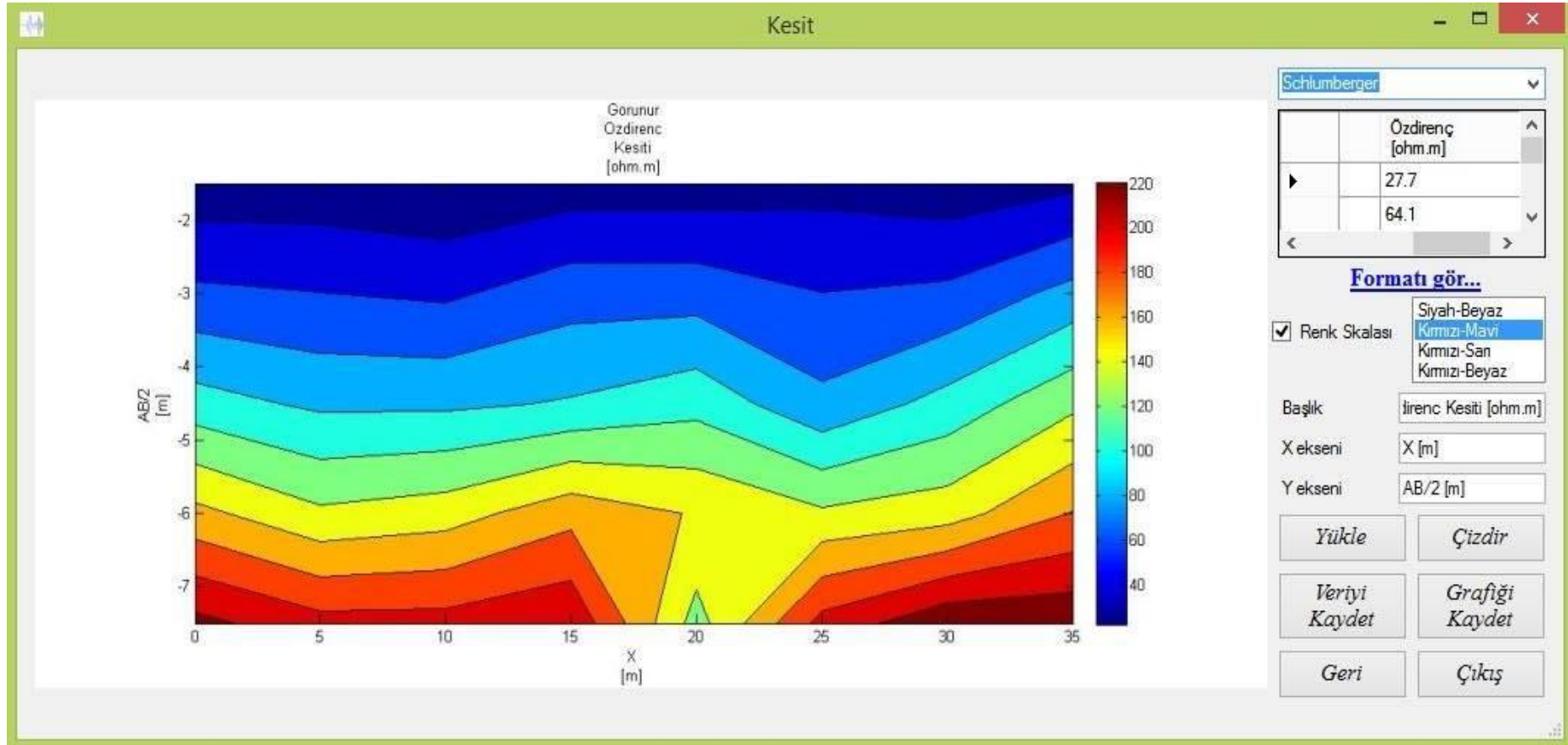
Denklem 4.8’de, K yukarıda ifade edilen katsayı, r_1 A akım elektrodu ile M gerilim elektrodu arasındaki uzaklık, r_2 B akım elektrodu ile N gerilim elektrodu arasındaki uzaklık, r_3 A akım elektrodu ile N gerilim elektrodu arasındaki uzaklığı ve r_4 B akım elektrodu ile N gerilim elektrodu arasındaki uzaklığı ifade etmektedir (Ergin, 1985).



Şekil 4.6: Schlumberger dizilimi.



Şekil 4.7: Elektrik delgi tekniği ile görünür öz dirençleri hesaplama.



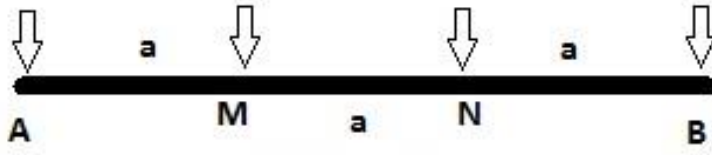
Şekil 4.8: Özdirenc Yöntemi için kesit çizdirme.

b. Wenner:

Wenner dizilimi için K katsayısını denklem 4.8'i kullanarak elde edecek olursak,

$$K = 2\pi a \quad (4.9)$$

denklemine ulaşırız. Denklem 4.9'da, K yukarıda ifade edilen katsayı, a ise elektrodlar arası sabit mesafeyi ifade etmektedir. Şekil 4.9'da a uzaklığına göre r_1 , r_2 , r_3 ve r_4 değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerler denklem 4.8'de kullanılırsa denklem 4.9 elde edilir (Ergin, 1985).



Şekil 4.9: Wenner dizilimi.

Wenner Beta, Wenner Gama, wenner-schlumberger ve dipol-dipol gibi diğer dizilimler için katsayılar ve şekiller programda kullanıcıya gösterilmektedir.

Özdirenç yönteminde sonuca yönelik hedeflenen, kuramsal eğrinin hesaplatılıp yeraltı tabakalarının özdirenç ile kalınlıklarını kestirmek ve buna bağlı çalışmanın amacına göre bir veya iki boyutlu grafikler, kesitler çizdirmektir. Diğer jeofizik yöntemlerde olduğu gibi özdirenç yönteminde de yerine gönderilen akıma yerin verdiği cevap ile yeraltı yapısı kestirilmeye çalışılır. Kuramsal olarak, yerine gönderilen sinyal “girdi”, yerin bu sinyale verdiği tepki “dizge” ve yeryüzüne ulaştırdığı fonksiyon “çıkıtı” olarak ifade edilir (Oruç, 2012). Sayısız ölçüm ve değerlendirmeler sonucu yere gönderilen sinyale karşı yerin, yeraltı yapısına bağlı olarak, doğrusal bir filtre gibi davrandığı görülmüştür. Bu nedenle girdi ile çıkıtı arasında yerin bir filtre “dizge” görevi gördüğü anlaşılmıştır. Tabaka kalınlık ve özdirençlerinin kestirilmesi filtre katsayılarının bilinmesi ile doğrudan bağlantılıdır. Schlumberger dizilimi ile elde edilen görünür özdirenç eğrileri bu filtre katsayılarının bulunması amacıyla saydam logaritmik kağıtlarla yardımcı abaklar üzerinde karşılaştırma yolu ile incelenmiş ve filtre katsayıları hesaplanmıştır (Guptasarma, 1982). Filtre katsayıları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Filtre katsayıları yöntemi ile tabaka sayısında bir limit olmaksızın kuramsal eğriler

hesaplanılabilmekte ve tabaka özdirençleri ile kalınlıkları kestirilebilmektedir.

Çizelge 4.1: Özdirenç yöntemi kuramsal eğrileri için filtre katsayıları (Guptasarma, 1982).

α_r	ϕ_r
-0.17445	0.1732
0.09672	0.2945
0.36789	2.1470
0.63906	-2.1733
0.91023	0.6646
1.18143	-0.1215
1.45257	0.0155

Özdirenç ve kalınlık parametrelerinin bilindiği yeraltı modeline ait kuramsal özdirenç eğrisi düşey tabaka modelleri için,

$$\rho_a(L) = \sum_{r=1}^7 \phi_r T(\lambda_r) \quad (4.10)$$

formülü kullanılarak hesaplanır (Oruç, 2012). Burada, $T(\lambda_r)$ dönüşük özdirenci ve ϕ_r çizelge 4.1'de verilen filtre katsayılarını sembolize etmektedir. λ_r katsayıları her süzgeç katsayısı için;

$$\lambda_r = 10^{(a_r - \log_{10} L)} \quad (4.11)$$

ile elde edilir. Burada, L değişkeni AB/2 uzaklığını, a_r çizelge 4.1'de verilen katsayılarıdır. Birinci dönüşük özdirenç fonksiyonu için;

$$T_1(\lambda_r) = \frac{W_1(\lambda_r) + T_2(\lambda_r)}{1 + \frac{W_1(\lambda_r) + T_2(\lambda_r)}{\rho_1^2}} \quad (4.12)$$

denklemini kullanılır ve buradaki $W_1(\lambda_r)$ değerleri;

$$W_1(\lambda_r) = \rho_1 \frac{1 - u_1}{1 + u_1} \quad (4.13)$$

ile elde edilir. u_1 katsayısına ise,

$$u_1 = e^{-2h_1\lambda_r} \quad (4.14)$$

denklemleri ile ulaşılır. Yukarıdaki denklem takımları kullanılarak denklem 4.10'da geçen terimler elde edilir. İlgili terimler denklem 4.10'da kullanılarak birinci tabakaya ait kuramsal öz direnç değeri hesaplanır. Denklem 4.12, denklem 4.13 ve denklem 4.14'te birinci tabaka (yer yüzüne en yakın tabaka) için terimlerde "1" rakamı kullanılmıştır. Benzer şekilde n sayıda tabaka modeli için denklemler ilgili katsayılar kullanılarak hesaplanır.

En alt tabakanın kalınlığı kuramsal olarak sonsuz kabul edildiği için aynı denklemler kullanılamaz. Kalınlığı sonsuz kabul edilen n'inci tabaka için $T_{n-1}(\lambda_r)$ değeri, k_{n-1} ve u_{n-1} katsayıları Denklem 4.15, Denklem 4.16 ve Denklem 4.17'de verilen,

$$T_{n-1}(\lambda_r) = \rho_{n-1} \frac{1 - k_{n-1}u_{n-1}}{1 + k_{n-1}u_{n-1}} \quad (4.15)$$

$$k_{n-1} = \frac{\rho_{n-1} - \rho_n}{\rho_{n-1} + \rho_n} \quad (4.16)$$

$$u_{n-1} = e^{-2h_{n-1}\lambda_r} \quad (4.17)$$

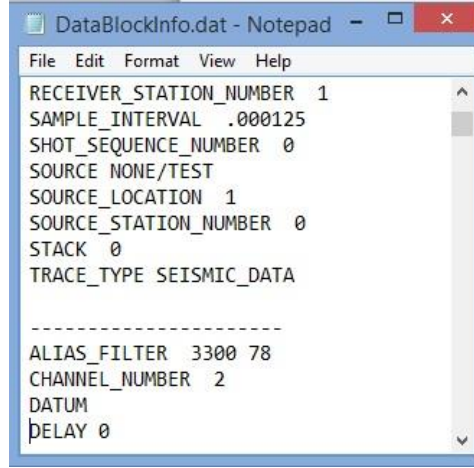
Denklem takımları kullanılarak hesaplanır (Oruç, 2012).

4.2.3. Sismik kırılma

Sismik yöntem genel hatları ile yukarıda anlatıldığı gibi sismik kırılma ve yansıma olarak iki ayrı uygulamaya sahiptir. Sismik yansıma için literatürde güvenilir kaynak ve şirketlere ait yazılımlar yer almaktadır. GeoSof programı kapsamı içerisinde sismik kırılma yer almaktadır. Sismik kırılma yöntemi için menüden sismik yöntemi seçmek ve ardından kırılma butonunu seçmek gerekmektedir. Açılan formda kullanıcıya diğer yöntemlerde de olduğu gibi veri girişi yapması için yükle butonu aktif edilmiştir. Yükle butonu kullanılarak seçilen seg2 formatlı dosya sistem tarafından okunarak seg2 dosya formatında byte'lar içerisinde kayıtlı çalışma zamanı, çalışmayı yapan kişi gibi arazide kaydedilmiş notlar yer almaktadır (Pullan, 1990).

Sismik kayda ait atış aralığı alıcı aralığı veri örnekleme aralığı benzeri kırılma yöntemini uygulamak için mecburi olarak girilen bilgiler belgelerim klasörü

içerisinde sistem tarafından programın çalıştırılması ile otomatik olarak oluşturulmuş olan GEOSOF/Sismik klasörü içerisine notepad formatında aktarılır. Aktarılan dosyalar DataBlock.dat ve DataBlockInfo.dat dosyalarıdır. Tüm trace'lere ait bilgilerin kaydedildiği DataBlockInfo.dat dosyası içeriği Şekil 4.10'da verilmiştir.



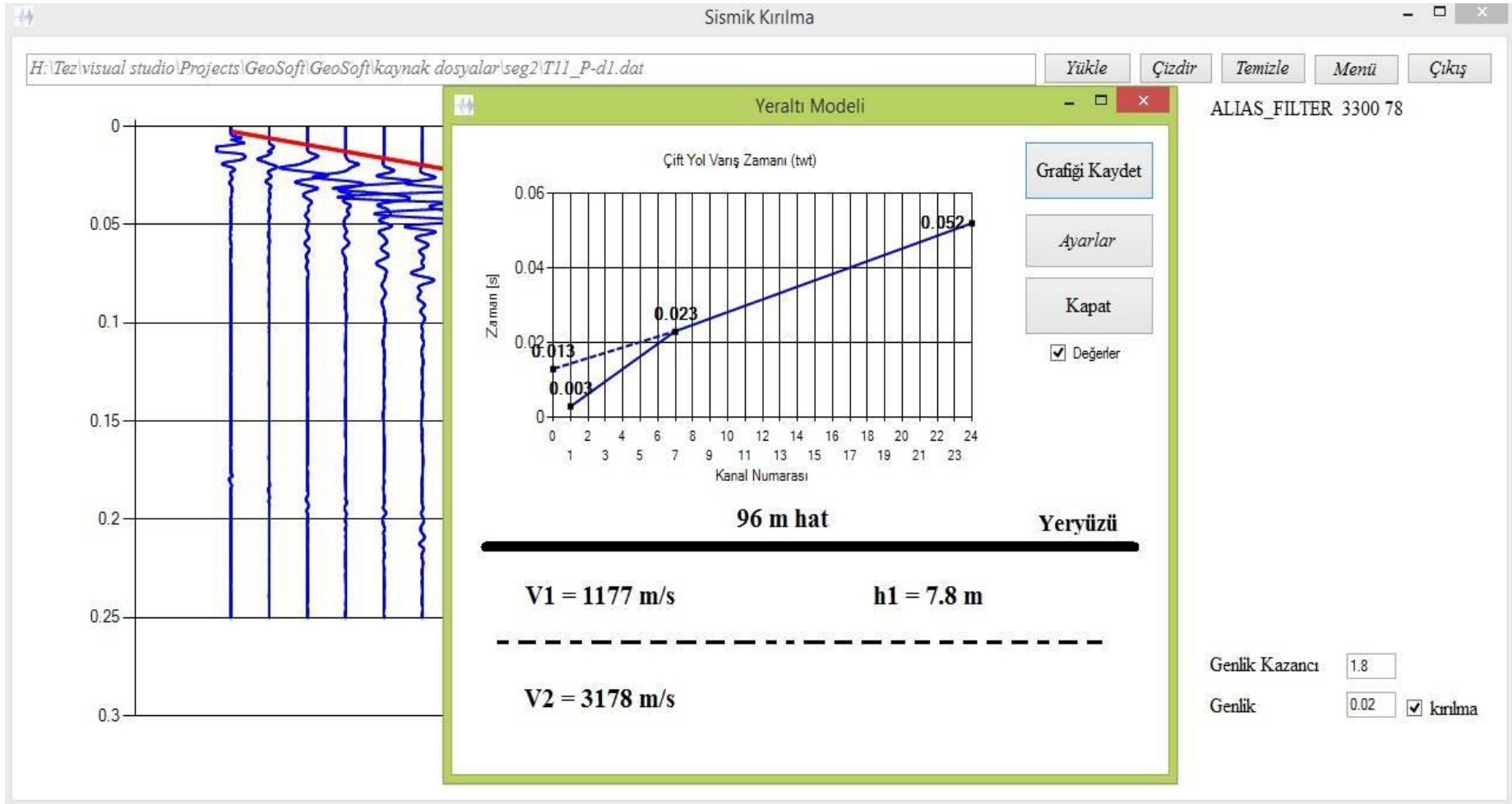
```
DataBlockInfo.dat - Notepad
File Edit Format View Help
RECEIVER_STATION_NUMBER 1
SAMPLE_INTERVAL .000125
SHOT_SEQUENCE_NUMBER 0
SOURCE NONE/TEST
SOURCE_LOCATION 1
SOURCE_STATION_NUMBER 0
STACK 0
TRACE_TYPE SEISMIC_DATA

-----
ALIAS_FILTER 3300 78
CHANNEL_NUMBER 2
DATUM
DELAY 0
```

Şekil 4.10: Kanal bilgilerinin program tarafından otomatik kaydedildiği notepad dosyası.

Kanalların çizdirilmesi için gerekli kayıtlar oluşturulduktan sonra “Çizdir” butonunun aktif olmasıyla sismik kesit çizdirilebilir. Kanal sayısı, hat uzunluğu ve jeoloji gibi parametrelere bağlı olarak hat üzerindeki alıcılarda genlik kaybı olur. Benzer şekilde ilk jeofonda sismik dalganın genliği çok büyük olabilir. Şekil 4.11’de görülebileceği gibi kullanıcıya iki kutucuk aracılığıyla genlikleri tüm kanallar için sabit olarak ve kanalların kaynağa uzaklığına bağlı olarak kullanıcının gireceği katsayıya oranla arttırılıp azaltılması yetkisi verilmektedir. Bu sayede uzak ve yakın jeofonlar arasında sismik dalgaların genlikleri yakın büyüklüklere doğru katsayılar kullanılarak getirilebilir.

Bu düzenlemeler ve düzeltmeler yapıldıktan sonra ekranın sağ alt bölümündeki kırılma kutucuğuna tik atılarak kırılma yöntemi uygulanabilir. Tik atıldıktan sonra ekranın altına kullanıcıyı yönlendirecek bilgiler gelir. Bu bilgileri takiben sismik kırılma uygulanabilir. Tik atılmasının ardından kullanıcıdan sismik kaydı sisteme lokasyon olarak tanımlatabilmesi üç referans noktası girmesini ister. Bu noktalar farenin sol tuşuna doğru referans noktalarında tıklama yaparak girilir. İlk referans noktasının kaynağa yakın kanalın “0” zamanının noktası yani kanalın başladığı noktadır. İkinci nokta en uzak kanalın “0” zaman noktası ve son referans



Şekil 4.11: Sismik Kırılma yöntemi için çizdirilen ve kırılma noktası işaretlenen kanalların incelendiği ekran görüntüsü.

noktası ise yakın kanalın son noktası olmalıdır. Bu referans noktaları zaman alt ve üst limitleri ile ekrana yansıyan sismik dalgalara yönelik ayarlar yapıldıktan sonra yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde referans noktaları için fareden okunan koordinatlar farklı veri değerleri ile eşleşecektir. 3 referans noktası belirlendikten sonra kırılmanın kullanıcı tarafından sisteme gösterilmesi istenir. Bu işlem 3 yeni nokta daha tayin ederek mümkün olur. Bu kısım diğer sismik kırılma yöntemlerinde uygulanan prosedürdür. İlk nokta ilk dalğanın ilk pozitif polaritesinin görüldüğü nokta olmalıdır. İkinci nokta belirlenirken kullanıcıya noktaları belirlemede yardımcı olacak olan kanalların ilk pozitif polaritelerinin üzerinde fare hareketine göre kırmızı çizgi oluşur ve bu çizgi ikinci nokta belirlendiğinde sabitlenir (Şekil 4.11). Üçüncü noktayı belirlemek için sabitlenen kırmızı çizginin son noktasından yeni kırmızı çizgi oluşur ve son noktanın belirlenmesinde kullanıcıya kolaylık sağlar. Son noktanın belirlenmesi ile sistem arka kodlarda daha sonraki bölümlerde gösterilecek olan ilgili formüller ile çift yol zamanı (tw_t) hesaplanır. İki tabaka için alt ve üst tabakaların sismik dalga hızları ve kalınlıkları hesaplanarak kullanıcıya yeraltı modeli olarak sunulur.

4.2.4. Manyetik yöntem

Manyetik yöntem için GeoSof modelleme programı çalıştırıldıktan sonra menüde “Manyetik Yöntem” butonu kullanılır. Açılan pencere ve manyetik yönteminin grafik çizdirme aşamaları doğal gerilim yöntemine benzemektedir. Baz ölçüm ve düzeltmeleri belirsiz aralık ve zamanlarda olduğu için kullanıcı tarafından yapıldıktan sonra 3 sütunlu doğrultu, yer manyetik alanının yatay ve düşey bileşenleri tablosu excel veya notepad aracılığıyla oluşturulur. Bu giriş verisinin programa yükle butonu veya notepad ile veri girişini sağlayan ilgili linke tıklamak suretiyle okunması sağlanabilir. Veri tablosu doğru oluşturulmuş ve seçilmişse doğal gerilim yöntemde olduğu gibi ilgili bölümde verilerin yazılı olduğu tablo görülecektir. Kullanıcının tercihinine bağlı düzeltme ve ayıklamalar bu bölüm sayesinde yapıldıktan sonra grafiğin çizdirilmesi için “Çizdir” butonuna tıklamak yeterli olacaktır (Şekil 4.12). Ayrıntısı diğer yöntemlerde belirtilen ayarlar, kıyaslama, modelleme gibi butonların bu jeofizik yöntem içinde aktif olduğunu gözlemlemekteyiz.

Şekil 4.11’de gözlemlendiği gibi yer manyetik alanının yatay ve düşey bileşenleri

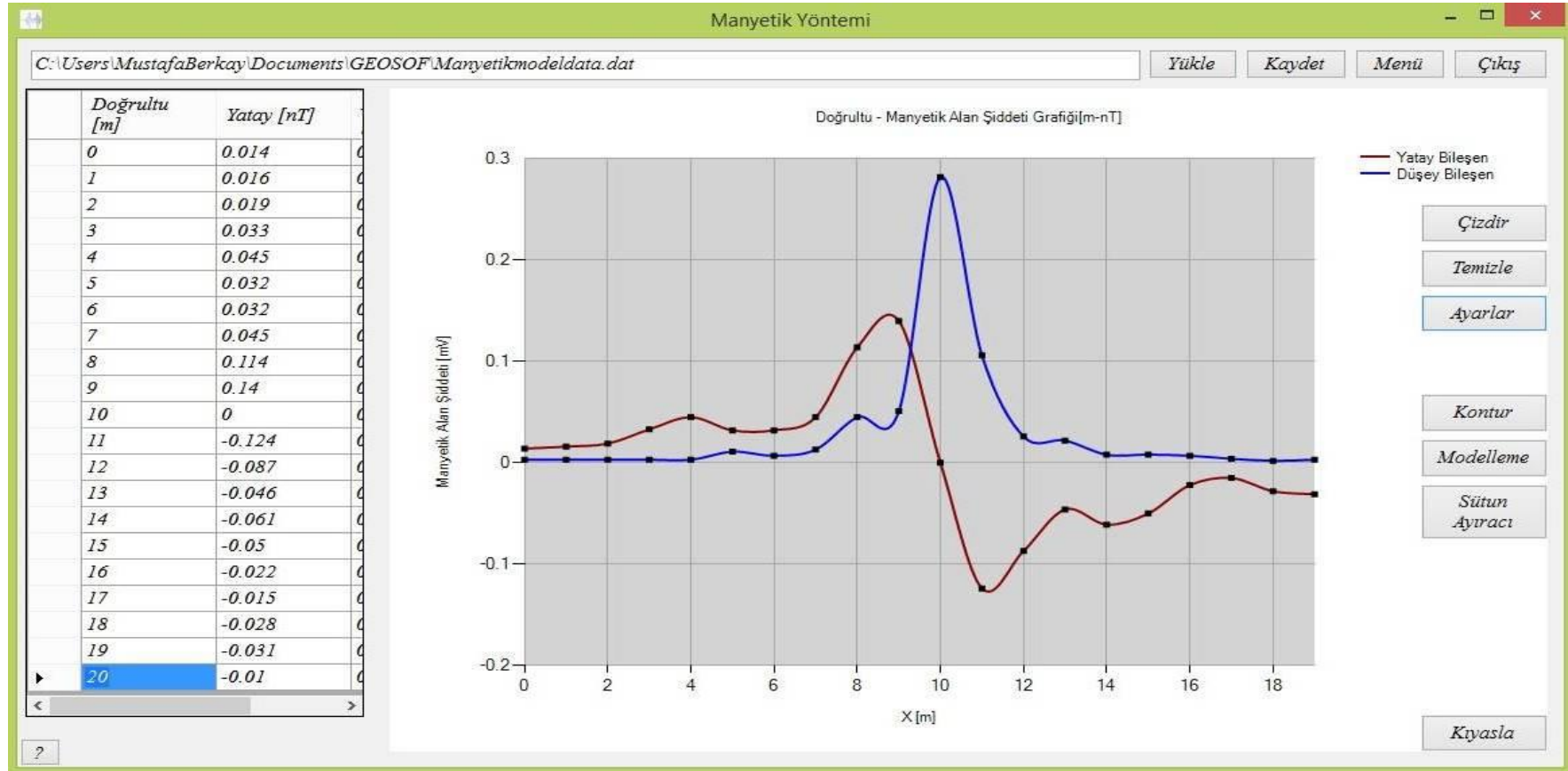
doğrultu bazlı çizdirilmiştir.

Sunum öncesi öndeğerlendirme kapsamında düzeltmelerin yapılması ve grafik çizdirilmesi yukarıda anlatılmıştır. Düz çözüm ve kontrollü modellemenin GeoSof programı ile uygulanışı, modelleme başlığı altında diğer bölümlerde açıklanacaktır.

4.3. Modelleme

Jeofizik yöntemlerde temel amaç yer ile iletişimi arazi çalışması ve arazi çalışması sonrasında teorik çalışmalar ile gerçekleştirmektir. Bu nedenle modelleme jeofizik çalışmalarda büyük bir öneme sahiptir. Modelleme uygulaması düz ve ters çözüm yöntemleri olarak uygulanmasına rağmen teorik olarak GeoSof programı ters çözüm uygulamamaktadır. Bunun yerine kontrollü modelleme olarak ifade edilen anomalileri çakıştırma yöntemi ile yeraltı modeline ait parametreler kestirilir. Düz çözüm uygulaması için ise GeoSof modelleme programı farklı uygulamalı jeofizik yöntemleri için 3-B yeraltı modellerinin anomalilerini hesaplamaktadır. Kontrollü modelleme ise ilgili başlıklarda ayrıntılı olarak anlatılacağı gibi, bilgisayarların aktif olarak kullanılmadığı zamanlarda, yardımcı eğri ve abaklar kullanılarak yapılan çalışmaları bilgisayar ortamında gerçekleştirebilen bir uygulamadır. Bilgisayarın hızı ve pratikliği interaktif bir uygulama olan kontrollü modelleme uygulamasını oldukça kullanışlı kılmaktadır. Bunun sonucu olarak, kontrollü modelleme uygulaması kullanıcının analiz yeteneğini arttıracak bir uygulamadır. Bu nedenle GeoSof programının eğitici bir program olduğunu ifade edebiliriz.

GeoSof modelleme programının bir diğer uygulama alanı olası yeraltı modeline göre sentetik veri üretmesidir. Literatürde düz çözüm olarak geçen bu uygulama ile yeraltı modellerine göre farklı yöntemlerden nasıl bir anomali elde edileceği, elde edilen anomalinin karakteristiği, model parametrelerine bağlı olarak genliğin büyüklüğü, negatif veya pozitif anomaliler verip vermediği görülebilmektedir. Bu sayede programın giriş bölümünde belirtilen eğitici yönü, problemleri algılama çözüm yöntemleri ve bu yöntemlere ulaşılması için izlenecek yöntemler açısından kullanıcıya fikir veren yönü dikkat çekmektedir. Bu yönde bir sonraki adım modelleme başlığından sonra ayrıntılı olarak açıklanacak olan kontrollü modelleme uygulamasıdır. Kontrollü modelleme yöntemi daha sonraki başlıklarda anlatılacaktır. Bu açıklamalardan önce düz çözüm için programın kullanımı görseller ile anlatılacaktır. Öncelikli olarak modellemeye yöntem bazında ayrıntılı olarak değinelim.



Şekil 4.12: Gürültülü manyetik anomalilerin düzeltme işlemleri.

4.3.1. Farklı yeraltı modellerine göre düz çözüm

Bu başlık altında gravite yöntem, doğal gerilim yöntemi, öz direnç yöntem ve manyetik yöntemini inceleyeceğiz.

4.3.1.1. Gravite yöntem için düz çözüm

Gravite yöntem için yukarıda belirtilen gravite yöntem penceresinden modelleme butonu ile düz çözüm formuna geçiş yapılabilir. Gravite yöntem için düz çözüm yöntemi öncelikli olarak öngörülen yeraltı modelinin belirlenmesi adımı ile başlar. Modelin seçileceği kutu pencerenin açılmasıyla aktif olacaktır ve farenin sol tuşu ile tıklama yapılarak bu adım geçilir. Bu bölüm için basit bir küre modelini ele alacağız. Küre modeli seçildikten sonra ekrana açılan kutucuklar, sol yanlarında yazılı olan parametre isimlerine göre doldurulur. Her kutucuk parametresine göre bir varsayılan değer ile dolu olarak aktif olur ancak öngörülen modele göre bu değerler değiştirilebilir. Kutucuklar eksiksiz olarak doldurulduktan sonra “*Uygula*” butonu ile sisteme kod arkasında işlemleri tamamlaması onayı verilir. Bu onayın arkasından parametreleri değiştir tik kutusu kullanıcıya verilir. Bu kutucuğun tiklenilmesi ile kapanan parametre kutucukları tekrar aktif olarak değiştirilmesi sağlanabilir.

Parametrelerin doğru olarak girildiği varsayımı ile kullanıcının çizdir butonuna tıklaması sonunda grafik çizdirilir.

Modelin seçilmesinin ardından modelin görsel yeraltı yapısı örneği ekrana gelir ve bu görselde belirtilen parametreler kullanıcının anomaliyi ve yapıyı daha net anlamasına olanak sağlar. Şekil 4.15’de görülebileceği gibi derinlik 10 m, küre modeline ait yoğunluk değeri 5 g/cm^3 ve yeraltı yoğunluğu 2 g/cm^3 olduğu varsayılırsa, yarıçapın 10 m olması durumunda elde edilecek grafik gaussian eğrisi verecektir. Bu eğri için sentetik veri üretmeyi amaçlarsak “*Gürültü %*” başlıklı kutucuğun değerini 0 ile 100 arasında arttırabiliriz. Şekil 4.15’de görülen grafik için gürültü %40 olarak belirlenmiştir.

Gürültü için veriye her noktada belirtilen gürültü değerinin E olduğunu varsayarsak, o noktaya ait veriye $+E/2$ ve $-E/2$ sınırları içerisinde kalan sistem tarafından atanan rastgele değer eklenmesi ile hesaplanmaktadır.

Yerçekimi ivmesi farkı yeraltı yapısının hacmine, derinliğine, eğimine ve buna benzer modele göre farklılık gösteren parametrelere bağlı olarak aşağıda açıklandığı

gibi hesaplanmaktadır. Bu denklemlerin anomali yaratacak bir model için en basit hali,

$$\Delta g = \frac{Gmd}{r^3} \text{ [mGal]} \quad (4.15)$$

olarak belirtilmiştir.

Denklem 4.15’de, Δg yerçekimi ivmesi farkını, G ise $6.673 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gr s}^2$ mertebesinde evrensel çekim sabitini, d derinliği ve r ölçüm noktasına olan uzaklığı sembolize etmektedir.

Bu denklemlerden türetilen farklı modellere göre gravite anomalisi hesaplayan denklemler ise matematiksel model olarak aşağıda verilmiştir (Sanver ve İşseven, 2007).

a. Küre modeli:

Küre modelinin gravite anomalisi,

$$\Delta g = 4\pi G a \frac{d}{3r^3} \text{ [mGal]} \quad (4.19)$$

ile hesaplanılmaktadır. Burada, a yarıçapı, d derinliği, r ise ölçüm noktası ile küre merkezi arasındaki mesafe olarak belirtilmiştir.

Küre modeli için birimler, uzunluklar için cm, yoğunluk için gr/cm^3 olması durumunda Gal mertebesinde sonuç elde edilir. Bu çalışmada uygulamalar için metre kullanılması daha uygun olduğu için katsayılar ivme farkı mGal çıkacak şekilde düzenlenmiştir.

b. Yatay sonsuz silindir:

$\Delta\rho$ yoğunluk farkı bulunan a yarıçaplı yatay sonsuz silindir modeli için gravite anomalisi,

$$\Delta g = \frac{2Gm'd}{r^2} \text{ [mGal]} \quad (4.20)$$

$$m' = \pi a^2 \Delta\rho \text{ [g]} \quad (4.21)$$

$$\Delta\rho = \rho_1 - \rho_0 \text{ [gr}/\text{cm}^3] \quad (4.22)$$

$$\Delta g = 2\pi G a^2 \Delta \rho \frac{d}{r^2} \quad [\text{mGal}] \quad (4.23)$$

ile hesaplanılmaktadır.

c. Düşey sonsuz silindir:

Düşey sonsuz silindir modeli için gravite anomalisi,

$$\Delta g = \frac{G\pi a^2 \Delta \rho}{r} \quad [\text{mGal}] \quad (4.24)$$

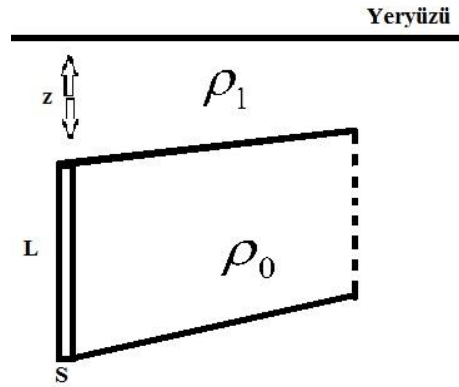
Denklemleri kullanılarak hesaplanılmaktadır.

d. Yatay tabaka:

K kalınlıklı yatay tabaka modelleri için ise gravite anomalisi,

$$\Delta g = 2\pi G \Delta \rho k \quad [\text{mGal}] \quad (4.25)$$

ile elde edilir.



Şekil 4.13: Düşey şerit modeli.

e. Düşey şerit:

Düşey şerit modeli için gravite anomalisi,

$$\Delta g = G\Delta \rho S \ln \left(\frac{x^2 + (d+L)^2}{x^2 + d^2} \right) \quad [\text{mGal}] \quad (4.26)$$

denklemleri ile hesaplanılmaktadır. Burada, S parametresi iki boyutlu düşey şeritin yatay doğrultudaki genişliğini, L şeritin düşey doğrultudaki uzunluğunu, x şeritin

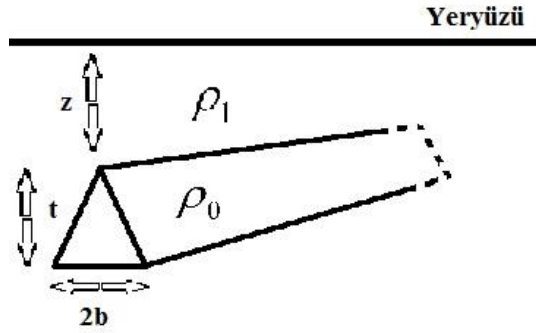
yeryüzüne en yakın olan noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafeye ve d parametresi ise derinliğe karşılık gelmektedir (Şekil 4.13).

f. Gömülü sırt:

Şekil 4.14'deki gibi bir gömülü sırt modeli (antiklinal) için gravite anomalisi,

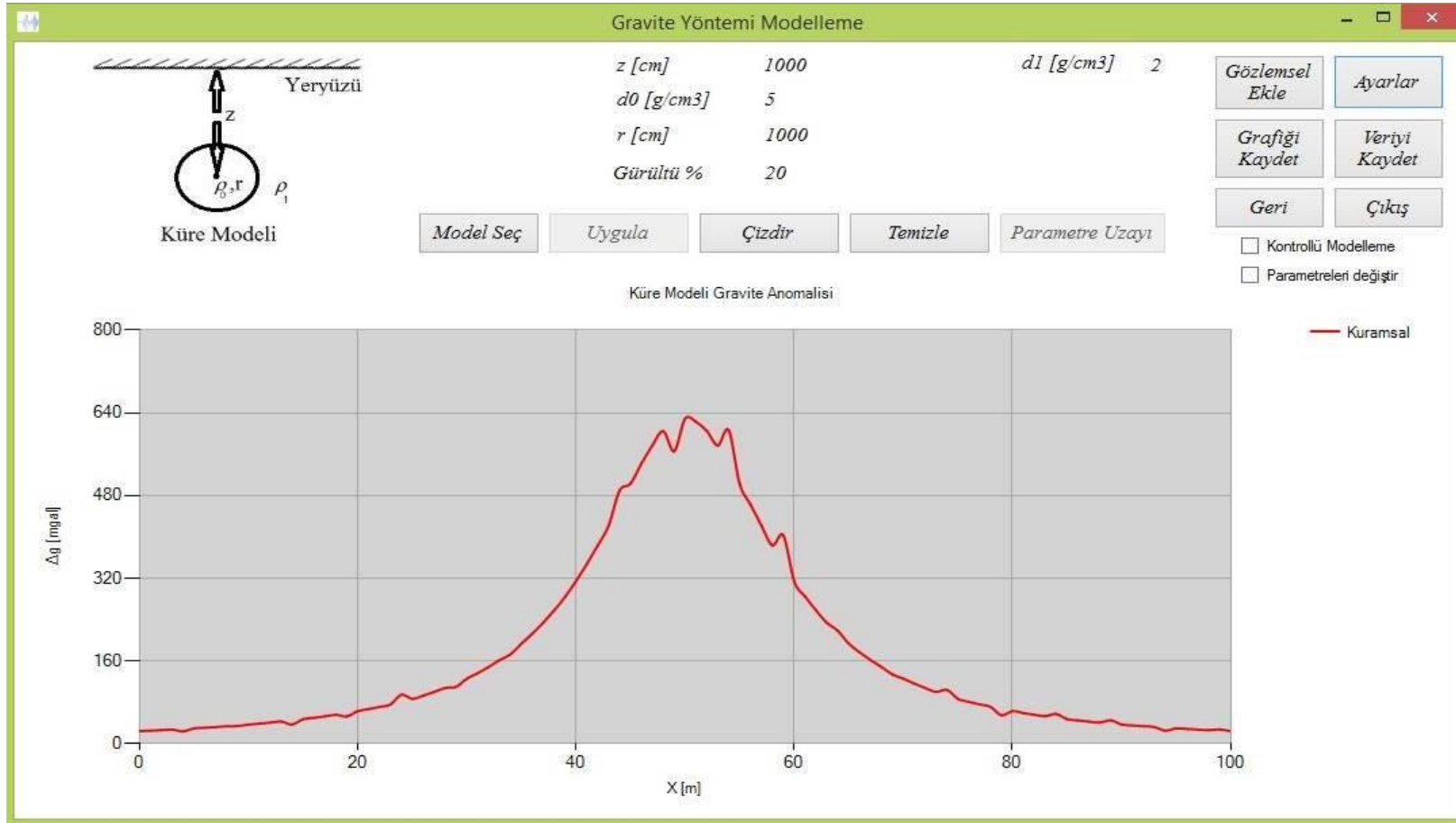
$$\Delta g = 2Gt\Delta\rho \left(\arctan\left(\frac{x+b}{d}\right) - \arctan\left(\frac{x-b}{d}\right) \right) \quad [\text{mGal}] \quad (4.27)$$

ile hesaplanılmaktadır. Burada, t parametresi anomaliye neden olan sırtın düşey doğrultudaki uzunluğunu, b ise sırtın yatay doğrultudaki genişliğinin yarısını sembolize etmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Gömülü Sırt modeli.

Grafiğin çizdirilmesinin ardından aktif olan butonlar Şekil 4.15'de görülmektedir. Grafik çizdirilmesine yönelik önceki bölümlerde ayrıntılı olarak açıkladığımız butonlardan farklı olarak bu bölümde Gözlemsel Ekle, Veriyi Kaydet, Model Seç butonları ile Kontrollü Ters Çözüm ve Parametreleri Değiştir çek kutularını görüyoruz. Model Seç butonu ile farklı bir yeraltı modeli seçebiliriz. Bu buton daha önce küre modelini seçtiğimiz kutunun tekrar aktif olmasını sağlayan buton olarak görev yapmaktadır. Parametreleri değiştir çek kutusu yukarıda açıkladığımız gibi parametreleri değiştirebileceğimiz gibi kutucukları tekrar aktif eden komutu onaylar. Veriyi kaydet butonu sentetik veri üretilmesi için programın kullanıcıya verdiği yetkidir. Bu buton ile ekranda görülen grafiğe ait doğrultu ve yer çekimi ivme farkı değerleri belgelerimde daha önceden oluşturulmuş GeoSof klasörü içerisine bir tab boşluk ile iki kolon olarak şekilde notepad (.dat) formatında kaydedilir.



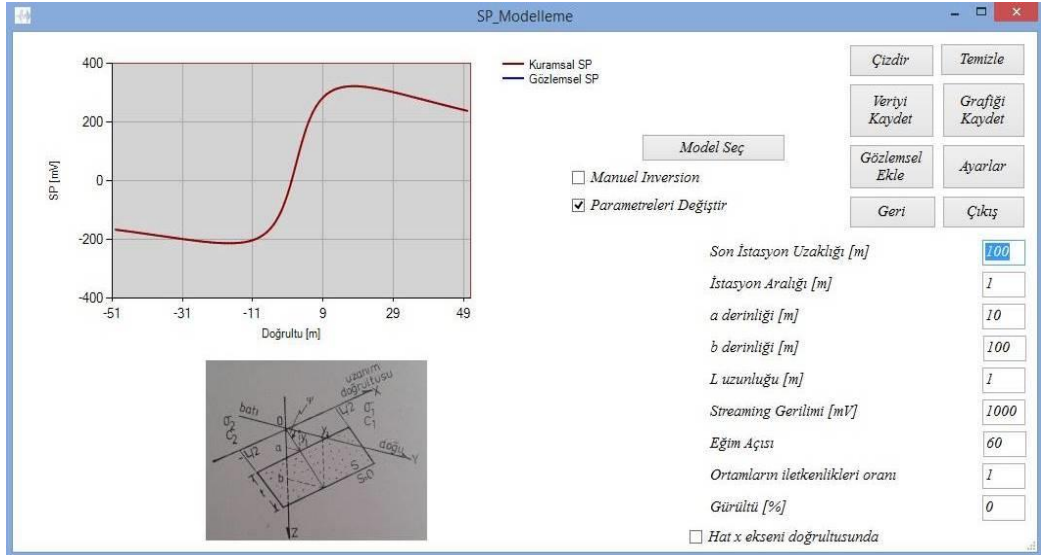
Şekil 4.15: Küre modelinin gürültülü gravite anomalisi.

Diğer butonlar ve çek kutusu kapsam itibariyle kontrollü modelleme kapsamına girdiği için daha sonra ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

4.3.1.2. Doğal gerilim yöntemi için düz çözüm

Bu ve bundan sonraki yöntemler için düz çözüm uygulaması farklı yeraltı model yapılarının aktif olması dışında hemen hemen benzerdir. Bu nedenle düz çözümü doğal gerilim yöntemi için farklılıkları esas alarak ifade edeceğiz.

Doğal gerilim yönteminde gravite yöntemde de olduğu gibi öncelikli olarak öngörülen yeraltı modeli kullanıcı tarafından eğimli fay, düşey fay ve küre modellerinden biri olarak seçilir. Bunun ardından yeraltı modelinin görseli ekrana gelecektir. Bu model için tanımlanmış parametreler ilgili kutucuklara girilir. Şekil 4.16, doğal gerilim yöntemi için modelleme formunda parametrelerin değiştirilme yetkisinin kullanıcıya verilmesi görülmektedir. Değiştirilen parametreler tekrar çizdir butonu kullanılarak güncellenir. Diğer butonlar gravite yöntem için açıklandığı gibi sentetik veri oluşturma, grafiği jpeg formatında resim olarak kaydetme gibi kullanımı ve yetkileri yukarı bölümlerde tanımlanmış butonlardır. Kontrollü modelleme çek kutucuğu, “Gözlemsel Ekle” butonları ise kontrollü modelleme bölümünde açıklanacak olan butonlardır.



Şekil 4.16: Doğal gerilim yöntemi fay modeli için parametrelerin değiştirilmesi.

Doğal gerilim yöntemi için kullanıcının tercihine bırakılan 4 model seçeneği sırasıyla küre, eğimli çubuk, düşey fay ve eğimli faydır.

Bu modeller için kod arkalarında kullanılan denklemler denklem 4.28, denklem 4.29, denklem 4.30, denklem 4.31, denklem 4.32, denklem 4.33, denklem 4.34'de gösterilip Çağlar (1991) ve Ergin (1985).

a. Küre:

Küre modeli için SP anomalisi,

$$\Delta V = 2QR \frac{(x \sin \theta + h \cos \theta)}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} \text{ [mV]} \quad (4.28)$$

Denklemleri kullanılarak hesaplanılmaktadır. Burada ΔV doğal gerilimi, x ve y yatay doğrultu bileşeni olarak modelin ölçüm noktasına uzaklığını, h derinliği, θ dipol gibi davranan modelin dipol açısını, Q elektrik yükü ve R kürenin yarıçapını sembolize etmektedir.

b. Düşey fay:

Düşey fay modeli için SP anomalisi;

$$\Delta V = \frac{S_0(x, z_0)}{\pi \left(1 + \frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)} \{f(x, y; L, b) - f(x, y; L, a) - f(x, y; -L, b) + f(x, y; -L, a)\} \quad (4.30)$$

ile hesaplanılmaktadır. Burada, S_0 katsayısı x_0 ve z_0 değerlerine bağlı olarak dayk için daykın iç gerilimini, daykın dışında kalan alanlar için 0 değerini vermektedir. σ iletkenliği temsil etmektedir. Denklemden geçen f fonksiyonu ise,

$$f(x, y; \delta, \xi) = \tan^{-1} \frac{\left(x + \frac{\delta}{2}\right) \xi}{y \left\{ \left(x + \frac{\delta}{2}\right)^2 + y^2 + \xi^2 \right\}^{1/2}} \quad (4.31)$$

Kullanılarak hesaplanır. Burada x ve y parametreleri yatay ve düşey ekseninde ölçüm noktasına mesafeyi temsil etmektedir.

c. Eğimli fay:

Eğimli fay modeli için SP anomalisi,

$$\begin{aligned}
\Delta V(x, y, 0) = & \frac{S \cdot \sin \Psi}{\pi \left(1 + \frac{\sigma_{1/2}}{\sigma_{2/1}} \right)} \left[- \operatorname{arctan} \left\{ \frac{C \left(x - \frac{1}{2} \right)}{y \cdot \sin \Psi \sqrt{C^2 + y^2 \cdot \sin^4 \Psi + \left(x - l/2 \right)^2 \sin^2 \Psi}} \right\} + \right. \\
& + \operatorname{arctan} \left\{ \frac{C \left(x + \frac{1}{2} \right)}{y \cdot \sin \Psi \sqrt{C^2 + y^2 \sin^4 \Psi + \left(x + \frac{l}{2} \right)^2 \sin^2 \Psi}} \right\} \\
& + \operatorname{arctan} \left\{ \frac{D \left(x - \frac{1}{2} \right)}{y \cdot \sin \Psi \sqrt{D^2 + y^2 \sin^4 \Psi + \left(x - \frac{l}{2} \right)^2 \sin^2 \Psi}} \right\} \\
& \left. - \operatorname{arctan} \left\{ \frac{D \left(x + \frac{1}{2} \right)}{y \cdot \sin \Psi \sqrt{D^2 + y^2 \sin^4 \Psi + \left(x + \frac{l}{2} \right)^2 \sin^2 \Psi}} \right\} \right] \quad (4.32)
\end{aligned}$$

denklemleri kullanılarak hesaplanılmaktadır. Burada x ve y ölçüm noktasına yatay ve dikey uzaklığı, σ iletkenliği ve ψ fayın yetey eksen ile yaptığı açığı sembolize etmektedir. Formülde geçen C ve D değerlerine,

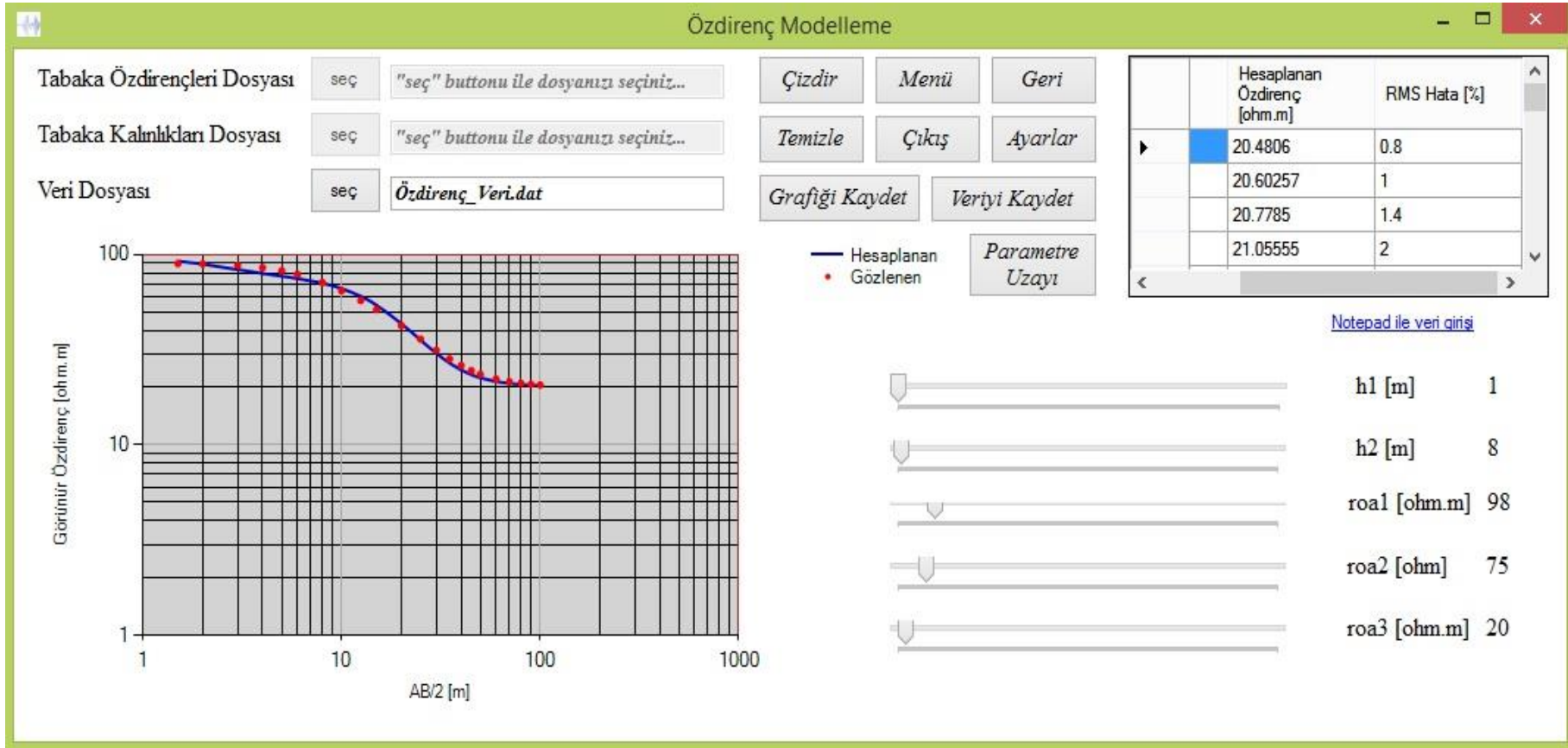
$$C = b - y \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi \quad (4.33)$$

$$D = a - y \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi \quad (4.34)$$

Formülleri kullanılarak ulaşılır. Burada, a fayın üst sınırının derinliği ve b değeri alt sınırının derinliği olarak alınmalıdır.

4.3.1.3. Özdirenç yöntemi için düz çözüm

Özdirenç yöntemi yukarıda ifade edildiği gibi dikey elektrik sondajı ve elektrik kaydırma olmak üzere iki farklı uygulamaya sahiptir. Bu kapsamda düşünüldüğünde dikey elektrik sondajı için yatay katmanların, elektrik kaydırma uygulaması için ise yatay doğrultu üzerindeki süreksizliklerin iki tarafındaki özdirenç değerlerinin hesaplanabilmesi gereklidir. Bu kuramsal eğrilerin hesaplanması özdirenç yöntemi için düz çözüm başlığı altında açıklayacağımız esaslardır.



Şekil 4.17: Özdirenç Yöntemi için tabaka özdirençlerinin ve kalınlıklarının kontrollü modelleme ile kestirimi.

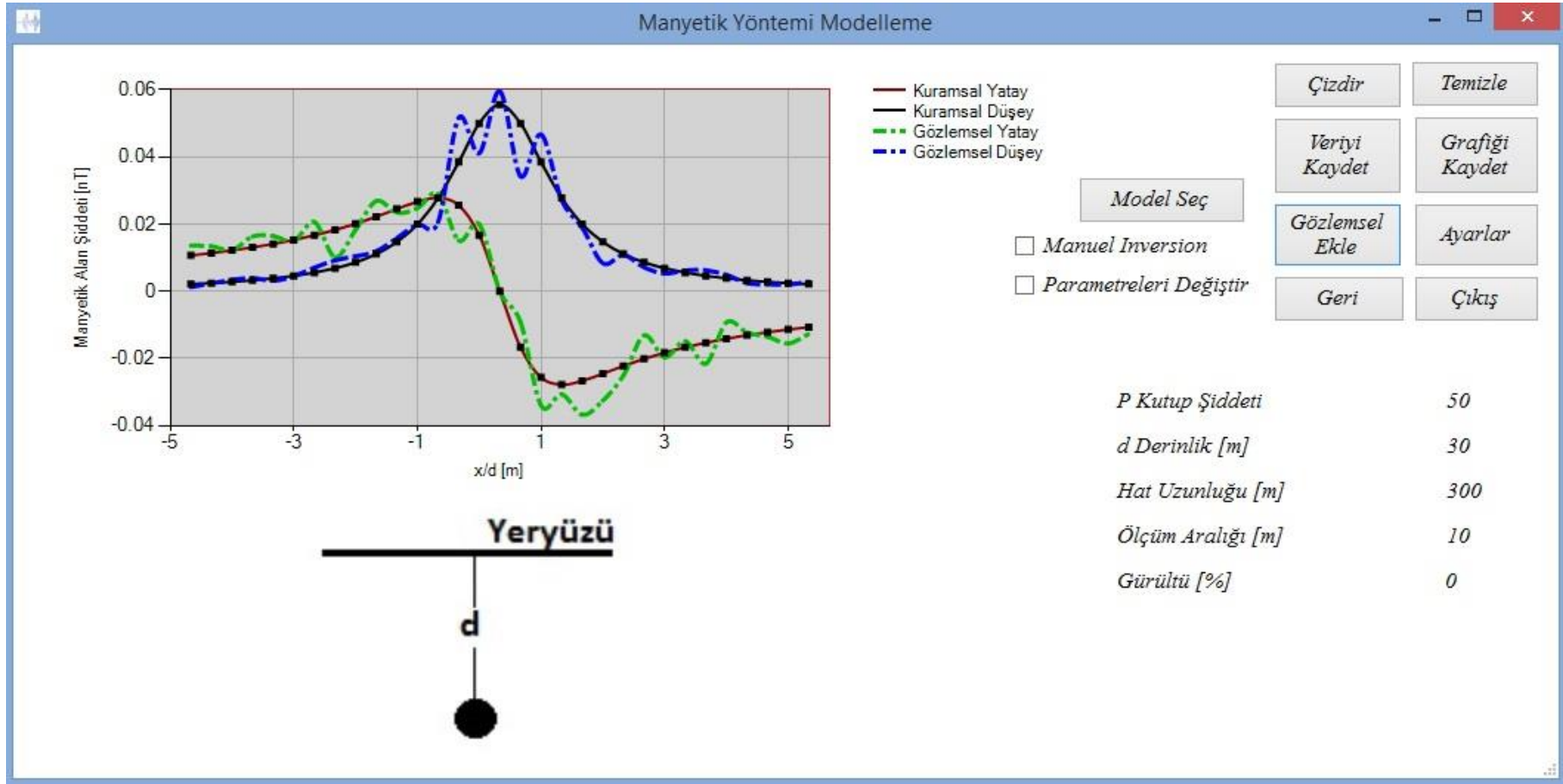
Özdirenç Yöntem-Modelleme yolu ile ulaşılan pencere kullanıcıya iki giriş yöntemi tercihi sunmaktadır. Tabakalara ait öngörülen özdirenç ve kalınlıkları Şekil 4.17’de görüldüğü gibi seç butonları ile notepad içerisine kaydedilmiş her satır bir tabakaya ait olacak şekilde sırasıyla özdirençler dosyası, kalınlıklar dosyası ve görünür özdirenç verisinin iki sütun şeklinde tab boşluk ile düzenlendiği notepad dosyaları okunur.

Diğer tercih ise sadece görünür özdirenç verisinin dosya ile seçilim, tabaka kalınlık ve özdirençlerinin formun sağında yer alan tabloya girilmesidir. Bu tablo form yüklendiğinde aktif olmamaktadır. Tabloyu görmek ve doldurmak için sağ alt bölümde yer alan “*Tablo ile Veri Girişi*” linkine tıklanması gerekmektedir. Bu linke tıklanmasının ardından boş tablo gelecektir ve iki sütundan oluşan tablonun ilk sütununun başlığı tabaka özdirençleri, ikinci sütununun başlığı tabaka kalınlıkları olacaktır. Görünür özdirenç verisinin modelleme çalışması kapsamında sadece oluşturulacak sentetik verinin nokta sayısının belirlenmesidir. Ancak kuramsal eğri ile görünür özdirenç eğrisi karşılaştırılarak yeraltı modelini elde edeceğimiz kontrollü modelleme uygulamasında görünür özdirenç verisine de ihtiyaç duyulur. Bu nedenle doğrudan oluşturulan verinin nokta sayısının girilmesi yerine görünür özdirenç veri dosyası sisteme girilir. Sistem hem oluşturacağı örnek verinin nokta sayısını bu şekilde belirler hem de kuramsal eğri ile kontrollü modelleme uygulamasına olanak sağlanmış olur (Oruç, 2012).

Çizdir butonu ile girilen tabaka modeline göre kuramsal görünür özdirenç verisi hesaplanarak eğri çizdirilir. Özdirenç yöntemin fizik esaslarının ve temel bilgilerinin verildiği yukarıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklandığı gibi tabaka özdirençlerinin kıyaslamalı olarak büyüklüklerine göre dört tip eğri gözlemlememiz mümkündür.

4.3.1.4. Manyetik yöntem için düz çözüm

Grafik çizdirmeye olduğu gibi düz çözümde hatta kontrollü modellemeye de anomali tipleri ve model örnekleri farklılık gösterebilir programın kullanılışı doğal gerilim yöntem ile benzerlik göstermektedir. Şekil 4.18 basit bir küre modeli esas alınarak ekranda görülen kutup şiddeti, derinlik, hat uzunluğu, ölçüm aralığı ve istenilen oranda sentetik veri üretmek amacıyla 0’den farklı seçilen yüzde mertebesinde gürültü katsayısı girildikten sonra grafik modele ait manyetik alan şiddetinin yatay



Şekil 4.18: Manyetik Yöntemi için programın ürettiği gürültülü sentetik veri ile gürültüsüz verinin kontrollü modelleme uygulanarak karşılaştırılması.

ve düşey bileşenlerini x/d yatay eksenini üzerinden çizdirir. Burada x hat üzerinde ölçümün alındığı nokta, d ise derinlik değerleridir. Şekil 4.18 aşağıda ayrıntısı ile anlatılacağı gibi kontrollü modellemenin uygulandığı uygulamanın bir örneğidir.

Kontrollü modelleme için gözlemsel veri aynı değerler ile gürültü eklenerek çizdirilmiş eğrinin verisidir. Bu şekilde Şekil 4.18 ile gürültünün veride yarattığı bozucu etkide gözlemlenmiş olmaktadır. Gürültünün yarattığı dalgalanmalara rağmen eğrinin doğru parametre değerleri ile incelendiğinde karakteristiğinin değişmediğini rahatlıkla görebilmekteyiz. Son ana başlıkta uygulanacak gerçek verinin kullanılacağı ve kontrollü modelleme uygulanarak yapılmak istenen tam olarak Şekil 4.18’de gördüğümüz uyumu yakalayabilmektir.

Manyetik yönteminde farklı yeraltı modelleri için geliştirilmiş farklı denklem sistemleri literatürde bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanıcıya sunulan farklı modeller için kullanılan denklem takımlarına ve bu denklemlerde geçen parametrelere model bazında açıklık getirelim.

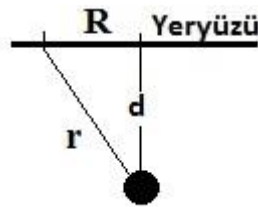
a. Tek kutup modeli:

Tek kutup modelinin manyetik düşey (Z) ve manyetik yatay (H) bileşeni bağıntıları P kutup şiddeti için sırasıyla,

$$Z = -\frac{Pd}{r^3} [nT] \quad (4.35)$$

$$H = -\frac{PR}{r^3} [nT] \quad (4.36)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bağıntıda belirtilen değişkenler şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19: Manyetik yöntemi tek kutup modeli.

b. Çizgisel dipol:

Çizgisel dipol modeli için manyetik düşey ve yatay bileşen bağıntıları sırasıyla,

$$Z = 2m \left\{ \frac{\left[\left(1 - \left(\frac{x}{z} \right)^2 \right) \sin I - \left(\frac{2x}{z} \right) \cos I \sin a \right]}{z^2 \left(1 + \left(\frac{x}{z} \right)^2 \right)^2} \right\} \quad (4.39)$$

$$H = -\frac{2m}{z^2} \left[\frac{\left(\left(\frac{x}{z} \right)^2 - 1 \right) \cos I \sin a - \left(\frac{2x}{z} \right) \sin I}{\left(1 + \left(\frac{x}{z} \right)^2 \right)^2} \right] \quad (4.40)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada, m birim uzunluk başına düşen dipol momentini, z çizgisel dipolün merkezinin derinliğini, I kütlelin indüksiyon mıknatıslanmasından sorumlu Yermanyetik Alan vektörünün eğimini, a çizgisel dipolün yönü ile manyetik kuzey arasındaki açığı temsil etmektedir.

c. Çizgisel kutup:

Çizgisel kutup modeli için manyetik düşey ve yatay bileşen bağıntıları sırasıyla,

$$Z = \frac{2P_1 z_1}{r^2} \quad (4.41)$$

$$H = -\frac{2P_1}{r^2} x' \sin \alpha \quad (4.42)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada, kullanılan semboller diğer modeller için kullanılan ve açıklanan sembolleri temsil etmektedir.

Manyetik yöntemde tüm modeller için toplam alan bileşeni,

$$\Delta T = \Delta Z \sin I + \Delta H \cos I \quad (4.43)$$

denklemleri ile hesaplanır.

4.3.2. Kontrollü modelleme ve RMS hatası

Literatürde örneklerine rastladığımız ters çözüm programları genellikle kullanıcı odaklı girilen başlangıç değerleri gibi ters çözüm parametreleri ile kod arkalarında yer alan denklem takımları ile sonucun kullanıcıya sunulması aşamaları esas alınarak tasarlanmıştır. Elde edilen sonuç çoğunlukla karesel hata ve maksimum iterasyon sayısı kullanıcı tarafından sisteme daha önce girilmediyse iterasyon sayısı elde edilir. GEOSOF programı için kullanılan kontrollü modelleme yöntemi ile literatürdeki

diğer modelleme programlarının uygulamaları bu noktada farklılık göstermektedir.

Zaman zaman önceki başlıklarda da değinildiği gibi kontrollü modellemede kullanıcı program arayüzünde daima aktif rol oynar ve kullanıcı tarafından girilen başlangıç değerlerinden elde edilen son değerlere kadar kullanıcı düzenli olarak parametrelerin değişiminde yetkilidir ve değişimin elde edilen anomalideki değişimini eş zamanlı gözlemleyebilir. Bunun jeofizik açıdan birçok avantajı vardır. Bunlardan biri kullanıcı başlangıç model parametrelerinde değişim yaparken diğer yöntemlerde elde ettiği anomalinin uyguladığı yöntemde nasıl bir anomali elde etmesine neden olacağını bilerek bu yönde parametre sınırlarını parametre uzayı butonu ile belirleyebilir. Elde edilen grafiği istediği parametre uzayında değiştirirken diğer ters çözüm yöntemlerinde otomatik olarak hesaplanan yeraltı modelinde gözden kaçan anomaliler olabilir. Bunun temel nedeni jeofizik yöntemlerin temelinde yatan çözüm çokluğuna bağlı kesinlik olmayışıdır. Parametrelerin sınırlarının kullanıcı tarafından daha önce yapılmış çalışmalara veya sondaj verisine göre tanımlanması, modelleme uygulamalarında karşımıza çıkan çözüm çokluğu sorununu ortadan kaldırmış oluyor (Şekil 4.20). Kontrollü modellemenin diğer bir avantajı interaktif bir uygulama olması nedeni ile kullanıcının analiz yeteneğine ve tecrübesine katkı sağlamasıdır.

	Minimum		Maksimum
Bar 1	1	-	100
Bar 2	1	-	200
Bar 3	1	-	1000
Bar 4	1	-	1000
Bar 5	1	-	50
Bar 6	0	-	180
Bar 7	0	-	100
Bar 8	1	-	1
Bar 9	1	-	1

Şekil 4.20: Parametre Uzayı sınırlarını belirleme ekranı.

Şekil 4.17 ve şekil 4.18’ de gözlemlediğimiz eğriler gözlemsel verinin girilmesinin ardından kuramsal eğrinin kontrollü olarak hesaplanmasına ve yeraltı parametrelerinin elde edilmesine yönelik örneklerdir. Kontrollü modellemenin sentetik veri üzerinde kolaylıkla açıklanabilmesi ve anlaşılabilmesi nedeni ile şekil 4.17’de yeşil renkte görüldüğü gibi giriş verisi olarak sentetik verisi seçilmiştir. Bu anomaliye neden olan yeraltı modelini kestirebilmek amacıyla kuramsal eğriyi elde etmek için 3 tabaka modeli kullanalım. Öncelikle tabloya değerleri girerek veya notepad aracılığı ile sırasıyla ilk tabakadan yatay sonsuz tabakaya özdirenç değerlerini 10, 1000 ve 10, tabaka kalınlıkları ise 2 ve 5 olarak belirleyelim. Bu başlangıç parametrelerine göre eğri oluşturulduktan sonra kontrollü modelleme kutucuğuna çek atmak suretiyle kontrollü modelleme uygulamasına başlayabiliriz. Kutucuğun çek atılmasını takiben 5 adet sürüklenebilir çubuk ekrana gelecektir ve girilen değerler bu çubukların sıralamasıyla çubukların üst bölümünde görülecektir (Şekil 4.17). Bu çubuklar üzerindeki materyali sağa sola sürükleyerek interaktif güncellenen grafikte değişim gözleme yolu ile lejantta mavi ile gösterilen kuramsal eğri gözlemsel eğri ile benzerlik gösterene kadar değiştirilir. Her parametrenin eğrinin farklı bölümlerinde değişim yarattığı düşünüldüğünde, kullanıcının analiz gücüne bağlı olarak bir dakikadan kısa süre içerisinde çakıştırma işlemi dolayısıyla yeraltı tabakalarına ait özdirenç ve kalınlık değerleri elde edilmiş olmaktadır. Şekil 4.17’de verilen özdirenç yöntem için görünür özdirenç eğrisi ile kuramsal eğrinin çakıştığı değerler 1 ve 8 metre tabaka kalınlıkları ve 250, 80 ve 20 ohm.m tabaka özdirençlerini işaret etmektedir.

Kullanımı genel hatları ile aynı olan diğer yöntemlerin kontrollü modelleme her yöntem ve o yönteme ait her model için mevcuttur. Şekil 4.18 ve Şekil 4.21 sırasıyla manyetik ve gravite yöntem için uygulanmış kontrollü modelleme uygulamasının ekran görüntülerini göstermektedir. Şekil 4.21’de kontrollü modelleme kutucuğunun çekli olmadığı Şekil 4.21’de ise çekli olduğu formlar görülmektedir. Şekil 4.18 incelendiğinde gürültü eklenmiş sentetik bir anomalinin kontrollü modelleme yolu ile kestirilmeye çalışıldığı gözlemlenmektedir. Eğrinin karakteristiğinin benzerlik göstermesi için tanımlı parametre uzayı içerisinde değerler değiştirilirken kullanıcıya sonuca ulaşmada kolaylık sağlayacak bir başka nokta ise hata katsayısı özelliğidir. Özdirenç yöntemi için uygulanan kontrollü modellemede eğrilerin karakteristiklerinin en benzer olduğu noktada RMS hata katsayıları sistem tarafından

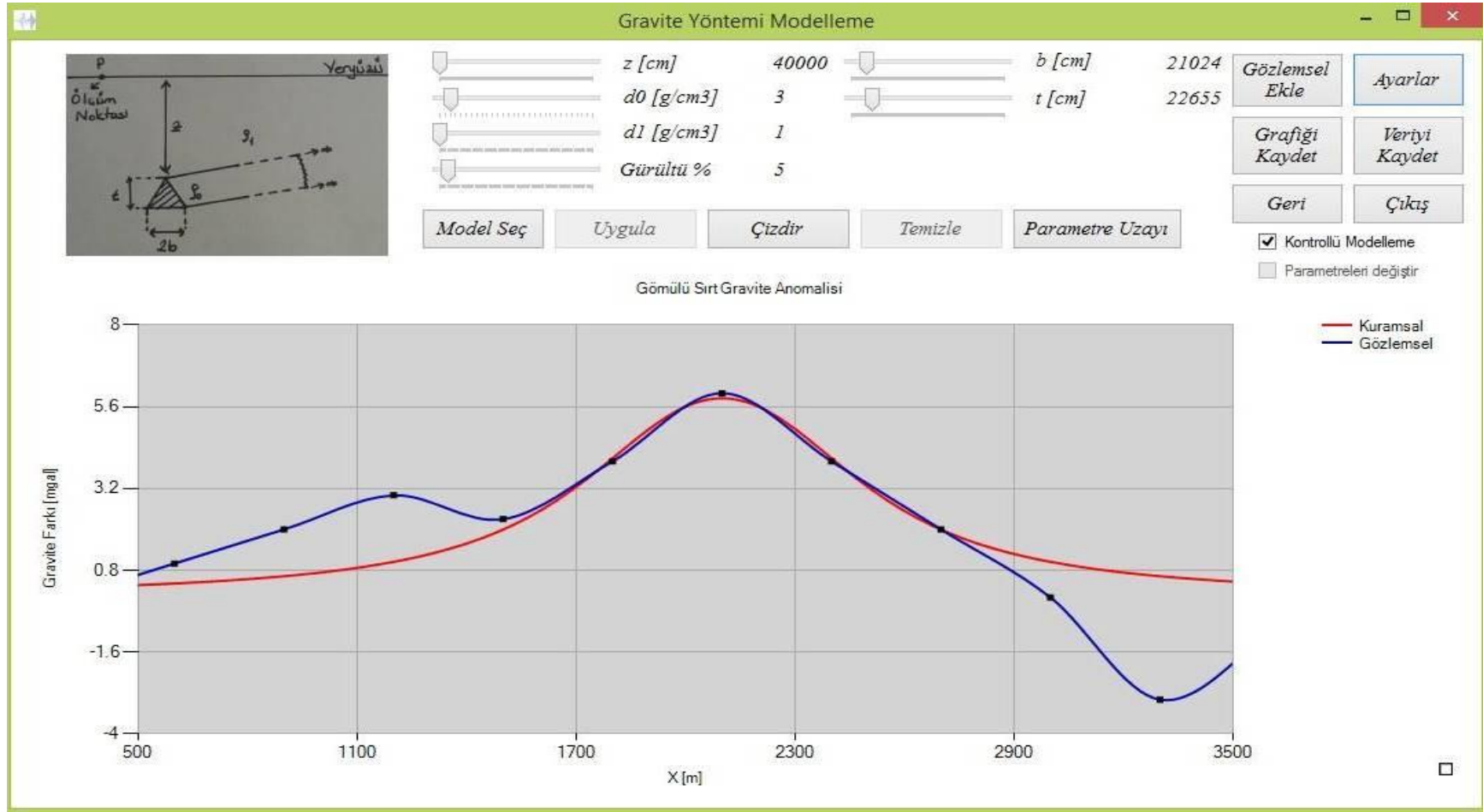
hesaplanarak tabloya eklenmiştir. RMS hataları denklem 4.44 ile hesaplanmaktadır.

$$RMS = \frac{1}{n} \sqrt{\sum (f - g)^2} \quad (4.44)$$

Burada, RMS hatayı, f kuramsal veriyi, g gözlemsel veriyi ve n örnek sayısını sembolize etmektedir.

Bu katsayı değerler barlar aracılığıyla değiştirilerek interaktif olarak hesaplanılıp kullanıcıya gösterilmektedir. Bu katsayılar manyetik yöntem için yatay ve düşey bileşene bağlı olarak iki ayrı katsayı olarak hesaplanmaktadır. Bu katsayı benzerlik azaldıkça artmaktadır. Üst limiti olmayan bu katsayının amacı değer artırılması ile katsayının artıp azaldığı kontrol edilerek parametrenin doğru yönde değiştirilmesini sağlamaktır. Uyumun çok düşük olduğu durumlarda katsayının hesaplanmamasının yanı sıra bu katsayının minimum değeri 0 olacaktır ki bu değere ancak bire bir grafiklerin uyumunda, eğrilerin tamamen örtüştüğü limit durumda ulaşılmaktadır.

Modelleme penceresi üzerinde yapılan kontrollü modelleme için bir gözlemsel verinin girilmiş olması ve model için kutucukların eksiksiz doldurulmuş olması gerekmektedir. Gözlemsel ve kuramsal eğrilerin aynı grafikte gözlemlendiği durumda veriyi kaydet butonu sadece kuramsal eğrinin kaydedilmesi için çalışan kodları aktif edecektir.



Şekil 4.21: Gravite Yöntemi sentetik veri ile kontrollü modelleme uygulaması.

5. GEOSOF İLE ARAZİ VERİLERİNİN GÖRSEL SUNUMU VE YORUMU

5.1. Giriş

GeoSof programının sentetik veriler ile kullanımı ve kod arkasındaki olaylara değinilerek kapsamı ile amacı örneklerle önceki başlıklarda ayrıntılı olarak anlatılmıştı. Sentetik veriler, bilinen modeller ve parametreler ile oluşturulduğu için, ters çözümde uygulamanın avantaj ve dezavantajları hususunda daha anlaşılır olmaktadır. Bu nedenle GeoSof modelleme programını, yayınlanmış makalelerde birarada uygulanmış yöntemlerden alınan anomali örnekleri ile gerçek veri üzerinde test edeceğiz. Bunun için farklı bölgelerde yapılmış iki çalışmayı referans alacak olursak bunlardan birincisi Türkiye'nin batı bölümünde düşük sıcaklık ve düşük özdirençli Hisar jeotermal alanında uygulanmış Özdirenç ve Doğal Gerilim yöntemlerinin birlikte değerlendirildiği çalışmadır (Özür lan ve Şahin, 2006). Verilere kontrollü modelleme uygulanılarak bu çalışmanın sonuçları ve kuyu logları ile birlikte değerlendirilecektir.

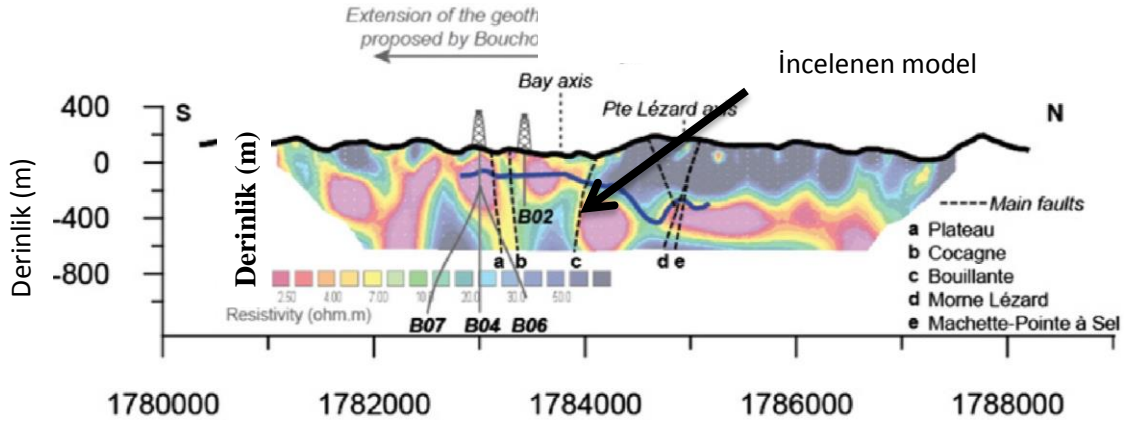
Verilerini GeoSof ile örnek uygulama olarak göstereceğimiz diğer bir çalışma ise yüksek sıcaklıklı jeotermal alanda yapılmış olan gravite ve özdirenç yöntemlerinin birlikte değerlendirildiği çalışmadır (Gailler ve diğ., 2014).

Bu çalışmalarda toplanan verilerin uzun bir hat üzerindeki ölçümlerden elde edilmiş olması ve birçok anomalinin gözlemlenmesi nedeni ile birden fazla yöntem sonucu gözlemlenen aynı bölgedeki anomaliler kesilerek kısa bir hat üzerindeki yeraltı yapısı kontrollü modelleme yardımı ile kesitirmeye çalışılacak ve sonuç olarak yayımlanmış makalelerden alınan görüntüler ve yorumlar ile GeoSof modelleme programından elde ettiğimiz sonuçlar ve analizler mukayese edilerek programın kullanım alanı ile sonuçlarındaki başarısı avantaj ve dezavantajları ile anlaşılacaktır.

5.2. Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Alan Gravite Ve Özdirenç Çalışmaları

Çalışma Gailler ve diğ. (2014) tarafından Basse-Terre Adası'nın batı ucunda yer aldığı bilinen Bouillante jeotermal alanı üzerinde yapılmıştır. Proje kapsamında

jeotermal alan üzerinde yaklaşık 15 km uzunluğunda hat belirlenmiş, bu hat üzerinde öz direnç ve gravite yöntemi uygulanmıştır. Şekil 5.1’de jeotermal sahanın 2B öz direnç kesiti görülmektedir (Gailler ve diğ., 2014).



Şekil 5.1: Tüm hat için hesaplanmış öz direnç kesiti (Gailler ve diğ., 2014).

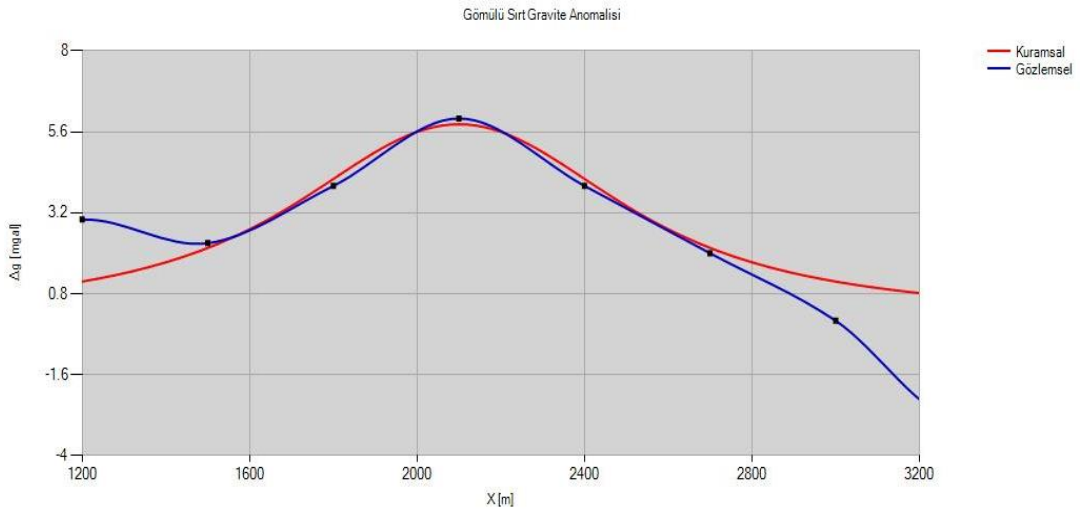
Ölçümlerden elde edilen sonuçlar bölgenin jeolojisi, daha önce yapılmış jeofizik çalışmalar ile mukayese edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriyi kısa bir hattı kapsayacak şekilde keserek bu hat üzerindeki gravite anomalisini kontrollü modelleme uygulamasını kullanarak değerlendireceğiz. Sonuçları bu bölgede yapılmış olan çalışmanın sonuçları ve öz direnç kesitiyle kıyaslayacağız. Gravite çalışmasının 15 km uzunluğunda bir hat üzerinde yapılmış olması nedeni ile bir çok anomali gözlemlenmiştir. Bu anomalilerin her birinin farklı yeraltı modellerinde kaynaklanacağı düşünülebilir. GeoSof modelleme programı ile bir modelin vereceği anomali değerlendirilebileceği için en belirgin ve genliği en yüksek anomalinin gözlemlendiği 2 km’lik bir hat kesilmiş ve değerlendirilmiştir. 2 km uzunluğundaki hat üzerinde de genlikleri farklı 3 anomali görülmektedir. Bu anomalilerden genliği yüksek olması nedeni ile sadece biri değerlendirilmeye alınmıştır.

Gravite yöntem için gözlemsel veri girilmiş ve kestirim yapılması için model olarak küre ve gömülü sırt modelleri denenmiştir. Küre modeli için elde edilen anomali ile gömülü sırt modeli için elde edilen anomalilerin karakteristiği model yapısı nedeni ile benzerlik göstermektedir. Ancak küre anomalisi için kanat açıklığının daha fazla olması nedeni ile gömülü sırt modeli tercih edilmiştir.

Gömülü sırt için gözlemsel veri üzerine varsayılan değerler ile kuramsal eğri çizdiriliyor. Çizdirilen eğrinin kanat açıklığının çok dar olması nedeni ile sırtın yoğunluğu artırılıp çevrenin yoğunluğu azaltılıyor. Benzer şekilde anomalinin

şiddetinin artması için yoğunluktan daha etkili olan hacim parametreleri değiştirilerek sırtın yüksekliği ve genişliği orantılı olarak arttırılıyor. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi gözlenen anomali ile gömülü sırt modelinden hesaplanan anomali birbiri ile oldukça uyumludur. Buradan gözlenen anomaliye en uygun modelin sırt modeli olduğu ve model parametrelerinin (300 m genişlik, 400 m yükseklik ve 450 m derinlik) optimum ölçüde doğru kestirildiği sonucuna ulaşılır. Kuramsal eğri ile gözlemsel eğri arasındaki hat uçlarına doğru gözlemlenen anomalilerin oluşturduğu farkın nedeninin, bölgede varlığı daha önceki çalışmalar ile belirlenmiş iki fay hattı olduğu düşünülmektedir (Gailler ve diğ., 2014).

Bu çalışmada fay üzerindeki anomaliler değerlendirmeye alınmamış, sadece derinliği kestirilmeye çalışılan olası yeraltı süreksizliğinin farklı yöntemlerde verdiği anomaliler üzerinde durulmuştur.

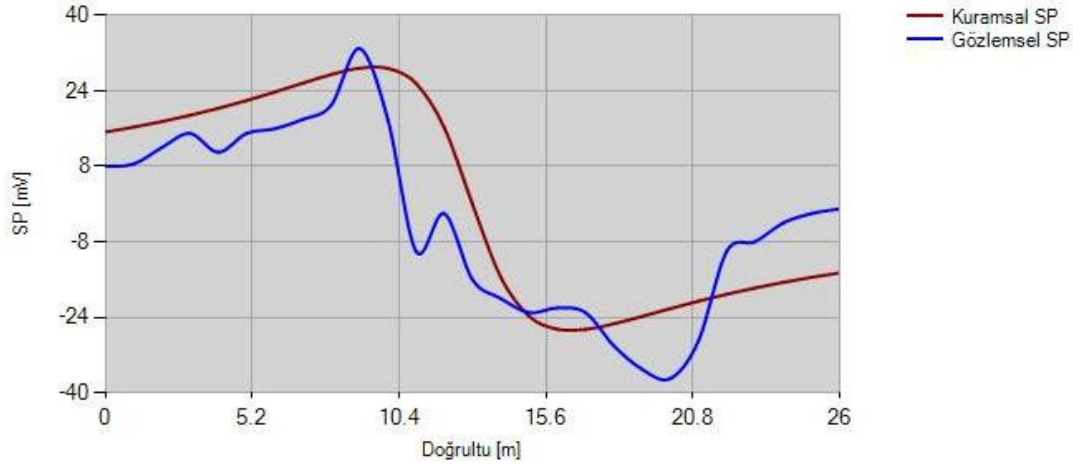


Şekil 5.2: Basse-Terre bölgesinden elde edilen gravite anomalisinin (Gailler ve diğ., 2014) gömülü sırt modeli yaklaşımıyla kontrollü modellemesi.

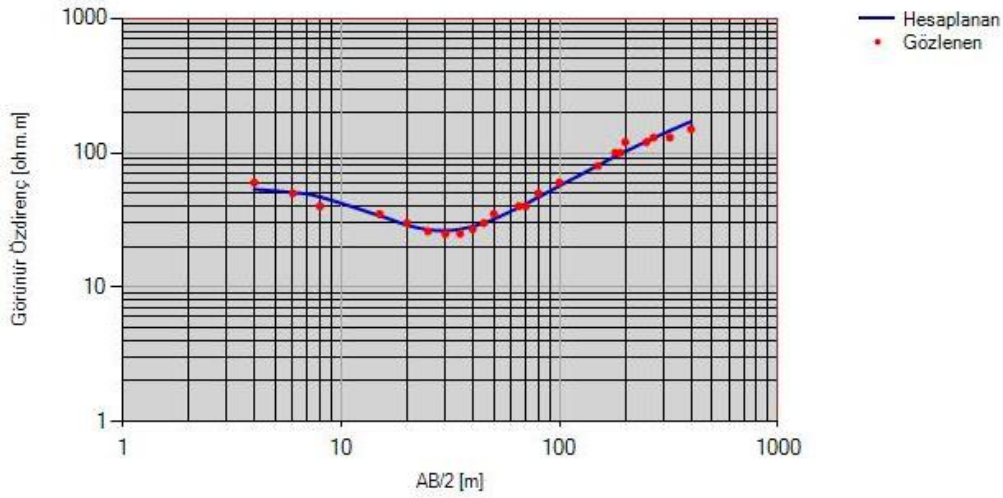
5.3. Batı Türkiye Hisar Jeotermal alanı Özdirenç ve Doğal Potansiyel Yöntemi çalışması

Ege bölgesi horst-graben yapılarının yaygın olarak görüldüğü bir karaktere sahiptir. Bu nedenle fay yapılarının gözlemlendiği bir bölgedir. Bu bölgede yapılan çalışma, Türkiye'nin batı bölümünde Hisar olarak bilinen düşük sıcaklıklı jeotermal alanının üzerinde yapılan özdirenç, Doğal Gerilim ve VLF-R yöntemlerini kapsamaktadır. Bu çalışmada ise GeoSof programı kapsamına giren Özdirenç ve Doğal Gerilim

yöntemlerini kontrollü modelleme uygulayarak sonuçların karşılaştırılması hususunda değerlendireceğiz.



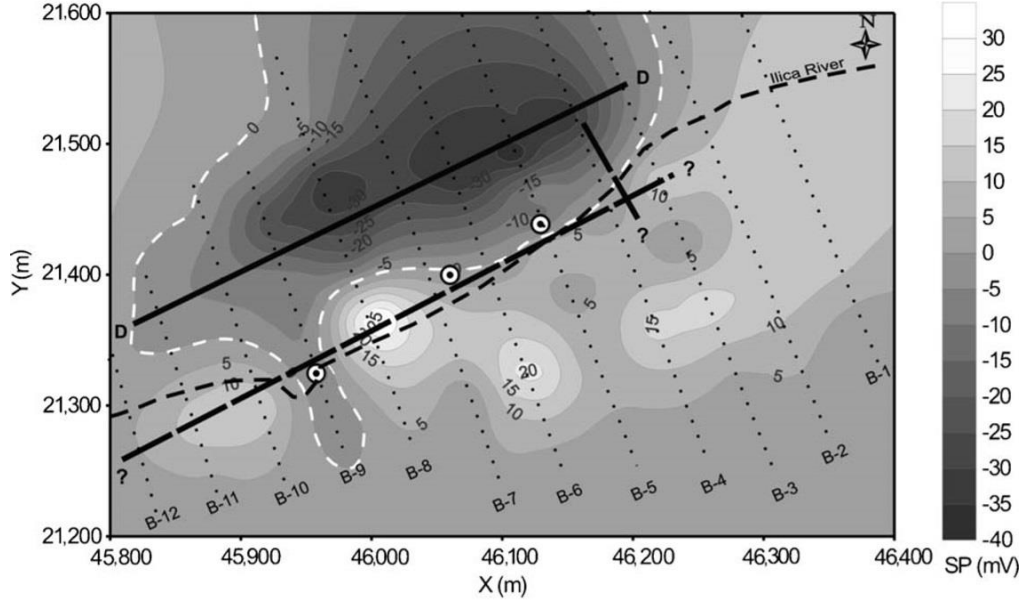
Şekil 5.3: Eğimli fay modelinin kontrollü modelleme ile hesaplanan SP anomali ve gözlemsel SP anomalisinin karşılaştırılması.



Şekil 5.4: Düşey Elektrik Sondaj verisinin kontrollü modelleme kullanılarak değerlendirilmesi.

Öncelikli olarak Doğal Gerilim yöntemi uygulanması ile b-8 ile belirtilen alan üzerinde alınan hat GeoSof programına girildiğinde gözlenen eğrinin pozitif anomali sonrası şiddetli negatif anomali içerdiğini görmekteyiz (Şekil 5.3). Bu anomalinin olası bir fay karakterinden kaynaklanması mümkündür. Yukarıda belirtilen şekilde fay modeli seçilerek varsayılan değerler ile eğri çizdirilir. Çizdirilen eğri için kontrollü modelleme uygulayabilmek amacıyla gözlemsel veri

girişi yapılarak anomalinin gözlemlendiği hat okutulur. Hat uzunluğu 26 metre ve ölçüm aralığı 1 metre seçilerek eğriler üst üste getirildiğinde karakterlerin maksimum uyuma 100 derece eğim açısı, 150 ila 200 mV arası streaming gerilimi ile yeryüzüne en yakın noktasının yaklaşık 5 ila 10 metre aralığında olduğu sonucuna ulaşıyoruz.



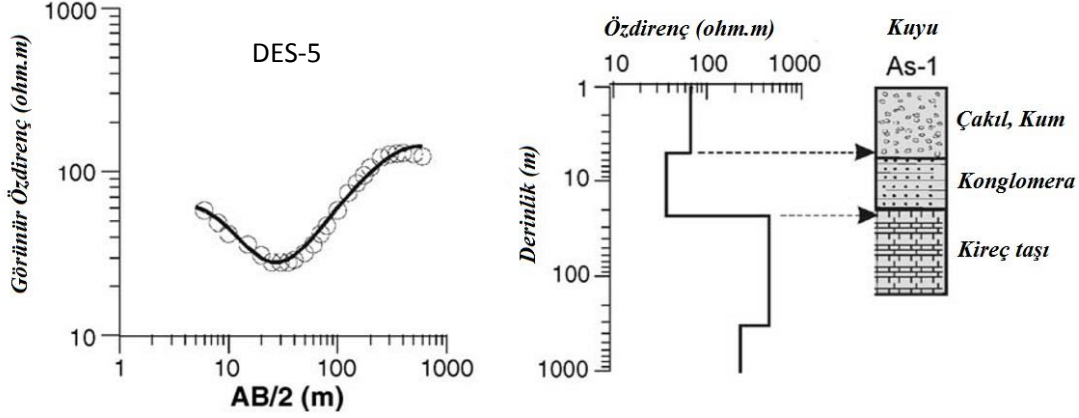
Şekil 5.5: Doğal gerilim yöntemi ölçümleri B-8 profili (Özür lan ve Şahin, 2006).

Özdirenç kuramsal eğrisi ile Doğal Gerilim yöntemi sonuçlarını kıyaslamadan önce Düşey Elektrik Sondajı verisini de kontrollü modelleme uygulamasıyla değerlendirerek üç tabaka modeli için tabakalara ait özdirenç ve kalınlık değerlerini kestirmeye çalışalım.

A ve B ile belirtilen iki hat üzerinde anomalilerin gözlemlendiği bölgelerde Düşey Elektrik Sondajı çalışmaları yapılmış sonuçlar kuyu logları ile değerlendirilmiştir. Bu verilerden A hattı üzerinde as-1 kuyusu açılmış ve sondaj çalışması yapılmıştır (Şekil 5.7). As-1 kuyusunun yanında DES-5 noktasında yapılan Elektrik delgi çalışmasına ait veriler kontrollü modelleme uygulamasıyla değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

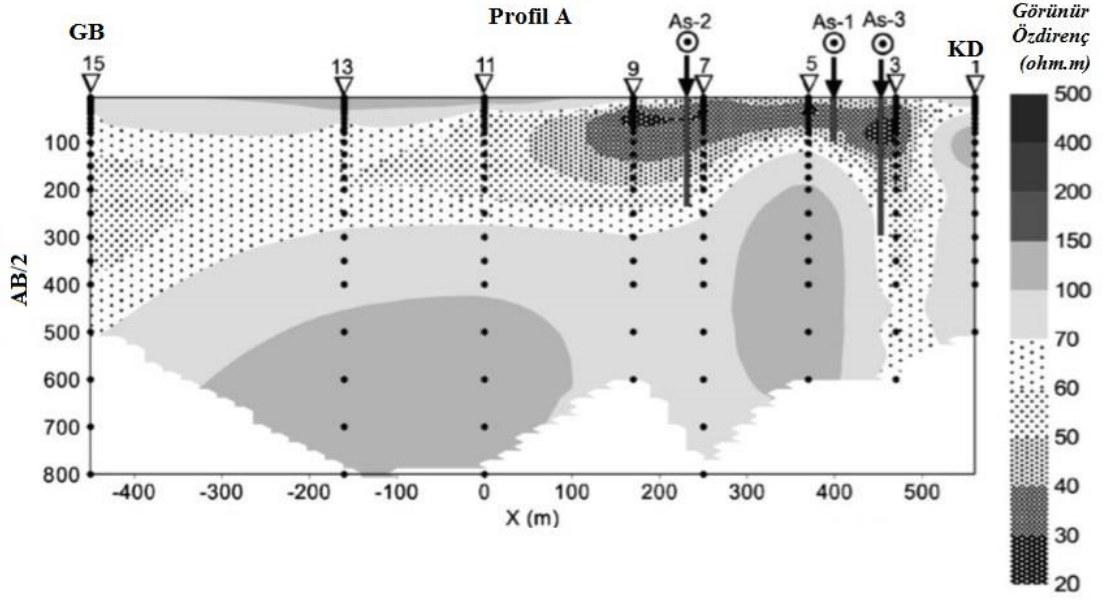
Kuramsal eğri ile gözlemsel eğrinin karakteristik olarak maksimum uyuma geldiği durumda H tipi eğri modeli gözlemlendiğimiz tabaka yapısına ait özdirenç değerleri sığdan derine doğru sırasıyla 54, 20 ve 494 ohm.m olarak ölçülmüş ve tabaka kalınlıkları aynı sıra ile 6 ve 28 metre olarak elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar Özürlan ve Şahin (2006) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile değerlendirilecek olursa Düşey Elektrik sondaj çalışması sonucu elde edilen tabaka öz direnç ve kalınlıklarının Şekil 5.4'te benzerlik gösterdiği görülmektedir. As-1 kuyusunun üzerinde alınmış A hattı için oluşturulan kesit incelendiğinde sonuçların yeraltı yapısı ile örtüştüğü görülmektedir.

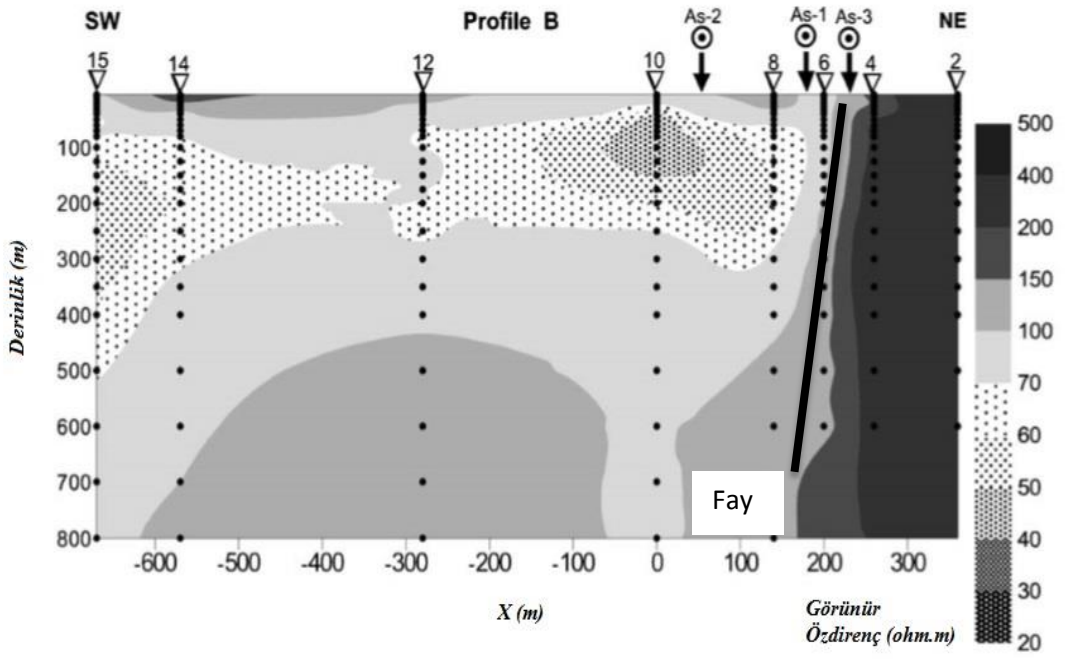


Şekil 5.6: Öz direnç kuramsal eğrisi, yatay yeraltı tabakaları ve bu tabakaların jeolojisi (Özürlan ve Şahin, 2006).

Hat B üzerinde olası fay yapısının gözlemlendiği (şekil 5.5) Doğal Gerilim verisinin, kontrollü modelleme uygulanarak değerlendirilmesi ve sonuçları yukarıda verilmiştir. Bu sonuçlara bakılarak olası fay yapısının derinliği, eğimi ve streaming gerilim katsayısı gibi parametreleri kontrollü modelleme sonucu elde ettiğimiz değerlerle mukayese edildiğinde uygulamanın çok iyi sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 5.8'de verilen öz direnç kesitine bakılarak fayın uzanımının yeryüzüne en yakın noktada derinlik parametresinin GeoSof ile elde edilen derinlik değerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun yanısıra fayın eğiminin 90 dereceyle 100 derece arasında olduğu Şekil 5.8'de görülmektedir. GeoSof ile kestirdiğimiz 100 derecelik eğim açısının kesitte görülen eğim ile uyumlu olduğu ve Doğal Gerilim Yöntemi için kontrollü modelleme uygulamasının çok iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.7: A hattı Öz direnç kesiti (Özür lan ve Şahin, 2006).



Şekil 5.8: B hattı Öz direnç kesiti (Özür lan ve Şahin, 2006).

6. SONUÇLAR

GeoSof modelleme programının amaç ve kapsamı ilk bölümlerde açıklanmıştır. Literatürde örneklerine rastlayabildiğimiz ters çözüm programlarını incelediğimizde GeoSof modelleme programı ile aralarında bazı farklılıklar olduğunu görebilmekteyiz. Modelleme uygulamasının kullanıcı odaklı ve kontrollü yapılabilmesi, farklı anomaliler için farklı model ve farklı jeofizik yöntemleri birlikte değerlendirebilmesi ile düzeltmeler için verilerin ekranda gözlemlenebilmesi bu farklılıklardan bazılarıdır. GeoSof modelleme programı veri değerlendirme ve sunumu için gerekli adımları farklı jeofizik yöntemler için mümkün oldukça pratik bir şekilde uygulanabilir kılmıştır. Kontrollü modelleme uygulamasının literatürde karşımıza çıkan benzer modelleme programlarına göre daha eğitici bir uygulama olduğu görülmektedir.

Kapsam içerisinde modelleme ve modellemenin alt başlığı olarak tanımlayabileceğimiz kontrollü modelleme uygulamalarının sentetik verilerde olduğu gibi jeotermal alanlarda toplanmış veriler içinde başarılı bir şekilde uygulanabildiği görülmüştür. Çalışma kapsamında programın kullanımı sonuçları bilinen veriler üzerinde yapılan uygulamalarla anlatılmıştır. Bu aşamadan sonra programın verdiği sonuçlar Gailler ve diğ. (2014) ve Özürkan ve Şahin (2006) tarafından verilen sondaj ve özdirenç kesitleri sonuçları ile karşılaştırılarak test edilmiştir.

Jeofizik yöntemler, çevresel faktörlere bağlı olarak şiddetli gürültüler içeren veriler sunabilir ancak verilere yapılan düzeltmeler ve çizdirilen eğrilerde görülebileceği gibi anomalilerin karakteristiği kavranabilmektedir. Anomali bazlı değerlendirmeler ile yeraltının jeofizik parametrelerini kestirebilmemizi mümkün kılmaktadır. Kestirimlerin doğrudan kullanıcı odaklı interaktif değişimler ile yapılabilmesi, yeraltı yapısının daha iyi analiz edilebilmesine ve genel karakteri ile anlaşılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmanın sonucu olarak GeoSof modelleme programının kontrollü modelleme yönteminin literatürde kullanılan diğer modelleme uygulamaları kadar etkili bir veri değerlendirme yöntemi olduğu test edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Antonov, E., Yu., Kozhevnikov, N., O., Korsakov, M., A.,** (2014), Software for Inversion of TEM data, affected by fast decaying induced polarization, Science Direct.
- Camtez, N.,** (1997), Jeofizikte Modelleme, Jeofizik Mühendisleri Odası, birinci basım.
- Çağlar, İ.,** (1995), Jeofizikte Doğal Polarizasyon Yöntemi, T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi no: 1437.
- Çağlar, İ.,** (2000), Visual interpretation of superposed self-potential anomalies in mineral explorationp, Computers & Geosciences 26 (2000) 847-852.
- Ergin, K.,** (1985), Uygulamalı jeofizik, Maden fakültesi yayın no: 16.
- Gailler, L., S., Bouchot, V., Martelet, G., Thinon, I., Coppo, N., Baltassat, J., M., Bourgeois, B.,** (2014), Contribution of multi-method geophysics to the understanding of a high-temperature geothermal province: The Bouillante area (Guadeloupe, Lesser Antilles), Journal of Volcanology and Geothermal Research 275, 34-50.
- Ghorbani, A., Camerlynck, C., Florsch, N.,** (2009), Cr1Dinv: A matlab program to invert 1D spectral induced polarization data for the Cole-Cole model including electromagnetic effects
- Guptasarma D,** (1982), Optimization of short digital linear filters for increased accuracy, Geophysical Prospecting, 30, 501-514.
- Oruç, B.,** 2012, Teori ve örneklerle jeofizikte modelleme, Umuttepe Yayın No: 66.
- Oruç, B.,** 2013, Yeraltı Kaynak Aramalarında Gravite Yöntemi, Umuttepe Yayın No: 103.
- Özürlan, G., Şahin, M., H.,** (2006), Integrated geophysical investigations in the Hisar geothermal field, Demirci, western Turkey, Geothermics 35 (2006) 110–122.
- Pinto, V., Rivero, L., Casas, A.,** (2000), Teaching oriented Geophysical software, Computer&Geosciences 26 809-814.
- Pirttijarvi, M.,** (2009), Laterally constrained two-layer ters çözüm of VLF-R measurements.
- Pullan, S., E.,** (1990), Recommended standard for seismic (/radar) data files in the personal computer environment, Geophysics, 55, no. 09, 1260-1271.
- Sanver, M., İşseven, T.,** (2007), Gravite ve manyetik arama yöntemleri, Nobel yayın no: 1158.
- Telford, W., M., Geldart, L., P., Sheriff, R., E.,** (1990), Applied Geophysics, Cambridge University Press.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mustafa Berkay DOĞAN

Doğum Yeri ve Tarihi: MALATYA 28 / 11 / 1989

Adres: Yenişehir Mahallesi, Cumhuriyet Bulvarı, Toprak Mensupları Sitesi,
D Blok 26/4, Daire 4, Pendik / İSTANBUL

E-Posta: dogan.mustafa.berkay@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi / Jeofizik Mühendisliği