

**Cilt: 1 Sayı: 3 sh. 97-112 Ekim 1999**

## **SEFERİHİSAR JEOTERMAL ALANINDA DOĞAL GERİLİM (SP)**

### **VE GRAVİTE ÇALIŞMALARI**

#### ***SELF POTENTIAL AND GRAVITY STUDIES IN THE SEFERİHİSAR GEOTHERMAL FIELD***

**M.G. DRAHOR\*, C. SARI\*, ve M. ŞALK\***

DEÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, 35100 Bornova-İzmir

#### ***ÖZET/ABSTRACT***

Seferihisar jeotermal alanı İzmir-Ankara melanjının GD'sunda, İzmir ilinin yaklaşık 40 km GB'sında yer almaktadır. Bölgenin temelini Menderes masifine ait Paleozoik yaşlı kristalin şistler oluşturur. Bölgedeki tektonik oluşumlar KD-GB doğrultulu fay ve kırıklar ile bunları diyagonal kesen faylardan oluşmaktadır. Bölgede sıcak su çıkışları ise KD-GB yönde uzanan faylar boyunca görülmektedir. Alandaki önemli jeotermal çıkışlar; Tuzla ılıcası, Cumalı kaplıcası, Doğanbey kaplıcası ve Karakoç kaplıcası civarında gözlenmektedir. Bölgede daha önce yapılan yer elektrik araştırmalarının sonuçları, sıcak su kaynakları ve volkanik domlar civarında gözlenen düşük özdirenç değerlerinin alanın ana tektonik yapısına paralel olarak GB-KD yönünde uzandığını ortaya koymuştur. Bouguer gravite verilerine uygulanan ters çözüm işlemi sonucunda; metamorfik taban derinliği, 1.6-1.7 km olarak saptanmıştır. Doğal gerilim belirtileri ise, genelde jeolojik haritalarda belirtilen ve sıcak suyu yüzeye taşıdığı düşünülen faylar boyunca ortaya çıkmaktadır. Doğal gerilim çalışmaları sonucunda alandan elde edilen türevsel doğal gerilim belirtileri, genelde Tuzla-Cumalı arasında bulunan bölgede yoğunlaşmaktadır ve taşıyıcı fayların bulunduğu yerlerde daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Doğal gerilim belirtilerinin değerlendirmeleri sonucunda, Tuzla fayının bulunduğu yerde odak derinliği yaklaşık olarak 500 m saptanırken, Karakoç kaplıcasına yakın diğer bir noktada odak derinliği 450 m olarak bulunmuştur. Ayrıca, uçlaşma odaklarının Tuzla-Karakoç ve Cumalı kaplıcaları arasında yoğunluk göstermesi, jeolojik ve diğer jeofizik bulgularla uyumlu bir sonuç vermiştir.

Seferihisar geothermal area located in the SE of İzmir-Ankara melange is approximately 40 km in the SW of the city of İzmir, Turkey. The basement of the study area is consist of the crystalline rocks of the Menderes Massif of Paleozoic age. The main tectonic features are faults and fractures extending in NE-SW direction. These features are transversed by the secondary (relatively younger) faults striking NW-SE diagonally. Hot water springs which are observed around Tuzla, Cumalı, Doğanbey and Karakoç, appear along the faults. The result of resistivity measurements indicates that the low resistivity values located near and around the hot springs and volcanic domes are extended in the direction of SE-NW which is parallel to the major tectonic structure of the area. Using the Bouger gravity data, the depth of the metamorphic basement was estimated as 1.6-1.7 km. The self potential anomalies are generally observed along the faults transporting the hot water to the surface and indicated by the geological maps. The self potential gradient anomalies are localized between the Tuzla and Cumalı geothermal areas and originated by the transporting faults. After the interpretation the focal depths are approximately 500 m for the Tuzla fault and approximately 450 m around the Karakoç hot spring. Furthermore, polarization foci are intensively observed between the

Tuzla-Karakoç and Cumalı areas and this is in accordance with geological and geophysical evidences.

## ANAHTAR KELİMELER/KEY WORDS

Cumalı, Doğal gerilim, Doğanbey, Gravite, Jeotermal, Karakoç

Cumalı, Self potential, Doğanbey, Gravity, Geothermal, Karakoç

### 1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte enerji açığı da giderek büyümektedir. Uzun yıllardan beri kullanılan petrol, kömür gibi fosil enerji kaynaklarının tükenebilirliğinin yanında, çevre kirliliğine de neden olması, yeni enerji kaynaklarının aranmasını gerektirmiştir. Bu tür olumsuzlukları içermeyen enerjilerden biri olan jeotermal enerjinin denetimli kullanılması durumunda ise; kendini yenileyebilme özelliği ve oldukça az çevre kirliliği yaratması, ekonomik olması ve akışkan sıcaklığına göre çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olması bakımından ayrı bir önemi vardır.

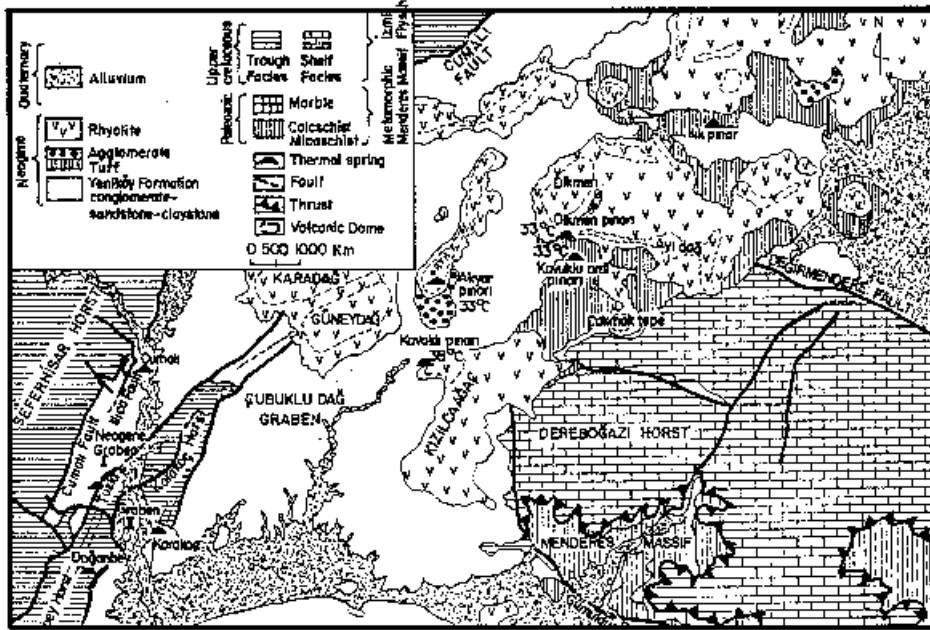
Türkiye jeotermal enerji potansiyeli açısından dünya sıralamasında ilk 7'e girmektedir ve özellikle de Anadolu plakasının aktif bir jeolojik yapıya sahip olması, Türkiye'de jeotermal potansiyelin zenginliğini arttıran bir öğedir. Anadolu'daki bütün etkin tektonik kuşaklar boyunca gözlenen zengin jeotermal etkinlik, Ege bölgesinde daha ayrı bir öneme sahiptir. İnceleme alanı olan Seferihisar jeotermal alanı da; İzmir ili sınırları içinde ve Batı Anadolu'nun önemli jeotermal alanlarından biridir. Bu alan, 1970 yılından beri MTA tarafından yapılan ayrıntılı jeoloji, jeokimya ve derin sondaj çalışmalarıyla tanımlanmaya çalışılmıştır ve bu çalışmalar sonucunda da birçok önemli bulgu elde edilmiştir. Ancak alanda uygulanan jeofizik araştırmaların ve yöntem sıklığının azlığı, jeotermal modelin yorumlanmasında bazı güçlüklerle neden olmaktadır. Bu güçlükleri bir ölçüde olsa aşabilmek amacıyla, alanın Cumalı kaplıcası ile Doğanbey ılıcası arasındaki alüvyon ova üzerindeki bölümünde 1996-1997 yılları arasında doğal gerilim (self-potential) araştırmaları yapılmıştır. Bilindiği gibi, jeotermal alanlarda ölçülen doğal gerilimin kökeni ısı elektrik (thermo-electric), elektrokinetik ve elektrokimyasal mekanizmalar ile açıklanmaktadır (Nourbehecht, 1963; Corwin ve Hoover, 1979; Fitterman, 1984). Böylece, içinde farklı türde tuz ve minerallere sahip sıcak sular ve buhar içeren rezervuar ile bununla ilişkili taşıyıcı kırık dizgeleri ve bu kırık dizgeleri yoluyla yüzeye değin çıkarak, çökel ortamı içerisinde yayılım gösteren yerler doğal gerilim yöntemi yardımıyla belirlenebilmektedir. Bu özellikleri belirleyip, jeotermal dizgeyi bir ölçüde de olsa tanımlayabilmek için 1970'li yılların başından beri dünyanın birçok jeotermal alanında bu yöntem uygulanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Corwin ve Hoover, 1979; Fitterman ve Corwin, 198 ; Ercan vd., 1986). Seferihisar doğal gerilim çalışmalarının ana amacı da, bölgedeki jeotermal rezervuar ile ilişkideki taşıyıcı kırık dizgelerinin belirlenmesi ve bu sonuçların bölgede daha önce yapılmış olan ayrıntılı jeolojik çalışmalarla olan benzerliklerini ya da farklılıklarını ortaya çıkarmaya çalışmaktır. Yine MTA tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli Bouguer gravite verileri değerlendirilerek jeotermal alanda yer alan kırık ve kırık kuşaklarının ortaya konması amaçlanmıştır. Ayrıca, Bouguer gravite anomali haritası verileri üzerinde yapılan gravite çalışmaları yardımıyla da, jeotermal alanın metamorfik taban derinliği saptanmaya çalışılmıştır.

## 2. SEFERİHİSAR JEOTERMAL ALANININ JEOLJİSİ VE TEKTONİĞİ

Seferihisar jeotermal alanı, İzmir-Ankara melanjininin güneydoğusunda, İzmir ilinin yaklaşık 40 km GB'sında yer almaktadır. Bölgenin temelini Menderes masifine ait, Paleozoik yaşlı kristalin şistler oluşturur. Bunlar bölgenin güney doğusunda, geniş bir alanı yüzeyler ve genel olarak, üst seviyelerinde çeşitli kalınlıklardaki, mikaşist, kuvarşist, krolitşist ve albitşistten oluşurlar (Eşder ve Şimşek, 1975). Paleozoik yaşlı metamorfiklerin üzerinde ise, üst Kretase yaşlı İzmir flışı uzanır. Bu birim, pelitik şist, kumtaşı ve altere kireçtaşlarından oluşur. İzmir flışinin alt seviyelerindeki Ultrabazik kayalar, üst seviyelerdeki belirgin bir trend boyunca yukarıya itilir ve genellikle, KD-GB doğrultusunda yüzeylenirler (Eşder ve Şimşek, 1977).

Bölgenin kuzeybatı ve güneydoğusunda İzmir flışı görülür. İzmir flışı, güneydoğudaki Dere Boğazı yükselimi metamorfikleri üzerinde uzanır. Bölgenin orta kesiminde, geniş bir bölümü Miosen yaşlı çökellerle örtülü olan ve KD-GB uzanımlı Çubuklu Dağ çöküntüsü (graben) vardır. Miosen çökeller, Üst Kretase yaşlı İzmir flışıyle açılal uyumsuz olarak örtülüdürler. Miosen çökeller Yeniköy formasyonu olarak bilinir ve bunların üzerinde de Pliosen-Pleistosen yaşlı Cumaovası volkanikleri yer alır.

Seferihisar jeotermal sistemi, dünyadaki pek çok jeotermal alanda olduğu gibi, Tersiyer ve Kuvarterner volkanizmanın yer aldığı bir bölgede oluşmuştur. Bu tür sistemler, lav domları, andezit, dasit ve riyolit volkanlarının yakınında gelişmiştir. Riyolit ve riyodasit lav domları gerçekte, intrüzyon yerlerinde atmosfere gaz kaçışını engellemekte ve derindeki ısı birikimini korumaktadır. Bu tip jeolojik koşulların egemen olduğu bölgelerde, asit volkanikler derinde ısıyı biriktir ve geçirgen olmayan kayaların da etkisiyle jeotermal gradyenti arttırarak, yukarıya doğru oluşan ısı iletimi yardımıyla jeotermal sistemdeki suları ısıtır. Bundan dolayı, riyolit ve riyodasit lav domlarının yakınında jeotermal alanlar oluşabilmektedir. Çubuklu Dağ çöküntüsündeki riyolit ve riyodasit lav domlarının dizilimi ise volkanizma yayılımına ve tektonizmaya uygun olarak GB-KD uzanımındadır (Şekil.1).



### **Şekil. 1: Seferihisar jeotermal alanı jeoloji haritası (Eşder ve Şimşek, 1975)**

Seferihisar jeotermal alanı, Alpin Orojenezi sırasında oluşmuştur ve çok sayıda fay ve kırık içerir. Bölgedeki tektonik oluşumlar genellikle neotektoniğin bir sonucudur. Fay ve kırıkların genel doğrultusu KD'dan GB'ya doğru olmakla birlikte bunları diyagonal kesen faylar da bulunmaktadır (Şekil.2). Seferihisar jeotermal alanının GD'su Dereboğazı yükselimi ile sınırlıdır. Burası bölgenin en yüksek kesimidir. Yükselimin genel uzanımı, Çubuklu Dağ çöküntüsü ve Dereboğazı yükselimine dik olarak, KB-GD doğrultusundadır. İkinci geniş ve önemli yükselime ise bölgenin kuzeybatısındadır. İzmir flişinin yer aldığı bu birim, Seferihisar yükselimi olarak bilinir ve KD-GB uzanımına sahiptir. Yükselimin güneydoğu uzanımı, tektonik açıdan daha etkindir. Çubuklu Dağ çöküntüsünün batı bölümünde Yeniköy formasyonunu kesen, Doğanbey Iıcası ve Karakoç ılcası yükselimleri bulunmaktadır ve bunlar yardımıyla ana çöküntü daha küçük çöküntülere bölünmektedir (Eşder ve Şimşek, 1975) (Şekil.2). Bölgenin önemli jeotermal alanlardan biri olan Cumalı-Tuzla jeotermal bölgesi, güneybatıda Çubuklu Dağ çöküntüsünün sonunda yer almaktadır.

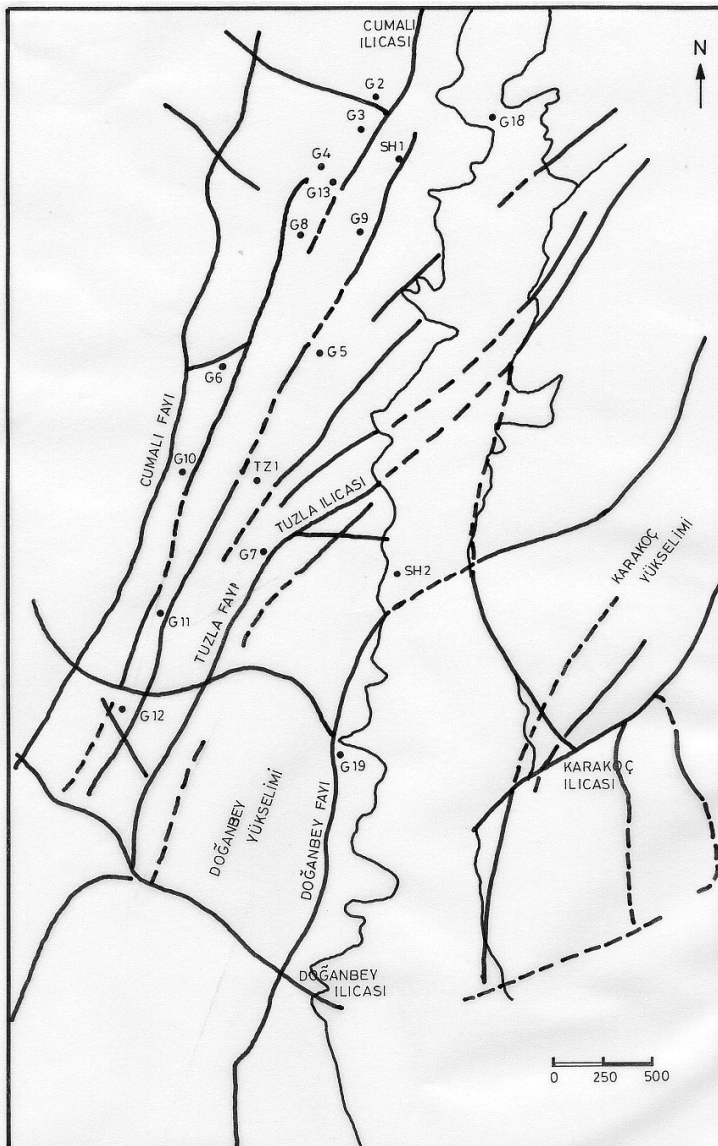
Jeotermal potansiyel açısından Ege bölgesinin önemli alanlarından biri olan Seferihisar jeotermal alanının doğusu ve batısı genelde kumtaşı, şeyl ve yer yerde kireçtaşlarından oluşmuş yüksek tepelerle çevrilidir. Jeotermal akışkan ise, bu dağların eteğinde ve genelde KD-GB yönlü uzanan faylar boyunca yüzeye çıkmaktadır. Bölgede birçok sıcak su çıkışı bulunmakla birlikte en önemlileri; Tuzla ılcası (82.5° C), Cumalı kaplıcası (80.5° C), Doğanbey kaplıcası (71° C) ve Karakoç kaplıcası (72° C)'dir. Hidrojeolojik çevrimin oldukça hızlı olduğu düşünülen Seferihisar jeotermal alanından toplanan sıcak su örnekleri üzerinde yapılan jeokimyasal analizler; beslenme alanı ve köken açısından iki farklı haznenin olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar sonucunda; Cumalı ve Tuzla sıcak su kaynaklarında meteorik su katkısının oldukça az olduğu ve ağırlıklı olarak denizel kökenli sular içerdiği, Doğanbey ve Karakoç sıcak su kaynaklarının ise ağırlıklı olarak meteorik kökenli olduğu belirtilmektedir (Filiz ve Tarcan, 1993).

Araştırma alanında uzun yıllardan beri MTA tarafından çok sayıda sondaj yapılmıştır ve bu sondajlardan elde edilen sıcaklık ve gradyan ölçümleri sonucunda Cumalı ile Tuzla bölgesinde jeotermal gradyan ile sıcaklığın çok yüksek olduğu belirlenmiştir (Eşder ve Şimşek; 1977, Eşder, 1990). Ayrıca doğal izotoplar üzerinde yapılan çalışmalarda da yüksek hazne sıcaklığının Cumalı-Tuzla arasında bulunduğu ortaya çıkmıştır (Filiz, 1982; Filiz ve Tarcan, 1993). Şahinci ve Aminnejad (1989)'a göre; alterasyon zonları üzerinde alınan su örnekleri üzerinde yapılan çalışmalarda, derindeki hazne kaya sıcaklığının 170° C ile 230° C arasında olabileceği belirtilmektedir. Yapılan tüm çalışmalar; bölgede jeotermal etkinliğin yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır.

### **3. BÖLGEDE DAHA ÖNCE YAPILAN JEOFİZİK ÇALIŞMALAR**

Jeotermal bir sistemde; akışkan içeren hazne kaya ve onu çevreleyen ortam, jeofizik yöntemlerle tanımlanabilecek bir özellik gösterir. Böyle bir alanda, jeofizik çalışmaların amaçlarından biri bölgesel jeotermal yapıyı modellemeye çalışmaktır. Ayrıca, jeotermal yapı ile ilişkili taşıyıcı kırık dizgeleri ve sistemi etkileyen çevresel koşulların araştırılması da diğer bir amacı oluşturur. Seferihisar jeotermal alanı da belirtilen bu amaçlar doğrultusunda değişik jeofizik incelemelerden geçirilmiştir. Bu

incelemeler içerisinde jeolojik birimler arasındaki yoğunluk farkını kullanarak, taban topografyasının yapısını ve derinliğini çıkarmak, magmatik sokulumların dağılımını saptamak ve tektonik hatları belirlemek amacıyla uygulanan gravite çalışmaları yaklaşık 1000 km<sup>2</sup> lik bir alanda yapılmıştır (Ekingen, 1970). Ekingen'e göre; elde edilen sonuçlar doğrultusunda rezidüel Bouguer gravite anomalilerindeki negatif ve pozitif değişimlerin yükselim ve çöküntü yapılarına karşılık gelebileceği ve negatif değerlerin Cumalı ve Tuzla kaplıcaları çevresinde görünmesine karşılık, Karakoç kaplıcası yakınında anomali değerlerinin yükseldiği belirtilmektedir. Ayrıca bu çalışmada jeotermal bir sistemde önem taşıyan rezidüel gravite anomali haritası sıfır konturu uzanımının Doğanbey yakınından başlayarak, Agamemnon jeotermal alanına değin uzandığı belirtilmektedir. Bu anomalinin Seferihisar-Çubuklu Dağ çöküntüsünün sınırında bulunan ve Akartuna (1962) tarafından da belirtilen ana fay ile kesiştiği de burada belirtilmelidir.



**Şekil.2 : Çalışma alanının ayrıntılı jeoloji haritası (Eşder ve Şimşek, 1975)**

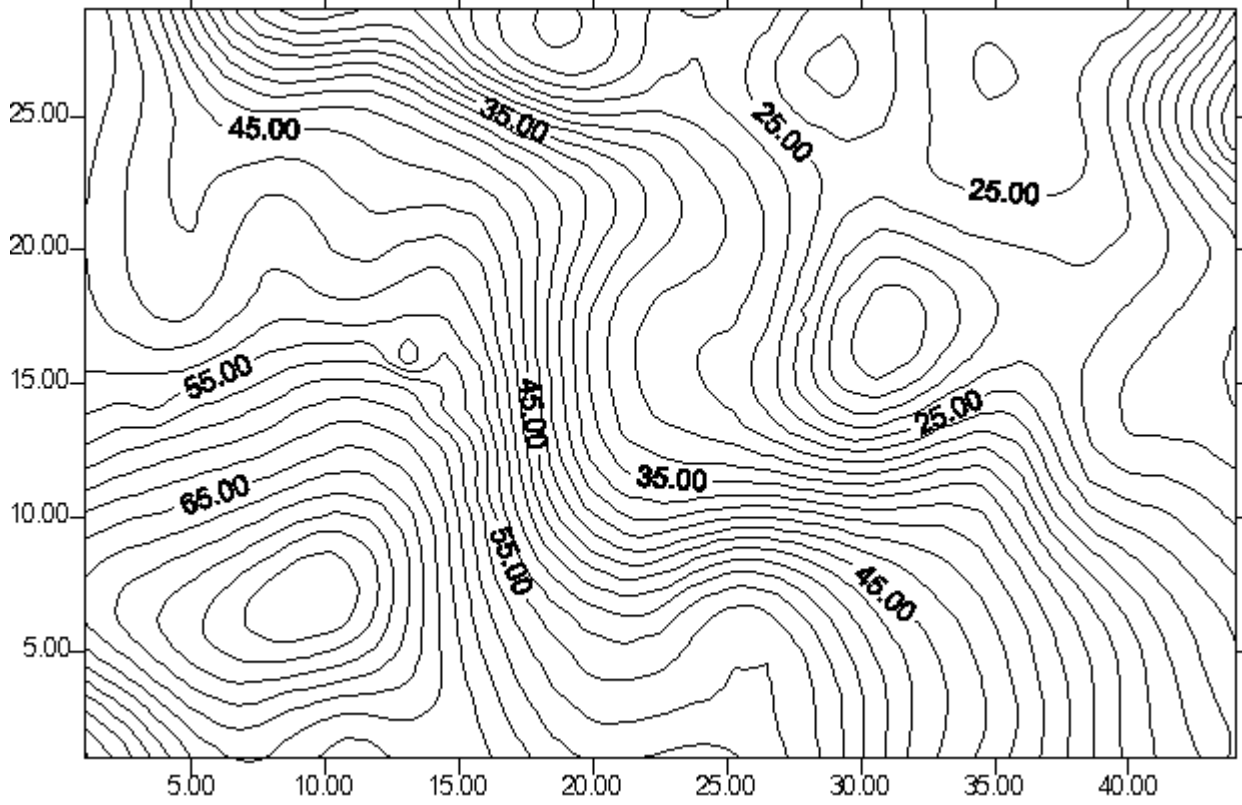
Jeotermal sistemin tanımlanabilmesi için, alanda uygulanan ikinci jeofizik araştırma yöntemi ise elektrik öz dirençtir. Jeotermal alanın elektriksel özellikleri ve bununla

ilişkili yapıyı saptamak amacıyla uygulanan özdirenç çalışmalarının sonucunda; özdirenç değerlerinin GD-KB yönünde düştüğü ve bölgedeki ana tektonik yapıları yansıtacağı Özgüler ve Ünay (1977) tarafından belirtilmiştir. Yine bu çalışmalarda; Seferihisar ve Dereboğazı yükselimleri üzerinde yüksek özdirenç değerleri elde edilirken, Çubuklu Dağ çöküntüsü boyunca özdirenç değerlerinin düştüğü görülmüştür. Alanda yükselen ve azalan özelliklere sahip özdirenç değerlerinin gözlenmesinin karbonatlı taban kayaların derinlik artışı ya da azalışı ile ilişkili olabileceği Özgüler ve Ünay (1977) tarafından belirtilmiştir. Bu çalışmada, özdirenç değerlerinin karakoç kaplıcalarının üzerinde batıdan doğuya doğru ani bir düşüş gösterdiği de belirtilmektedir. Cumalı, Tuzla, Doğanbey ve Karakoç gibi sıcak su kaynaklarına sahip bu bölgelerde gözlenen özdirenç düşüşlerinin alandaki jeotermal sistemle ilişkili olduğu belirtilmelidir. Sıcak su kaynakları ve volkanik domlar civarında gözlenen düşük özdirenç değerleri, alanın ana tektonik yapısına paralel olarak GD-KB yönünde uzanımına sahiptir. Genelde, jeotermal rezervuarla ilişkili olduğu düşünülen anomaliler 500-1000 m arasındaki derinliklerde yer almaktadır. Özgüler ve Ünay (1977)' ye göre, KB'da görülen düşük özdirenç değerlerinin, Kuvaterner akarsu birikintileri nedeniyle oluşabileceği belirtilmiştir. Çakır (1984) tarafından jeotermal alana uygulanan özdirenç ve gravite çalışmaları sonucunda ise, özdirenç değerlerinin Karakoç yükselimi ve volkanik domlar yakınında çok düştüğü görülmüş ve gravite verilerine uygulanan iki boyutlu modelleme ile de çöküntü derinliğinin 1.6 km civarında olabileceği bulunmuştur.

#### **4. SEFERİHİSAR JEOTERMAL ALANI JEOFİZİK ARAŞTIRMALARI**

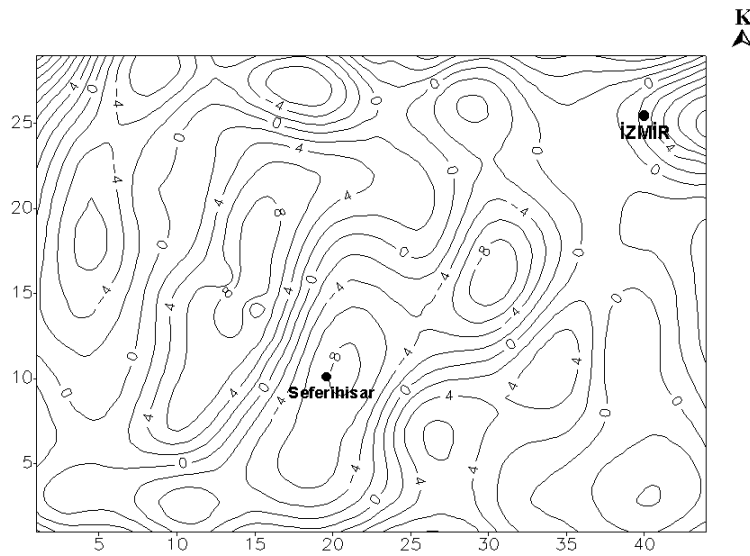
##### **1. Gravite verilerinin yorumu**

M.T.A Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/100 000 ölçekli Bouguer gravite anomali haritası incelendiği zaman; KD-GB yönünde uzanan anomalilerin Yeniköy formasyonu ve Cumaovası volkanikleri üzerinde azaldığı, GB'da yer alan Seferihisar ve Dereboğazı yükselimi ile alanın güneyinde yer alan Doğanbey yükselimi üzerinde ise arttığı gözlenmektedir (Şekil.3). Bu haritalar üzerinde uygulanan veri-işlem çalışmaları sonucunda elde edilen ve bölgeye en uygun modeli veren 4. trend anomali haritasında da genel yapısal uzanımın KD-GB yönünde olduğu izlenmektedir. 4. derece trend rezidüel Bouguer anomali haritası üzerinde; Yeniköy ve Cumaovası volkaniklerinin yer aldığı çöküntü alanında negatif anomali görülmesine karşın, Seferihisar ve Doğanbey yükselimlerinin bulunduğu alanda KKD-GGB yönlü ve pozitif anomaliler görülmektedir. Gözlenen pozitif anomalilerin geniş tortul katmanın yükselmesinin bir sonucu ortaya çıkabileceği düşünülebilir.



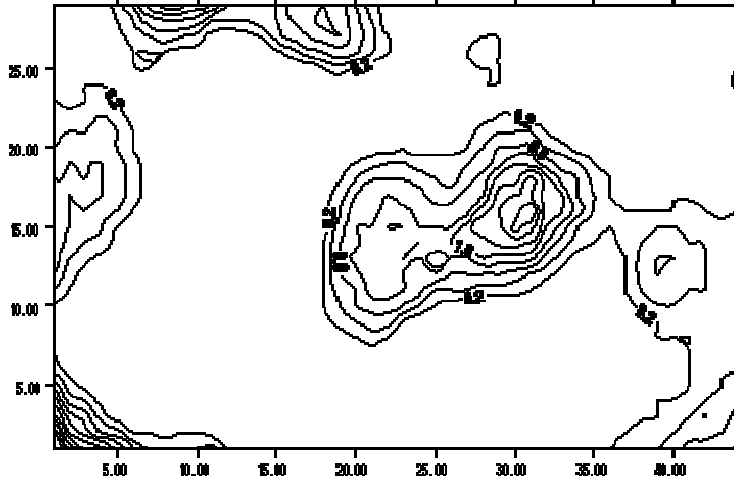
**Şekil 3: İzmir güneyi Bouguer gravite haritası (MTA tarafından hazırlanmıştır).**

Cumalı ve Tuzla kaplıcalarının doğusundaki negatif rezidüel Bouguer anomalileri, Çubukludağ ile ilişkili tortul birikime uymaktadır. Rezidüel Bouguer anomali haritasında; Karakoç kaplıcasının yakınında gravite değerlerinin artışında gözlenen olgu, küçük ölçekli bir fay bloğu ve bu olayla ilişkili bir taban yükselimini düşündürmektedir. Yine bu haritada, Doğanbey yakınından başlayan ve Agamemnon'a doğru uzanan sıfır kontur çizgisinin Çubukludağ çöküntüsü ve Seferihisar yükseliminin sınırı olan ana fayla yaklaşık olarak uyumlu olduğu gözlenmektedir (Şekil.4).



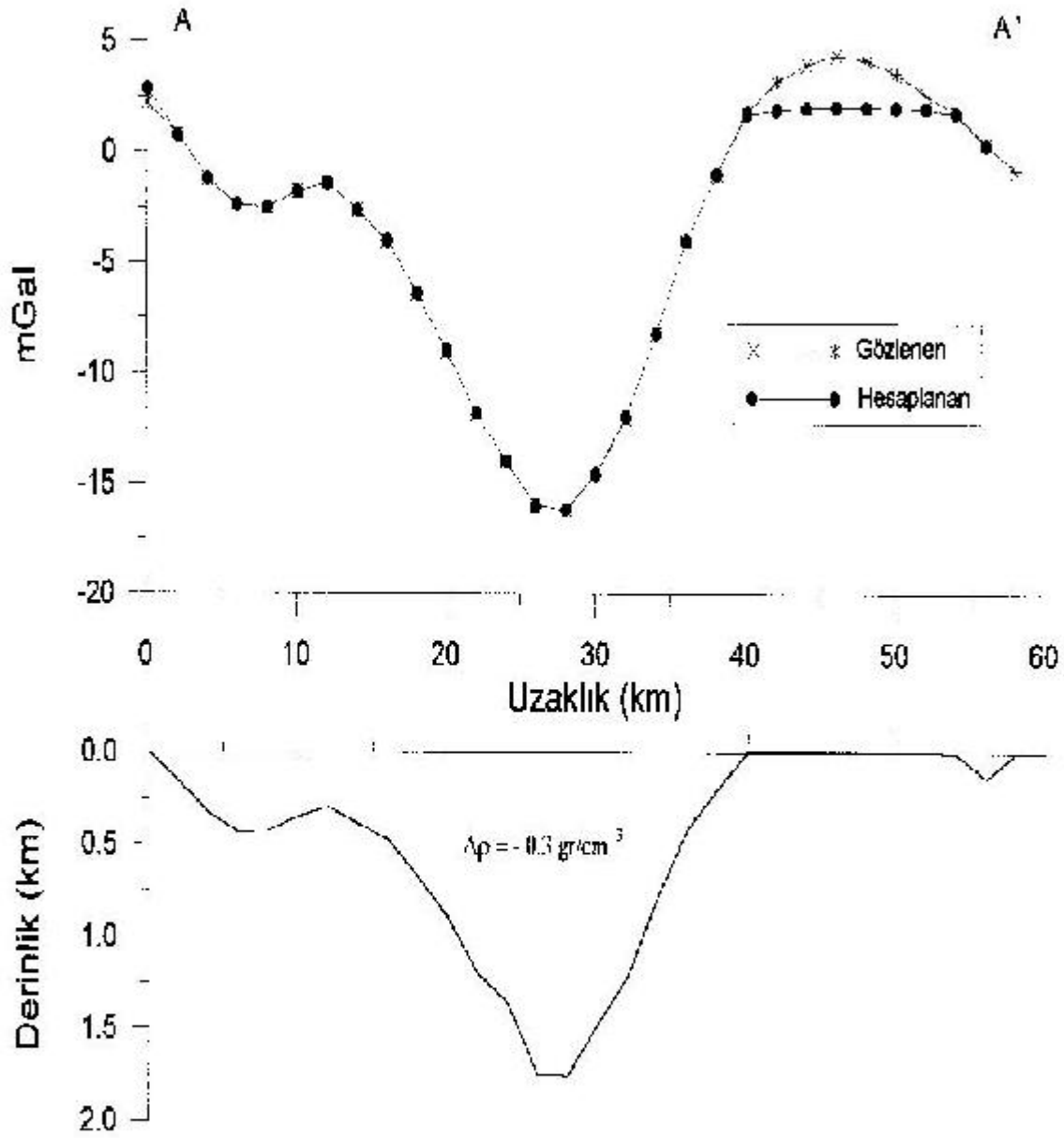
**Şekil.4: Rezidüel Bouguer anomali haritası (4. derece trend).**

Rezidüel Bouguer gravite anomali haritası verilerine uygulanan üç boyutlu ters çözüm işlemiyle alanın metamorfik taban derinliği  $-0.3 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluk farkı için en çok 1.6 km olarak saptanmıştır (Şekil.5). Taban derinliği haritasından da görüleceği gibi; GB-KD yönünde uzanan Seferihisar çöküntü alanının taban derinliği, Cumaovası yönünde artmaktadır. Rezidüel Bouguer anomali haritası üzerinde GD-KB yönlü alınan A-A' kesiti verilerine,  $-0.3 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluk farkı için uygulanan iki boyutlu ters çözüm işlemi sonucunda, metamorfik tabanın derinliği 1.7 km olarak saptanmıştır (Şekil.6). Ancak kesitin GD ucunda yüzeyleyen volkanitler nedeniyle, gözlenen ve hesaplanan anomali değerlerinde farklılık gözlenmektedir. Bouguer gravite değerleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda; bölgedeki taban derinliğinin 1.5-1.7 km arasında olduğu düşünülmektedir.



**Şekil.5: Gravite ters çözümü ile elde edilen metamorfik taban derinlikleri haritası ( $-0.3 \text{ gr/cm}^3$ ).**





Şekil.6: 2-B ters çözüm tekniğiyle yorumlanan Bouguer gravite A-A' kesiti.

## 2. Doğal gerilim araştırmaları

Jeotermal araştırmalarda elektrik yöntemleri içinde öz dirençten sonra en yoğun kullanılan yöntemlerden biri de doğal gerilim (SP)'dir. Yöntem; Nounbeht'in (1963) doğal gerilim verilerinin ortaya çıkmasında büyük önem taşıyan ısıl elektrik olaylarının (thermo-electric) oluşum mekanizması hakkında önemli bulgular elde etmesinin ardından jeotermal alanlarda

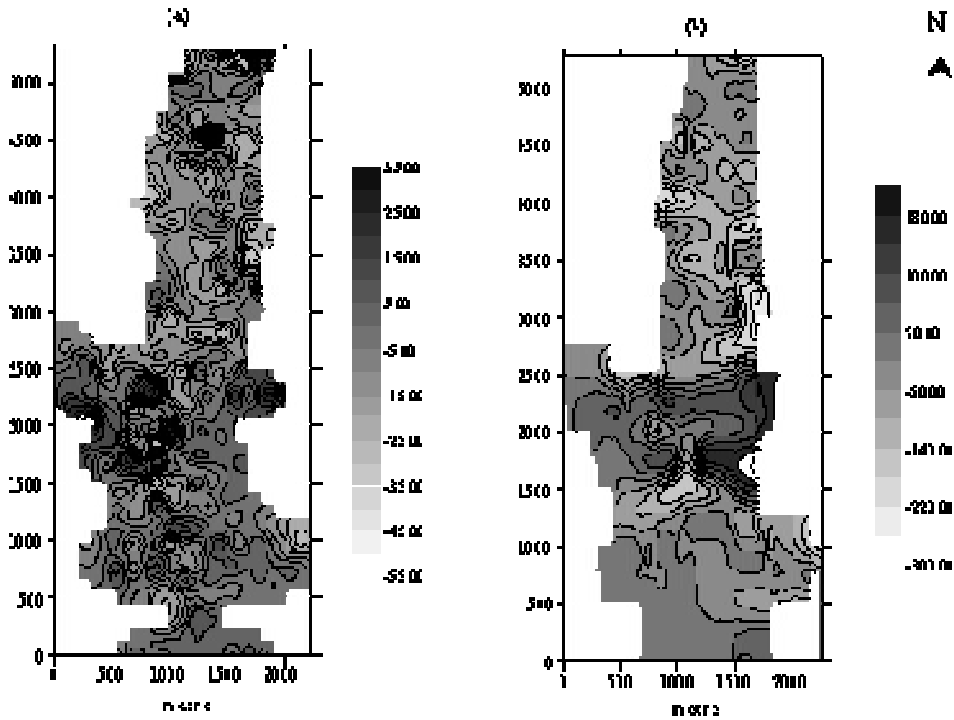
denenmeye başlanmıştır. Özellikle 1970'li yıllardan sonra jeotermal araştırmalarda yoğun olarak kullanılmış ve birçok önemli olgu bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkmaya başlamıştır. Yapılan araştırmalar, doğal gerilim belirtilerinin oluşumundaki ana etkilerinin ortamdaki basınç, ısı farkını, sıvı akışını ve iyon gerlerinden kaynaklandığını ortaya çıkarmıştır (Corwin ve Hoover, 1979; Nounbeht, 1963; Fitterman ve Corwin; 1982). Konu ile ilgili olarak yapılan alan ve laboratuvar çalışmaları sonucunda da; jeotermal alanlarda elde edilen doğal gerilim belirtilerinin ana nedenlerinin ortamdaki ısıl elektirik ve elektrokinetik potansiyeller olduğu grlmştr (Ahmad, 1964; Nounbeht; 1963; Corwin ve Hoover, 1979).

Seferihisar jeotermal alanı doğal gerilim araştırması, bölgedeki yüksek topografyanın etkisiyle, genelde alüvyon ova içinde kalacak biçimde Cumalı ve Doğanbey ılıcası arasındaki alanlarda 1996 yılının Mayıs-Haziran ayları arasında yapılmıştır. Ölçümlerin ilk aşaması, Cumalı ılıcasının 500m kuzeyinden başlayacak ve tüm ovayı Doğanbey ılıcasına değin 250m aralıklı profiller yardımıyla ölçülecek biçimde tasarlanmıştır. Ölçümlerde alandaki yoğun bitki örtüsünden dolayı ortaya çıkan araştırma zorluğunu aşmak için türevsel (gradient) lm dizgesi kullanılmış ve elektrotlar arası ölçüm uzaklığı 50m tutulmuştur. Toplanan veriler elektrot ulaşması ve kayma (drift) etkileri giderilecek biçimde dzeltirmiştir. Veriler, lm zamanını kısaltmak açısından D-B ve B-D doğrultularında toplandıktan sonra; B-D doğrultusunda toplanan veriler ters çevrilerek, tüm veriler D-B doğrultulu elde edilmiş bir konuma getirilmiştir. Ayrıca, tek bir baz noktasına bağlanacak biçimde profiller birbirleriyle bağlanmış ve bu verilerin st üste yığılmasıyla da yığımsal değerler elde edilmiştir. Araştırmanın ikinci aşaması olan 1997 yaz aylarında ise; topografik harita üzerinde A-J harfleriyle gösterilen ve genelde D-B doğrultulu ek ölçüm profilleri alınmıştır. Böylece alınan ek profiller yardımıyla incelenen profil yoğunluğu arttırılarak, daha derinden gelecek uzun dalga boylu etkiler araştırılmaya çalışılmıştır. Bu alışmalar sırasında, yaklaşık olarak 10km<sup>2</sup>'lik bir alan doğal gerilim yöntemiyle ölçülmüştür (Paun, 1996; Korkmaz, 1997).

Alanda ölçümlerin genelde topoğrafik bir değişim göstermeyen ova içerisinde kalması nedeniyle herhangi bir topografya düzeltmesine gerek duyulmamıştır. Alandan elde edilen doğal gerilim değerleri ölçüm profillerine göre grafiklere geçirilmiş ve ölçüm doğrultuları boyunca saptanan doğal gerilim belirtilerinin değişimleri ortaya çıkarılmıştır. Türevsel doğal gerilim değerleri haritaya geçirildiğinde ise, bölgenin genelde (-) uçlaşma değerlerine sahip olduğu grlmştr (şekil.7a). Türevsel haritaya bakıldığında; doğal gerilim belirtilerinin jeolojik haritalarda belirtilen ve sıcak suyu yzeeye taşıdığı dşnlen faylar boyunca ortaya çıkması, Seferihisar jeotermal dizgesinin jeofiziksel olarak tanımlanması açısından önemlidir. Ayrıca, Tuzla fayının uzandığı yerlerdeki türevsel değerlerde görülen ve fayın uzanımıyla aynı olan KD-GB yönlü belirtilerin de bu fayın etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, türevsel uçlaşma belirtilerinin jeotermal alanlardaki taşıyıcı kırıkları belirlemedeki önemini göstermektedir. Türevsel doğal gerilim haritasında belirtiler genelde, Tuzla ile Cumalı arasındaki alanlarda yoğunlaşmaktadır ve bu belirtilerin Tuzla, Doğanbey ve Cumalı taşıyıcı faylarının etkisinden kaynaklandığı sanılmaktadır (şekil.7a). Elde edilen türevsel değerlerin st üste yığılmasıyla elde edilen yığımsal gerilim haritası incelendiğinde ise, özellikle sıcak su çıkışlarının olduğu bölgelerde (-) ulaşmalı değerlerin yoğunlaştığı grlmektedir. Tuzla ılıcası üzerinde görülen ani (+) ve (-) ulaşmalı değerlerin ise bölgenin ana taşıyıcı kırığı olduğu dşnlen Tuzla fayıyla ilişkili olduğu sanılmaktadır. Ayrıca Cumalı kaplıcası, Tuzla ılıcası ve Karakoç kaplıcasının olduğu bölgelerde gözlenen sıfır değerli doğal gerilim değerlerinin, bölgedeki ana fayların bulunduğu yerler üzerinde olması da önemli bir olgudur (şekil.7b).

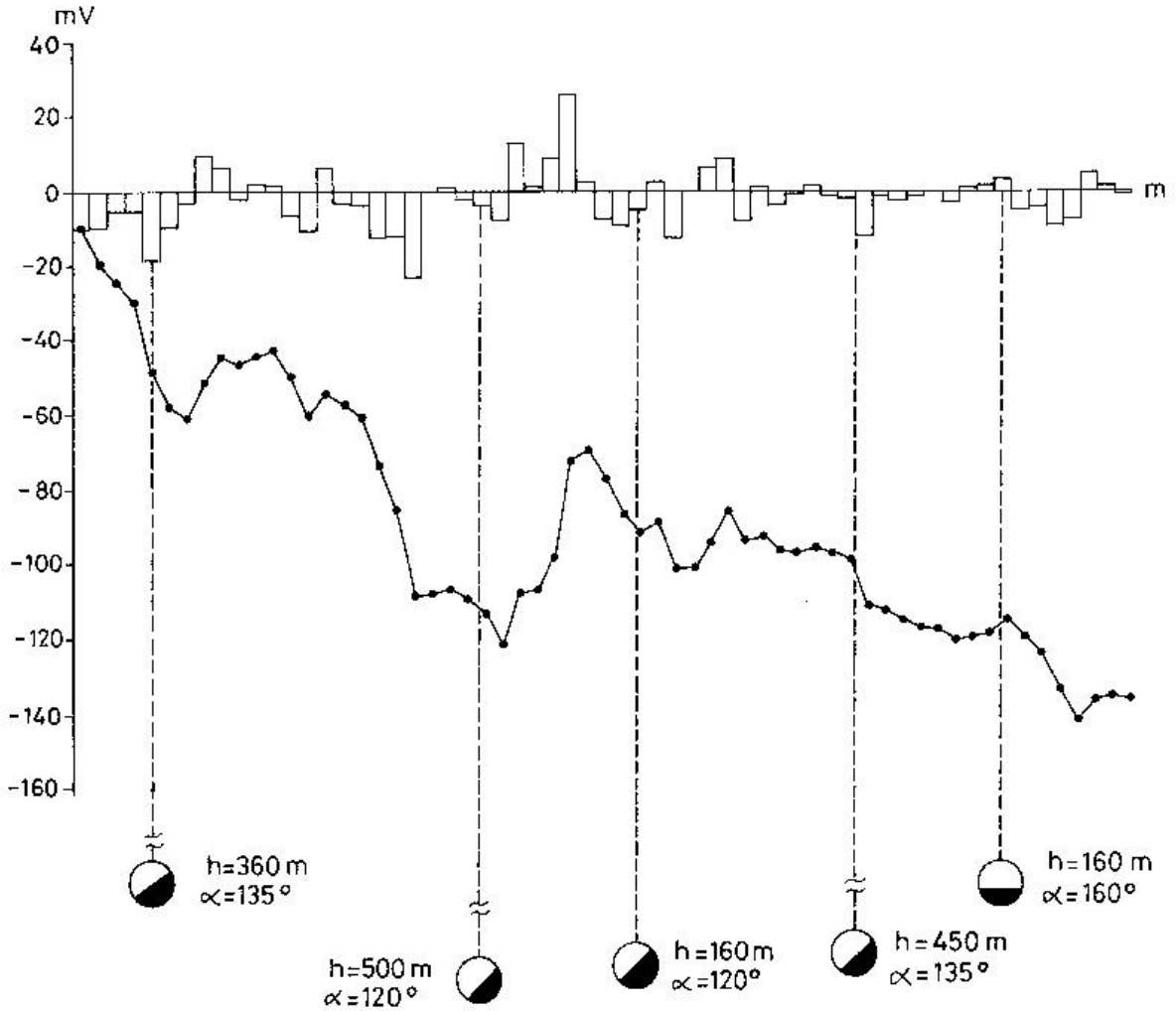
Doğal gerilim verilerinin yorumlanması diğer potansiyel alan yöntemlerinde görüldüğü gibi genelde çok basit geometrik biçimlere benzetilerek yapılmaktadır. Bu yapılan; nokta kaynak, küre, yatay ve düşey silindir, dayk ve eğimli ince çubuk biçimlerindedir (Petnopsky, 1928; heiland, 1968; Bhattacharya ve Roy, 1984; Fitterman ve Corwin, 1982; Roy ve Crowdhwy, 1959; Rao, v.d (1970, 1983) ). Böylece doğal gerilim verisi kolay ve matematiksel işlem gerektirmeyecek biçimde taslak alma ve Nomogram teknikleri yardımıyla değerlendirilebilmektedir. Ancak matematik çözümlerin bilgisayar tekniklerindeki gelişimlere bağlı olarak daha kolay çözülmesi, aranılan yapıya daha uygun modellerin belirlenmesini kolaylaştırmıştır. Böylece özellikle jeotermal aramalar için daha iyi yaklaşımlar sağlayan matematiksel teknikler ortaya çıkmıştır (Fitterman; 1979; Fitterma ve Corwin, 1982).

Seferihisar jeotermal alanı üzerinde toplanan doğal gerilim verilerinin ilk değerlendirmeleri de taslaklama ve nomogram teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda derinlik, uçlaşma açısı ve yapı odağının yeryüzü üzerindeki izdüşümünü veren noktalar belirlenmiştir. Belirlenen bu değiştirgenler, ters çözüm değerlendirmelerinde başlangıç değeri olarak kullanılmıştır. Uygulamada genelde mineral aramaları için düzenlenmiş olan, algoritması Ram Babu ve Atchuta Rao (1988) tarafından oluşturulan ters çözüm işlemi kullanılmıştır. Bu yöntem yardımıyla; küre, yatay silindir ve eğimli çubuk türü yapıların değiştirgenleri hesaplanabilmektedir. Bu yöntemle ve düz çözüm işlemleriyle elde edilen değiştirgenler birbirleriyle karşılaştırıldıktan ve jeolojik yapıyla olan uyumluluğu irdelendikten sonra grafiklere işlenmiştir (Şekil.8).



Şekil.7: Seferihisar jeotermal alanı a) türevsel (mV/m),

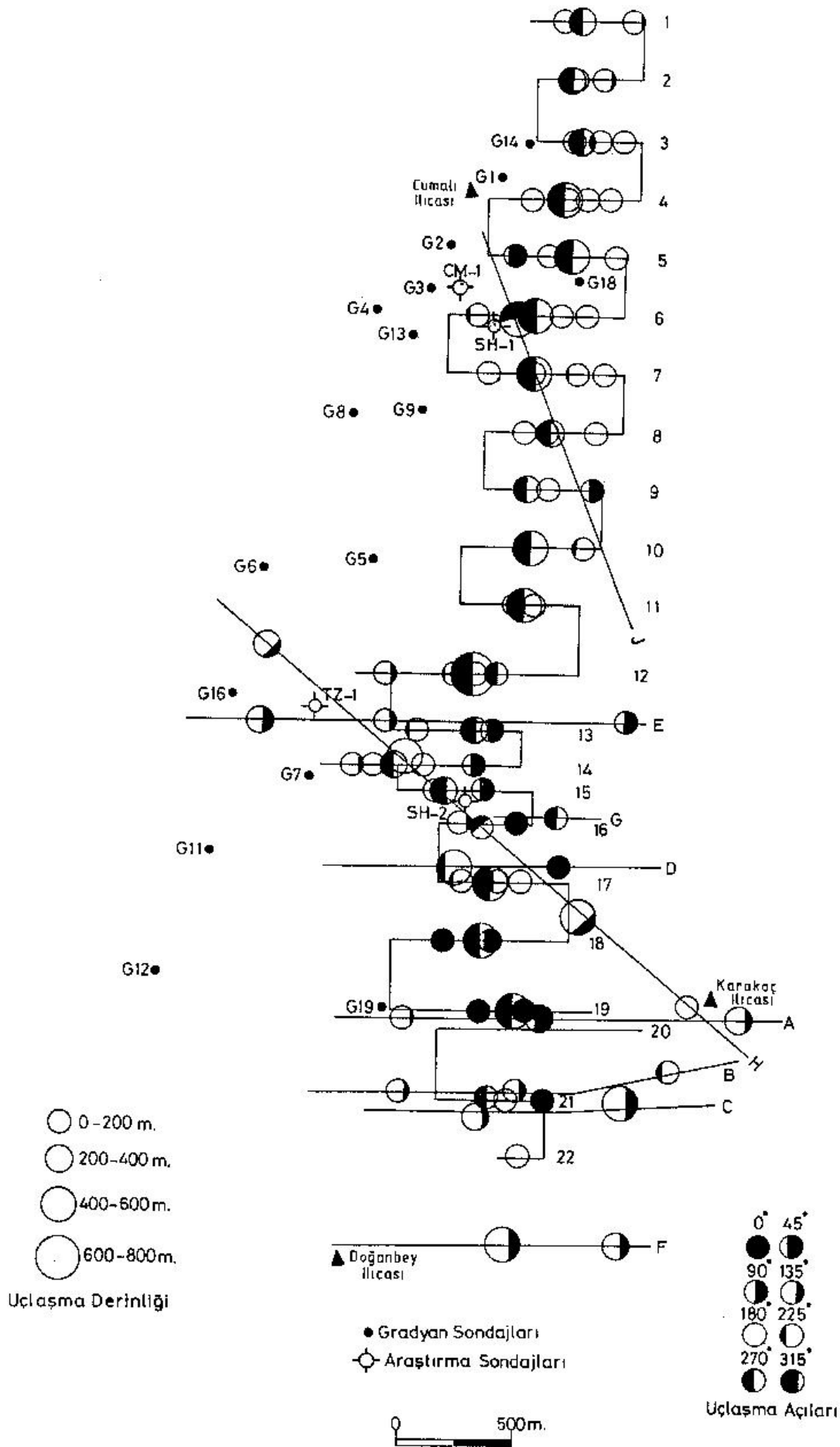
## b) yığmsal uçlaşma (mV) haritaları



Şekil. 8: H profili türevsel ve yığmsal doğal gerilim anomalileri ve uçlaşma odakları.

Bu grafiğe bakıldığında; bölgede genellikle eksi uçlaşma değerlerinin bulunduğu görölmektedir. Bu profiller içinde en uzun ve jeotermal dizgeyi en iyi betimleyen Kızılcadağ-Tuzla-Karakoç doğrultusunda alınan H profilinin yüksek genlikli türevsel belirtilerinin, Kızılcadağ ile Tuzla arasındaki bölümlere karşılık geldiği ve en yüksek türevsel belirti genliğinin ise, Tuzla fayının bulunduğu yerde elde edildiği görölmüştür. Yapılan değerlendirmeler, burada odak derinliğinin yaklaşık 500m'lik bir derinlikte bulunduğunu göstermektedir ve bu sonuç Eşder'in TZ1 sondaj kuyusundan elde ettiği ve Tuzla fayını kestiği sonuçla büyük bir uyuma sahiptir. Ayrıca kuzeybatıdaki 360m derinlikli uçlaşma odağının da Eşder'in I numaralı çöküntüsündeki kırıklardan birinin etkisi olduğu sanılmaktadır. Profilin güney doğusunda 450m derinliğinde ve Karakoç kaplıcasına yakın diğer bir uçlaşma derinliğinin ise II numaralı çöküntü içinde kalması ve Eşder'in çizdiği bir fay sisteminin üzerinde bulunması da mekanizmanın açıklanması açısından önemli bir olgudur. Elde edilen tüm profiller üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, uçlaşma odaklarının taşıyıcı kırıklar ve çöküntü alanındaki kırık sistemleri üzerinde bulunması, yöntemin jeotermal araştırmalardaki önemini ortaya koymuştur. Seferihisar jeotermal alanının doğal gerilim değiştirenleri yardımıyla modelinin kurulabilmesi açısından, elde edilen bu değiştirenler profil üzerindeki buldukları konuma göre koordinat dizgesine işlenerek,

uçlaşma odak izdüşüm diyagramı oluşturulmuştur (Şekil.9). Oluşturulan bu diyagram üzerinde benzer uçlaşma açılarına sahip uçlaşma odak izdüşümleri izlendiğinde; bölgedeki ana taşıyıcı kırıkların ve onları izleyen ikincil kırıkların etkisi ortaya çıkmıştır. Sıcak suyu taşıdığı düşünölen bu kırıklar üzerinden elde edilen sonuç, Seferihisar jeotermal sistemi modelinin kurulabilmesi açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, uçlaşma odaklarının genelde Tuzla ve Karakoç arasında yoğunluk göstermesi de bölgede daha önce yapılmış olan jeolojik ve jeofizik sonuçlarla iyi bir uyum bulunduğunu göstermektedir.

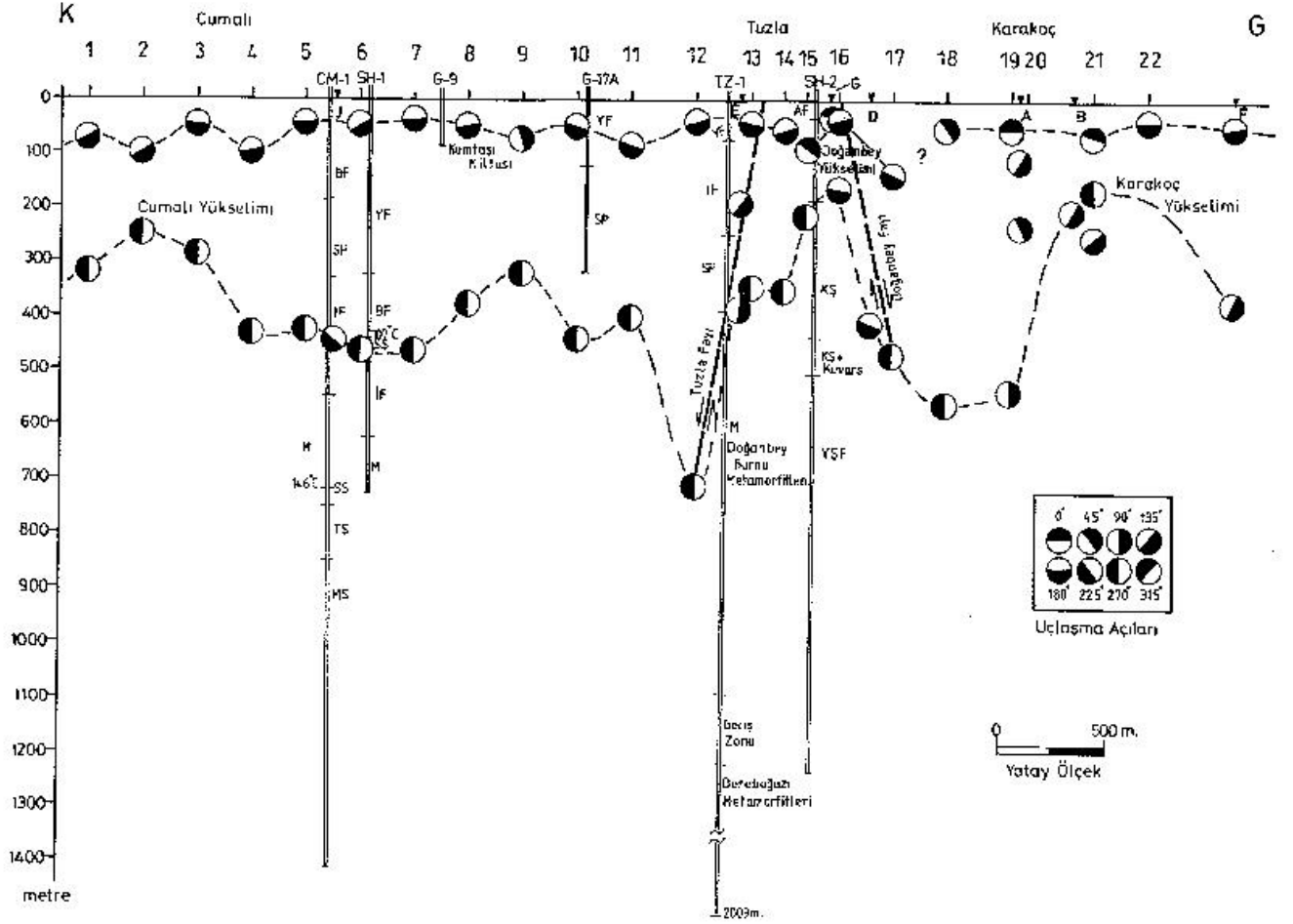


### **Şekil.9: Seferihisar jeotermal alanı uçlaşma odak izdüşüm diyagramı.**

Uçlaşma odaklarının yoğunlaştığı ikinci bölge Cumalı ılcası ve çevresidir. Belirtiler uçlaşma açılarının benzerliğine göre incelendiğinde, iki ayrı fay dizgesinin bu bölgede kesiştiği düşünülebilir. Nitekim bu olgu jeolojik haritalarda izlenen Cumalı ve Doğanbey faylarının uzanımından kaynaklanabilir. Uçlaşma odaklarının derinlik boyunca uzanımlarını gözlemek ve jeotermal alanın uçlaşma odaklarına göre K-G yönü boyunca modelini kurabilmek için, uçlaşma odak derinlik kesiti oluşturulmuştur (Şekil.10). Ancak bölgedeki topoğrafik koşulların olumsuzluğundan dolayı ölçüm profilleri istenilen uzunluklarda alınamadığından, bölgesel doğal gerilim işleyişini (mechanism) tam anlamıyla ortaya çıkarmak olası olmamıştır. Tüm bu olumsuzluklara karşın, oluşturulan uçlaşma odak derinliği kesiti oldukça ilginç sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Oluşturulan bu diyagramda uçlaşma odaklarının iki ayrı sınıra sahip olduğu görülmektedir. Bunlardan ilki genelde 40-80m derinliklerine karşılık gelen bölümdür ve bu odakların bölgedeki alüvyon kalınlığı ile ilişkili olduğu sanılmaktadır. İkinci grupta bulunan ve daha derinde, özellikle İzmir flişi-metamorfitler arasındaki sınırda olduğu düşünülen (sondaj sonuçlarıyla karşılaştırıldığında) uçlaşma odak derinliklerinin, jeotermal dizge ve taşıyıcı kırıklarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Elde edilen uçlaşma odak derinlik dağılımı incelendiğinde;

- Sıcak su çıkışlarının bulunduğu (Tuzla, Karakoç ve Cumalı gibi) yerlerde uçlaşma odaklarının yoğunlaştığı,
- Yüze yakın (40-80m arasında) ve genelde benzer uçlaşma açılarında uzanan odak derinliklerinin, bölgedeki akarsularında etkisiyle, alüvyon ve altındaki kumtaşı-kiltaşı birimi arasındaki yanal yönlü su akışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Böylece bulunan bu odak derinliklerinin, bol miktarda su içerdiği sanılan alüvyon kalınlığını simgelediği sanılmaktadır.

Diyagramdaki en derin uçlaşma odaklarının Tuzla bölgesinde bulunduğu ve uçlaşma açılarının aynı doğrultularda olduğu görülmektedir. Bu olgunun ise büyük olasılıkla Tuzla fayının etkisinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Eşder ve Şimşek (1975) tarafından



**Şekil 10: Seferihisar jeotermal alanı uçlaşma odak derinlik kesiti.**

oluşturulan SH1 ve SH2 derin prospeksiyon kuyu kesitiyle büyük bir uyum göstermesi de bu olguyu daha da doğrulamaktadır.

- Cumalı bölgesinde yüzeye çok yakın olarak gözlenen ve benzer uçlaşma yüzeylerinin karşı karşıya geldiği uçlaşma modelinin de, Cumalı yükselimi ile ilişkili olabileceği sanılmaktadır ve düşünülen olası benzer model kesikli çizgilerle gösterilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında; yapılan doğal gerilim çalışmaları sonucunda elde edilen uçlaşma odak derinlik dağılımları yardımıyla, düşünülen jeolojik yapıyı ve taşıyıcı kırıkların uzanımlarını görüntülemek, daha doğru bir deyişle jeotermal dizgenin modelini oluşturabilmek için, uçlaşma odak derinlik kontur haritaları oluşturulmuştur. Haritalar, yüzeye yakın ve derindeki doğal gerilim işleyişlerini gösterebilmek için iki farklı derinlik düzeyinde çizilmiştir. Şekil.11a'daki harita 0-450m arasındaki uçlaşma odak derinliklerini göstermektedir. Haritadan da görüldüğü gibi, iki farklı derinlik grubu bulunmaktadır. Bunlardan biri, haritanın güneyinde bulunan ve Doğانبey ılıcası ile Karakoç kaplıcası arasındaki geniş ve derin uçlaşma odaklarını içermektedir. Diğer ise, Tuzla ile Cumalı kaplıcaları arasındaki KKD-GGB uzanımlı uçlaşma odak derinlikleridir. Haritaların uçlaşma odak derinlikleri incelendiğinde; her iki haritada da iki farklı çöküntü modelini destekleyen sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu olgu ise, Eşder ve Şimşek (1975)'in bölgede düşündüğü ve derin sondajlarla desteklediği model ile iyi bir uyum göstermektedir. Ayrıca bu haritalar üzerinde;



derinlik belirtilerinin Tuzla'nın güneyinde yüzeye yaklaştığı ve Tuzla fayı ile Doğanbey fayı arasında bulunan yükselimi simgelediği düşünülmekte ve Eşder, Şimşek (1975)'in modeliyle bu noktada da uyum sağlamaktadır. Yüzeye yakın uçlaşma odaklarının dağılımını gösteren 0-150m uçlaşma odak derinliğine sahip haritada ise, uçlaşma odaklarının genelde sıcak su çıkışlarının bulunduğu bölgelerde yoğunlaştığı ve derinliklerinin diğerlerine göre daha fazla olduğu gözlenmektedir. Ayrıca bölgede yapılan jeolojik çalışmalar sonucunda (Eşder ve Şimşek, 1975) ortaya konan yükselim ve çökme alanlarının, bu haritadaki uzanımlarla oldukça benzer olduğu ortaya çıkmaktadır. Yükselim ve çökmeler arasında bulunan yerlerde görülen belirtilerin uzanımları ve bölgede daha önce yapılan jeolojik gözlemlerin sonucuna göre; bölgenin ana taşıyıcı kırıklarının bu belirtilerle simgelendiği düşünülmektedir (Şekil.11b). Elde edilen haritaların 3 boyutlu görünümü ise Şekil.12'de verilmektedir ve oluşturulan 3 boyutlu görüntülerin jeotermal modeli oldukça yalın biçimde yansıttığı söylenebilir.

Oluşturulan bu modeller ışığında; Seferihisar jeotermal alanındaki dizge ve taşıyıcı kırıkların doğal gerilim yöntemi yardımıyla oldukça iyi bir biçimde tanımlandığı ve modelinin oluşturulduğu belirtilebilir. Ancak, jeotermal alanın taşıdığı olumsuz topoğrafik özellikler; yeterince uzun profiller üzerinde veri toplama olanağını engellediğinden, jeotermal dizgeyi daha derin inceleme olanağını sunmamıştır. Böylece jeotermal dizgenin derinlik artışına koşut olabilecek uçlaşma odak derinliklerini izleme olanağı yaratılamamıştır.

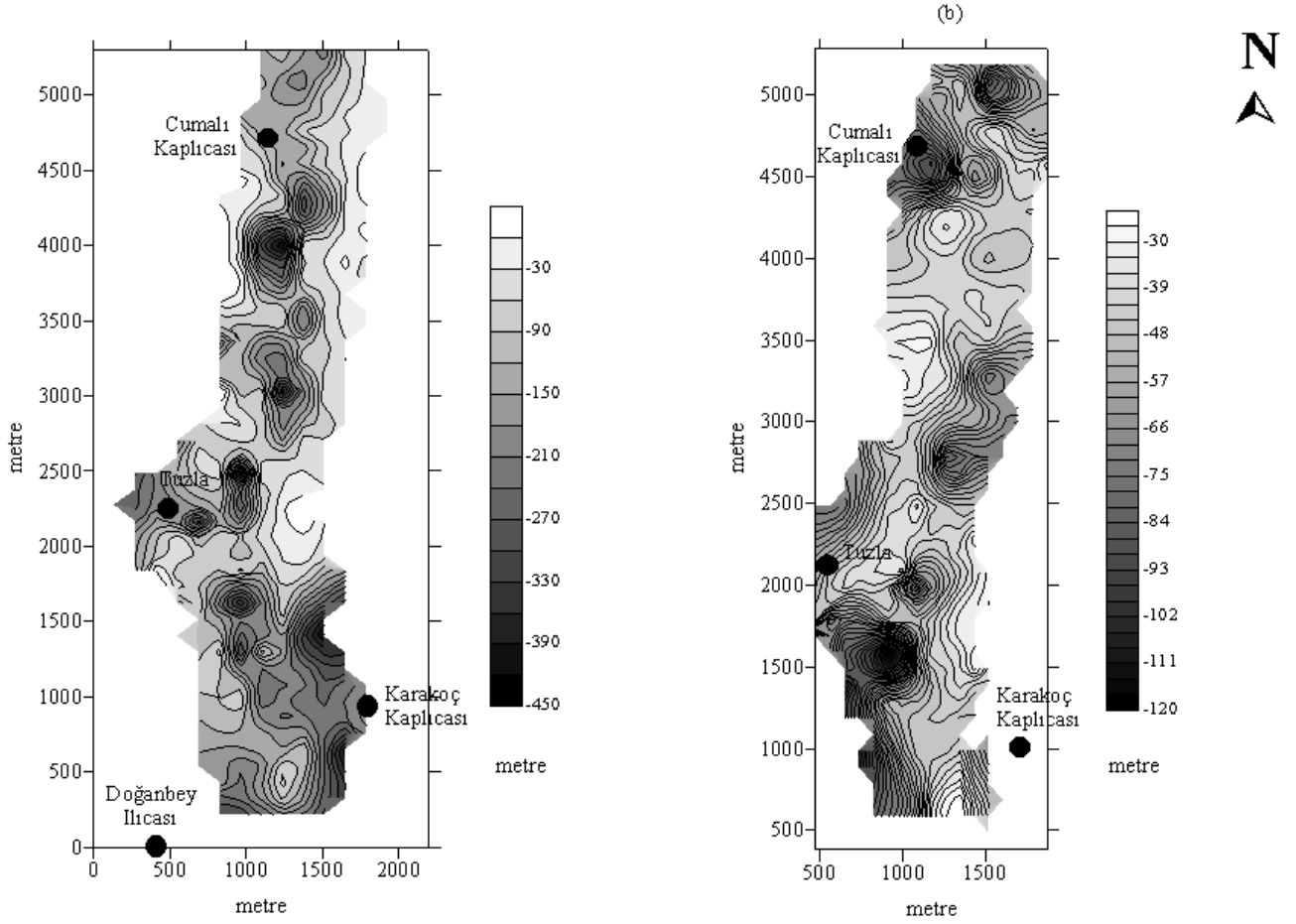
## 5. SONUÇLAR

Bölgede yapılan doğal gerilim çalışmaları sonucunda;

- Yaklaşık 10km<sup>2</sup>'lik bir alan incelenmiş ve türevsel, yığmsal açıdan haritaları oluşturularak, jeotermal sistemle ilişkili jeolojik birimler, doğal gerilim açısından incelenerek, belirlenebilirliği sınanmıştır.
- Uçlaşma odaklarının derinlik kesiti ve izdüşüm diyagramlarının oluşturulmasıyla, jeotermal sistem modeli kurulmaya çalışılmıştır.
- Elde edilen doğal gerilim değiştirgenlerinin KD-GB yönlü ve taşıyıcı kırık olduğu düşünülen yerlerde yoğunlaşması, doğal gerilim yönteminin taşıyıcı kırıklar ve jeotermal etkinliğin yüksek olduğu yerleri tanımladığını ortaya koymuştur.
- Bölgede gözlenen ve 40 ile -45mV/50m gibi yüksek genlikli türevsel doğal gerilim değerlerinin ısı elektrik ve elektrokinetik bağlaşımlardan kaynaklandığı sanılmaktadır.
- Alandaki uçlaşma açıları genelde 45° ve onun koordinat eksenindeki dönük biçimleridir.

İki ve üç boyutlu gravite modellemesi sonucunda tektonik olarak yükselim-çöküntü yapısında olan bölgenin genel yapısal uzanımının KD-GB yönlü, taban derinliğinin 1.5-1.7 km olduğu saptanmıştır. Gravite ve doğal potansiyel haritası birlikte değerlendirildiğinde, her iki haritada da anomalilerin KD-GB uzanımına sahip olduğu görülmektedir. Cumalı ve Tuzla civarında tortul birimlerle ilişkili olduğu düşünülen negatif rezidüel gravite anomalisi elde edilmiştir. Yığmsal doğal gerilim haritasında ise sıcak su çıkışının olduğu bölgelerde (Cumalı, Tuzla, Karakoç) negatif doğal uçlaşma anomalileri belirgindir. Ayrıca, bölgedeki ana faylar üzerinde de sıfır değerli doğal gerilim değerleri izlenmektedir. Rezidüel gravite anomali haritasında sıfır kontur değerinin Doğanbey yakınından başlayarak, Agamemnon'a doğru uzandığı ve Çubukludağ çöküntüsü ile Seferihisar yükseliminin sınırı olan fayla yaklaşık olarak uyumlu olduğu söylenebilir. Doğal potansiyel verilerinin değerlendirilmesi sonucu saptanan uçlaşma

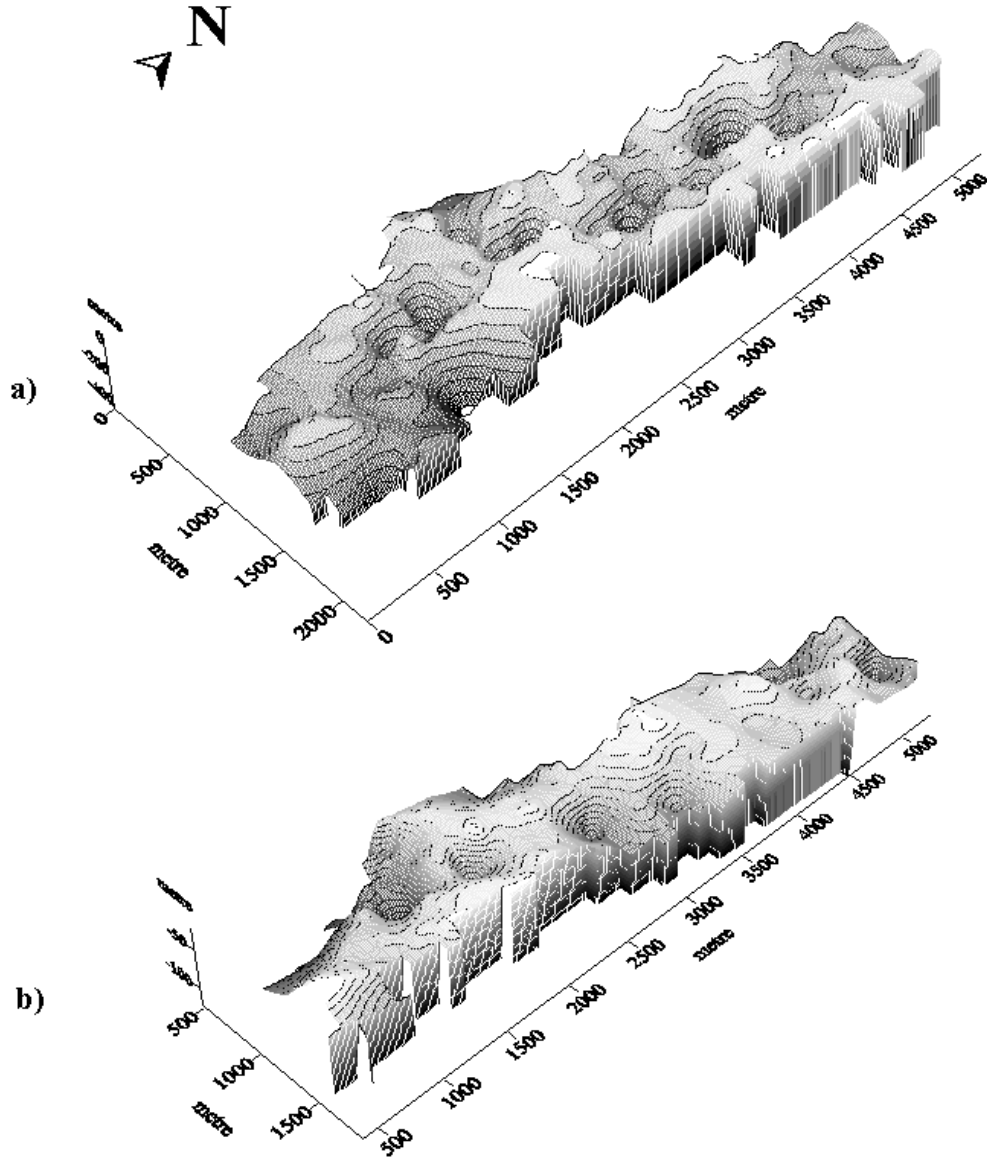
derinlikleri ise Cumalı ve Tuzla bölgesinde gravite sonuçlarına uygun olarak KKD-GGB yönde uzanım göstermektedir.



**Şekil.11: Seferihisar jeotermal alanı uçlaşma odak derinlik kontur haritası.**

## 6. Teşekkür

Bu araştırma; Dokuz Eylül Üniversitesi Araştırma Fon Saymanlığı'nın 908-95-06-07 numaralı projesi çerçevesinde yapılmıştır. Ancak projeden sağlanan kısıtlı ödeneklerin bu projeyi tümüyle karşılaması düşünülemez. Bu nedenle arazi çalışmalarının yürütülmesi sırasında isteklerimize tümüyle olumlu bir yanıt veren ve bölgesindeki jeotermal etkinliği ortaya çıkarabilmek için büyük bir emek harcayan Seferihisar belediye başkanı Sayın Ethem Çalış'a ve projede büyük bir özveriyle çalışan bölümümüz öğrencilerinden; Serkan Paçun, Hakan Korkmaz, Erkan Altay, Ertuğrul Basma, Murat Çiftçi ve Oğuz Demir'e sonsuz teşekkürler.



Şekil.12: Seferihisar jeotermal alanı 3-D uçlaşma odak derinlik gösterimleri

a) 0-450m, b) 0-150m.

## 7. YARARLANILAN KAYNAKLAR

AKARTUNA, M.,(1962): “ İzmir-Torbalı -Seferihisar Bölgesinin Jeolojisi Hakkında.” M.T.A. Dergisi, no.59

BHATTACHARYA, B.B. AND ROY, N., (1981): “A note on the use of a nomogram for self-potential anomalies.” Geophys. Prosp.: V.29, p:102-107.

CORWIN, R.F. AND HOOVER, D.B., (1979): “The self-potential method in geothermal exploration.” Geophysics: V.44, no.2, p:226-245.

ÇAKIR, E., (1984): “İzmir-Seferihisar Alanında Gravite ve Özdirenç Çalışmaları”, DEÜ. Müh. Fak. Bitirme Projesi, 36 sayfa, İzmir.

EKİNGEN, A., (1970): “ Gravity Survey of the İzmir-Urla district.” M.T.A. Rep, v. 4725

ERCAN, A., DRAHOR, M. AND ATASOY, E., (1986): “Natural polarization studies at Balçova geothermal field.” Geophys. Prosp.: V.34, p:475-491.

EŞDER, T., (1990): “The Crust Structure Convection Mechanism of Geothermal Fluids in Seferihisar Geothermal Area”, Int. Earth Sci. Con. On Aegean Regions, İzmir, Turkey, v. 1, p. 135-147.

EŞDER, T., and ŞİMŞEK, Ş., (1975): “ Geology of İzmir-Seferihisar Geothermal area, Western Anatolia of Turkey; Determination of Resorvoirs by means of gradient drilling.” Proceedings, U.N. symposium on the development and use of geothermal resources, p:349-340, San Francisco.

EŞDER, T., and ŞİMŞEK, Ş., (1977): “ The relationship between the temperature-gradient distribution and geological structure in the İzmir-Seferihisar geothermal area, Turkey.” CENTO Scientific programme symposium on geothermal energy, p:93-112, Ankara.

FİLİZ, Ş. ve TARCAN, G., (1993): “Seferihisar(İzmir) Güneyindeki Jeotermal Alanının Hidrojeolojisi”, TPJD Bülteni, s. 97-112.

FİLİZ, Ş., (1982): “Ege Bölgesindeki Önemli Jeotermal Alanların 18O, 2H, 3H, 13C İzotoplarıyla İncelenmesi”, Doçentlik Tezi, EÜ. YBF., İzmir, 95 sayfa.

KORKMAZ, H., (1997): “İzmir-Seferihisar Jeotermal Alanında Yapılan Doğal Potansiyel ve Gravite Çalışmalarının Değerlendirilmesi”, DEÜ. Müh. Fak. Bitirme Projesi, 55 sayfa, İzmir.

ÖZGÜLER, M.E. and ÜNAY, T., (1977): “Resistivity Field Work for Exploration of Geothermal Energy in Seferihisar, İzmir, Turkey”, CENTO Scientific programme symposium on geothermal energy, p:115-129, Ankara.

PAÇUN, A.S., (1996): “Doğal Gerilim Yöntemi ve İzmir-Seferihisar Doğal Gerilim Verilerinin Değerlendirilmesi”, DEÜ. Müh. Fak. Bitirme Projesi, 54 sayfa, İzmir.

RAM BABU, H.V. AND ATCHUTA RAO, D., (1988): “Inversion of self-potential anomalies in mineral exploration.” Computer and Geosciences: V.14, no.3, p:377-387.

ŞAHİNCİ, A. ve AMINNEJAD, B., (1988): “İzmir-Seferihisar Kaplıcalarının(Karakoç-Cumalı-Doğınbey) Hidrojeoloji İncelemesi ve Alterasyon Zonlarının Özellikleri”, Ulusal 1. Hidrojeoloji Sempozyumu, Ankara, s. 237-246.