

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜTAHYA-HİSARCIK JEOTERMAL ALANININ İKİ BOYUTLU YERALTI
YAPISININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan ÜNER

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜTAHYA-HİSARCIK JEOTERMAL ALANININ İKİ BOYUTLU YERALTI
YAPISININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Serkan ÜNER
505121410**

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülçin ÖZÜRLAN AĞAÇGÖZGÜ

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505121410 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Serkan ÜNER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ **KÜTAHYA-HİSARCIK JEOTERMAL ALANININ İKİ BOYUTLU YERALTI YAPISININ İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Gülçin ÖZÜRLAN AĞAÇGÖZGÜ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Gülçin ÖZÜRLAN AĞAÇGÖZGÜ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Doğa DÜŞÜNÜR DOĞAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Çağlayan BALKAYA
Süleyman Demirel Üniversitesi

Teslim Tarihi : 04 Mayıs 2015
Savunma Tarihi : 29 Mayıs 2015

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda yardımını benden esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan sayın hocam Prof.Dr. Gülçin Özürlan Ağaçgözü'ye çok teşekkür ederim. İncelemesi yapılan sahada alınan ölçümleri sağlayan MTA Genel Müdürlüğü'ne ve jeofizik mühendisi sayın Ahmet Lezgi'ye teşekkür ederim. İnceleme alanı ile ilgili değerli bilgileri paylaştığı için sayın Cemal Kaya'ya teşekkür ederim. Sıcaklık modellemesi sırasında yardımını esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. Doğa Düşünür Doğan'a ve arkadaşım Duygu Yağcı'ya teşekkür ederim.

Tez sürecinde yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarıma sabırlarından dolayı teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, hiçbirşeylerini benden esirgemeyen ve beni bu güne getiren canım aileme ve tez yazımındaki huysuzluklarıma katlanan nişanlıma çok teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Serkan Üner
Jeofizik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. JEOTERMAL ENERJİ VE TÜRKİYE'NİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ	5
2.1 Jeotermal Enerji ve Kullanım Alanları.....	5
2.2 Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli.....	7
3. KÜTAHYA- HİSARCIK JEOTERMAL ALANI ARAŞTIRMASI	11
3.1 Çalışma Alanı Lokasyonu	11
3.2 Bölgenin Jeolojisi	12
3.1.1 Stratigrafi	12
3.1.2 Tektonik.	15
3.1.3 Jeotermal jeolojisi	16
3.3 Uygulanan Jeofizik Yöntemler ve Esasları	19
3.3.1 Uygulanan yöntemler	20
3.3.1.1 Doğru akım elektrik öz direnç.....	20
3.3.1.2 Doğal potansiyel.....	21
3.3.2 Veri değerlendirme yöntemleri	21
3.3.2.1 Bir boyutlu ters çözüm.....	22
3.3.2.2 Yanal kısıtlı bir boyutlu ters çözüm	24
3.3.2.3 İki boyutlu ters çözüm.....	24
3.3.3 DES verilerinin incelenmesi	26
3.3.4 SP verilerinin incelenmesi	39
3.3.5 Araştırma alanında uygulanan diğer bir jeofizik yöntem ile karşılaştırma	43
3.3.6 Sıcaklık modellemesi	44
4. SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR	53
EKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

ΔV	:Gerilim farkı
ρ_a	:Görünür özdirenç
DES	:Düşey Elektrik Sondaj
I	:Akım
MRM	:Model ayrımlılık düzeyi
MTA	:Maden Tetkik Arama
mV	:Milivolt
RMS	:Ortalama karekök (Root mean square)
SP	:Doğal potansiyel (Self potential)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Jeotermal akışkanların sıcaklıklarına göre kullanım alanları	6
Çizelge 3.1: Bölgeye ait model için başlangıç ve sınır koşulları.....	46

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.2: Türkiye'deki önemli jeotermal alanlar	8
Şekil 2.3: Kütahya ili jeotermal alanları	10
Şekil 3.1: İnceleme alanı yer bulduru haritası	11
Şekil 3.2: Stratigrafik korelasyon çizelgesi	13
Şekil 3.3: Hisarcık güneyi genelleştirmiş stratigrafi kesiti	14
Şekil 3.4: İnceleme alanı ve çevresi neotektonik dönem fay haritası	17
Şekil 3.5: Ölçü lokasyon haritası	19
Şekil 3.6: Schlumberger elektrot dizilimi.	20
Şekil 3.7: Hesaplama ve model ağları	26
Şekil 3.8: Ölçü lokasyonları (Pafta haritası üzerinde)	27
Şekil 3.9: I Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan özdirenç değerleri	28
Şekil 3.10: I Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).....	29
Şekil 3.11: J Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan özdirenç değerleri.	30
Şekil 3.12: J Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).....	31
Şekil 3.13: JK Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan özdirenç değerleri.	32
Şekil 3.14: JK Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).....	33
Şekil 3.15: K Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan özdirenç değerleri.....	34
Şekil 3.16: K Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).....	35
Şekil 3.17: M Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan özdirenç değerleri.	36
Şekil 3.18: M Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).....	37
Şekil 3.19: Kütahya-Hisarcık 2 boyutlu jeoelektrik yapısı 3 boyutlu haritası (Sağdan sola doğru; I Profili, J Profili, JK Profili, K Profili ve M Profili).	38
Şekil 3.20: Model çözümü matrisi (I profili)	39
Şekil 3.21: Fay modeli.....	40
Şekil 3.22: A Profili SP türev ve yığılma grafikleri.....	41
Şekil 3.23: B Profili SP türev ve yığılma grafikleri.....	41
Şekil 3.24: C Profili SP türev ve yığılma grafikleri.....	41
Şekil 3.25: D Profili SP türev ve yığılma grafikleri.....	42
Şekil 3.26: Kütahya-Hisarcık SP kontur haritası.	42
Şekil 3.27: C Profili fay modeli.....	43
Şekil 3.28: 420 Profili 2B MT yapı kesiti. (Siyah dikdörtgen DES ölçülerinin yerini temsil etmektedir)	44
Şekil 3.29: Sahaya ait modelin ağ geometrisi.....	47
Şekil 3.30: Sıcaklık eğrileri	47
Şekil 3.31: Darcy hızı vektörleri.....	48

Şekil 3.32: Sahaya ait hidrotermal model.	51
Şekil A.1: DES veri değerlendirme programı ana menü	58
Şekil A1.1: 1D Inversion-Occam sekmesi.....	59
Şekil A1.2: Hesaplanan ve ölçülen değerler örneği.....	59
Şekil A1.3: Bir boyutlu yer altı modeli örneği	59
Şekil A1.4: Profildeki her noktaya ait derinlik kesitleri	60
Şekil A1.5: Nokta bazlı detaylı inceleme için kullanıcı seçim girişi	60
Şekil A1.6: Kullanıcı seçimine göre nokta bazlı detaylı inceleme	60
Şekil A2.1: 1.5D Inversion-LCI sekmesi.....	61
Şekil A2.2: Yaklaşık iki boyutlu ters çözüm grafiği örneği	61
Şekil A3.1: 2D Inversion-SCH2D sekmesi	62
Şekil A3.2: İki boyutlu ters çözüm model çizdirimi için menü.....	62
Şekil A3.3: İki boyutlu yer altı modeli örneği	62
Şekil A4.1: 2D Inversion-Curves sekmesi.....	63
Şekil A4.2: İki boyutlu hesaplanan ve ölçülen değerler örneği.....	63
Şekil A5.1: Mapping sekmesi.....	64
Şekil A5.2: Üç boyutlu görüntüleme örneği.....	64
Şekil A5.3: Üç boyutlu görüntüleme için izlenecek yol.....	65

KÜTAHYA-HİSARCIK JEOTERMAL ALANININ İKİ BOYUTLU YERALTI YAPISININ İNCELENMESİ

ÖZET

Jeofizik yöntemlerden doğru akım elektrik öz direnç yöntemi jeolojik yapıların araştırılmasında, yanal süreksizlerin ortaya konmasında, gevşek çökel malzemenin derinliği ve kalınlığı ile sağlam temel kaya derinliğinin bulunmasında, hidrojeolojik çalışmalarda tuzlu su girişi ve yeraltı suyu kirlilik haritalarının elde edilmesinde, doğal kaynak aramalarında, jeotermal aramalarda, cevherleşme olan bölgelerin bulunmasında tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada MTA tarafından Kütahya Hisarcık jeotermal alanında gerçekleştirilen 5 profil boyunca 69 adet düşey elektrik sondaj (DES) ve 4 profil boyunca 65, 48, 43 ve 50 noktada doğal potansiyel (Self-Potential SP) ölçümlerinden elde edilen veriler değerlendirilmiş ve bölgenin iki boyutlu yeraltı yapısı araştırılmıştır. Arazide yapılan DES çalışmalarında AB/2 değerleri 1000 m. ile 2000 m. arasında değişmektedir. Bunun yanında DES profillerine dik ve paralel şekilde 4 profile SP ölçüleri alınmıştır. DES verileri bir boyutlu, yanal kısıtlı bir boyutlu (yaklaşık 2B) ve iki boyutlu ters çözüm algoritmaları kullanılarak değerlendirilmiştir. 1B ters çözümde kullanılan Occam algoritması, yer içi öz direnç yapısının sürekli ve yumuşatılmış biçimde elde edilmesine dayanmaktadır. İyileştirmede kullanılan yinelemelerde, bir önceki RMS (root mean square) hatasından daha küçük hata veren modeller içerisinde en yumuşak öz direnç değişimini gösteren model araştırılmaktadır. Yaklaşık 2B ters çözümde, yanal kısıtlı 1B ters çözüm algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma, bir doğrultu boyunca ölçülen tüm verilerin iki boyutlu düzgünleyici kısıtlamalar ile yeniden düzenlenen bir boyutlu ters çözüm ile terslenmesi prensibine dayanmaktadır. Dolayısıyla bu algoritma kullanılarak 1B ve yaklaşık 2B ters çözümlerin karşılaştırılması ile iki boyutlu bozucu etkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır ve bu çözümlerden elde edilen sonuca göre 2B ters çözüm algoritmasına verilecek başlangıç modeli belirlenmektedir. 2B Schlumberger ters çözüm algoritması, sabit tutulan blokların her yinelemeye sadece öz direnç değerlerinin değiştirilmesi yöntemiyle çalışmaktadır.

Elektrik öz direnç ve doğal potansiyel yöntemleri ile hesaplanan yer altı modeli ile sıcaklık ve akış modellemeleri yapılmıştır. Bu amaçla Fluent isimli program kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar çerçevesinde araştırma alanında jeotermal alanın varlığını işaret eden kırık yapıları ve sıcak akışkan içeren rezervuarın konumu ve derinliği net bir şekilde ortaya konulmuştur.

TWO DIMENSIONAL GEOELECTRICAL STRUCTURE OF KÜTAHYA-HİSARCIK GEOTHERMAL AREA

SUMMARY

Fossil fuels such as coal, petroleum, natural gas and nuclear power are used primarily for energy production around the world. Since the global awareness increased for the detrimental effects of burning fossil fuels, clean and renewable energy sources, ie, hydroelectric, geothermal, sunlight, wind, gain more interest. Geothermal energy which has proven to be clean, renewable and safe, is one of the promising renewable energy source.

Turkey is located on the Alpine-Himalayan orogenic belt and locating in region of high tectonic activity. There are Miocene or younger grabens developed in that area as a result of this orogeny. Therefore, Turkey is a country with a significant geothermal energy potential. Electricity generation, direct use (house heating, greenhouse heating) and industrial usage are some of the various geothermal energy utilizations can be done in Turkey. Resource assesment is done many times by the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) and today it is discovered more than 1000 hot and mineral water springs which their temperature is up to 100-140 °C and geothermal fields with a temperature range of 40-232 °C. 95% of the discovered 186 geothermal field is low-medium enthalpy source. Although Turkey is the 7th richest country in the word in terms of geothermal potential, most of the development has been achieved at direct-use applications.

Exploration of geothermal fields are in great importance since it is a cleaner energy source. For this purpose, direct current geophysical method is a well suited tool for geothermal exploration and for all that, geological structures, lateral discontinuities, sediment thickness and depth, bedrock depth, hydrogeologic studies, groundwater exploration and groundwater contamination and natural resources.

In this study, it is aimed to obtain two dimensional subsurface structure of Kütahya-Hisarçık geothermal field. Detailed geophysical survey which consist of 69 vertical electrical soundings (VES) with various AB/2 between 1000 m. and 2000 m. and SP measurements of 4 profile were carried out by MTA. Schlumberger electrode spacing is used for VES surveys and 25 m. electrode spacing is used for SP profiling.

Study area is located north of Emet-Gediz graben. Measurements took place at a 69 km² area near Hamamköy and Sefaköy and can be located at 1/25000 scaled Kütahya J22-c1 map. Survey area is located at 70 km. south-west of Kütahya centrum and 10 km. south of Emet. Fault directions are observed in vicinity are, NW-SE, N-S and NE-SW. While right lateral faults are NW-SE oriented, N-S and NESw oriented ones are dip-slip normal faults. Most important tectonic element is Hisarçık fault. This fault is N-S oriented and observed in Neogene Yeniköy formation. Yeniköy formation consists of sandstone, siltstone, marl and fine grained sandstone-tuff layers. Travertines are observed in a small area north of Hamamköy. Budağan

limestones, Arıkaya and Sarıcasu formations underlying the Yeniköy formation are potential geothermal reservoirs.

VES data are inverted by 1D, quasi 2D and 2D inversion algorithms. Occam algorithm is used for 1D inversion which gave a smooth and continuous resistivity variations of the area. It is more satisfactory to allow the model to be as flexible as possible but suppress complexity explicitly. Therefore a roughness value is defined. Goal here is to find the smallest roughness value that agrees with the measurements. In order to convert the VES data by quasi 2D, laterally constrained 1D (LCI) algorithm is used. This algorithm uses similar approach that Occam does and based on applying modified one dimensional inversion with two dimensional smoothness constraints on a vertical electrical sounding data along a line. Therefore this quasi 2D algorithm is compared with 2D inversion to determine 2D structural effects. Lastly, 2D Schlumberger inversion algorithm is used which based on 2D model with fixed block boundaries during inversion and only the resistivity values of each block changes through the iteration.

VES data inverted along 5 profiles which are all parallel to each other are named I, J, JK, K and M in respect to north to south. There is a high-low resistivity contrast at northern profiles. The reason for this contrast is thought of Hisarcık fault at vicinity. This boundary is located near I-18 VES station divides the area into two zones with 400 Ω m.- 20 Ω m. resistivity difference. East of I-18, there is a remnant of old depression around I-23. According to geoelectrical structure of profile I, bedrock gets deeper eastwards. Low resistivity zone is seen around 1500 m. along profile and at a depth of 750-800 m. Hisarcık fault is also seen at Profile J with its characteristic high resistivity contrast. Low resistivity ($< 10 \Omega$ m.) is 1200-1600 m. along profile and at 400 m. depth. Horst-graben structure is clearly seen at profile J around JK-18 – JK-19 and JK-23 – JK-24. Area between these two faults are between 1300 m. and 1800m. along profil J and between 400 – 600 m. depth. Faults observed at other profiles also seen clearly at profile K around K-18 – K-19 ves stations. Graben structure seen around K-20-1 – K-21 stations and low resistivity zone is located at a depth of 400-675 m. Profile M is the longest profile and located at the south of other profiles. Old depression mentioned at profile I is also shown at this profile between M-20 – M-27 VES stations. East and west of this depression, graben structure is visible clearly. Area is characterize with Pliocene allüvial deposits and Hisarcık formation and Miocene aged Yeniköy formation at the uppermost layer. These formations are underlayed by fractured Arıkaya and Balıkbaşı limestones. It is thought that Simav metamorffics are the bottom layer at vicinity.

There are 4 SP profiles consist of 65, 48, 43 and 50 stations are named A,B,C and D. A and B profiles are parallel to each other and perpendiculat to VES profiles. C profile is between I-19 and I-23 VES stations. Profile D is intercepts I, J, JK and K VES profiles. Both profiles B and A are shown similar characteristics as continuous increase or decrease. This indicates that these profiles are along the geological structures and does not intercepts a fault surface. On the other hand, profile C shows negative values between I-21 and I-22. These results concur with the graben structure observed at VES cross sections.

In order to find the reservoir's location and depth, fault and fracture structures derived from VES and SP data are used in ANSYS FLUENT 6.3.26 computational fluid dynamics software. This software operates using finite volume method for flow and temperature modelling. Temperature, porosity, permeability, viscosity, heat

capacity, thermal expansion coefficient and thermal conductivity are used as model parameters for modelling. These parameters were combined with the subsurface geometries derived from SP and VES studies in order to build mesh geometry. Model consist of 40710 finite volume element and 41370 nodes that binds them. Fault zones are defined by permeability contrast within surrounding rocks. While surrounding rocks have a permeability of 10^{-15} , fault zones are defined with 10^{-13} . Model parameters are decided after thorough literature research and concurs with recent studies. Steady state temperature calculations shows that smooth temperature curves. This is in agreement with the expected heat conduction (Rayleigh number < Critical Rayleigh number). Furthermore, $\sim 10^{-9}$ m/s Darcy velocities are observed around fault zones. This is velocity values are also concur with recent studies.

Temperature of Yenice, Yoncağa and Sefaköy hotspots at Emet-Hisarcık graben are measured as 37 °C, 49 °C and 51 °C. According to this information, temperatures of the hotspots are increasing from north to south. This also in agreement with the VES cross sections that indicates deepening bedrock through eastwards. Therefore it is possible to obtain higher temperature reservoirs and further investigations are needed.

1. GİRİŞ

Bugün dünyada üretilen enerjinin büyük bir bölümü kömür ve petrol gibi fosil yakıtlardan ve nükleer enerjiden elde edilmektedir. Ülkelerin artan nüfuslarıyla orantılı olarak enerji ihtiyaçları da artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için sürekli olarak fosil yakıtların kullanılmasının doğaya yarattığı tahribata olan farkındalığın artmasıyla hidroelektrik, jeotermal, güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep dünyaca artmıştır (Kömürcü ve Akpınar, 2009). Yenilenebilir kaynaklar içinde jeotermal enerji; temiz ve güvenilir bir enerji kaynağı olması sebebiyle oldukça önemlidir.

Alp – Himalaya orojenik kuşağında bulunan ülkemiz aktif bir tektonizmaya sahiptir. Dolayısıyla jeotermal kaynak potansiyeli oldukça zengindir. Ülkemizde jeotermal aramalar 1960'lı yılların başında başlamıştır ve MTA tarafından ilk çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Mertoğlu ve diğ., 2010). İlk adım olarak yüksek entalpili sahalar araştırılmış olsa da şu anda orta ve düşük entalpili bir çok saha keşfedilmiştir ve keşfedilmeye devam edilmektedir. Günümüzde birçok düşük – orta sıcaklıkta jeotermal kaynaktan direk kullanımda (konut, sera ısıtılması, kaplıca vb.) faydalanılmaktadır.

Jeofizik yöntemlerden elektrik öz direnç yöntemi, jeolojik yapıların araştırılmasında, yanal süreksizlerin ortaya konmasında, gevşek çökel malzemenin derinliği ve kalınlığı ile sağlam temel kaya derinliğinin bulunmasında (Onur ve Ergüder, 1988; Storz ve diğ. 2000; Özurlan ve diğ. 2006; Seher ve Tezkan, 2007), hidrojeolojik çalışmalar, tuzlu su girişi ve yeraltı suyu kirlilik haritalarının elde edilmesinde (Archie, 1941; Gabbani ve Gargini, 1993; Yadav ve Abolfazli, 1998; de Lima ve Niwas, 2000; Wilson ve diğ. 2005), doğal kaynak aramalarında, jeotermal aramalarda, cevherleşme olan bölgelerin bulunmasında (Yadav, 1993; Çağlar ve Demirörer, 1998; Majumdar ve diğ. 2000; Çağlar ve İşseven, 2004; Özurlan ve Şahin, 2006; Singh ve diğ. 2005; Garg ve diğ. 2007; Bayrak ve diğ. 2011) ve arkeojeofizik alanlarda (El-Qady ve diğ. 1999; Negri ve Leucci, 2006) sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından Kütahya Hisarcık jeotermal alanında gerçekleştirilen 5 profil boyunca 69 adet düşey elektrik sondaj (DES) ve 4 profil boyunca 65, 48, 43 ve 50 noktada doğal potansiyel (SP) ölçümleri değerlendirilmiş ve bölgenin iki boyutlu yeraltı yapısı araştırılmıştır. Arazide yapılan DES çalışmalarında AB/2 değerleri 1000 m. ile 2000 m. arasında değişmektedir. Bunun yanında DES profillerine dik ve paralel şekilde 4 profile SP ölçümleri alınmıştır. DES verileri bir boyutlu, yanal kısıtlı bir boyutlu (yaklaşık 2B) ve iki boyutlu ters çözüm algoritmaları kullanılarak değerlendirilmiştir. 1B ters çözümde kullanılan Occam algoritması, yer içi öz direnç yapısının sürekli ve yumuşatılmış biçimde elde edilmesine dayanmaktadır. İyileştirmede kullanılan yinelemelerde, bir önceki RMS hatasından daha küçük hata veren modeller içerisinde en yumuşak öz direnç değişimini gösteren model araştırılmaktadır (Constable ve diğ., 1987). Yaklaşık 2B ters çözümde, yanal kısıtlı 1B algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma, bir doğrultu boyunca ölçülen tüm verilerin iki boyutlu düzgünleyici kısıtlamalar ile yeniden düzenlenen bir boyutlu ters çözümünün gerçekleşmesi prensibine dayanmaktadır (Monteiro Santos, 2004). Dolayısıyla bu algoritma kullanılarak 1B ve 2B ters çözümlerin karşılaştırılması ile iki boyutlu bozucu etkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır ve bu çözümlerden elde edilen sonuca göre 2B ters çözüm algoritmasına verilecek başlangıç modeli belirlenmektedir. 2B Schlumberger ters çözüm algoritması, sabit tutulan blokların her yinelemede sadece öz direnç değerlerinin değiştirilmesi yöntemiyle çalışmaktadır (Uchida ve Murakami 1990). 2B ters çözüm algoritması kullanılarak çok sayıda başlangıç modeli ile denemeler yapılmıştır. Aşırı öz direnç kontrastı göstermeyen sahalarda homojen başlangıç modeli ile belirlenen modeller arasında çok küçük bir fark olduğu görülmüştür. Çalışma alanında önceki çalışmalar içerisinde manyetotellürik (MT) kesitlerinden (Kaya, 2015) faydalanılarak hesaplanan DES ters çözüm sonuçları ile ilişkilendirilmiştir.

Elektrik öz direnç ve doğal potansiyel yöntemlerinden faydalanılarak hesaplanan yer altı modeli ile Fluent programı kullanılarak sıcaklık ve akış modellemeleri yapılmıştır. Modelleme sonucunda bölgedeki sıcak su çıkışlarıyla paralel olarak modelde akışkanın yukarı hareketi gözlemlenmiştir.

Bölgede yüzeye yakın birimlerin Pliyosen yaşlı alüvyonlar ve Hisarcık formasyonu ile Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu olduğu düşünülmektedir. Bu formasyonların

altında bol eklemli Arıkaya ve Balıkbaşı formasyonlarının kireçtaşları yer aldığı ve en alt birim olarak da Simav metamorfitlelerinin yer aldığı düşünülmektedir. DES kesitlerindeki yaklaşık 500 m. – 700 m. derinlikteki düşük özdirenç gösteren zonun Arıkaya ve Balıkbaşı kireçtaşlarına karşılık geldiği düşünülmektedir. Bu zonun altındaki yüksek özdirençli sokulum ise Simav metamorfitleri olarak yorumlanmıştır.

Bölgede çok sayıda düşük – orta sıcaklıklı jeotermal kaynak bulunmaktadır. Emet – Hisarcık grabenindeki diğer kaynaklara bakıldığında, Yenice 37 °C, Yoncağa 49 °C ve Sefaköy 51 °C olarak ölçülmüştür. Buna göre kuzeyden güneye doğru kaynakların sıcaklıklarının arttığı dikkat çekmektedir. DES kesitlerinden bölgenin güneydoğuya doğru derinleştiği dikkat çekmektedir. Dolayısıyla bölgede daha derinlerde daha sıcak kaynak olma ihtimali yüksektir.

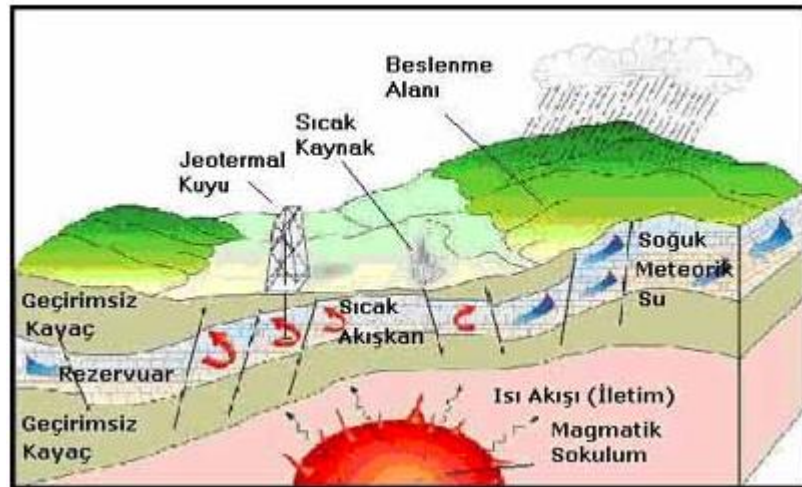
2. JEOTERMAL ENERJİ VE TÜRKİYE'NİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ

2.1 Jeotermal Enerji ve Kullanım Alanları

Jeotermal enerji, jeo-yer ve termal-ısı kelimelerinden oluşmuş olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerindeki, ortalama sıcaklığın üzerinde olan, çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral içeren, sıcak su, buhar, gaz veya sıcak kuru kayaçların içerdiği termal enerji olarak tanımlanır (İmamoğlu 2009; T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 1996).

Jeotermal sistemlerin oluşabilmesi için üç ana unsur gereklidir;

- Isı kaynağı: Zayıf veya kırıklı zonlardan yüzeye yakın kesimlere kadar ulaşabilen magmatik sokulumlar veya derinlikle artan normal sıcaklık (jeotermal gradyen; $2.5-3^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$) jeotermal sistemlerde ısı kaynaklarıdır.
- Rezervuar ve örtü kayaç: Üzeri geçirimsiz bir birimle kesilen geçirimli, kırıklı, çatlaklı kayaçlardan oluşan tabakalar rezervuarı oluşturur. Rezervuar içindeki akışkan sıcaklık ve basınca bağlı olarak sıvı ya da buhar hallerinde bulunabilir.
- Isıyı taşıyan unsur, kırık sistemleri.



Şekil 2.1: İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi.

Şekil 2.1 de ideal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi bulunmaktadır. Geçirimsiz tabakalarla örtülen geçirimli tabakalar içinde bulunan jeotermal akışkan (genellikle meteorik su) basınca bağlı olarak sıvı veya buhar halde bulunabilir. Jeotermal sistemlerdeki doğal ısıtıcı kaynak tarafından ısınan su yükselir ve kenarlardan gelen soğuk suya yerine bırakır.

Jeotermal enerji sıcaklık içeriğine göre kabaca üç gruba ayrılabilir;

- Düşük sıcaklıklı sahalar (20-70 °C)
- Orta sıcaklıklı sahalar (70-150 °C)
- Yüksek sıcaklıklı sahalar (>150 °C)

Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar Çizelge 2.1 de verildiği üzere direk kullanıma elverişli iken yüksek sıcaklıklı sahalar elektrik üretimi için kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1: Jeotermal akışkanların sıcaklıklarına göre kullanım alanları (T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 1996).

Isı (°C)	Kullanım Alanı	Elektrik Üretimi	Isıtma
180	Yüksek konsantrasyon solüsyonun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma	+	
170	Hidrojen sülfid yoluyla ağır su eldesi, Diatomitlerin kurutulması	+	
160	Kereste, balık vb. yiyeceklerin kurutulması	+	
150	Bayer's yoluyla alüminyum eldesi	+	
140	Çiftlik ürünlerinin kurutulması (Konservcilik)		+
130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi		+
120	Temiz tuz eldesi, tuzluluk oranının artırılması		+
110	Çimento kurutulması		+
100	Organik maddeler, kurutma (Yosun, et, sebze vb.) Yün yıkama ve kurutma		+
90	Balık kurutma		+

Çizelge 2.1 (Devam): Jeotermal akışkanların sıcaklıklarına göre kullanım alanları
(T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 1996).

80	Ev ve sera ısıtma		+
70	Soğutma (Alt sıcaklık sınırı)		+
60	Kümes ve ahır ısıtma		+
50	Mantar yetiştirme, Balneolojik banyolar		+
40	Toprak ısıtma, kent ısıtma (alt sınır), sağlık tesisleri		+
30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri		+
20	Balık çiftlikleri		+

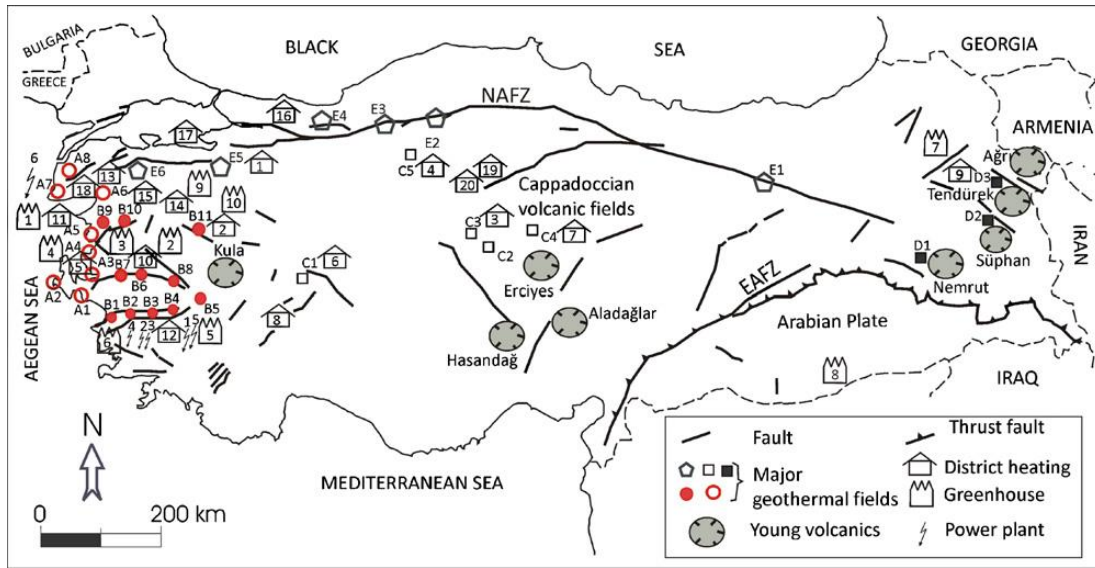
Düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynakların kullanım alanları içerisinde ısıtma (bina, sera, tropik bitki ve balık yetiştirilmesi, cadde, yol ve havaalanı pistleri, yüzme havuzu vb.), endüstri (yiyecek kurutulması ve sterilizasyonu, konservecilik, kereste ve ağaç sanayi, kağıt ve dokuma, deri işleme), ilaç ve kimyasal madde üretim bulunmaktadır (T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 1996).

2.2 Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli

Geç Mezozoik dönemde Tetis (Tethys) okyanusunun kapanmasıyla başlayan Alp-Himalaya orojenik kuşağında bulunan Türkiye, jeotermal kaynaklar açısından yüksek potansiyele sahiptir. Kuzeyde ve güneyde yüksek dağ sıraları oluşurken, orta kesimlerde kambriyen öncesi ve mezozoik yaşlı metamorfik kalkanlar (Menderes ve Orta Anadolu masifleri) bulunmaktadır . Anadolu plakasının batıya doğru hareketi, kuzey-güney yönlü gerilmeler ve Arap plakasının kuzeye doğru ittirilmesi ile, doğu-batı yönlü graben sistemleri görülmektedir. Bu kırıklı yapılar jeotermal alanlar için oldukça elverişli alanları oluşturmaktadırlar (Serpen ve diğ. 2009).

Dünya genelinde Türkiye, Lund ve diğerlerinin (2011) çalışmasına göre, jeotermal enerjinin konut ısınmasında kullanımında, seralarda kullanımda ve kaplıca kullanımında dünya ülkeleri arasında ilk sıralarda yer almaktadır.

Türkiye’deki jeotermal alan araştırmaları incelendiğinde; ilk jeotermal araştırmalara MTA tarafından 1960’lı yıllarda başlanmış olup günümüze kadar MTA tarafından %95’i düşük ve orta sıcaklıklı olmak üzere 186 jeotermal alan bulunmuştur (Mertoğlu ve diğ. 2010). 2010 yılı sonunda kurulu, balneoloji amaçlı 552 MWt, konut, sera vb ısıtmacılığında 1494 MWt ve sıcaklık pompalama işlemlerinde 38 MWt olmak üzere jeotermal alanlardan 2084 MWt direk kullanımda faydalanılmaktadır. Enerji üretiminde ise 81.61 MWe kapasiteye ulaşılmıştır. 2015 yılına kadar gelinmeye planlanan nokta ise enerji üretiminde 550 MWe ve direk kullanımda 4000 MWt dır (Mertoğlu ve diğ. 2010).



Şekil 2.2: Türkiye’deki önemli jeotermal alanlar (Serpen ve diğ. 2009).

Şekil 2.2 de gösterilen Türkiye’deki jeotermal alanların listesi aşağıdaki gibidir.

Ege Bölgesi’ndeki jeotermal alanlar: (A1) Seferihisar, (A2) Çeşme, (A3) Balçova, (A4) Aliaga, (A5) Dikili-Bademli, (A6) Edremit, (A7) Tuzla, (A8) Kestanbol

Batı Anadolu grabenlerindeki jeotermal alanlar: (B1) Germencik, (B2) Aydın, (B3) Salavatlı-Sultanhisar, (B4) Kızıldere, (B5) Denizli; (B6) Salihli-Kurşunlu, Caferbeyli ve Sart, (B7) Turgutlu-Urganlı, (B8) Alaşehir-Kavaklıdere, (B9) Dikili-Kaynarca, (B10) Bergama ve (B11) Simav;

Orta Anadolu’daki jeotermal alanlar: (C1) Afyon, (C2) Kapadokya, (C3) Kırşehir, (C4) Kozaklı, ve (C5) Kızılcahamam

Doğu Anadolu’daki jeotermal alanlar: (D1) Nemrut Caldera, (D2) Erciş-Zilan, ve (D3) Diyarin;

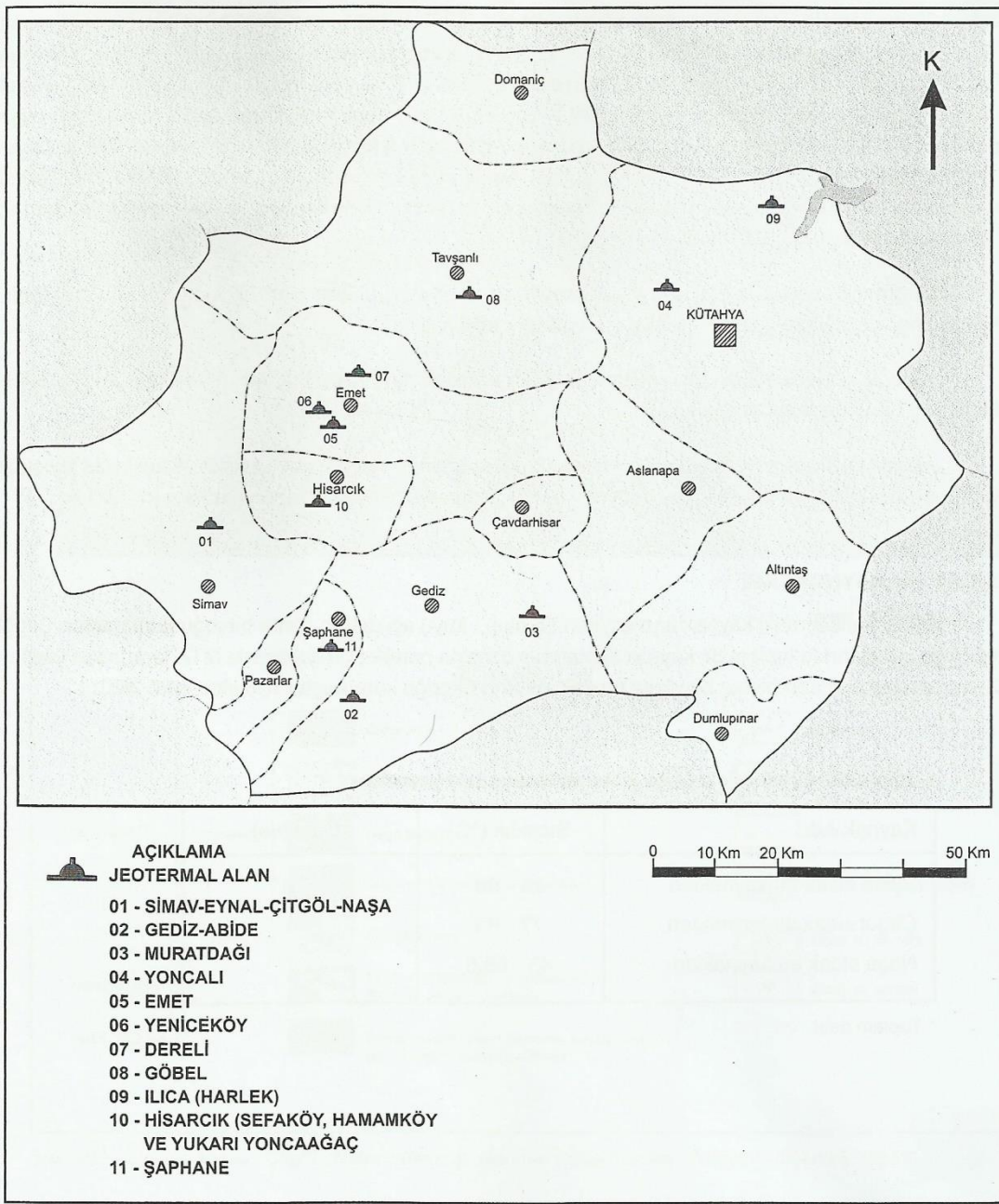
Kuzey Anadolu Fayı civarındaki jeotermal alanlar: (E1) Erzincan, (E2) Çerkeş, (E3) Bolu, (E4) Düzce, (E5) Bursa ve (E6) Gönen.

KAF ve DAF civarındaki jeotermal alan ısıtma sistemleri: (1) Gönen-Balıkesir, (2) Simav-Kütahya, (3) Kırşehir, (4) Kızılcahamam-Ankara, (5) Balçova-İzmir, (6) Afyon, (7) Kozaklı-Nevşehir, (8) Sandıklı-Afyon, (9) Diyadin-Ağrı, (10) Salihli-Manisa, (11) Dikili-İzmir, (12) Sarayköy-Denizli, (13) Edremit-Çanakkale, (14) Bigadiç-Balıkesir, (15) Bergama-İzmir, (16) Kuzuluk-Sakarya, (17) Armutlu-Yalova, (18) Güre-Balıkesir, (19) Sorgun-Yozgat ve (20) Yerköy-Yozgat

Jeotermal seralar: (1) Dikili-İzmir, (2) Salihli-Manisa, (3) Turgutlu-Manisa, (4) Balçova-İzmir, (5) Kızıldere-Denizli, (6) Gümüşköy-Aydın, (7) Diyadin-Ağrı, (8) Karacaali-Urfa, (9) Sındırgı-Balıkesir ve (10) Simav-Kutahya

Jeotermal Elektrik Santralleri: (1) Kızıldere-Denizli (242 °C), (2 ve 3) Dora-1 ve Dora-2, Salavatlı-Aydın (172 °C- 174 °C), (4) Gürmat, Germencik-Aydın (232 °C), (5) Bereket Kızıldere-Denizli (171°C) ve (6) Tuzla-Çanakkale (171°C) (Serpen ve diğ. 2009).

Bu çalışmada Kütahya iline bağlı Hisarcık ilçesindeki jeotermal alan incelemesi yapılacağı için Şekil 2.3 de Kütahya iline ait jeotermal kaynakların haritası verilmektedir. Çalışma alanı ile daha detaylı bilgi ilgili bölümlerde verileceğinden burada sadece jeotermal kaynaklara değinilmiştir.

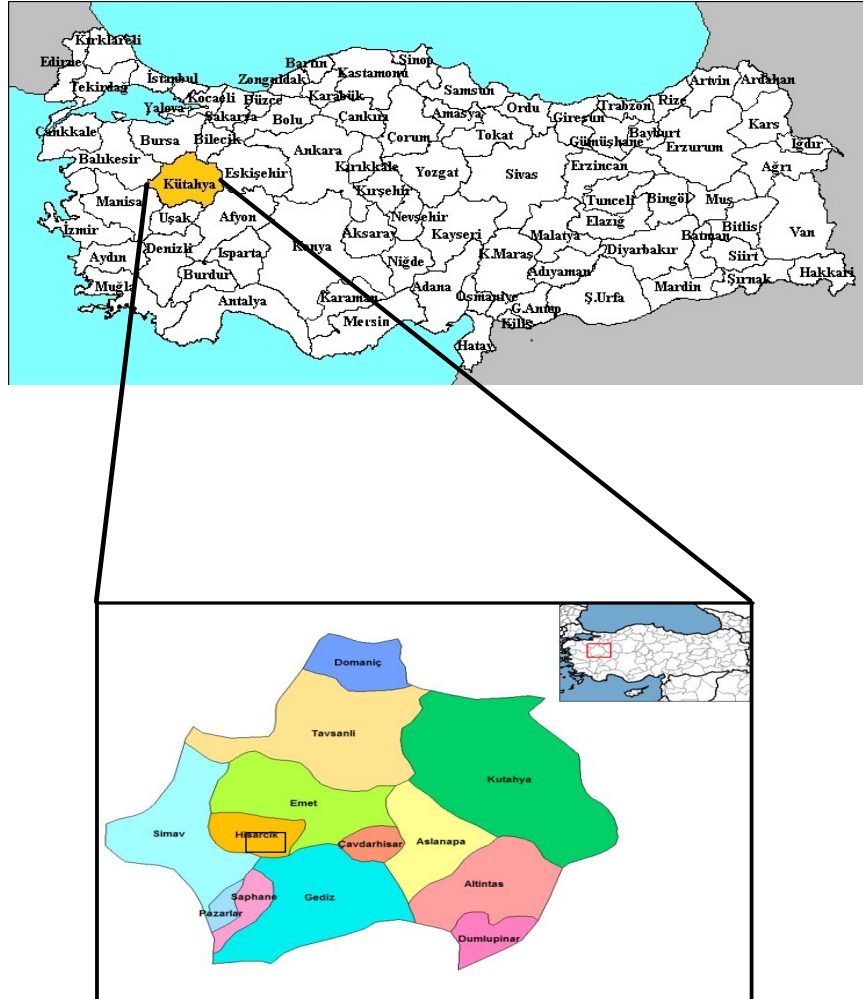


Şekil 2.3: Kütahya ili jeotermal alanları (Akkuş ve diğ., 2005).

3. KÜTAHYA - HİSARCIK JEOTERMAL ALANI ARAŞTIRMASI

3.1 Çalışma Alanı Lokasyonu

Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Kütahya J22-c1 paftasında bulunmaktadır. Hisarcık'a bağlı Hamamköy ve Sefaköy civarındaki çalışma alanı yaklaşık 65 km² lik bir alanı kaplamaktadır ve Kütahya merkezin yaklaşık 70 km güneybatısında ve Emet'in yaklaşık 10 km güneyinde yer almaktadır. Küçük siyah dikdörtgen çalışma alanını göstermektedir. Şekil 3.1` de inceleme alanı yer bulduru haritası verilmektedir.



Şekil 3.1: İnceleme alanı yer bulduru haritası.

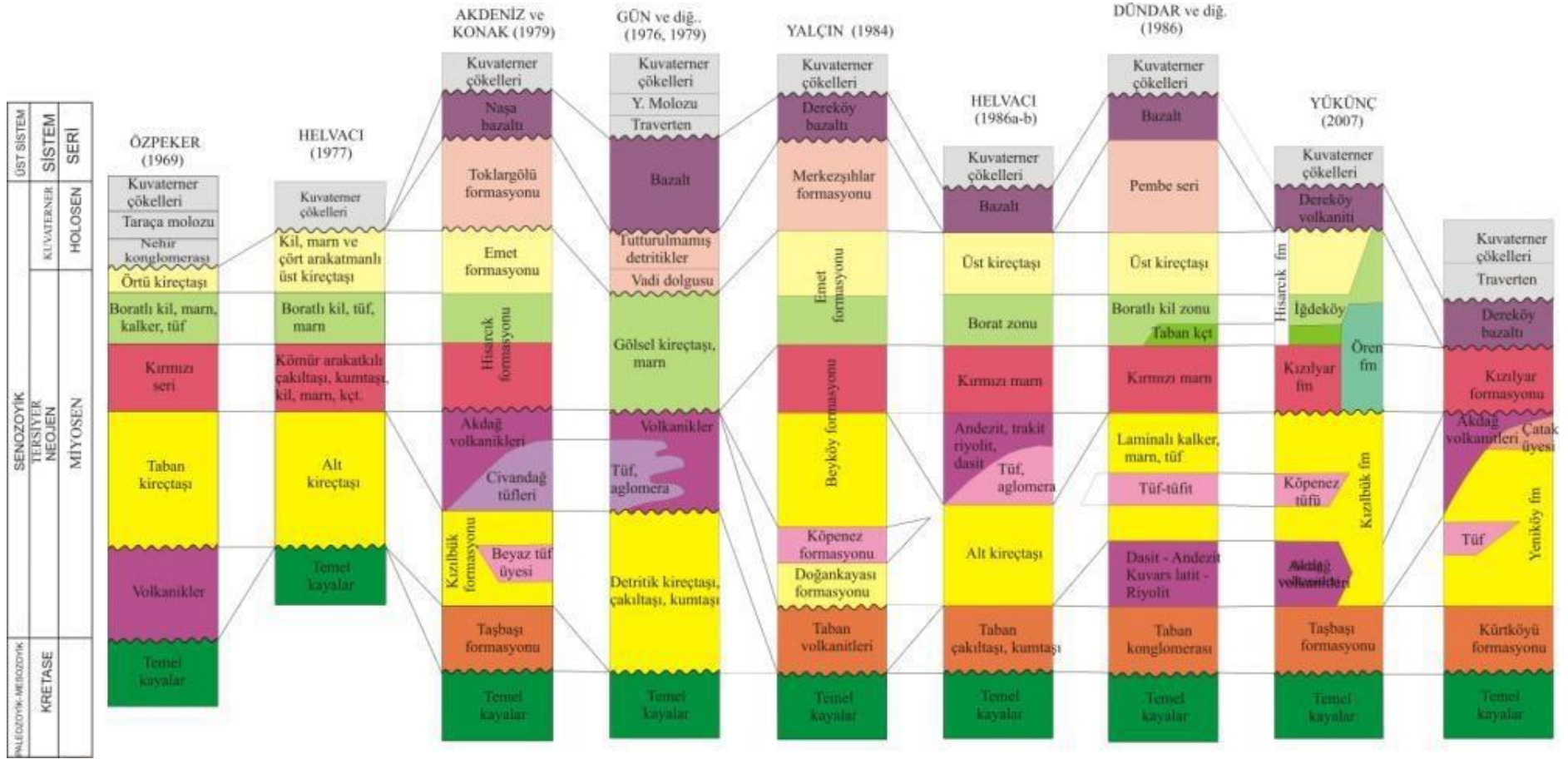
3.2 Bölgenin Jeolojisi

3.2.1 Stratigrafi

1969 yılından itibaren bölgede yapılan çalışmalarda ortaya konan Neojen stratigrafisi ve aralarındaki ilişkinin düzenlendiği Üstün ve Yetiş (2008) çalışmasına göre özetlenen Hisarcık güneyine ait genelleştirilmiş, ölçeksiz stratigrafi kesiti Şekil 3.3’ de verilmektedir.

İnceleme alanının temelini Menderes masifinin Paleozoyik yaşlı örtü yeşil şist ve mermer merccekler içeren Sarıcasu formasyonu, kristalize kireçtaşları içeren Arıkaya formasyonu ve dolomitik kireçtaşları içeren Budağan kireçtaşları oluşturur (Bulut ve diğ., 1991; Üstün ve Yetiş, 2008).

Tersiyer yaşlı istif Üstün ve Yetiş (2008) çalışmasına göre Kürtköyü formasyonu ile başlarken, Bulut ve diğ (1991) çalışmasında konglomera ve kumtaşı ardalanmalı Taşbaşı formasyonu ile başlamaktadır. Bu formasyon üzerine kumtaşı, kil, marn killi kireçtaşı ardalanmalı Kızılbük formasyonu gelirken (Bulut ve diğ. 1991), bu formasyon Üstün ve Yetiş (2008) tarafından marn – kumtaşı – silttaşı – killi kireçtaşı ardalanmalı Yeniköy formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Yeniköy formasyonunu üst seviyelerinde flüvyal kumtaşlı Çatak birimi yer alır. Üst Miyosen – Alt Pliyosen yaşlı tuf ve aglomeradan oluşan Civanadağ tüfleri ve riyolit, riyodasit ve andezit içeren Akdağ volkanitleri Bulut ve diğ. (1991) çalışmasında Kızılbük formasyonu üzerinde uyumsuz olarak gösterilirken daha güncel çalışmalarda (Üstün ve Yetiş 2008) Şekil 3.2 incelendiğinde, Yeniköy formasyonu üst kesimlerinde gösterilmektedir. Yeniköy formasyonu üzerinde bulunan Kızılyar formasyonu gevşek tutturulmuş, gölsel çakıllı, köşeli ve kaba tanelidir. Kızılyar formasyonu üzerine gelen Dereköy bazaltı Erken Miyosen volkanizmasının en genç ürünüdür (Üstün ve Yetiş, 2008). Dereköy ve Kızılyar formasyonu, Bulut ve diğ. (1991) çalışmasında Hisarcık formasyonu ve bu birimi üzerleyen Emet formasyonu ile gösterilmektedir. Buna göre Hisarcık formasyonu kil, marn ve kireçtaşı ardalanması içerir ve tüfit ara bantları göstermektedir. Emet formasyonu ise beyaz renkli gölsel kireçtaşları içermektedir. Bütün birimleri kuvaterner yaşlı travertenler, eski ve yeni alüvyonlar üzerlemektedir (Bulut ve diğ. 1991).



Şekil 3.2: Stratigrafik korelasyon çizelgesi (Üstün ve Yetiş, 2008).

ÜST SİSTEM						KAYATÜRÜ	KAYATÜRÜ AÇIKLAMASI
SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	KALINLIK			
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOSEN	ORTA	DEREKÖY	>50 m		Alüvyon
							Traverten; Kirli beyaz-açık sarı renkli, bol boşluklu,kolay kırılabilen.
	TERSİYER NEOJEN	MİYOSEN		KIZILYAR	50 m		Bazalt; Grimsi siyah renkli, porfirik dokulu, küresel ayrışmalı.
							Akarsu çökeli niteliğinde, kırmızı renkli, gevşek tutturulmuş, gölsel çakıllı,köşeli-kaba taneli.
				AKDAĞ	>200 m		Bazalt; Siyahımsı kahve renkli, porfirik dokulu, dayanımlı, küresel ve prizmatik ayrışmalı
							Riyolit; gri-koyu krem renkli, porfirik-hyaloporfirik dokulu.
				YENİKÖY	450 m		Ekonomik kömür damarları içeren, sarımsı-sütlü kahve renkli, ince taneli, iyi boyplanmalı, ince-orta tabakalı flüvyal kumtaşı.
							Turuncu-sarımsı gri renkli, ince-orta tabakalı, kartonumsu ayrışma yüzeyli marn; kahverengimsi sarı renkli, ince-orta tabakalı, iyi boyplanmalı, tane destekli kumtaşı; grimsi mavi-koyu gri renkli, ince-orta tabakalı, ayrışmalı, çatlak ve kırıklı silttaşı; koyu gri-kahvemsı renkli, orta tabakalı, kristalize kireçtaşı; yeşilimsi gri, açık bej renkli, ince tabakalı, kıltaşı ar dalanması,yer yer merceksele,ince-orta tabakalı, pomzalı tuf ara seviyeli.
	KÜRTÜKÖYÜ	150 - 200 m		Bordo, şarabi-kırmızı renkli konglomera ve kumtaşı ar dalanması.			
				Dolomitize kireçtaşı			
	MESOZOYİK	KRETASE	BUDAĞAN			Kristalize kireçtaşı	
						Amfibollü şist-granat şist-biyotitli şist-muskovitli kuvarsit-muskovit klorit şist ve mermer mercekleri	

ÖLÇESİZ

Şekil 3.3: Hisarcık güneyi genelleştirmiş stratigrafi kesiti (Üstün ve Yetiş, 2008).

3.2.2 Tektonik

İnceleme alanı, Sakarya kıtası ve Anatolid-Torid platformu arasında kalan Neo-Tethis okyanusunun kapanmasıyla gelişen İzmir-Ankara kenet kuşağında yer alan Menderes masifinin kuzeyinde yer almaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Paleotektonik dönem sonunda gelişen granitik sokulumlar ve volkanizma, paleotektonik dönemin sonlanıp neotektonik dönemin başlangıcı üzerine yapılan tartışmalarda önemli bir kaynak olarak kullanılmaktadır (Yılmaz, 1997). Eğrigöz granitoyidi bu dönemde 3-6 km. derinlerde gerçekleşmiş bir sokulumdur. Menderes masifindeki erken miyosen granit sokulumları ile ilgili iki model vardır. Birincisi; sıkışma tektonik rejimine bağlı olarak çok kalın kabuğun ergimesi olarak düşünülürken ikinci model ise sıyrılma faylarının tabak bloklarına süreç boyunca yerleşmesidir (Hasözbek ve diğ. 2010). Paleotektonik dönemde meydana gelen deformasyonlar bölgedeki kaya topluluklarında kıvrımlanmalar, bindirmeler gibi yapıların oluşmasına neden olmuştur. Muhtemelen Eosen'de Tetis okyanusunun kapanması sırasında K-G doğrultulu sıkışma ile birimler kıvrımlanmıştır. Dağ oluşumu sırasında kabuk kalınlığı artmış ve erken Miyosen'de Eğrigöz granitoyidi sokulumu gerçekleşmiştir. Granit sokulumu sonrasındaki tektonik faaliyetde Masif kırılmış ve yeni faylar meydana gelmiştir. Paleotektonik dönemde çok sayıda fay, bindirme ve sürüklenimler olmasına karşın bölgenin temel yapısal unsurunu neotektonik dönem oluşturmaktadır. Bölgedeki faylar KB-GD, K-G ve KD-GB olmak üzere üç farklı doğrultuda gelişmişlerdir. Sağ yönlü doğrultu atımlı faylar KB-GD doğrultulu iken K-G ve KD-GB doğrultulu olanlar eğim atımlı normal faylardır.

Şekil 3.4' de inceleme alanı ve çevresi neotektonik dönem fay haritası verilmektedir. Bölgedeki en önemli yapısal unsur olan Simav fayı KB-GD uzanımlı olup sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır (Konak, 1982). Koçyiğit vd. (1999) çalışmasında Simav fayının Batı Anadolu neotektonizmasında normal bir fay zonu olarak değerlendirmiştir. Doğan ve Emre (2006) çalışmasında Simav fayını sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak tanımlayıp, Sındırgı-Sincanlı fayı olarak adlandırmışlardır. Fayın geç Pliyosen yaşlı olduğunu çalışmalarında göstermişlerdir. Emet – Gediz grabeni ve Hisarcık fayı, KKB – GGD uzanımlı olup, batısında normal faylar, doğusunda doğrultu atım bileşenli normal faylar içeren bir bölgedir. K-G yönünde olan bu graben yaklaşık 60 km. uzunlukta olup en batıdaki fay zondaki ana fay niteliğindedir ve ana fay çoğunlukla neojen birimi içinde bulunmaktadır.

Grabenin batısındaki normal fayların Kuvaterner dönemindeki aktivitesi çok belirgin olup Ambraseys ve Tchalenko (1972)'ya göre bu fay zonu, 1970 yılındaki M: 7 büyüklüğündeki depremden sonra Aşıkpasha – Muratdağı arasındaki bölümde 40 km uzunluğunda yüzeylenmiştir.

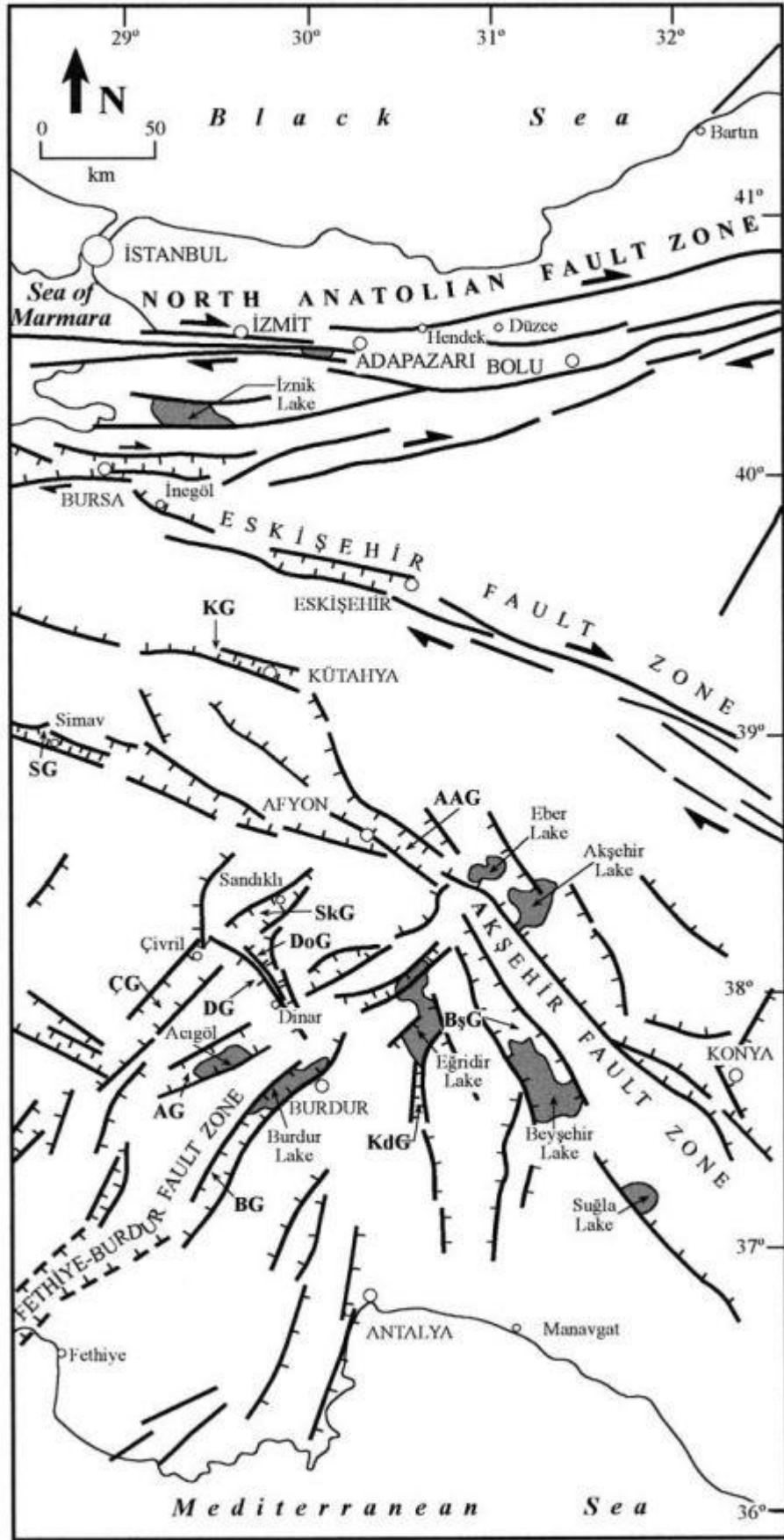
Grabenin, Hisarcık–Emet arasında daha basit yapılı olduğu görülmektedir (Kaya, 2015). Bu kesimin batısındaki fay Hisarcık fayı olarak adlandırılmaktadır ve Yeşilköy ile Emet batısı arasında yaklaşık 30 km lik KKB – GGD doğrultulu normal bir faydır. Doğusunda doğrultu atımlı normal fay ile sınırlanmaktadır. Yaklaşık 65-70° doğuya eğimli olan fay genelde Miyosen yaşlı çökellerde gözlenirken, Yeşilçay–Hamamköy civarında Neojen istif ile dokanak oluşturmaktadır. Hisarcık ve daha kuzeyinde Neojen birimde izlenen fay, Hamamköy yöresinde Arıkaya formasyonu kireçtaşları ile Yeniköy formasyonu içerisinde gözlenmektedir.

3.2.3 Jeotermal jeolojisi

Yeryüzüne düşen yağışlar, zayıf zonlar, kırıklı çatlaklı yapılar ve geçirimli birimlerden süzildükten sonra yer kabuğunun derinlerine ulaşır. Derinlerde ısı kaynağı tarafından ısıtılan akışkanlar, kırık yüzeyleri boyunca yukarı hareket ederek sahip olduğu sıcaklığı kaybetmesini engelleyecek, uygun kalınlıkta ve geçirimsiz bir birimle örtülmüş uygun gözeneklilik ve geçirimsizlikteki rezervuar kayaçlar içerisinde toplanır. Yüksek sıcaklığının yanı sıra gaz ve yüksek kimyasal konsantrasyon gösteren sıcak akışkanı ihtiva eden jeotermal rezervuarlar, basınçlı rezervuar özelliği gösterirler. Kırık hatları boyunca hareket eden jeotermal akışkanlar, sıcaklık ve basınç etkisiyle geçtikleri ortamlardaki kayaçlar ile sürekli kimyasal madde alışverişinde bulunduklarından dolayı mineralce zengindirler.

Bölgede çok sayıda dere ve akarsu bulunmaktadır. Emet çayı ve Simav çayı bölgedeki en önemli yer üstü sularından olmakla beraber bölgede çok sayıda akarsu bulunmaktadır. Bölgedeki yeraltı suları incelenecek olursa, yeraltı suları birincil ve ikincil geçirimsizliğe sahip litolojiler içinde toplanmaktadır;

Geçirimli birimler; Paleozoik öncesi kalkan formasyonundaki gnaysların çatlaklı yapıları yeraltı suyu içerebilmektedir. Arıkaya formasyonunun kristalize kireçtaşları ve mermerleri çatlaklı yapıları ve Balıkbaşı formasyonunun kireçtaşları bölgedeki



Şekil 3.4: İnceleme alanı ve çevresi neotektonik dönem fay haritası (Bozkurt, 2001).

önemli rezervuarlardandır. Erken – orta Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonunun çakıltası ve kumtaşı seviyeleri ile orta – geç Miyosen yaşlı Yeşilova formasyonunun kumtaşı, çakıltası seviyeleri ve Kuvaterner yaşlı alüvyon çökellerinin geçirimli birimleri ikincil rezervuar olarak düşünülmektedir.

Yarı geçirimli birimler; erken Paleozoik yaşlı metamorfit içeren Sarıcasu formasyonunun metakonglomera düzeyleri ve Dereköy volkanitinin kısmen yeraltı suyu içeren az çatlaklı bazaltları yarı geçirimli karakter göstermektedirler.

Geçirimsiz birimler; Paleozoik yaşlı metamorfitler ve Sarıcasu formasyonunun şistlerden oluşan seviyeleri, erken – orta miyosen yaşlı kil ve silt içeren Yeniköy formasyonu ve erken – orta miyosen yaşlı Civanadağ tüfleri ve orta – geç Miyosen yaşlı Emet formasyonunun killi kireçtaşları bölgedeki geçirimsiz birimleri oluşturur. Hisarcık ilçesine bağlı Sefaköy ve Hamamköy kaplıcalarının su numune analizlerine göre; Sefaköy kaynakları, mineralce fakir termal su (akroterm) olmakla beraber Hamamköy kaynaklarının analizi, kalsiyum, magnezyum, sülfat, bikarbonat içerikli termal su olduğunu göstermektedir (Işık ve Dilemre, 1996).

Bölgedeki ısı kaynağı sistemi, analizi yapılan suların mineralizasyonuna göre, nispeten yüksek jeotermal gradyandır. Derinlere süzülen akışkanlar, normalden yüksek jeotermal gradyan ile, uygun jeolojik yapı içerisinde ısınıp, tektonizma sonucu oluşan kırık sistemlerinden yüzeyleyerek doğal jeotermal kaynakları oluşturmaktadırlar.

Geçirimli ve geçirimsiz birimler incelendiği zaman; bölge Paleozoik öncesi yaşlı Kalkan formasyonu ile başlar. Bu birimin temel kaya olarak nitelendirilmesine karşı Menderes masifinin bu birim içindeki gözenekli gnays yapılarının fay zonlarına yakın yüksek ısılı bölgeleri, yüksek sıcaklıklı akışkan için rezervuar özelliği taşıyabildiği düşünülmektedir. Bu birimin üzerindeki yoğun çatlaklı, kırıklı, karst boşluklu olan Balıkbaşı formasyonu rezervuar niteliğindedir. Alttan ve üstten geçirimsiz birimleri olan Arıkaya formasyonu diğer bir potansiyel rezervuar niteliğindedir. Daha üstte Budağan kireçtaşları ve Çiçekliyayla kireçtaşları bölgedeki rezervuar niteliği taşıyan kayalardır. Çakıltası ve kumtaşı içeren Taşbaşı ve Yeniköy formasyonları da diğer bir potansiyel rezervuar olarak düşünülebilir. Bölgede bulunan Simav metamorfitleri, rezervuar niteliği taşıyan Balıkbaşı formasyonu için geçirimsiz taban, Kalkan formasyonu içinse örtü kayadır. Sarıcasu şistleri, Balıkbaşı

formasyonu için örtü kaya iken, Arıkaya ve Budağan kireçtaşları için tabanı oluşturmaktadır. Dağardı ofiyolit karmaşığı Budağan kireçtaşlarını tektonik olarak üstler. MTA sondajlarına göre bu ofiyolit karmaşığı Neojen istifin altında kesilmiştir. Neojen istifi, temel kaya üzerinde açısız uyumsuzlukla yer alır ve jeotermal sistemde en üst örtü kaya topluluğunu meydana getirir (Budak ve diğ.,1991; Üstün ve Yetiş, 2008; Kaya, 2015).

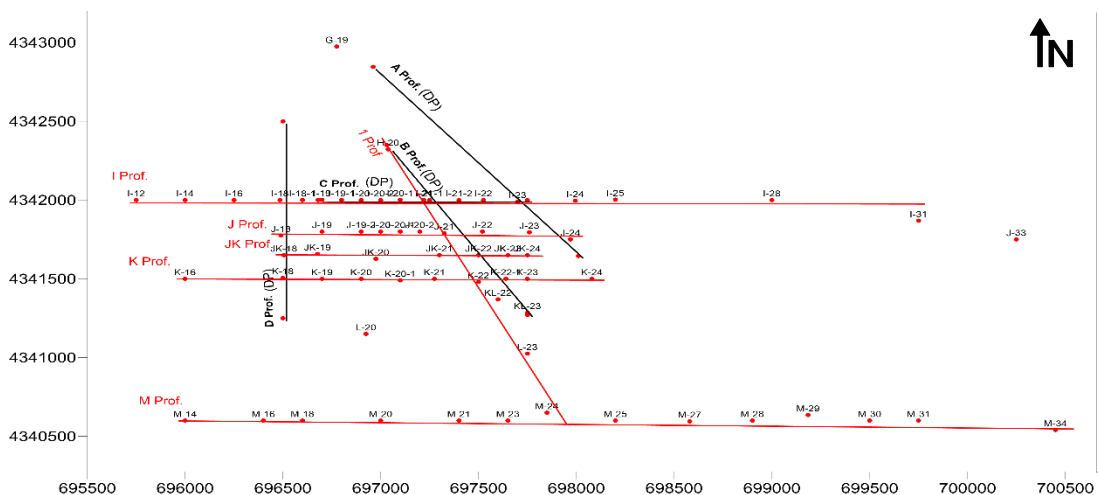
3.3 Uygulanan Jeofizik Yöntemler ve Esasları

MTA tarafından, Kütahya ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları projesi kapsamında Hamamköy ve Sefaköy civarında gerçekleştirilen jeofizik araştırmaların (jeoelektrik ve doğal potansiyel) veri işlemleri, ve uygulanan yöntem teorileri, bulgular, kesitler ve haritalar bu bölümde verilmektedir.

Yapılan uygulamanın amacı; sahanın genel tektonik yapısını ortaya koymak, magma sokulumlarını ve jeotermal akışkan barındırabilecek zonları belirlemek ve mevcut jeotermal kaynakların sayısını arttırmaktır.

Yaklaşık 65 km² lik inceleme alanı içerisinde 5 profil boyunca 69 adet düşey elektrik sondaj (DES) ve 4 profil boyunca 65, 48, 43 ve 50 noktada doğal potansiyel (SP) ölçüsü alınmıştır. Alınan DES ölçülerinde AB/2 1000 m. ile 2000 m. arasında değişmektedir.

Şekil 3.5 incelenecek olursa, yapılan çalışmalar I, J, JK, K ve M profilleri olarak isimlendirilmiş olup kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. SP ölçüleri ise 4 profil boyunca toplanmış olup şekil 3.5 da siyah çizgiler ile sembolize edilmektedir.



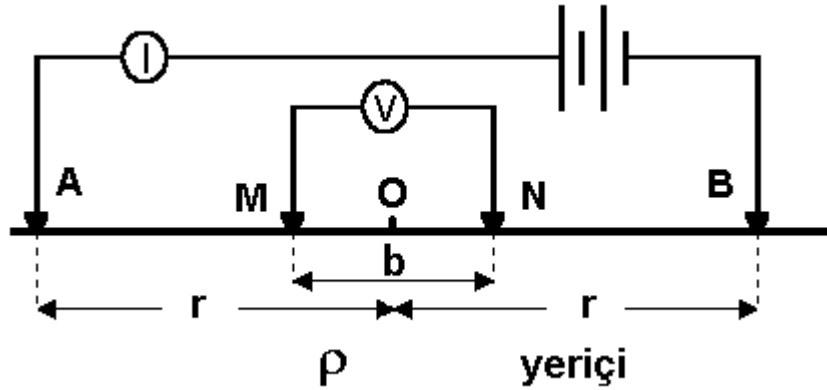
Şekil 3.5: Ölçü lokasyon haritası.

3.3.1 Uygulanan yöntemler

3.3.1.1 Doğru akım elektrik öz direnç

Elektrik öz direnç yöntemi, iki adet paslanmaz metalden yapılmış elektrot aracılığı ile yere gönderilen akımın (I) neden olduğu gerilim farkının (ΔV), yere saplanmış başka bir çift benzer elektrot ile ölçülmesine dayanır. Akımın nüfuz edeceği derinlik, elektrotlar arası mesafe, tabaka kalınlığı ve öz direnç değerlerine göre değişim gösterir. Hatırlanması gereken en önemli hususlardan biri, eşdeğerlik problemine göre farklı kalınlıktaki ve iletkenlikteki tabakaların benzer sonuç vereceği düşünülerek, yorumlama aşamasında diğer yöntemler ile ve bölgenin jeolojisini dikkate alarak yorumlamak olacaktır.

DES ölçülerinde Wenner, Schlumberger gibi farklı elektrot dizilimleri kullanılmakla beraber, alınan ölçüler ΔV ölçülen elektrotların ortasına atanır. Çalışmada kullanılan Schlumberger dizilimine ait şematik gösterim, dizilim katsayısı ve görünür öz direnç hesaplaması aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.6: Schlumberger elektrot dizilimi.

Denklem 3.1 de görünür öz direnç hesaplaması yapılırken kullanılan Schlumberger dizilimi için K dizilim katsayısı Denklem 3.2 de verilmiştir. Denklemlerdeki; ρ_a görünür öz direnç (ohm.m), ΔV ölçülen potansiyel fark (mV), I yere uygulanan akım (mA), AB/2 akım elektrotları arasındaki yarı açıklık (m), MN/2 potansiyel elektrotları arasındaki yarı açıklık (m) ve K dizilim katsayısını ifade etmektedir.

$$\rho_a = K * \frac{\Delta V}{I} \quad (3.1)$$

$$K = \left(\frac{r^2}{b} - \frac{b}{4} \right) * \pi \quad (3.2)$$

3.3.1.2 Doğal potansiyel

Uygulamalı jeofiziğin jeoelektrik yöntemleri içinde yer içine akım göndermeden işleyen bir yöntemidir. Elektrokinetik gerilim, diffüzyon gerilimi, Nerst gerilimi gibi doğal elektrokimyasal, elektrofiltrasyon gibi olayların oluşturduğu yer içi akım akışının doğal alanını ölçen yöntemdir.

Jeotermal alanlardaki kırıklı, çatlaklı yapılar, faylar yerel ve bölgesel iletkenlik, sıcaklık, basınç gibi parametrelerin sınırlarını ortaya koyan doğrultular biçimindedirler. Jeotermal aktiviteden dolayı fay düzleminin bir yüzü negatif, diğer yüzü pozitif yüklerle polarize olur. Bu iyonların fay düzlemindeki dengeyi sağlamak amaçlı, fay düzlemine dik hareketlerinden oluşan iç akımın yer yüzünde oluşturduğu doğal gerilim değeri ölçülür. Dolayısıyla yeryüzünde yapılacak bir doğal potansiyel ölçümü ile fay ve kırık kuşaklarını belirlemek kuvvetle olasıdır.

Doğal polarizasyon yönteminin jeotermal sahalardaki uygulamalarında genel olarak; jeolojik olarak saptanmış fay ve kırıkların varlığının kanıtlanması ya da örtülü olmasından dolayı belirlenemeyen faylanma ara yüzeylerinin yeryüzü izdüşümlerinin saptanması, yer içindeki sıvı akışı olan ve olmayan, alçak ve yüksek basınç içeren iletken ve dirençli bölgelerin ayrımının yapılması ve hazne kayaç ile ısıtıcı kayaç arasındaki ara yüzeyin belirlenmesi amaçlanır. Hazne kayaç, sıcak olan akışkanı taşımaktadır. Akma özelliğinin yanı sıra termal olan bu sıvının hazne kayaç içinde yer değiştirmesi iyi bir doğal potansiyel gerilimi kaynağıdır (Çağlar, 1991).

3.3.2 Veri değerlendirme yöntemleri

DES verileri bir boyutlu, yanal kısıtlı bir boyutlu (yaklaşık 2B) ve iki boyutlu ters çözüm algoritmaları bu çalışma için hazırlanan paket bir program ile değerlendirilmiştir (Ek A). Bir boyutlu ters çözümü, yanal kısıtlı bir boyutlu ters çözümü, iki boyutlu ters çözümü ve iki boyutlu ters çözüm modelini ve üç boyutlu görüntüleme seçeneğini içeren program, DES verilerinin değerlendirilmesini oldukça pratikleştirmekte ve hızlandırmaktadır.

3.3.2.1 Bir boyutlu ters çözüm

DES verlerinin bir boyutlu ters çözümü için OCCAM algoritması kullanılmıştır. 4-5 katmandan az basit tabakalı ortamlarda geleneksel en küçük kareler ters çözümü yaklaşımlarının kararlı olması ardışık komşu tabakalar arasındaki iletkenlik geçişlerinin yumuşak olmasıyla mümkündür (Constable ve diğ., 1987). Diğer taraftan Constable ve diğ., (1987) katmanlar arasındaki yüksek öz direnç farklılığından kaynaklanan karmaşıklığın önlenmesi amacıyla modelin olabildiğince esnek olmasının daha başarılı sonuçlar ürettiğini vurgulamışlardır. Bunu, izleyen eşitliklerde görüldüğü gibi bir profil boyunca düzgünlüğün tersi olan bir pürüzlülük (roughness) değeri tanımlayarak gerçekleştirmişlerdir. Tanımlanan pürüzlülük birinci veya ikinci derece türevde derinliğe bağlı olarak;

$$R_1 = \int (dm/dz)^2 dz \quad (3.3)$$

veya

$$R_2 = \int (d^2m/dz^2)^2 dz \quad (3.4)$$

(Constable ve diğ., 1987) şeklinde ifade edilmektedir. $m(z)$ parametresi öz direnç parametresini temsil etmektedir. Amaç; ölçülen değerler ile en uyumlu ve elde edilebilecek en küçük sertlik değerini elde etmektir. Yukarıda integral eşitlikleri verilen pürüzlülük tanımlamalarına eşdeğer ifadeler ayrı gösterimde izleyen şekilde verilebilir;

$$R_1 = \sum_{i=2}^N (m_i - m_{i-1})^2 \quad (3.5)$$

ve

$$R_2 = \sum_{i=2}^{N-1} (m_{i+1} - 2m_i + m_{i-1})^2 \quad (3.6)$$

şeklinde gösterilmektedir. Model parametrelerinin hesaplanmasında (goodness of fit) ağırlıklandırılmış en küçük kareler kullanılmıştır ve aşağıdaki gibi gösterilir;

$$X^2 = \sum_{j=1}^M (d_j - F_j[m])^2 / \sigma_j^2 \quad (3.7)$$

σ_j , j'ninci verideki belirsizliği ifade eder. d_j gözlemsel verileri, $F_j[m]$ ise kuramsal verileri ifade eder (Constable ve diğ., 1987). Denklem (3.7) de verilen misfit, yeniden yazılacak olursa;

$$X^2 = \|Wd - WGm\|^2 \quad (3.8)$$

Şeklinde tanımlanabilir. Burada W , ağırlıklandırma matrisini ifade etmektedir. Buradan yola çıkarak sertlik değeri matris olarak yazılabilir. Denklem 3.5 de verilen R_1 denklemini ele alırsak;

$$R_1 = \|\partial m\|^2 \quad (3.9)$$

Şeklinde ifade edebiliriz. Burada ∂ , NxN lik bir matrisi ifade etmektedir ve;

$$\partial = \begin{bmatrix} 0 & & & & \\ -1 & 1 & & & 0 \\ & -1 & 1 & & \\ & & \dots & \dots & \\ 0 & & & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

şeklinde gösterilir. Model parametrelerinin ∂ matrisi ile çarpılması, ani değişimleri engelleyip yumuşatılmış bir görünüm elde edilmesini sağlar. Hata değerinin ulaşılacak en küçük değerde seçilmesi, fiziksel açıdan mümkün olmayan durumlara neden olabilmektedir. Düşey delgi durumunda buna örnek olarak ince tabakalar verilebilir. Misfit azaldıkça, sertlik değerinde bir yükselme olması durumu ile gözlemsel veriye en uygun çakışma elde edilebilmektedir. Bu durumun optimizasyonu için Lagrange çarpanı (μ^{-1}) (veya λ) metodu kullanılmaktadır. Bu sayede en yumuşak geçişli model için her iterasyonda bir öncekinden daha küçük değer veren gözlemsel veri ile kuramsal veri arasındaki fark araştırılır.

$$m = [\lambda \partial^T \partial + (WG)^T WG]^{-1} (WG)^T Wd \quad (3.11)$$

Burada, G Jacobian matrisini, W ağırlıklandırma matrisini ve λ yuvarlatma parametresi ifade etmektedir.

3.3.2.2 Yanal kısıtlı bir boyutlu ters çözüm

Sönümlü en küçük kareler algoritması,

$$(G^T G + \lambda I) \Delta p = G^T \Delta d \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilmektedir. G Jacobian matrisini, I birim düzeyini, λ sönüm katsayısını, Δp parametrelere uygulanacak düzeltmeleri içeren vektörü ve Δd gözlemsel veri ile kuramsal verilerin logaritmalarının farkını içermektedir. Yanal kısıtlı ters çözümde, model parametreleri belli kıstaslar altında birbirine bağlanılarak çözülmektedir. Her bir bloğun komşuları ile olan bağımsızlığının ortadan kaldırılabilmesi için 3.12 denklemi,

$$(W G^T W^T G + \lambda C^T C) \Delta p = W G^T W \Delta d \quad (3.13)$$

şeklinde düzenlenmiştir (Monteiro Santos, 2004; Beşkardeş, Özürkan, 2005). W matrisi ağırlıklandırma değerlerini içerirken C matrisi pürüzlülük (roughness) katsayılarını içermektedir. C matrisi her bir bloğun dört komşusu (kuzey, güney, doğu ve batı) olacak şekilde;

$$\Delta r = \Delta p_{jE} + \Delta p_{jW} - 4\Delta p_j + \Delta p_{jN} + \Delta p_{jS} \quad (3.14)$$

ifade edilir ve -4, 1 veya 0 değerlerini alır.

Algoritmadan en iyi sonucu elde edebilmek için yer yapısının genel ölçüde bir boyutlu olması ve 2 boyutlu etki gösteren yapıların birbirine çok yakın olmaması gerekmektedir.

3.3.2.3 İki boyutlu ters çözüm

İki boyutlu ve blok sınırları sabit olan bir modelde her yinelemede, blokların sadece öz direnç değerlerinin değiştiği bir algoritma ile düşey elektrik sondaj verileri terslenmiştir. İki boyutlu modelde;

$$\begin{aligned} x_i &= \log p_i, i = 1, \dots, M \\ y_i &= \log \rho_{aj}, j = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (3.15)$$

p_i model parametrelerini, ρ_{aj} görünür öz direnci temsil etsin. Buradan misfit;

$$\phi = \sum_{j=1}^N (y_j^o - y_j^c(x))^2 \quad (3.16)$$

olarak ifade edilir. y^o gözlemsel verileri ifade ederken, y^c kuramsal hesaplanan verileri gösterir. $y_j(x)$ Taylor serisine açılır ve ikinci ve daha yüksek dereceden terimler ihmal edilir. Hata değerini küçültmek için;

$$\frac{\partial \phi}{\partial x_i} = 0 \quad (3.17)$$

koşuluna göre seri açılımı matris formunda yazıldığında;

$$(G^{(k-1)})^T G^{(k-1)} \Delta p^{(k)} = (G^{(k-1)})^T \Delta d^{(k-1)} \quad (3.18)$$

elde edilir. 3.18 denkleminde matrisler;

$$\begin{aligned} [G^{(k-1)}]_{ij} &= \left(\frac{\partial y_i}{\partial x_i} \right)_{x^{(k-1)}} \\ [\Delta p^{(k)}]_i &= x_i^{(k)} - x_i^{(k-1)} \\ [\Delta d^{(k-1)}]_j &= y_j^o - y_j^{(k-1)} \end{aligned} \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir (Uchida ve Murakami 1990). Yinelemeler, hata değerinin belli bir limitden küçük olma durumuna kadar devam eder. Genellikle $G^T G$ kararlı olmayan bir matris olduğundan, çözüme Marquart metodu uygulanmaktadır. λ sönüm katsayını, I birim matrisi ifade etmektedir ve;

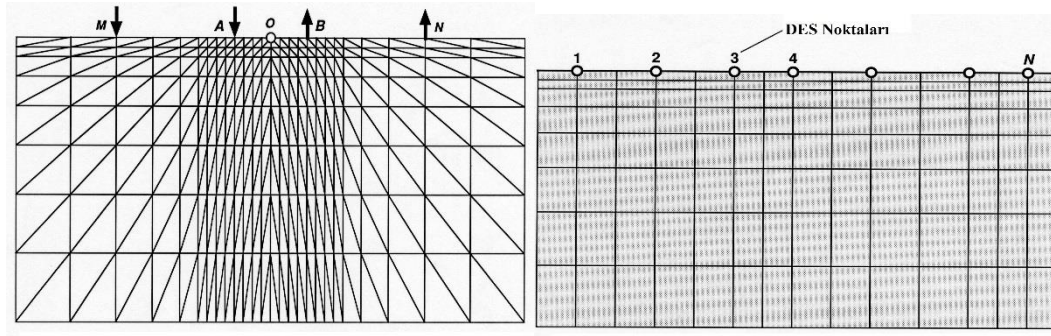
$$[(G^{(k-1)})^T G^{(k-1)} + \lambda I] \Delta p^{(k)} = (G^{(k-1)})^T \Delta d^{(k-1)} \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilir.

Çok sayıda ölçüm noktası içeren hatlarda alınan verilerin hepsinin tek bir sonlu hesaplama ağı ile işleme alınması uzun süren işlem zamanları gerektirmektedir. Bu nedenle hesaplama ağı ve model ağı adı verilen iki farklı ağ kullanılarak bu sorun aşılmaya çalışılmıştır (Uchida ve Murakami 1990). Model ağı, hat boyunca iki boyutlu öz direnç yapısını ifade eder ve yeraltını çok sayıda dikdörtgen bloklara ayırmaktadır. Bütün bu bloklara başlangıçta sabit ve aynı bir öz direnç değeri atanır. Daha sonra hesaplama ağı oluşturulur ve orta noktası, o istasyona ait noktaya model

ağı üzerinde yerleştirilir. Hesaplama ağındaki öz direnç değerleri, model bloğunda ait olduğu yerlere aktarılmaktadır. Hesaplama ve model ağları Şekil 3.7’ de gösterilmektedir.

Algoritmanın gelecekte de farklı $AB/2$ değerleri için kullanılması amaçlandığından, hesap ağı 80 eleman yatay ve 30 eleman düşey olmak üzere 2400 dikdörtgen elemandan oluşturulmuştur. Model ağında düşey sınırlar, hesaplama ağıyla benzerlik göstermektedir. Yatay bloklar ölçü noktası sayısının iki kadar alınmaktadır. Çok sayıda bloğun işleme alınması veri işlem sürecini arttıracığından birbirine yakın bloklar gruplanarak işleme alınmaktadır. Yinelemelerde blokların öz direnç değerlerinin bilinmediği kabul edilir fakat sınırları sabit tutulmaktadır. (Uchida ve Murakami 1990).



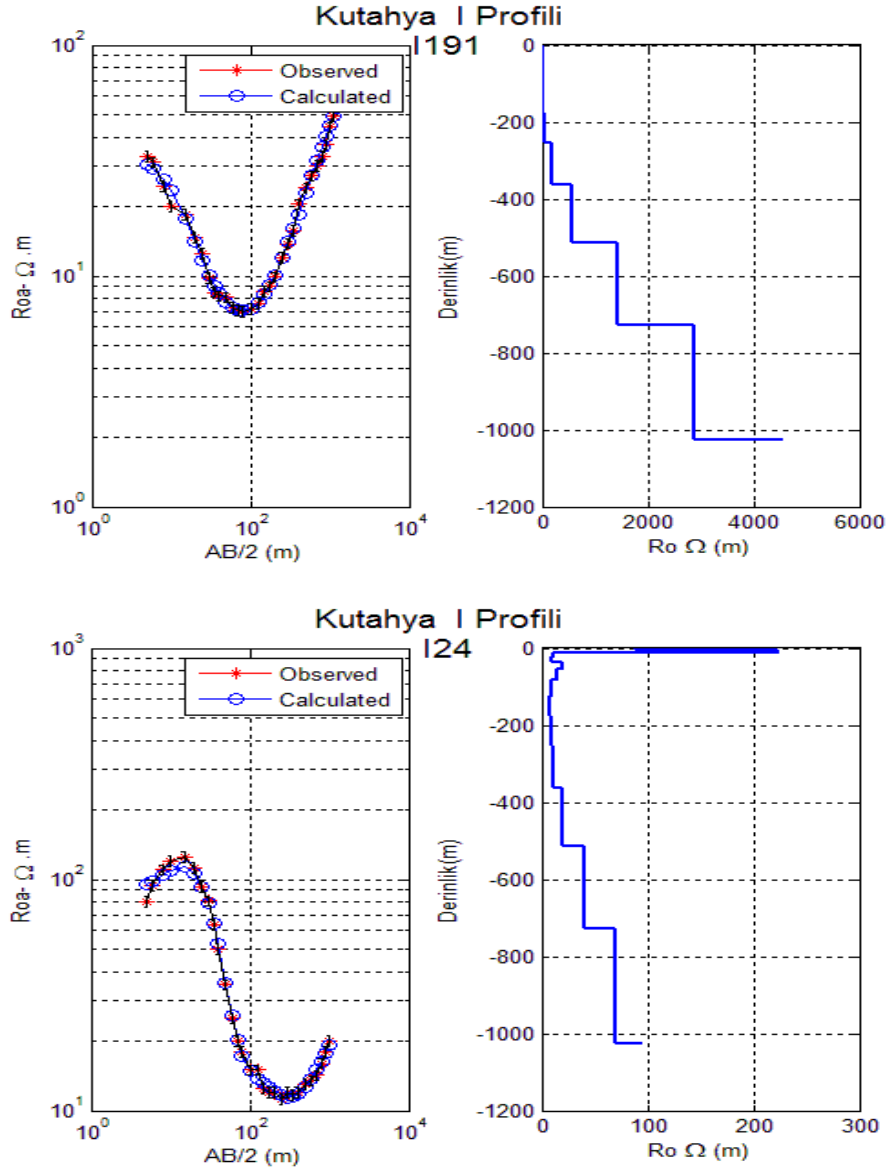
Şekil 3.7: Hesaplama ve model ağları.

3.3.3 DES verilerinin incelenmesi

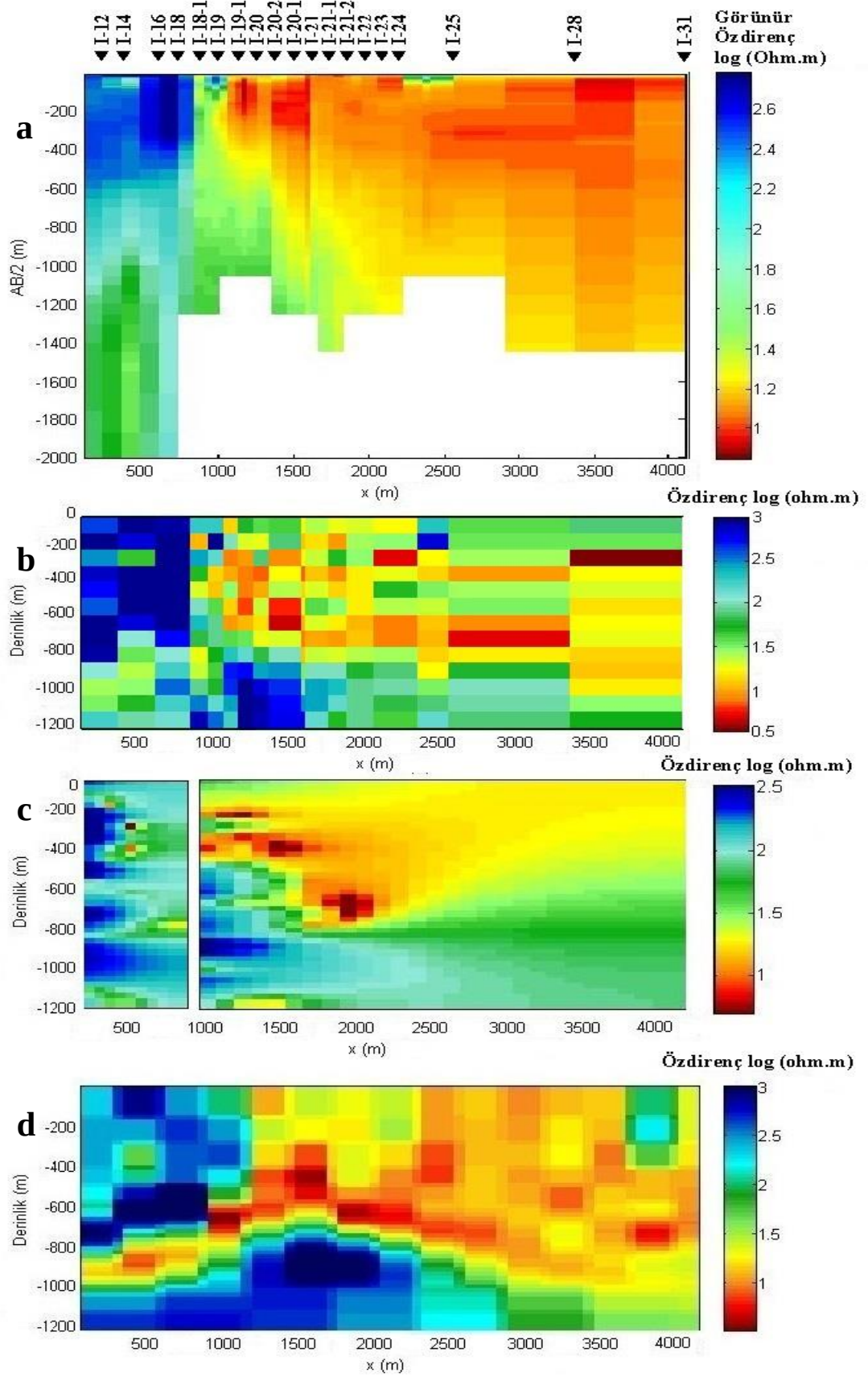
Hisarcık’da ölçülen 69 adet DES ölçülerinde $AB/2$ değerleri 1000 m – 2000 m arasında değişmekle beraber görünür öz direnç değerleri 5 – 650 Ω . m arasında değerler almaktadır. Ölçümler genellikle Hamamköy civarında olup ölçü noktaları Şekil 3.8 görülmektedir.

Profiller I, J, JK, K ve M olarak isimlendirilmiştir. I profili, ; I-12, I-14, I-16, I-18, I-18-1, I-19, I-19-1, I-20, I-20-2, I-20-1, I-21, I-21-1, I-21-2, I-22, I-23, I-24, I-25, I-28 ve I-31 DES noktaları, J profili; J-18, J-19, J-19-2, J-20, J-20-1, J-20-2, J-21, J-22, J-23 ve J-24 DES noktalarını, JK profili; JK-18, JK-19, JK-20, JK-21, JK-22, JK-23 ve JK-24 DES noktalarını, K profili; K-16, K-18, K-19, K-20, K-20-1, K-21, K-22, K-22-1, K-23 ve K-24 DES noktalarını ve M Profili; M-14, M-16, M-18, M-20, M-21, M-23, M-24, M-25, M-27, M-28, M-29, M-30, M-31 ve M-34 DES noktalarını kapsayacak şekilde oluşturulmuştur.

altında bol eklemli Arıkaya ve Balıkbaşı formasyonlarının kireçtaşları yer aldığı ve en alt birim olarak da Simav metamorfitlelerinin yer aldığı düşünülmektedir.

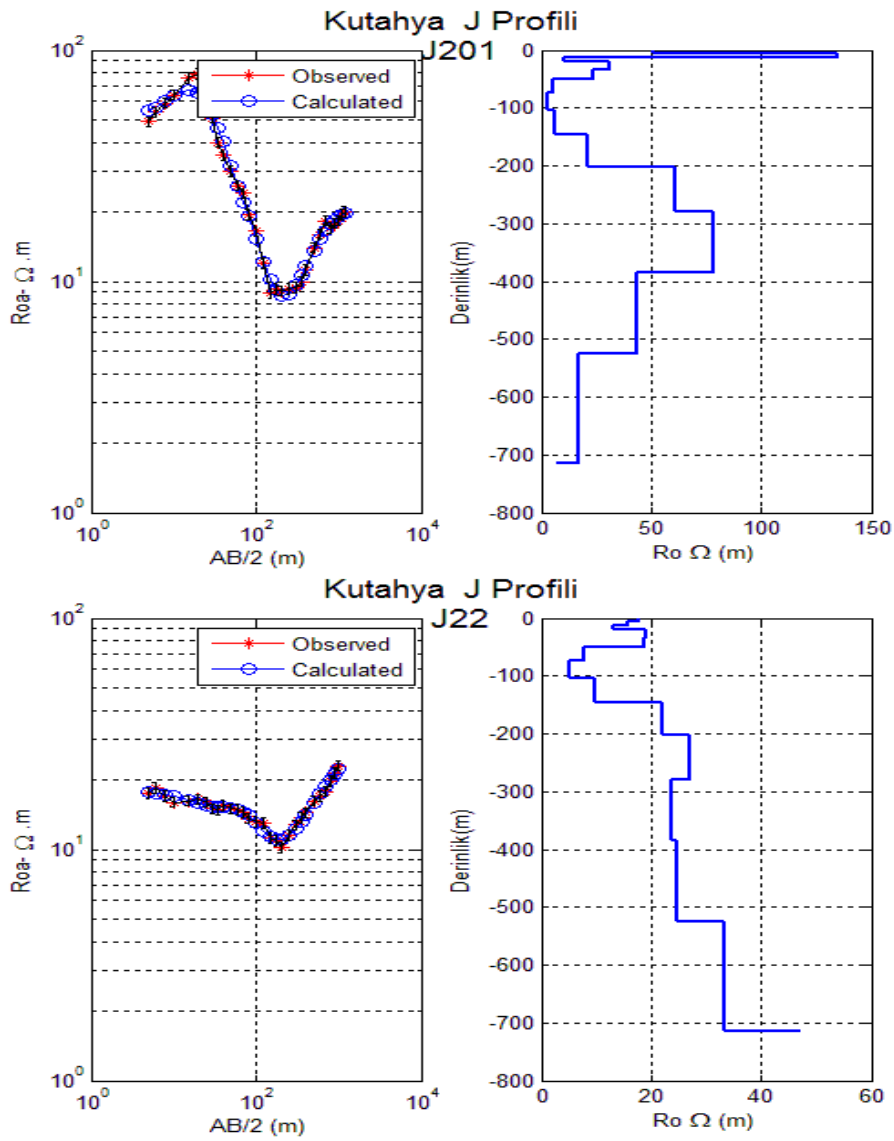


Şekil 3.9: I Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan öz direnç değerleri.

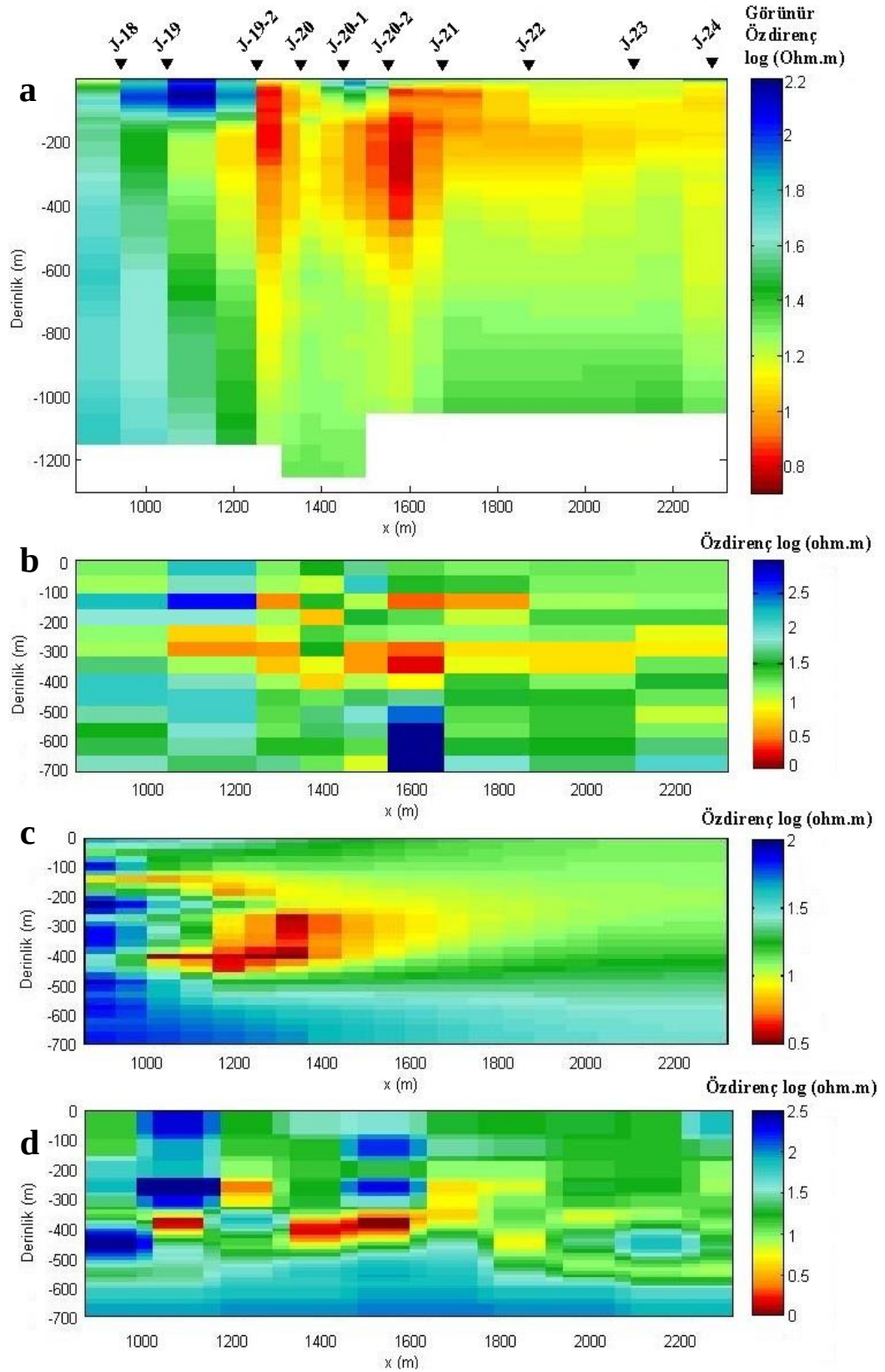


Şekil 3.10: I Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).

J profiline ait 1B ölçülen ve hesaplanan değerler Şekil 3.11’de görülmektedir. J profili (Şekil 3.12) I-18 noktasının güneyinden başlayarak aynı doğrultuda ilerlemektedir. Bu profil, I profilinde görülen ve I-18 noktasındaki düşey fay bu profilde J-18 – J-19 noktaları arasında geçtiği görülmektedir. 10 Ω m. den düşük öz dirençli bölge, yaklaşık 400 m. derinlikte ve 1200 m. – 1600 m. yatay mesafede görülmektedir. Yüzeye yakın birimlerin Pliyosen yaşlı alüvyonlar ve Hisarcık formasyonu ile Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu olduğu düşünülmektedir. Bu formasyonların altında bol eklemli Arıkaya ve Balıkbaşı formasyonlarının kireçtaşları yer aldığı ve en alt birim olarak da Simav metamorfitlelerinin yer aldığı düşünülmektedir.

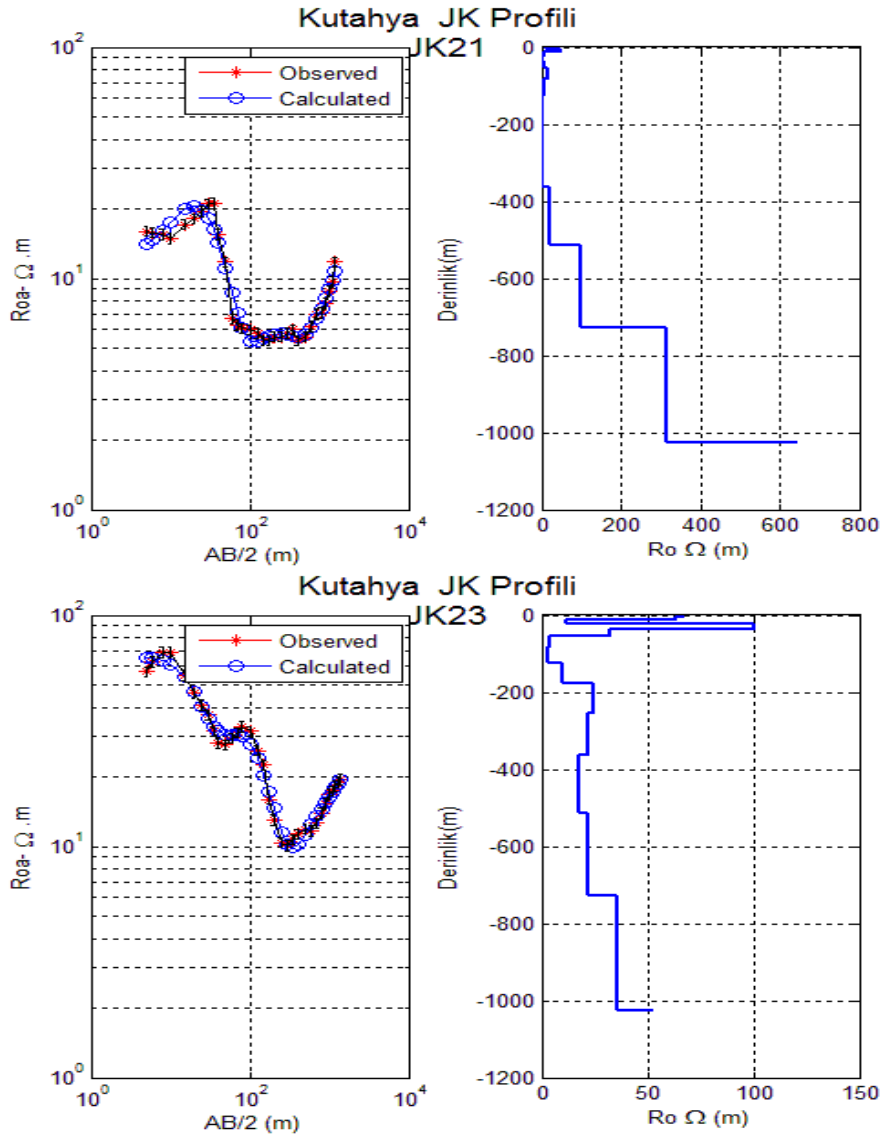


Şekil 3.11: J Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan öz direnç değerleri.

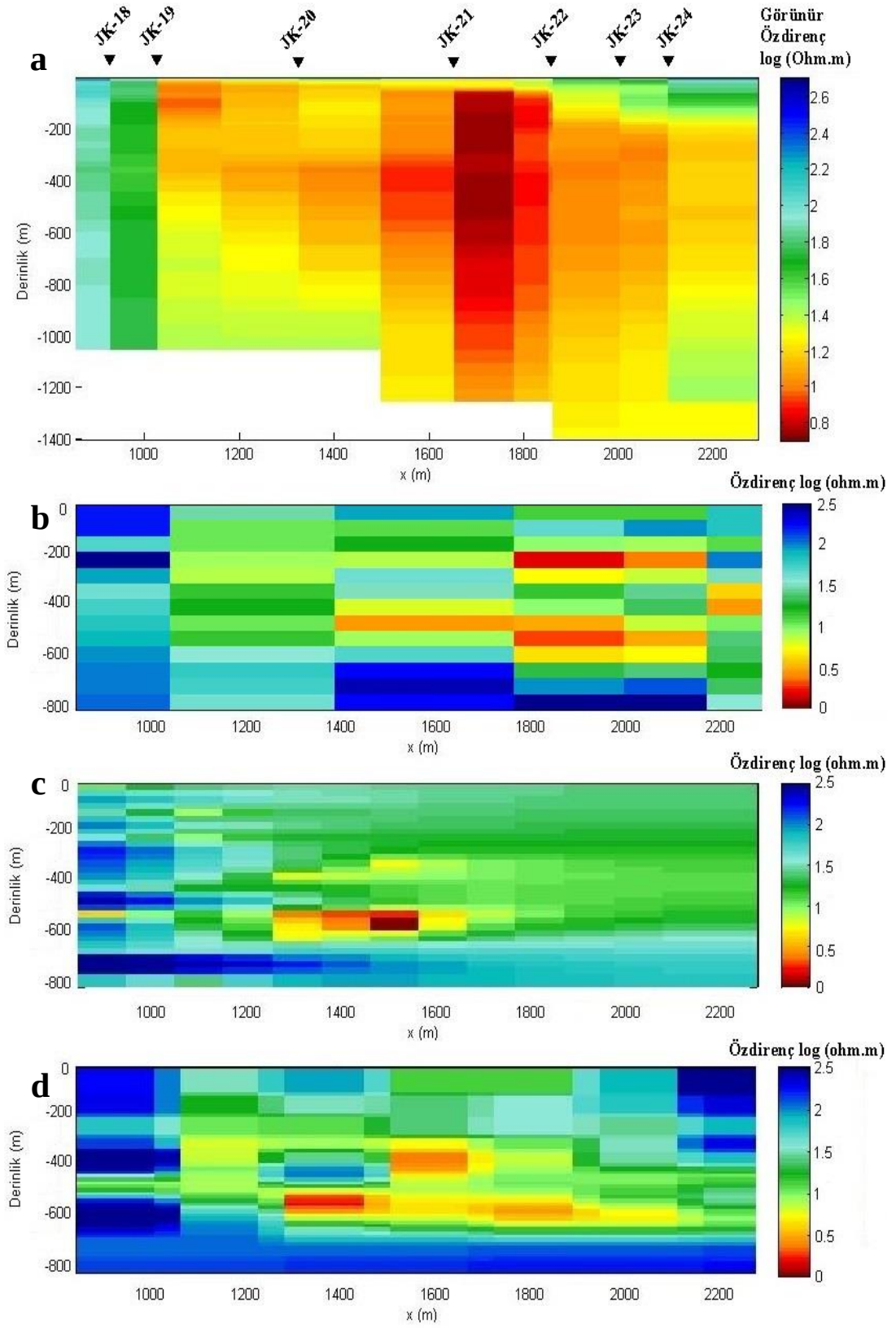


Şekil 3.12: J Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).

JK profiline ait 1B ölçülen ve hesaplanan değerler Şekil 3.13’de görülmektedir. JK profili (Şekil 3.14) J profili ile aynı doğrultuda ve güneyinde olup başlangıç noktalarının yatay koordinatları aynıdır. Bu profilde, bölgedeki horst – graben yapısı net bir şekilde gösterilmektedir. JK-18 – JK-19 noktalarında düşey atımlı fay gözlenmektedir. Karşılığı olarak görülen diğer fay ise JK-23 – JK-24 noktalarında görülmektedir. Bu iki fay arasındaki alanda yatay mesafede 1300 – 1800 m. de ve 400 – 600 m. derinliklerde düşük öz dirençli bölge dikkat çekmektedir. Yüze yakın birimlerin Pliyosen yaşlı alüvyonlar ve Hisarcık formasyonu ile Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu olduğu düşünülmektedir. Bu formasyonların altında bol eklemli Arıkaya ve Balıkbaşı formasyonlarının kireçtaşları yer aldığı ve en alt birim olarak da Simav metamorfitlerinin yer aldığı düşünülmektedir.

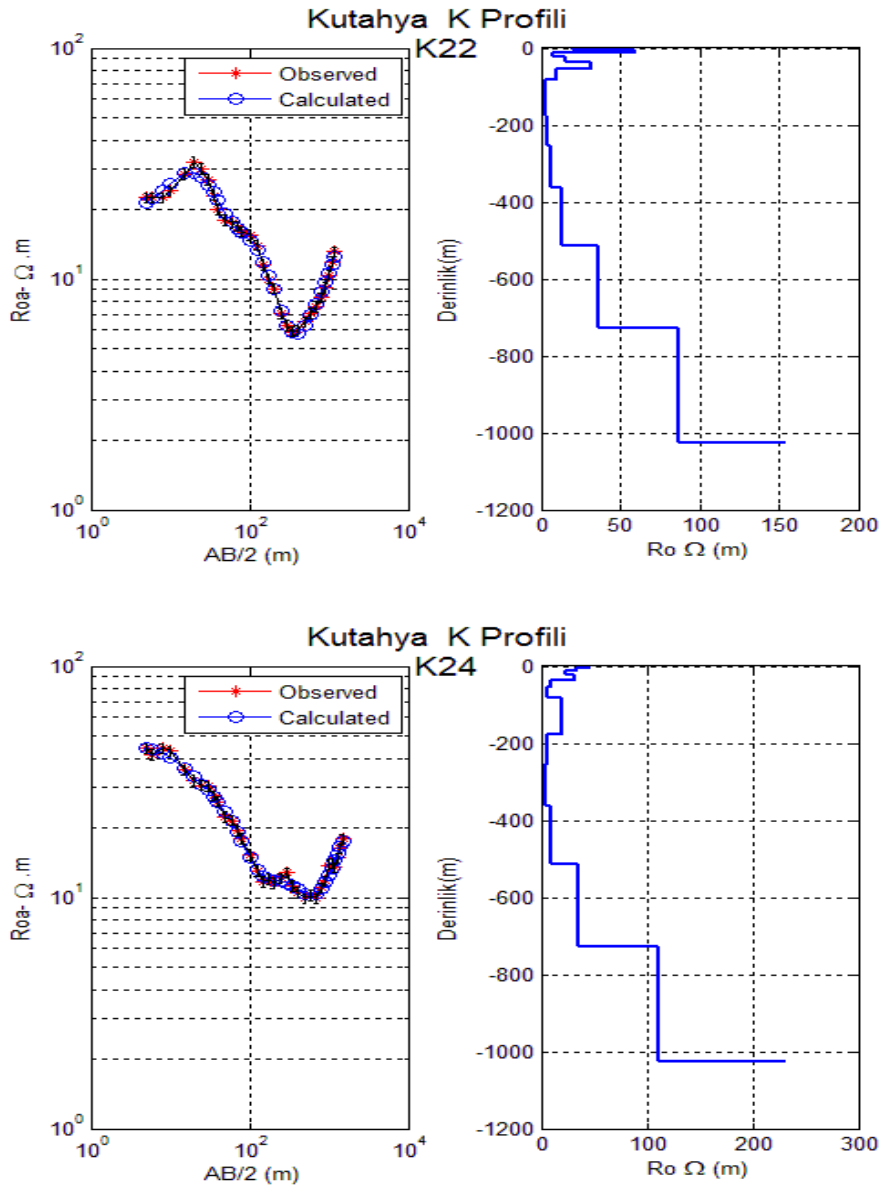


Şekil 3.13: JK Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan öz direnç değerleri.

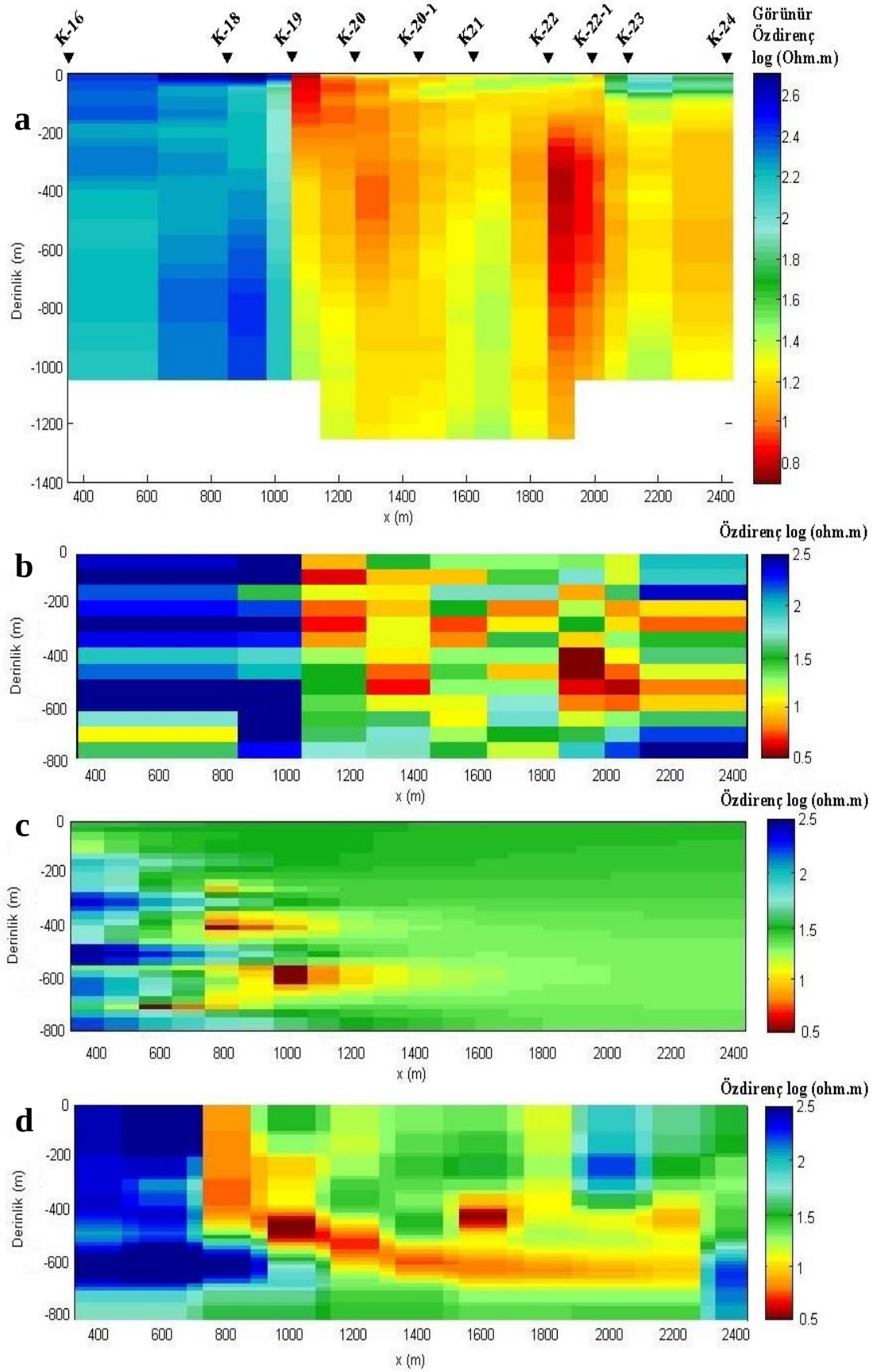


Şekil 3.14: JK Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).

K profiline ait 1B ölçülen ve hesaplanan değerler Şekil 3.15’de görülmektedir. K profili (Şekil 3.16) JK profilinin yaklaşık 150 m. güneyinde yer almaktadır. Diğer profillerde gözlenen fay bu profilde de K-18 – K-19 noktalarında gözlemlenmektedir. K20-1 –K-21 noktaları civarında horst yapısı görülmektedir. Düşük öz direnç içeren bölge 400 – 650 m. derinlikte ve 1000 – 1600 m. yatay mesafede görülmektedir. Yüzeye yakın birimlerin Pliyosen yaşlı alüvyonlar ve Hisarcık formasyonu ile Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu olduğu düşünülmektedir. Bu formasyonların altında bol eklemli Arıkaya ve Balıkbaşı formasyonlarının kireçtaşları yer aldığı ve en alt birim olarak da Simav metamorfitlelerinin yer aldığı düşünülmektedir.

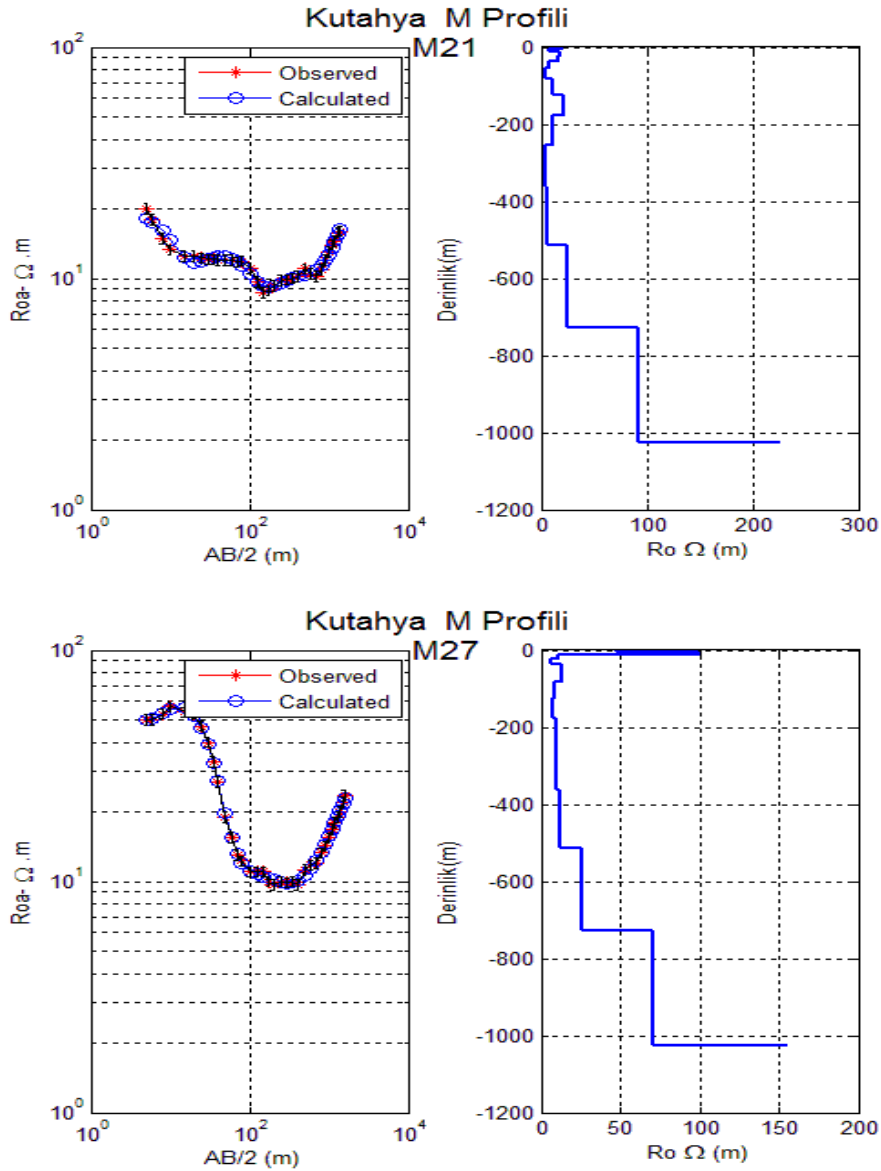


Şekil 3.15: K Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan öz direnç değerleri.

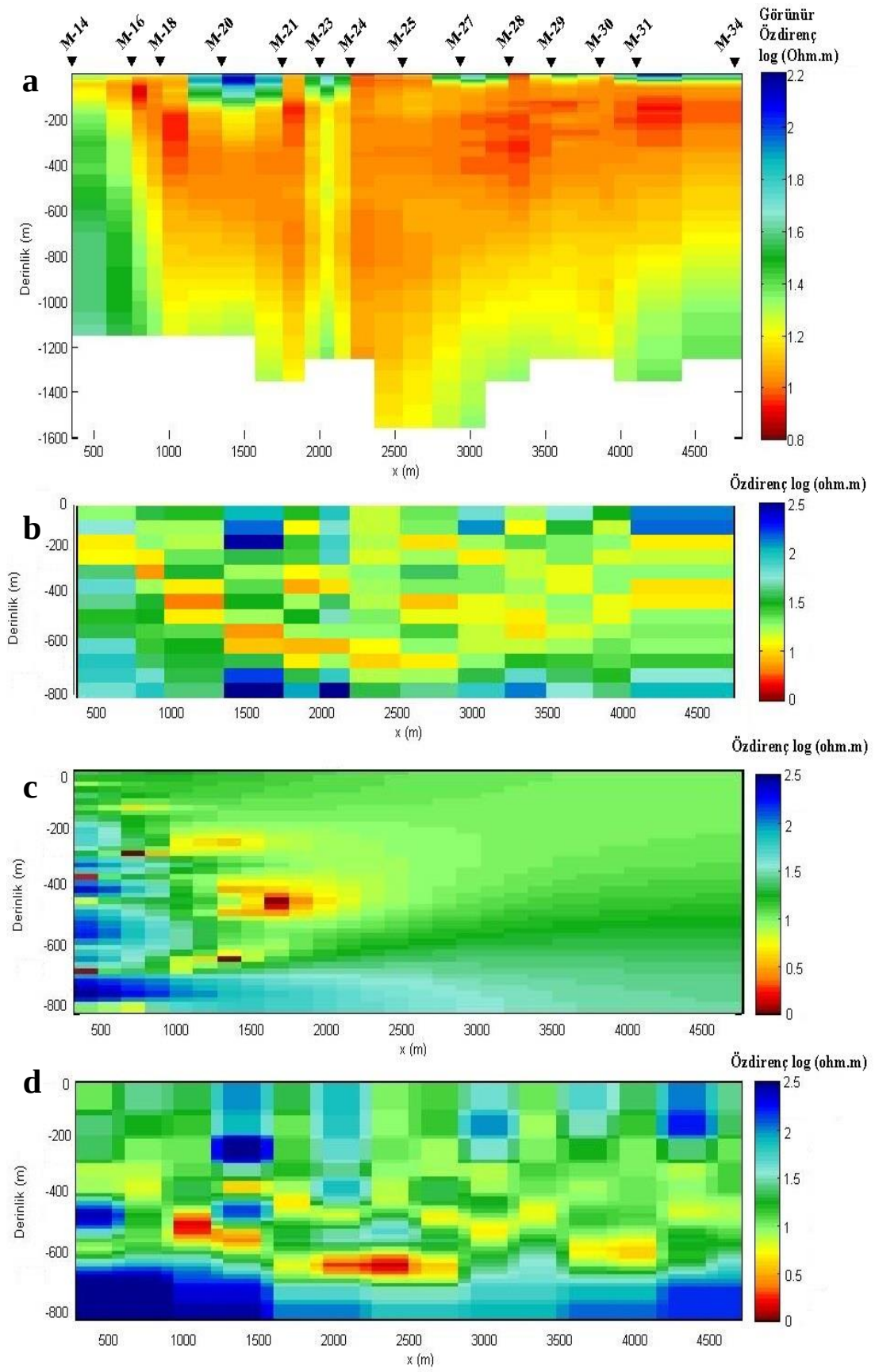


Şekil 3.16: K Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).

M profiline ait 1B ölçülen ve hesaplanan değerler Şekil 3.17’de görülmektedir. M profili (Şekil 3.18) bölgede alınan en uzun profil olup yaklaşık 5 km. uzunluğundadır. Profilin başlangıcı I profilinde I-18 noktası civarında görülen fayın doğusunda kaldığı için, I profilinin batısında görülen yüksek öz direnç kontrastı bu profile görülmemektedir. M-20 – M-27 noktaları arasında, eski bir çukurluk olduğu düşünülmektedir. Çukurluğun batısında M-18 noktası civarında, çukurluğun doğusunda ise M-29, M-31 noktaları civarında fay gözlemlenmiştir. Yüze yakın birimlerin Pliyosen yaşlı alüvyonlar ve Hisarcık formasyonu ile Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu olduğu düşünülmektedir. Bu formasyonların altında bol eklemli Arıkaya ve Balıkbaşı formasyonlarının kireçtaşları yer aldığı ve en alt birim olarak da Simav metamorfitlelerinin yer aldığı düşünülmektedir.



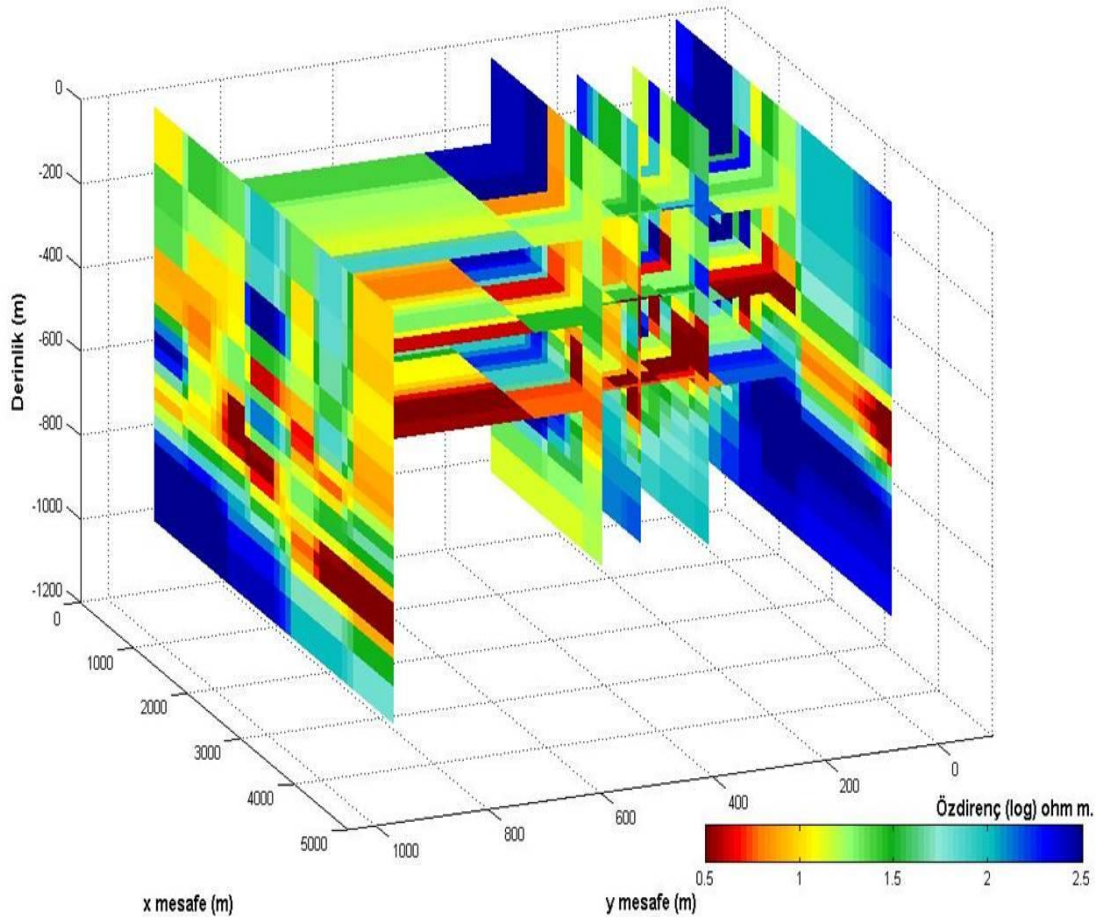
Şekil 3.17: M Profilli 1B ölçülen ve hesaplanan öz direnç değerleri.



Şekil 3.18: M Profili kesitleri (Andıran kesit (a), 1B ters çözüm (b), Yanal kısıtlı ters çözüm (c) ve 2B ters çözüm (d)).

Her bir profile ait 1B hesaplanan ve ölçülen öz dirençlerin gösterildikleri grafiklerde derinlik öz direnç loglarında çok sayıda tabaka gözlemlenmektedir. 4-5 tabakalı basit bir ortamın gözlemlendiği derinlik-görünür öz direnç grafikleri ile derinlik-öz direnç loglarının tabaka sayılarının eşleşmediği düşünülmemelidir. Ardışık tabakalar arasındaki geçişlerin daha yumuşak olması amacıyla tabaka sayısı artırılarak derinlik-öz direnç logları hesaplanmıştır. Bu durum OCCAM ters çözümünün çalışma prensibi ile ilgilidir.

Sağdan sola doğru I Profili, J Profili, JK Profili, K Profili ve M Profili ile birlikte 500 m. ve 700 m. ye ait kat haritaları birlikte Şekil 3.19 da gösterilmektedir. Buna göre horst – graben yapılı arazinin düşük öz dirençli bölgeleri net bir şekilde görülebilmektedir. J, JK ve K profillerinin 1200 m. – 1800 m. yatay mesafede ve yaklaşık 600 m. derinliğindeki bölgede oldukça düşük öz dirençli bölgeler dikkat çekmektedir. Sözü edilen derinlikteki alan potansiyel rezervuar olma niteliğindedir.

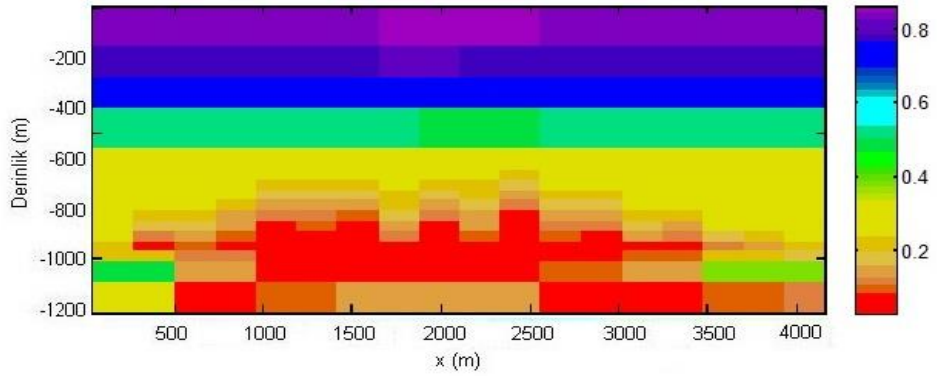


Şekil 3.19: Kütahya-Hisarcık 2 boyutlu jeoelektrik yapısı 3 boyutlu haritası (Sağdan sola doğru; I Profili, J Profili, JK Profili, K Profili ve M Profili).

Model resolüsyon matrisi (MRM) model parametrelerinin çözümünün ne ölçüde doğru yapıldığının belirlenmesi amacıyla hesaplanmıştır. Formül 3.21’de G , jacobian matrisini, W_d , veri ağırlıklandırma matrisini, W_m , model ağırlıklandırma matrisini, λ , ağırlıklandırma katsayısını ifade etmektedir. İdeal durumda MRM’nin birim matrise eşit olması gerekmektedir (Alumbaugh ve Newman, 2000).

Rezervuarın bulunduğu yaklaşık 600-700m. derinliğe kadar 0.5 ve üzerinde hesaplanan MRM değerleri, bu derinliğe kadar model parametrelerinin çözümünün yüksek ölçüde doğrulukla gerçekleştirildiğini ve sonuçların güvenilir olduğunu göstermektedir.

$$MRM = \left[(G^f)^T W_d G^f + \lambda^2 W_m^T W_m \right]^{-1} (G^f)^T W_d J^f \quad (3.21)$$



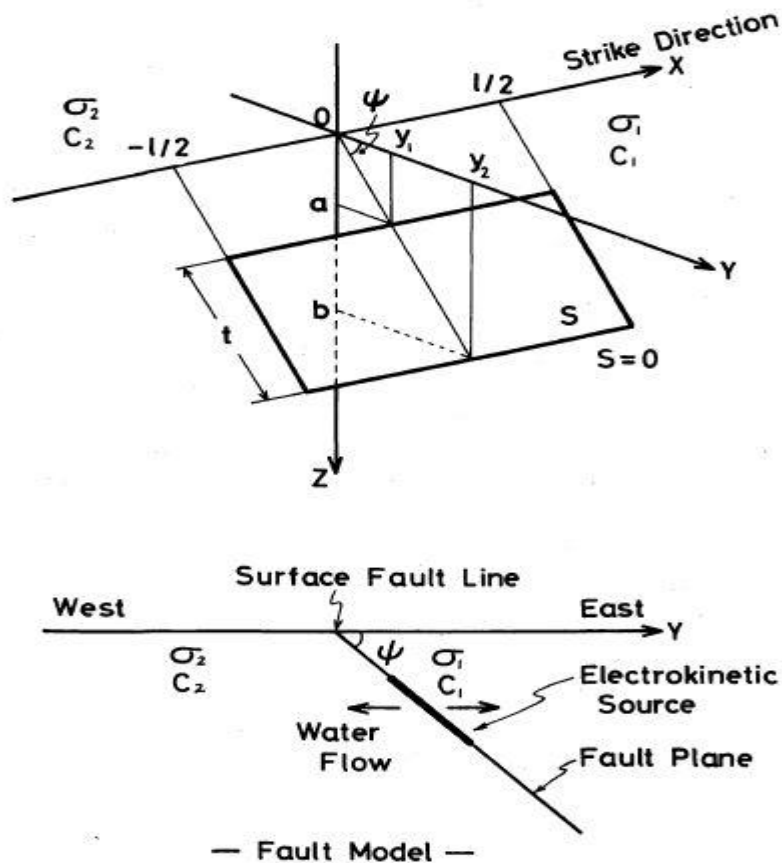
Şekil 3.20: Model resolüsyon matrisi (I profili).

3.3.4 SP verilerinin incelenmesi

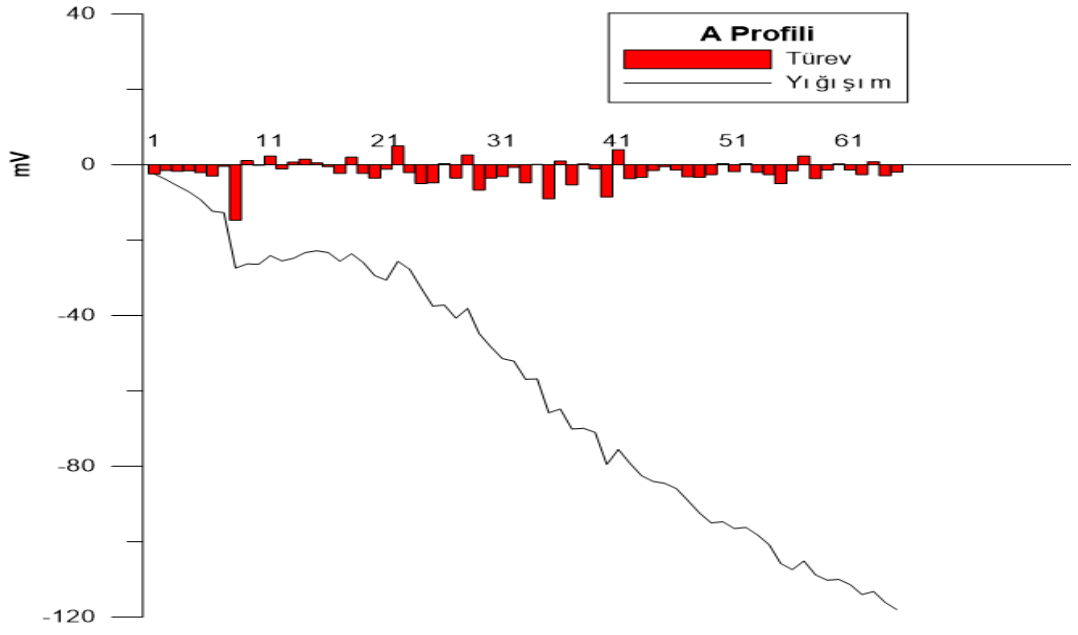
Çalışma alanında 25 m. pot aralıkları ve 25 m. kaydırma aralıkları ile kaydırma ölçü tekniği kullanılarak 65 nokta, 48 nokta, 43 nokta ve 50 nokta ölçüm yapılan dört profile A, B, C ve D profilleri isimleri verilmiş olup Şekil 3.5’de ölçü noktaları görülmektedir. Alınan SP ölçümleri, kabaca, A ve B profilleri birbirine yaklaşık paralel olmakla beraber DES profillerini dike yakın kesmektedirler. C profili yaklaşık I-19 noktasından başlayıp I-23 civarında sonlanmaktadır. D profili ise I, J, JK ve K profillerini dik kesmektedir. Profillere ait türev ve yığışım grafikleri şekil 3.22-3.25 de verilmektedir. Şekil 3.26’de ölçüm alanına ait SP kontur haritası görülmektedir.

Çalışma alanı geneline bakıldığında B profilinin kuzeyi ve kuzeydoğusunda pozitif – negatif geçişi görülmektedir. DES kesitlerinde yüksek öz direnç kontrastı yaratan

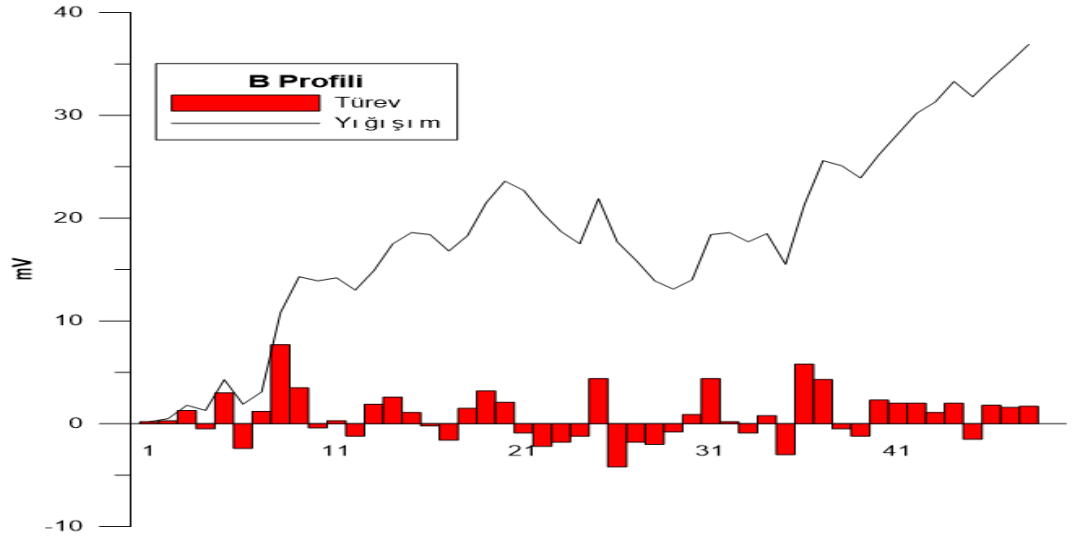
Graben yapılarına ve faylara dik alınan C profili ölçüleri Murakami ve diğ. (1984, 1987) çalışmasındaki fay modeline uyarlanmıştır. Buna göre bölgedeki yaklaşık 70-80 derece açılı duran fay modelde gözlemlenmiştir. Şekil 3.27’de ölçülen değerler kırmızı, hesaplanan model ise mavi renkle gösterilmekle beraber hesaplanan parametreler yer almaktadır.



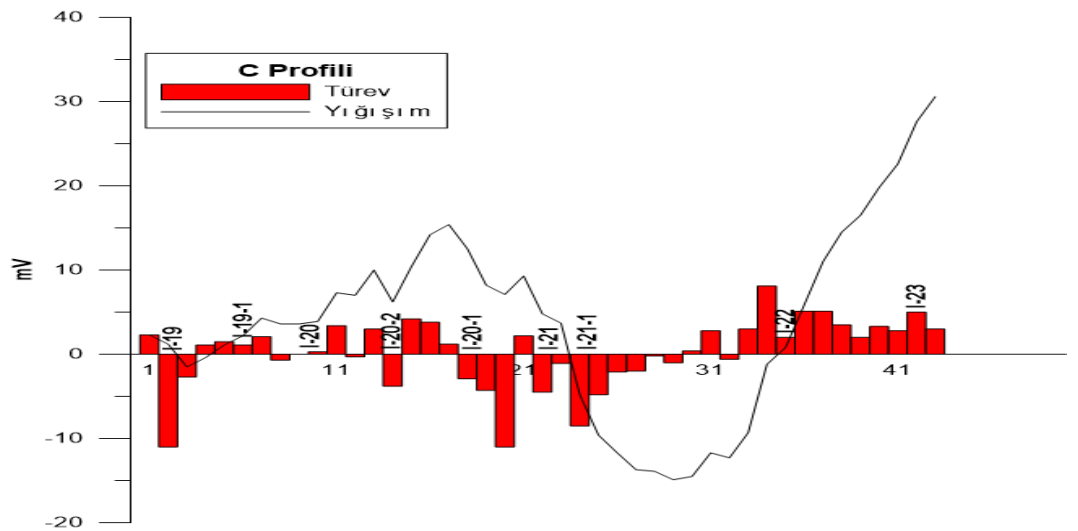
Şekil 3.21: Fay modeli (Murakami ve diğ., 1984).



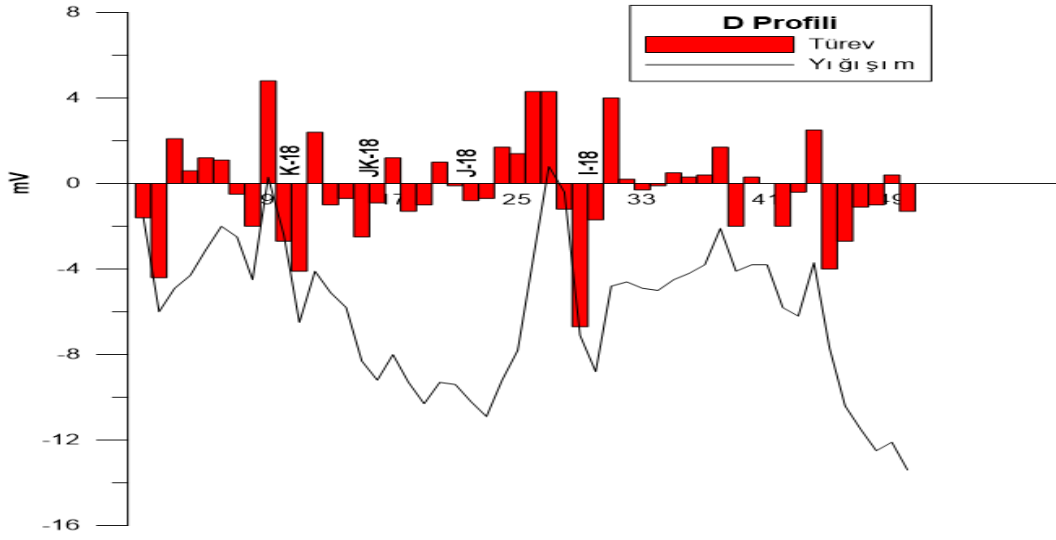
Şekil 3.22: A Profili SP türev ve yığılım grafikleri.



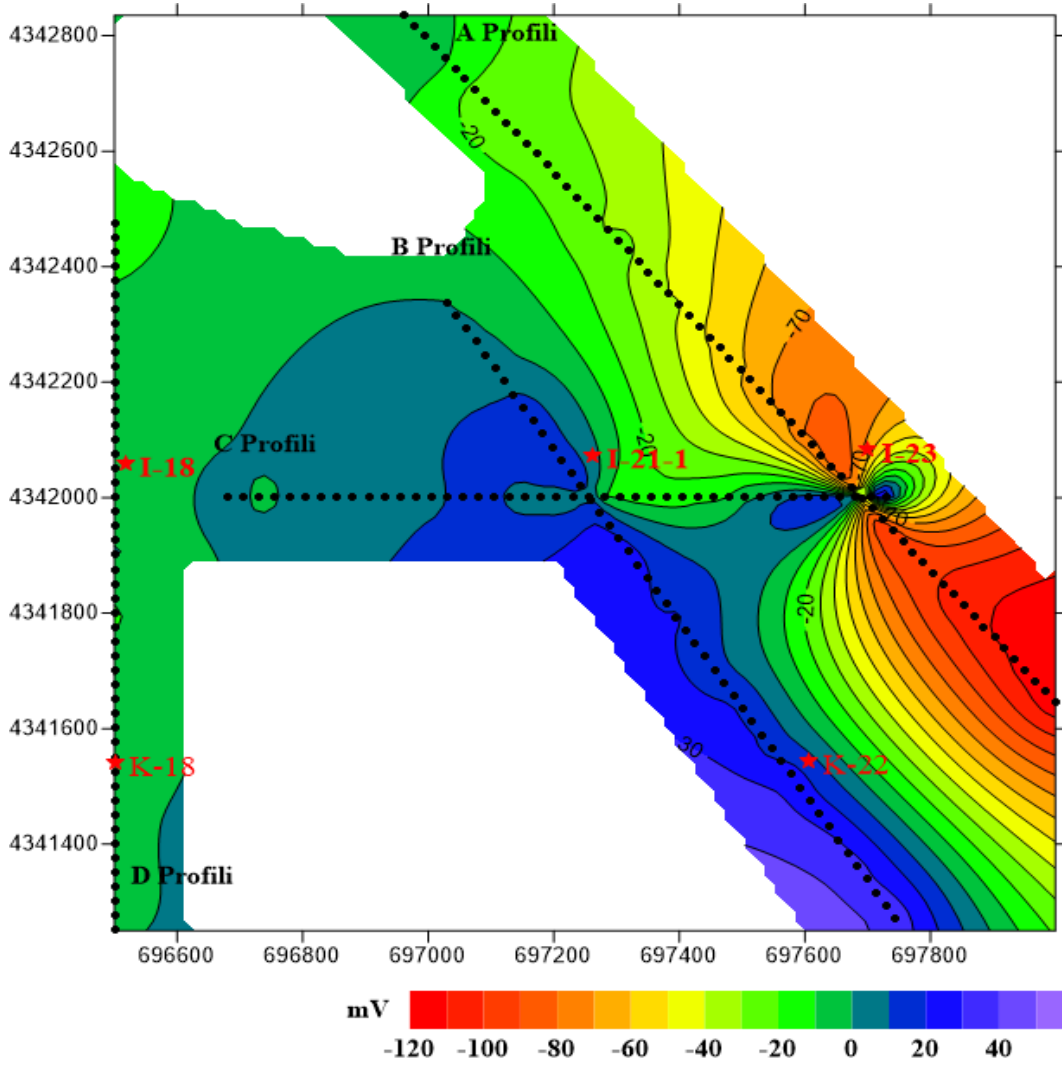
Şekil 3.23: B Profili SP türev ve yığılım grafikleri.



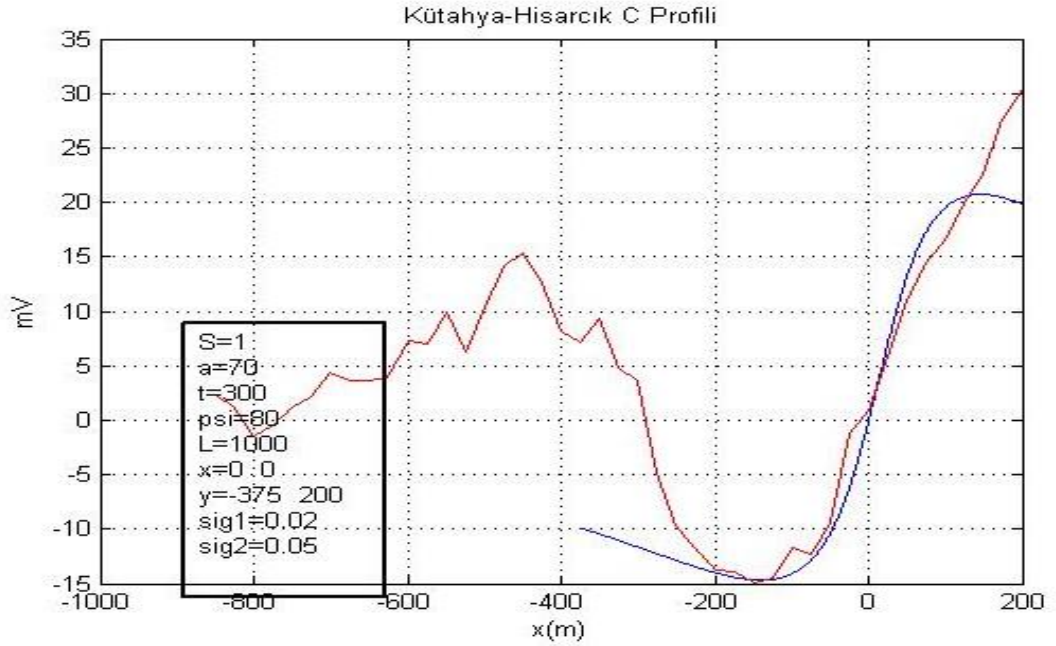
Şekil 3.24: C Profili SP türev ve yığılım grafikleri.



Şekil 3.25: D Profili SP türev ve yığılım grafikleri.



Şekil 3.26: Kütahya-Hisarcık SP kontur haritası.



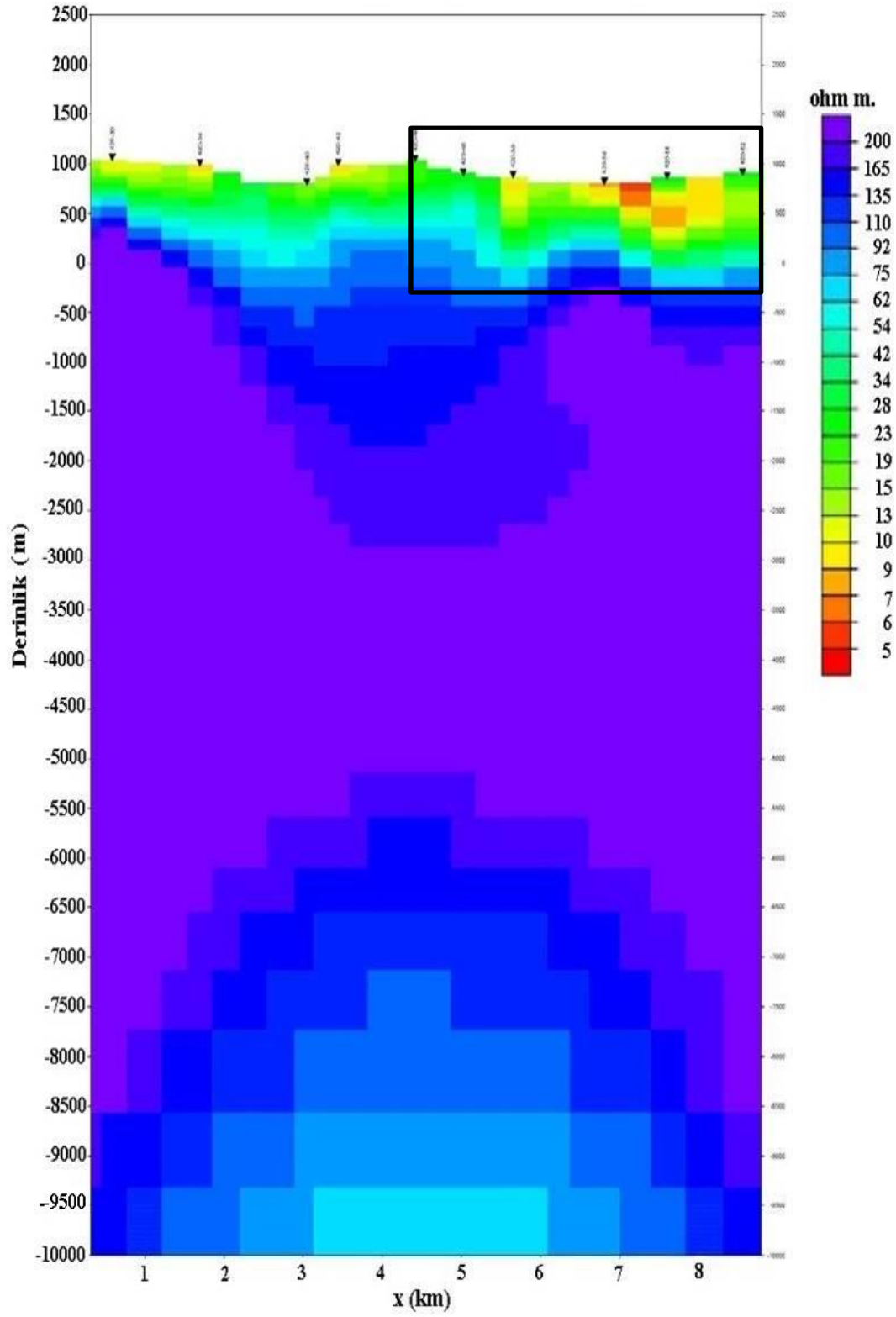
Şekil 3.27: C Profili fay modeli.

Fay modelinde S, elektrokinetik gerilimi, a, fayın üst noktasının derinliğini, b, fayın alt noktasının derinliğini, t, fayın düşeyde uzunluğunu, L, fayın yatayda uzunluğunu, Ψ , fayın dalım açısını göstermektedir. Bunda göre hesaplanan parametreler şekil 3.27’de yer almaktadır. Buna göre fayın üst yüzeyinin derinliği 70m., alt yüzeyinin derinliği 365m. ve eğimi 80^0 olarak hesaplanmıştır. Diğer çalışmalarda fayın bu kesiminin eğimi yaklaşık 70^0 olarak bulunduğu sonuçlar tutarlılık göstermektedir.

3.3.5 Araştırma alanında uygulanan diğer bir jeofizik yöntem ile karşılaştırma

Kaya (2015) çalışmasında, sahada I profili ile aynı doğrultuda alınan manyetotellürik ölçülerinin, I profili iki boyutlu ters çözümü sonuçları ile beraber yorumlanması bölgenin yeraltı yapısının değerlendirilmesi için son derece önemlidir. Değerlendirmelere Kaya (2015) çalışmasında veri işlemleri Geotools yazılım paketi ile 25 Ω m. homojen başlangıç modeli ile 30 yineleme yapılarak gerçekleştirilmiştir. MT profili üzerinde 10 noktada ölçüler alınmış olup, I profili, şekil 3.27 de yer alan iki boyutlu MT kesitinde yatay mesafede 4 km. de yer alan 420-46 noktasından profil sonuna kadar yer almaktadır. I profilinin MT kesitindeki konumu daha açık görülebilmesi için siyah kutu içine alınmıştır. Burada yüksek öz dirençli temel in sokulumu I profilinde olduğu gibi net bir şekilde görülmektedir. I profilinin

doğusundaki, iki tarafındaki yüksek öz direnç kontrastı yüzünden bölgeyi ikiye ayıran düşey eğimli fay da 420-46 – 420-50 noktaları arasında rahatça görülmektedir.



Şekil 3.28: 420 Profili 2B MT yapı kesiti. (Siyah dikdörtgen DES ölçülerinin yerini temsil etmektedir) (Kaya, 2015).

3.3.6 Sıcaklık modellemesi

Bölgedeki rezervuarın konumunu ve kırık sistemlerindeki akışkanların hareketinin belirlenmesi amacıyla bölgeye ait sıcaklık ve akışkan hızları modellemesi yapılmıştır. Modellemesi çalışmaları yapılırken ANYSY FLUENT isimli, sonlu hacimler yöntemi kullanan hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözücüsü kullanılmıştır. Akışkanlar mekaniği ve ısı geçişleri gibi pek çok mühendislik alanında kullanılan sonlu hacimler yönteminin özellikleri sonlu farklar ile oldukça benzer olmasına rağmen en önemli farklarından biri sonlu yapısal ağlar (mesh) yerine gelişmiş güzel geometrilerdeki alanlarda kullanılabilir olmasıdır. Bu nedenle daha çok sonlu elemanlar yöntemine benzemektedir. Ayrıca yöntemde, birbirine komşu ayrılmış hücreler arasındaki sayısal akıların bölgesel korunumu, yöntemi akışkanlar mekaniği ve ısı geçişi gibi problemler için cazip kılmaktadır (Eymard ve diğ. 2000).

Akışkanlar mekaniğinde Rayleigh sayısı (Ra) bir akışkan içerisindeki ısı taşınımının karakteristiğini (iletim, taşınım) belirleyen boyutsuz bir sayıdır. Rayleigh sayısının değeri, akışkanın kritik Rayleigh sayısından küçük ise ısı transferi iletim (kondüksiyon) yoluyla gerçekleşirken bu değer kritik değerden yüksek ise ısı transferi taşınım (konveksiyon) yoluyla gerçekleşmektedir.

$$Ra = \frac{g * \beta * \Delta T * D^3}{\alpha * \nu} \quad (3.22)$$

Formül 3.22' de g (m/s^2) yerçekimi ivmesini, β ($^{\circ}K^{-1}$) ısı genleşme katsayısını, ΔT ($^{\circ}K$) sıcaklık farkını, D (m) karakteristik uzunluğu, α (m^2/s) gözenekli ortamın efektif ısı yayınma katsayısını ve ν (m^2/s) kinematik viskoziteyi temsil etmektedir (Holzbecher, 1998)

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen modellemeler, bölgenin karmaşık yapısının daha düzgün geometrilere indirgenmiş gözenekli ortamlardaki yer içi sıcaklık yapısının ve jeotermal akışkanların akış hızı ve doğrultularının araştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Yer içine ait sıcaklık değerleri Serpen (2004), Kaya (2015) çalışmalarından derlenmiştir. Bölgeye ait permeabilite, porozite, ısıl iletkenlik, hacimsel ısı kapasitesi gibi yer içi parametrelere Waples ve Waples (2004) ve Magri ve diğ. (2010, 2012) çalışmalarından yola çıkılarak karar verilmiştir. Ayrıca oluşturulan modelde kullanılan başlangıç ve sınır koşulları çizelde 3.1 de gösterilmektedir.

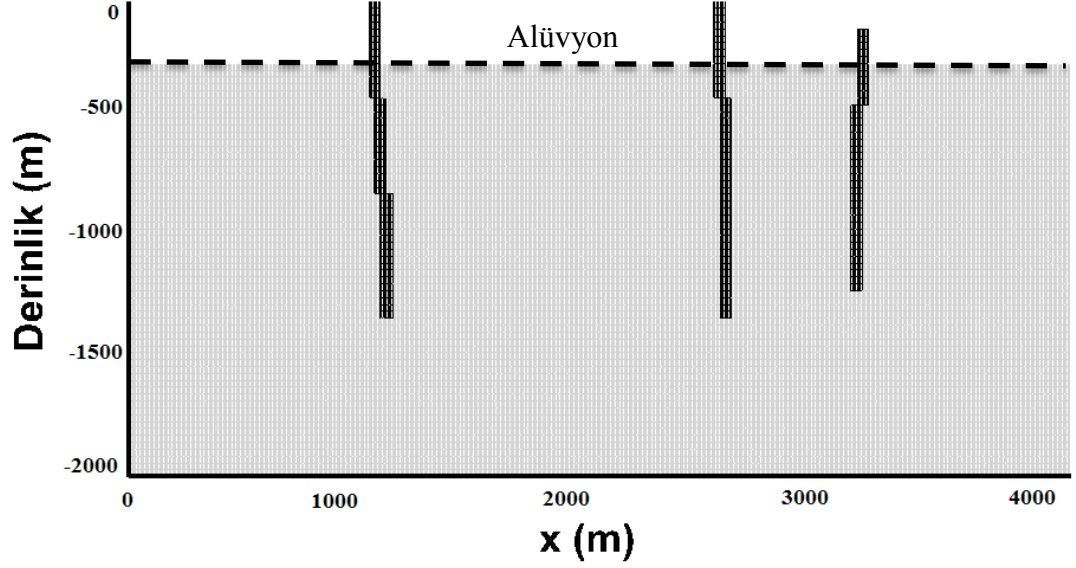
Doğu – batı doğrultulu hesaplanan hattın model geometrisi Şekil 3.29’da görülmektedir. Model geometrisi 40710 sonlu hacim elemanı ve bu elemanları bağlayan 41370 düğüm noktasından oluşmaktadır. Model geometrisindeki siyahla gösterilen faylar belirlenirken bölgedeki horst – graben yapısını en iyi şekilde temsil etmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Soldaki fay (Hisarcık fayı) yaklaşık olarak I-16 noktasına gelecek şekilde planlanıp model hazırlanmıştır. Fay zonları, çevre kayalardan farklı geçirimsizlik ile tanımlanan hücreler ile temsil edilmiştir. Çevre kayalarda 10^{-15} m² olarak tanımlanan geçirimsizlik, fay zonları için 10^{-13} m² olarak tanımlanmıştır. Bölgedeki alüvyonları temsil etmesi amacıyla yüzeye yakın 200 m. lik zona düşük geçirimsizlikli bir zon eklenmiştir. Geçirimsizlik değerleri literatürdeki başka çalışmalar ile karşılaştırılmıştır ve uyumlu olduğu görülmüştür (Serpen, 2004).

Çizelge 3.1: Bölgeye ait model için başlangıç ve sınır koşulları.

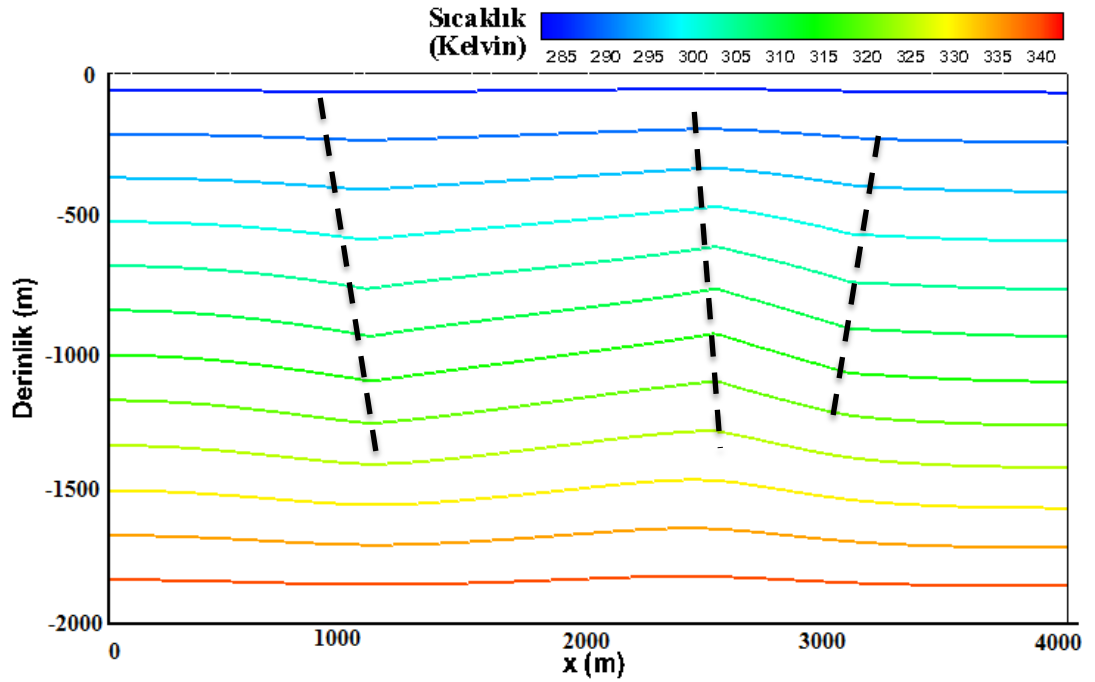
Başlangıç ve sınır koşulları	Değerler
Taban duvarı sıcaklığı (°C)	70
Tavan duvarı sıcaklığı (°C)	10
Sağ duvar koşulu	$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$
Sol duvar koşulu	$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$

Şekil 3.30’da sahaya ait kararlı durum için (steady-state) sıcaklık dağılımı görülmektedir. Bölgedeki sıcaklık kaynağının normalden yüksek gradyan olduğu bilinmektedir. Kritik değerden düşük Rayleigh sayısına göre ısı geçişi iletim (conduction) yoluyla olacağından dolayı faylara doğru yaslanan konturlarının yumuşak bir sıcaklık dağılımı gösterdiği model mantıklı ve bulgularla uyumlu sonuç vermektedir. Şekil 3.31’de görülen düşey akışkan hızları yaklaşık 10^{-9} mertebesinde ve literatürdeki başka çalışmalar ile uyumludur (McKenna ve Blackwell, 2004). Fay zonlarında mavi oklar aşağı hareketi, kırmızı oklar yukarı

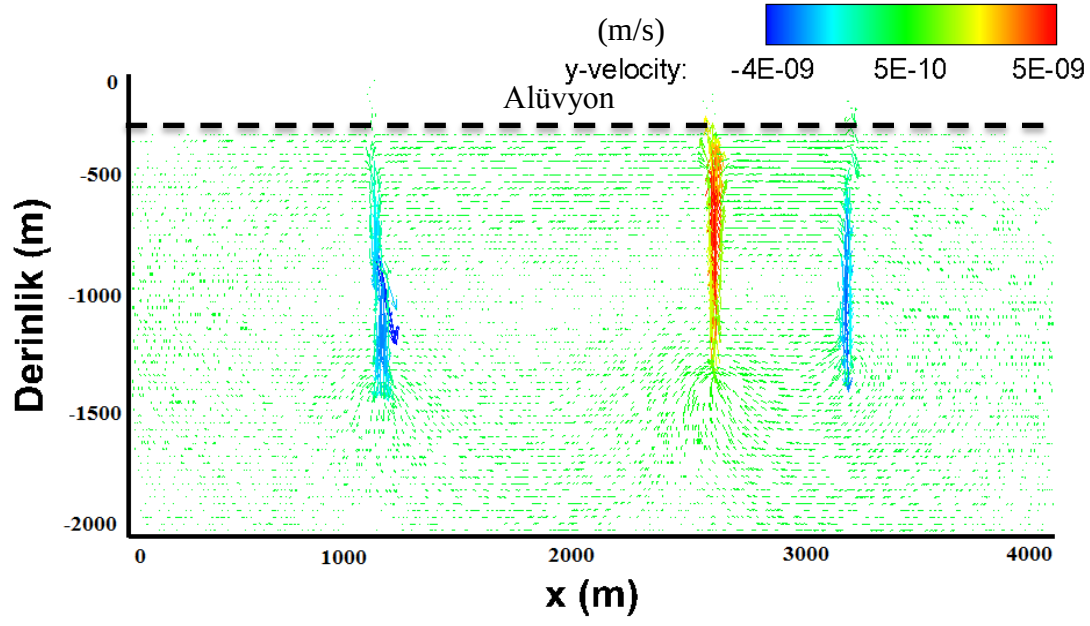
hareketi göstermektedir. Darcy hızları incelendiğinde, kırık bölgelerinde çevresindeki kayalara göre daha hızlı akış gözlemlenmiştir. Ağ geometrisinde en solda görülen fayda aşağı yönlü hareket gözlemlenmektedir ve bu fayın rezervuarı besleyen unsurlardan biri olduğu düşünülebilir. Kırmızı oklarla ifade edilen akışkan hareketi bölgede olduğu bilinen su çıkışları ile uyumluluk göstermektedir.



Şekil 3.29: Sahaya ait modelin ağ geometrisi.



Şekil 3.30: Sıcaklık eğrileri.



Şekil 3.31: Darcy hızı vektörleri.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, 1/25.000 ölçekli Kütahya J22-c1 paftasındaki Hisarcık ilçesi ve çevresinin jeotermal potansiyelini geliştirmek amacıyla bölgenin iki boyutlu yer altı yapısını ortaya çıkarmak için gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, bölgede MTA tarafından gerçekleştirilen DES ve SP çalışmalarından ve Kaya (2015) çalışmasındaki MT kesitlerinden faydalanılmıştır.

DES verilerinin değerlendirilmesinde bir boyutlu Occam ters çözümü, yanal kısıtlı bir boyutlu ters çözüm algoritması (LCI) ve iki boyutlu ters çözüm algoritması (SCH2D) kullanılmıştır. Çalışma sırasında birbirinden farklı algoritmalarla ve veri giriş dosyalarıyla uğraşmanın doğurduğu işlem süresinin uzaması durumuna karşı bütün algoritmalar tek bir MATLAB kodu altında menülü olarak toplanmıştır. Bu sayede tek bir veri giriş dosyası ile istenilen ters çözüm işlemi gerçekleştirilebilmektedir. 2B algoritmanın görüntüleme programı Uniras gerektirdiğinden dolayı, MATLAB tabanlı yeni bir görüntüleme programı hazırlanmıştır. Ayrıca bölgenin 3B görüntülenmesi için istenilen profillerin ve istenilen derinlikteki kat haritalarının kullanıcı tercihi ile üstüste çizdirilebildiği 3B görüntüleme programı hazırlanmıştır. 1B ve LCI üzerinde küçük modifiyeler yapılmış olup, otomatize edilen MATLAB programı tek bir veri giriş dosyası ile istenilen ters çözümü yapabilmekte ve istenildiği gibi 3B görüntüleme gerçekleştirebilmektedir. Gerekli görseller ekler kısmında yer almaktadır.

Çalışma alanı Emet – Gediz grabeninin kuzeyinde yer almaktadır. Bölgedeki faylar KB-GD, K-G ve KD-GB olmak üzere üç farklı doğrultuda gelişmişlerdir. Sağ yönlü doğrultu atımlı faylar KB-GD doğrultulu iken K-G ve KD-GB doğrultulu olanlar eğim atımlı normal faylardır. Bölgedeki Hisarcık fayı sahadaki en önemli tektonik yapılardan bir tanesidir. Bu fay KKB-GGD doğrultulu olup Neojen birimleri temsil eden Yeniköy formasyonunu kesmektedir. Yeniköy formasyonu kumtaşı, silttaşı, marn ve ince taneli kumtaşı tuf katmanlarından oluşmaktadır ve tahminen sahadaki kalınlığı 500 m. civarındadır. Hamamköy kuzeyinde dar bir alanda traverten çökeli bulunmektedir. Yeniköy formasyonu altındaki potansiyel jeotermal

rezervuar olduğu tahmin edilen Budağan kireçtaşları, Arıkaya formasyonu ve Sarıcasu metamorfikleri yer almaktadır.

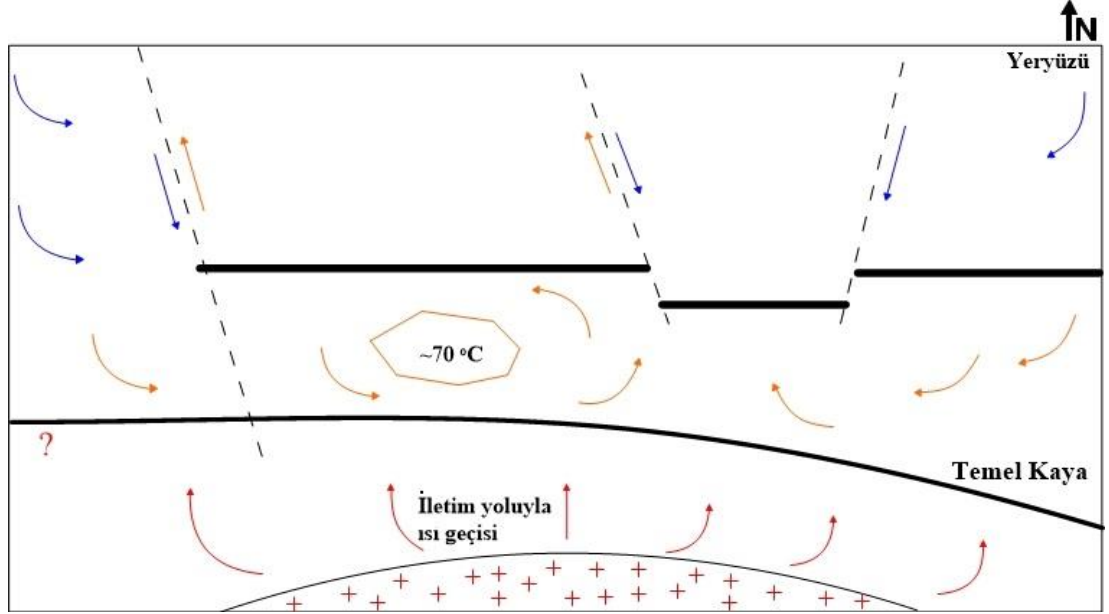
I profilinde I-18 noktası civarında görölmek üzere, bölge Hisarcık fayı tarafından yüksek ve düşük özdirençli iki bölgeye ayrılmaktadır. Bu fayın izleri diğer profillerde de görölebilmektedir. I, J, JK, K ve M profilleri incelendiğinde, herbir profilde düşük özdirenç gösteren zonlar birbirleriyle uyumludurlar ve bu zon termal alterasyon olarak yorumlanmaktadır. Araştırma bölgesinde genel olarak, 1000 – 1800 m. yatay mesafede ve yaklaşık 500 – 700 m. derinliklerde düşük özdirençli bölge göze çarpmaktadır. Şekil 3.19, 3 boyutlu gösterimde düşük özdirençli bölge daha net bir şekilde görölmektedir. C profili SP ölçümlerinde görölen fay Hisarcık fayının doğusunda olan faylarla uyumludur ve bölgedeki horst – graben yapısını göstermektedir. Düşük özdirençli zon Yeniköy formasyonu altındaki Budağan kireçtaşlarına ve Arıkaya formasyonuna denk geldiği düşünölmektedir. Hem DES hem de MT kesitlerinde yüksek özdirençli sokulum görölmektedir ve Simav metamorfikler olarak yorumlanmıştır.

Sıcaklık modeli incelendiğinde yumuşak geçişler gözlemlenmektedir. Kritik değerden düşük Rayleigh sayısına göre ısı iletimi iletim (conduction) yoluyla olacağından dolayı faylara doğru yaslanan konturlarının yumuşak bir sıcaklık dağılımı gösterdiği model mantıklı ve bulgularla uyumlu sonuç vermektedir. Tespit edilen akışkan hızları 10^{-9} mertebesindedir. Bölgede J-18 ile I-20 noktaları arasında iki kaynak olduğu bilinmektedir. Şekil 3.30 daki grafikte kırmızı oklarla gösterilen faydaki, gösterilen su çıkış noktası yatay mesafede yaklaşık olarak J-18 ve I-20 civarına denk geldiğinden dolayı sonuçlar tutarlıdır.

Şekil 3.20’de gösterilen, bölgedeki I profiline ait resolüsyon matrisindeki rezervuar derinliğine kadar 0.5’den büyük hesaplanan değerlere göre model parametreleri güvenli hesaplanmıştır.

Şekil 3.32’de bölgeye ait ölçeksiz hidrotermal model hazırlanmıştır. Burada kırmızı oklar iletim yoluyla ısı geçişini, turuncu oklar sıcak suları, mavi oklar ise soğuk suları göstermektedir. Darcy hızları grafiği incelendiğinde en soldaki fayın rezervuarı besleyen fay olduğu düşünölebilir. Sağdaki graben yapısının batısında su çıkışları hesaplanmıştır ve bölgede bu civarlardan su çıkışları olduğu bilindiğinden tutarlılık göstermektedir.

Emet – Hisarcık grabenindeki diğer kaynaklara bakıldığında, Yenice 37 °C, Yoncağaç 49 °C ve Sefaköy 51 °C olarak ölçülmüştür. Buna göre kuzeyden güneyde doğru kaynakların sıcaklıkların arttığı dikkat çekmektedir. DES kesitlerinden bölgenin güneydoğuya doğru derinleştiği dikkat çekmektedir. Dolayısıyla bölgede daha derinlerde daha sıcak kaynak olma ihtimali yüksektir.



Şekil 3.32: Sahaya ait hidrotermal model.

KAYNAKLAR

- Akkuş İ., Akıllı H., Ceyhan S., Dilemre A., Tekin Z., (2005). "MTA Genel Müdürlüğü, Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri", envanter serisi: **201**, s:519,558
- Archie G.E., (1941). The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some reservoir Characteristics, *Dallas Meeting*, October
- Alumbaugh D.L., Newman G.A., (2000)ç Image appraisal for 2-D and 3-D electromagnetic inversion. *Geophysics*, **65**, 1455–1467
- Ambraseys N.N., ve Tchalenko J.S., (1972). Seismotectonic Aspect of the Gediz, Turkey, Earthquake of March 1970, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **30**, 229-252
- Beşkardeş, G.D. ve Özürlan Ağaçgözü, G., (2012). Zaman Ortamı Elektromanyetik Verilerinin Düzgünlük-Kısıtlayıcı Ters Çözümü, 4. *Yer Elektrik Çalıştayı, Çeşme*
- Bayrak M., Serpen Ü., İlkışık O.M., (2011). Two-dimensional resistivity imaging in the Kızıldere geothermal field by MT and DC methods, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **204**, 1-11
- Bozkurt E., (2001). Neotectonics of Turkey – a synthesis, *Geodinamica Acta*, **14**, 3-30
- Bulut Y., Altınay A., Bodur D., (1991). Şaphane-Gediz-Hisarcık-Emet(Kütahya) ve Dolayı Tersiyer Havzasının Detay Jeolojik Prospeksiyonu ve Kömür Olanakları Raporu, MTA Kömür Etüd ve Aramaları Projesi, Ankara
- Constable, S.C., Parker, R.L. and Constable, C.G., (1987). Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth model from electromagnetic sounding data, *Geophysics*, **52**, 289-300
- Çağlar İ., (1991). *Jeofizikte Doğal Polarizasyon (SP) Yöntemi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu
- Çağlar İ. ve Demirörer M., (1999). Geothermal exploration using geoelectric methods in Kestanbol, Turkey, *Geothermics*, **28**, 803-819
- Çağlar İ. ve İşseven T., (2004). Two-dimensional geoelectrical structure of the Göynük geothermal area, northwest Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **134**, 183-197
- Doğan, A. ve Emre, Ö., (2006). Ege Graben Sistemi'nin Kuzey Sınırı: Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu, 59. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı*, 83-84 Türkiye
- El-Qady G., Sakamoto C., Ushijima K., (1999). 2-D inversion of VES data in Saqqara archeological area, Egypt, *Earth Planet Space*, **51**, 1091-1098
- Eymard R., Gallouët T., Herbin R., (2000). "Finite Volume Methods". Handbook of Numerical Analysis, Vol. VII, 2000, p. 713-1020
- Fluent, ANSYS, (2006). "6.3 user's guide." *Fluent Inc* .
- Gabbani G. Ve Gargini A., (1993). An Application of the Archie's law to the hydrogeological investigation of an alluvial coastal plain, *12th Saltwater Intrusion Meeting, Barcelona*, 617-630

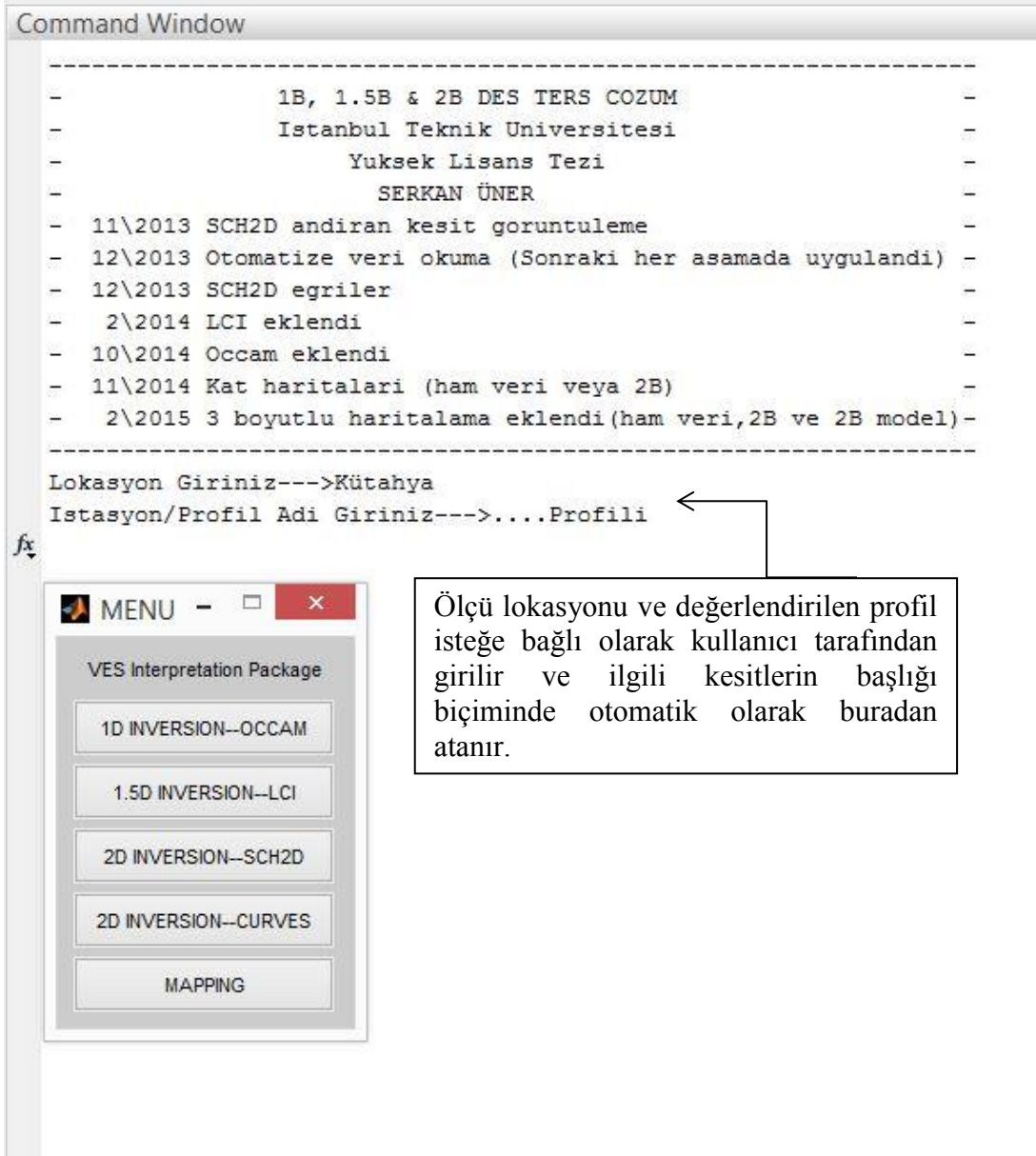
- Garg S.K., Pritchett J.W., Wannamaker P.E., Combs J.,** (2007). Characterization of geothermal reservoirs with electrical surveys: Beowawe geothermal field, *Geothermics*, **36**, 487-517
- Hasözbeek A., Akay E., Erdoğan B., Satır M., Siebel W.,** (2010). Early Miocene granite formation by detachment tectonics or not? A case study from the northern Menderes Massif (Western Turkey), *Journal of Geodynamics*, **50**, 67-80
- Holzbecher E** (1998). Modelling Density-Driven Flow in Porous Media. Heidelberg, Germany: Springer.
- Işık, A. ve Dilemre, A.,** (1996). “Türkiye Termal ve Mineralli Sular Envanteri Kütahya” (43). MTA Rapor No: 10184, Ankara (Yayımlanmamış).
- İmamoğlu, M.Ş.,** (2009). Tektonik yapısı ve stratigrafisi ışığında Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Jeotermal Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi, *5.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, 161-166
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., Bozkurt, E.,** (1999). Evidence from Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey, *Journal of the Geological Society*, **156**, 605-616
- Kömürcü M.İ. ve Akpınar A.,** (2009). Importance of geothermal energy and its environmental effect in Turkey, *Renewable Energy*, **34**, 1611-1615
- Kaya C.,** (2015)., Kişisel görüşme
- Konak, N.,** (1982). Simav dolayının jeolojisi ve metamorfik kayaçların evrimi. *Yerbilimleri*, **3**, 1-2, 313-337, İstanbul.
- de Lima O.A.L. ve Niwas S.,** (2000). Estimation of hydraulic parameters of shaly sandstone aquifers from geoelectrical measurements, *Journal of Hydrology*, **235**, 12-26
- Lund J.W., Freeston D.H., Boyd T.L.,** (2011). Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review, *Geothermics*, **40**, 159-180
- Magri F., Akar T., Gemici U., Pekdeger A.** (2010). Deep geothermal groundwater flow in the Seferihisar-Balçova area, Turkey: results from transient numerical simulations of coupled fluid flow and heat transport processes. *Geofluids*, **10**, 388–405
- Magri, F., Akar, T., Gemici, U., Pekdeger, A.** (2012). Numerical investigations of fault-induced seawater circulation in the Seferihisar-Balçova Geothermal system, western Turkey. *Hydrogeology Journal*, **20**, 103-118.
- Majumdar R.K., Majumdar N., Mukherjee A.L.,** (2000). Geoelectric investigation Bakreswar geothermal area, West Bengal, India, *Journal of Applied Geophysics*, **45**, 187-202
- McKenna, J. R., ve Blackwell, D. D.** (2004). Numerical modeling of transient Basin and Range extensional geothermal systems. *Geothermics*, **33**, 457-476.
- Mertoğlu O., Şimşek Ş., Dağıstan H., Bakır N., Doğdu N.,** (2010). Geothermal Country Update Report of Turkey (2005-2010), *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, 25-29 Nisan, Bali, Endonezya
- Monteiro Santos, F.A.,** (2004). 1-D laterally constraint inversion of EM34 profiling data, *Journal of Applied Geophysics*, **56**, 123-134
- Murakami H., Mizutani H., Nabetani S.,** (1984). Self-Potential Anomalies Associated with an Active Fault, *Geomag. Geoelectr.*, **36**, 315-376

- Murakami H., Mizutani H., Nabetani S.,** (1987). Correction. Self-Potential Anomalies Associated with an Active Fault, *Geomag. Geoelectr.*, **36**, 315-376
- Negri S. Ve Leucci G.,** (2006). Geophysical investigation of the Temple Apollo (Hierapolis, Turkey), *Journal of Archeological Science*, **33**, 1505-1513
- Onur I. Ve Ergüder F.,** (1988). Askertepe – Kilimli (Zonguldak) Yöresindeki Büyük Fayın Konumunun Yatay Görünür Öz direnç ve Doğal Uçlaşma Ölçümleri ile Saptanması, *Jeofizik*, **2**, 135-142
- Özürlan G., Candansayar M.E., Şahin M.H.,** (2006). Deep resistivity structure of the Dikili-Bergama region, west Anatolia, revealed by two-dimensional inversion of vertical electrical sounding data, *Geophysical Prospecting*, **54**, 187-197
- Özürlan G., Şahin M.H.,** (2006). Integrated geophysical investigations in the Hisar geothermal field, Demirci, western Turkey, *Geothermics*, **35**, 110-122
- Seher T. ve Tezkan B.,** (2007). Radiomagnetotelluric and Direct Current Resistivity measurements for the characterization of conducting soils, *Journal of Applied Geophysics*, **63**, 35-45
- Serpen, U.** (2004). Hydrogeological investigations on Balçova geothermal system in Turkey. *Geothermics*, **33**, 309-335.
- Serpen U., Aksoy N., Öngür T., Didem Korkmaz B.,** (2009). Geothermal energy in Turkey: 2008 update, *Geothermics*, **38**, 227-237
- Singh U.K., Tiwari R.K., Singh S.B.,** (2005). One-dimensional inversion of geoelectrical resistivity sounding data using artificial neural networks – a case study, *Computers & Geosciences*, **31**, 99-108
- Storz H., Storz W., Jacobs F.,** (2000). Electrical resistivity tomography to investigate geological structures of the earth's upper crust, *Geophysical Prospecting*, **48**, 455-471
- Şengör A.M.C. ve Yılmaz Y.,** (1981). Tethyan Evolution of Turkey: A plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, **75**, 181-241
- T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu,** (1996). Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu, ISBN 975-19-1375-6
- Uchida T., ve Murakami Y.,** (1990). Development of a Fortran Code for the Two-Dimensional Schlumberger Inversion, *Geological Survey of Japan Open-File Report*, **150**
- Üstün H. ve Yetiş C.** (2008). Hisarcık (Emet-Kütahya) Güneyi Neojen Stratigrafisi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana
- Waples D.W. ve Waples J.S.,** (2004). A Review and Evaluation of Specific Heat Capacities of Rocks, Minerals, and Subsurface Fluids. Part 1: Minerals and Nonporous Rocks, *Natural Resources Research*, **13**, 97-122
- Wilson S.R., Ingham M., McConchie J.A.,** (2005). The applicability of earth resistivity methods for saline interface definition, *Journal of Hydrology*, **316**, 301-312
- Yadav G.S.** (1993). Relating hydraulic and geoelectric parameters of the Jayant aquifer, India, *Journal of Hydrology*, **167**, 23-38

- Yadav G.S. vs Abolfazli H.,** (1998). Geoelectrical sounding and their relationship to hydraulic parameters in semiarid regions of Jalore, northwest India, *Journal of Applied Geophysics*, **39**, 35-51
- Yilmaz Y.,**(1997). Geology in Western Turkey In: Schindler C., Pfister M. (Eds.), *Active Tectonics of northwestern Anatolia – The Marmara Poly-Project. A multi disciplinary Approach by Spacegeodesy, Geology, Hydrogeology, Geothermics and Seismology*, vdf Hochschulverlag G an der ETH, ürich, pp. 31–53.

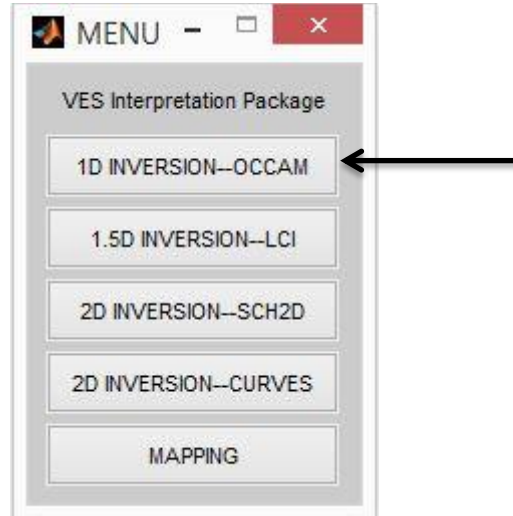
EKLER

Ek A: DES Veri Değerlendirme Programı



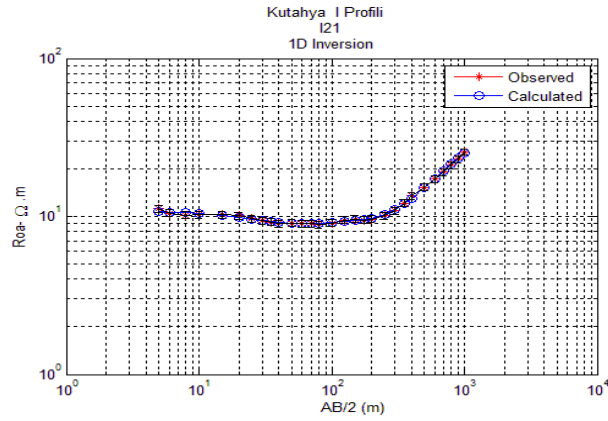
Şekil A.1: DES veri değerlendirme programı ana menü.

Ek A.1: 1D Inversion-Occam

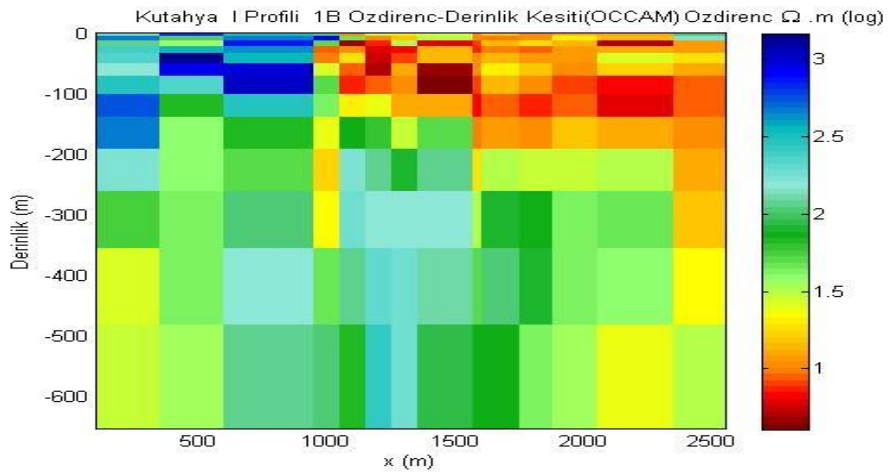


Şekil A1.1: 1D Inversion-Occam sekmesi.

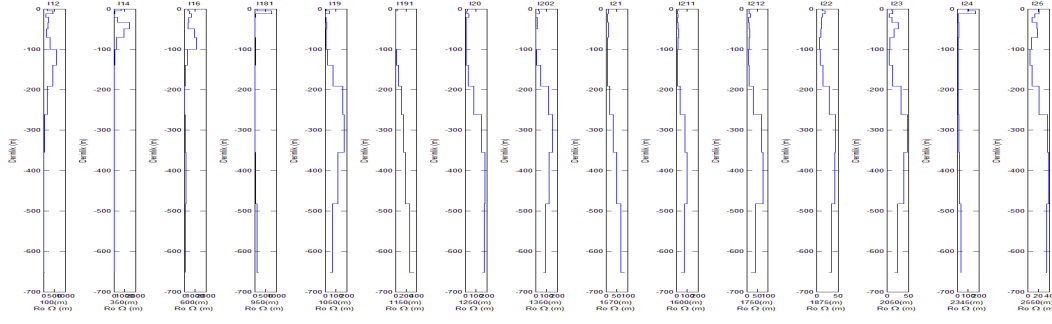
Occam sekmesi seçildiğinde öncelikle her bir DES noktası için Şekil A1.2'deki eğriler hesaplanır. İkinci adım olarak 1B yer altı modeli oluşturulur. İkinci adımda hesaplanan ve ölçülen değerlerle beraber derinlik kesiti isteğe bağlı olarak, kullanıcı girişli çizdirilir.



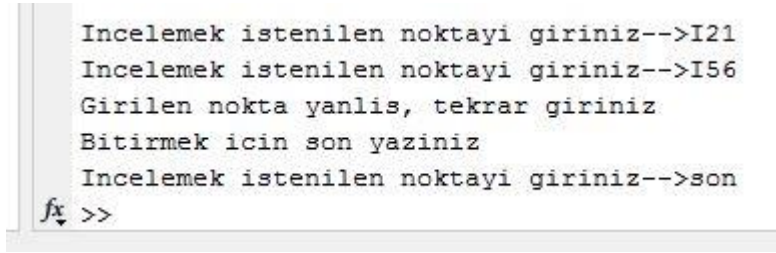
Şekil A1.2: Bir boyutlu hesaplanan ve ölçülen değerler örneği.



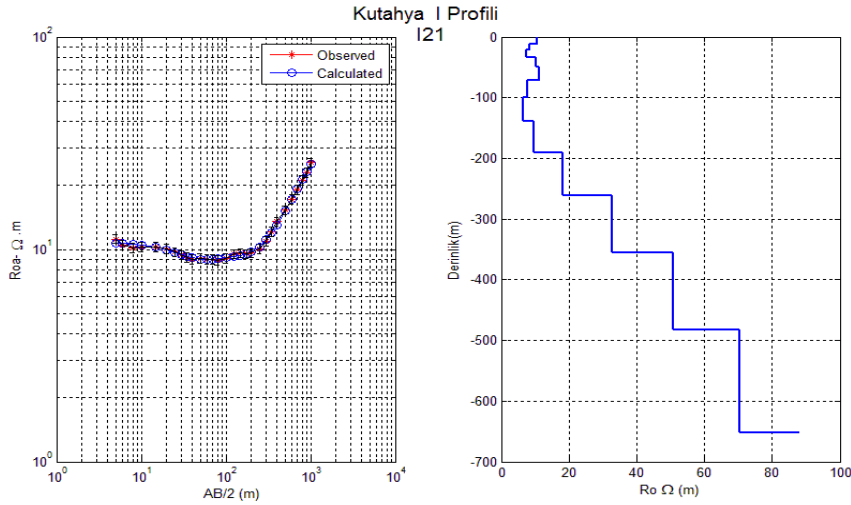
Şekil A1.3: Bir boyutlu ters çözüm derinlik-özdirenç örneği.



Şekil A1.4: Profildeki her noktaya ait öz direnç-derinlik logları



Şekil A1.5: Nokta bazlı detaylı inceleme.

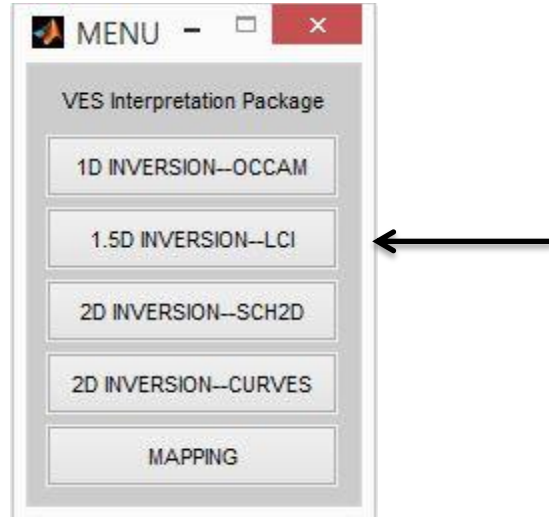


Şekil A1.6: Kullanıcı seçimine göre nokta bazlı detaylı inceleme.

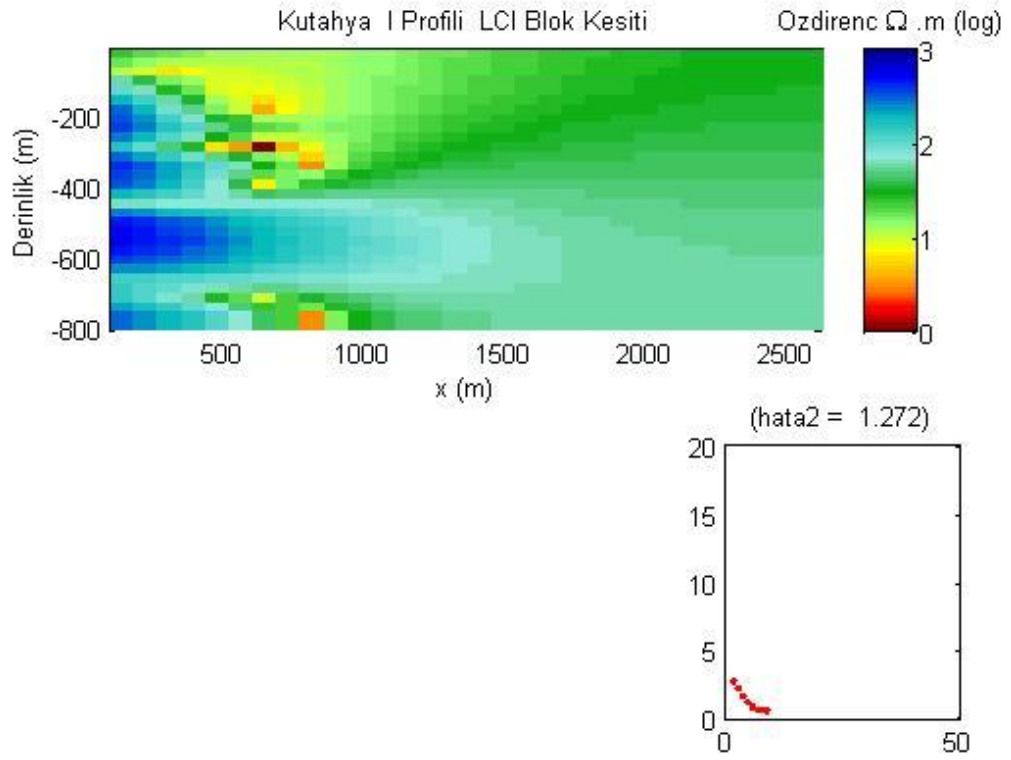
Kullanıcı Şekil A1.4’de istenilen noktaları Şekil A1.5’de gösterildiği gibi programa girdiğinde Şekil A1.6’da görülen sonuçlar elde edilmektedir. Yanlış nokta girilmesi durumunda kullanıcıya doğru noktanın girilmesi için uyarı veren program, “son” ibaresiyle işlemi sonlandırmaktadır. Elde edilen bütün grafikler .bmp uzantılı olarak programın çalıştırdığı klasöre otomatik olarak kaydedilmektedir.

Orijinal Occam tek nokta için çözüm vermekle beraber program modifiye edilip profil bazında işlem gerçekleştirilmektedir. Sıklıkla kullanılan İpi2Win yazılımında karşılaşılan öz direnç kesitinin 10 DES noktasına kadar çizdirilmesi sorunu bu programla aşılmıştır.

Ek A.2: 1.5D Inversion-LCI

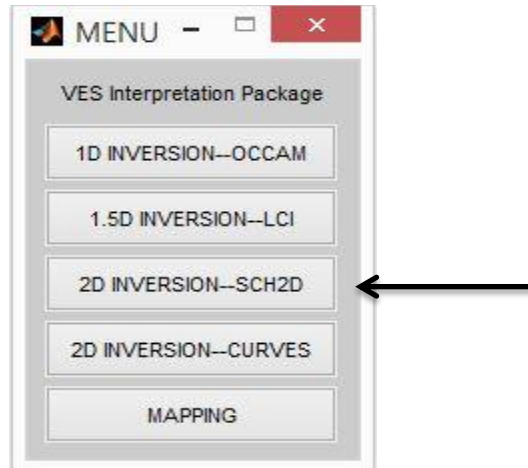


Şekil A2.1: 1.5D Inversion-LCI sekmesi.

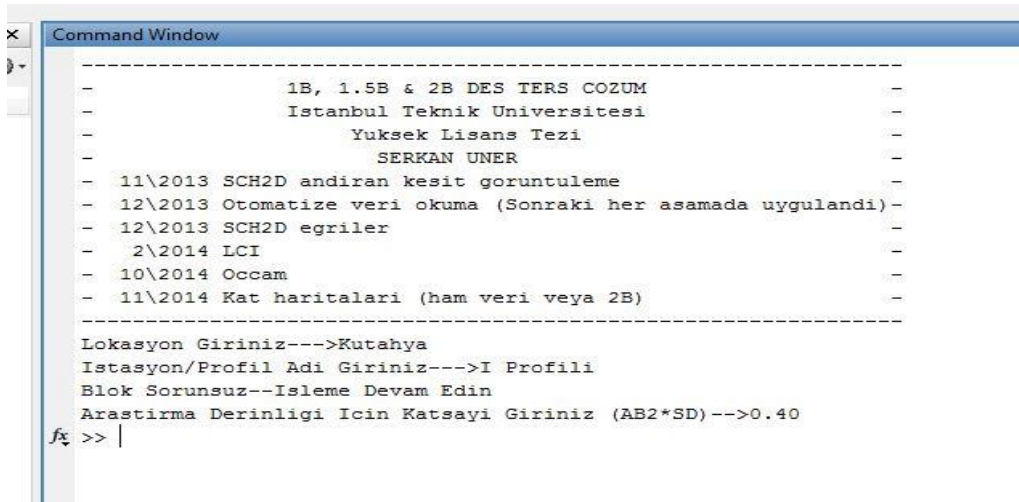


Şekil A2.2: 1.5B ters çözüm örneği.

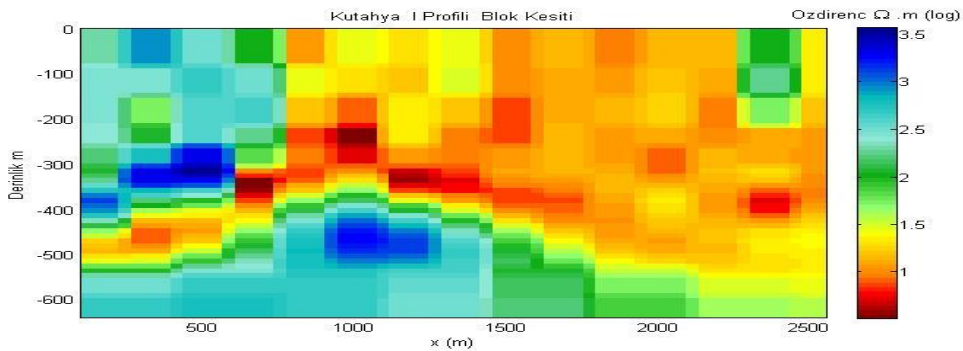
Ek A.3: 2D Inversion-SCH2D



Şekil A3.1: 2D Inversion-SCH2D sekmesi.



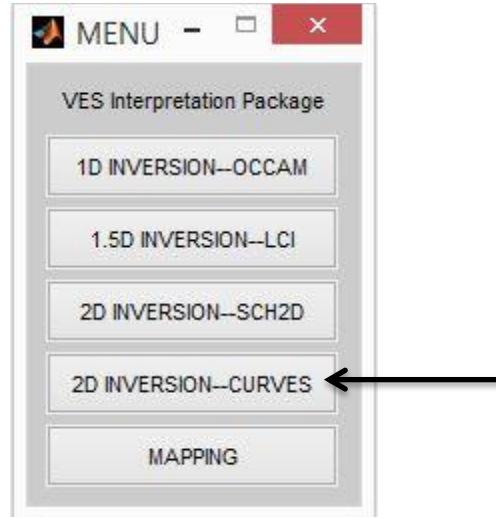
Şekil A3.2: İki boyutlu ters çözüm model çizdirimi için menü.



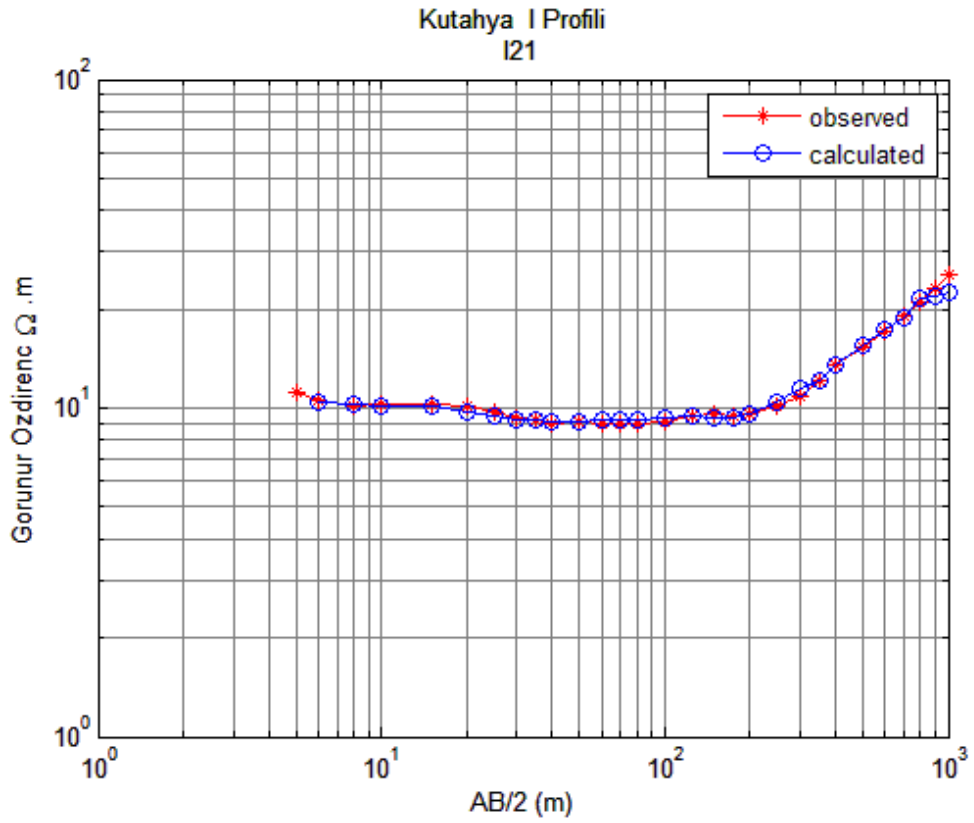
Şekil A3.3: İki boyutlu ters çözüm örneği.

Uchida (1990) iki boyutlu ters çözüm algoritmasının görüntülenmesi için Uniras isimli programa ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanıcıların işletim sistemi değiştirip zaman kaybetmemesi amacıyla grafikleme işlemi için görüntüleme programı MATLAB'da hazırlanmıştır.

Ek A.4: 2D Inversion-Curves



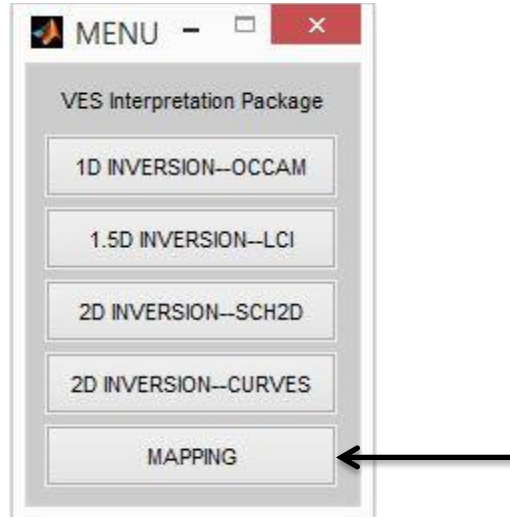
Şekil A4.1: 2D Inversion-Curves sekmesi.



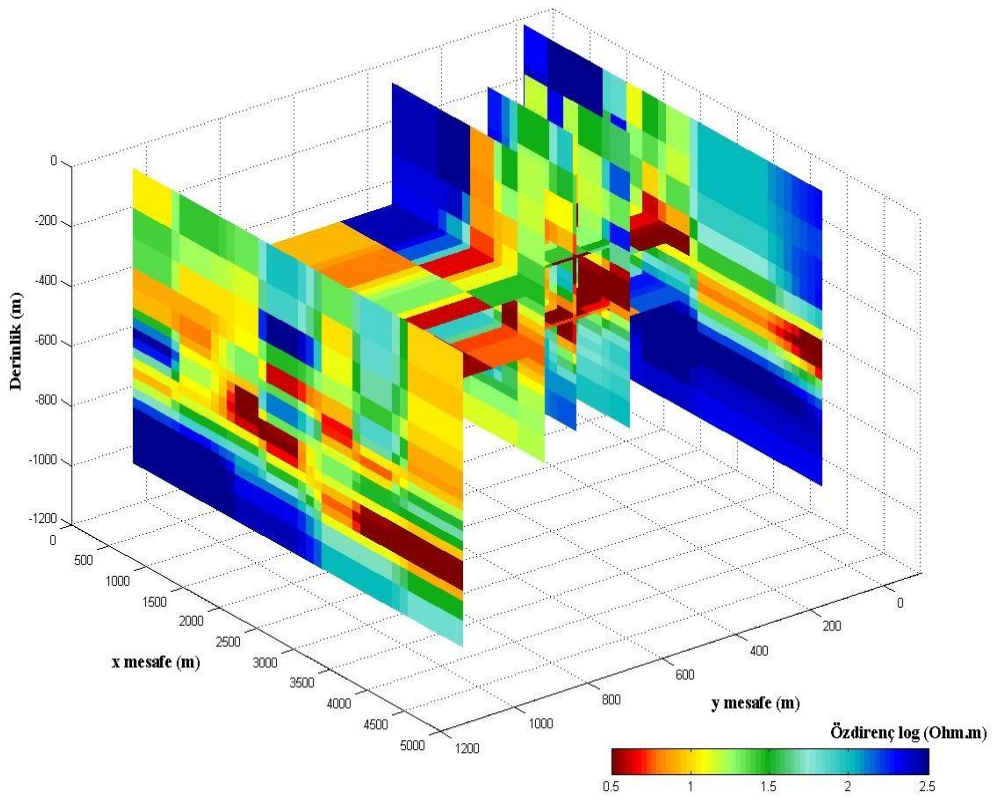
Şekil A4.2: İki boyutlu hesaplanan ve ölçülen değerler örneği.

Bir boyutlu çözümde olduğu gibi iki boyutlu çözümde de hesaplanan ve ölçülen değerler beraber çizdirilmiş ve kullanıcının incelemesine sunulmuştur.

Ek A.5: Mapping



Şekil A5.1: Mapping sekmesi.



Şekil A5.2: Üç boyutlu görüntüleme örneği.


```
Command Window
-----
- 1B, 1.5B & 2B DES TERS COZUM -
- Istanbul Teknik Universitesi -
- Yuksek Lisans Tezi -
- SERKAN ÜNER -
- 11\2013 SCH2D andiran kesit görüntüleme -
- 12\2013 Otomatize veri okuma (Sonraki her asamada uygulandi) -
- 12\2013 SCH2D egriler -
- 2\2014 LCI eklendi -
- 10\2014 Occam eklendi -
- 11\2014 Kat haritalari (ham veri veya 2B) -
- 2\2015 3 boyutlu haritalama eklendi (ham veri, 2B ve 2B model) -
-----
Lokasyon Giriniz--->Kütahya
Istasyon/Profil Adi Giriniz--->...Profili
UYARI: Veri Dosyalarinin fort(..) Seklinde Yazili Oldugundan Emin Olunuz
Profil sayisini giriniz-->5
Uyari: Profil sayisi-1 kadar mesafe giriniz
Uyari: Mesafeleri girerken kuzeydeki profilden güneydekine dogru ilerleyiniz
Profiller Arasindaki Mesafeyi Giriniz-->150 100 100 600
1.profil model blogu sorunsuz
2.profil model blogu sorunsuz
3.profil model blogu sorunsuz
4.profil model blogu sorunsuz
5.profil model blogu sorunsuz
Warning: Input arguments must be scalar.
> In VES_INVERSION_MAIN at 1141
Warning: Input arguments must be scalar.
> In VES_INVERSION_MAIN at 1142
Asagidakilerden Birini Seciniz:
Gorunur Ozdirenc--->1
2B Ters Cozum----->2
2B Ters Çözüm Model->3
3
Arastirma Derinligi Icin Katsayi Giriniz (AB2*SD)-->0.6
Kat haritasi eklemek için-->1
Kesit eklemek için-->2
2
Eklenecek kesit için profil sayisini giriniz-->
1
Kat haritasi eklemek için-->1
Kesit eklemek için-->2
1
Incelemek istediginiz derinligi giriniz--->500
Grafiklenen derinlik degeri-->511.3636
Kat haritasi eklemek için-->1
Kesit eklemek için-->2
bitir
fx >> |
```

Şekil A5.3: Üç boyutlu görüntüleme için izlenecek yol.

Çalışma sahasında ölçülen verilerin üç boyutlu görüntülenmesi, sahanın anlaşılması açısından önemli olduğu için üç boyutlu görüntüleme programı hazırlanmıştır. Kullanıcı her bir profile ait giriş verilerini kodun çalıştığı dosyanın içinde konumlandırması gerekmektedir. Kullanıcı sırasıyla incelemek istediği profil sayısını ve bu profillerin birbirlerine göre uzaklığını girmektedir. Yeniden hesaplanan model blokları için kontrolleri gerçekleştiren program, ölçülen değerler, iki boyutlu hesaplanan değerler ve iki boyutlu model grafiği arasından kullanıcıya seçenek

sunmaktadır. Seçimi gerçekleştiren kullanıcı kesit veya kat haritası eklemek için son iki aşamayı “bitir” ibaresini girene kadar tekrar eder. Kesit eklemek için “kesit ekle” seçeneğinden sonra gözlemek istediği profilin numarasını giren kullanıcı “kat haritası ekle” seçeneği ile görüntülemek istediği derinliğe ait haritayı programa girmektedir. Derinlik değerleri kullanıcı isteği ile uyuşmadığı zaman program istenilen derinliğe en yakın, mevcut derinliğe ait haritayı çizdirir ve kullanıcıya çizdirilen derinliğin değerini göstermektedir.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Serkan ÜNER

Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir, 02/05/88

E-Posta : uners@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İTÜ, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği