DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKPINAR KARSTİK KAYNAKLARI (MANİSA) VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLOJİSİ

Mehmet GÖK

Eylül, 2007
İZMİR

AKPINAR KARSTİK KAYNAKLARI (MANİSA) VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLOJİSİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı

Mehmet GÖK

Eylül, 2007
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MEHMET GÖK, tarafından **DOÇ.DR. ÜNSAL GEMİCİ** yönetiminde hazırlanan **"AKPINAR KARSTİK KAYNAKLARI (MANİSA) VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLOJİSİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ünsal GEMİCİ

Yönetici

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışmamı yöneten ve yönlendiren Doç. Dr. Ünsal GEMİCİ' ye görüşlerinden ve yayınlarından yararlandığım Prof. Dr. Gültekin TARCAN' a, Jeofizik Mühendisi Mete YÜCEL' e, arazi çalışmalarımdaki yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Ali Toygar AKAR' a ve Manisa Celal Bayar Üniversitesi Öğretim Görevlisi Erkan HAFIZOĞLU' na, laboratuar çalışmalarında yardımcı olan Kimyager Nedim TATARİ ile Cihan GÜNEŞ' e ve bana destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak ta, değerli zamanını benim için ayıran ve tezimin yazılmasında destek olan sevgili eşim Burcu FERTEN GÖK' e sonsuz teşekkür ederim.

Mehmet GÖK

AKPINAR KARSTİK KAYNAKLARI (MANİSA) VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLOJİSİ

ÖZ

İnceleme alanı, Anadolu'nun paleotektonik dönem coğrafyasının önemli tektonik yapılardan olan İzmir- Ankara kenet kuşağı içerisinde yer almaktadır. Akpınar ve çevresinde Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Karmaşığına ait kayaçlar sunmaktadır. Filiş fasiyesinde çökelmiş olan kumtaşı-şeyl matriksinin içinde blok konumlu olarak bulunan karstik kireçtaşları geniş yayılım sunar ve arazideki gerek soğuk gerekse sıcak suların akifer sistemlerini oluştururlar. Özellikle Jura yaşlı dolomitik kireçtaşlarında karstlaşma çok yaygın olduğundan bu kayaçlar sıcak sular için uygun hazne kayaları oluşturabilir. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların fiziksel ve kimyasal özellileri birbirlerine benzerlik sunmaktadır.

Suların fizikokimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen Yarı Logaritmik Scohoeller Diyagramında iyonları birleştiren doğrular birbirine yaklaşık paralel görünmektedir. Ilıkpınar ve Akpınar mevkilerinde karstik Jura yaşlı dolomitik kireçtaşlarından kaynak ve sondajlardan elde edilen sıcak sular 25–27 ^{0}C sıcaklıkta olup Ca-Mg-HCO_3 –SO_4 tipindedir. Elektriksel iletkenlik değerleri yaklaşık 465–1554 μmho/cm arasında değişmektedir. Tez kapsamında yapılan jeotermometre uygulamalarına göre akifer sıcaklığı 100 ^{0}C altında olduğu tahmin edilmektedir. Bölgedeki termal sular içme ve kullanma suyu kriterlerine uygun sular olup, Manisa ili su ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamaktadır.

Jeofizik arama yöntemleri, jeotermal alanların hem araştırılmasında hem de geliştirilmesinde ve doğrudan gözlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Sıcaklık anomalilerini doğrudan doğruya gösteren ve mekanik sondaj yerlerinin belirlenmesinde en etkili yöntemler, termal ve jeoelektrik yöntemlerdir. Tez kapsamında inceleme alanını içine alan DSİ' nin 1977 yılında yapılan Manisa-Turgutlu Ovası İlave Jeofizik Etüt Raporun yer elektrik kesitleri, CorelDraw 12 programı kullanılarak kesitler değiştirilerek yeniden oluşturuldu. Değerlendirme sonucu alüvyon kalınlığının 100 ile 150 metre arasında değiştiği ve iyi bir akifer özelliği taşımadığı görüldü.

Anahtar Kelimeler: Manisa-Akpınar, Karstik kaynak, Jeotemal enerji, Jeofizik yöntemler

HIDROGEOLOGY OF THE AKPINAR KARSTİC SPRINGS AND SURROUNDING

ABSTRACT

Investigation area, to be found in the very important structur Izmir Ankara clamp zone, paleotectonic era geography of the anatolia. Upper Cretaceous-Paleocene Bornova Melange rocks which were deposited in flysch facies outcrop in the study area. Limestones located as blocks in the matrix of the Bornova Melange are the aquifers of both thermal and cold ground waters. Particularly, Jurasic aged dolomitic limestones are highly karstified and form reservoir rocks of thermal fluids. Chemical properties of cold ground waters and thermal waters are similar.

According the Schoeller diagram of waters of wells in study area lines combining the anions and rations are approximately parallel. Thermal waters obtained from springs and drilled wells in Ilıkpınar and Akpınar are also Ca-Mg-HCO_3 type with 25-27°C discharge temperature and electrical conductivity values about between 600} mho/cm. Thermal waters are suitable to be used as potable and irrigation waters and they supply a part of the water demand of Manisa. The results obtained by several geotermometers showed that the estimated reservoir temperature is under 100 ^{0}C. Thermal waters in city area are suitable for drinking and supply an important part of water demand of Manisa vicinity.

Geophysical exploration methods play in important role in the fields of geothermal exploration, development and observation studies. Thermal and geoelectrial methods are the most effective methods which shows the temperature variation anomalies and mechanical drilling places. But, when the other methods of gravity, magnetic, radiometric, well geophysics and well logs can be used in conjunction with seismic tomography, apart the mentioned geophysical exploration method, better results could be obtained. The data in the geophysical report for Manisa – Turgutlu plain (DSI, 1977) were reconstructed by CorelDraw 12. Assesment of the geophysical data show that aqufer thickness is about 100 – 150 m.

Keywords: Manisa-Akpınar, Karstic springs, Geotermal energy, Geophysical methods

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT vi

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1 Çalışma Alanı 1

1.2 Amaç 2

1.3 Yöntemler 2

BÖLÜM İKİ – JEOLOJİ 4

2.1 Stratigrafi 4
2.1.1 Kaya Birimleri 5
2.1.1.1 Bornova Karmaşığı 5
2.1.1.2 Anadağ Formasyonu 7
2.1.1.3 Beşpınar Formasyonu 7
2.1.1.4 Belkahve Formasyonu 8
2.1.1.5 KesmeDağı Formasyonu 8
2.1.1.6 Yaka Formasyonu 8
2.1.1.7 Yamaç Molozu 9
2.1.1.8 Alüvyon 9

2.2 Yapısal Jeoloji 10

BÖLÜM ÜÇ – HİDROJEOLOJİ 15

3.1 Su Kaynakları 15
3.1.1 Ilıca Kaynağı 16
3.1.2 Üçoluk Kaynağı 17
3.1.2 Gürle Kaynağı 17

3.2 Sondajlar 17
3.2.1 Akpınar Sondajları 18
3.2.2 Ilıca Sondajları 19
3.2.3 Yarıkkaya Sondajları 20

BÖLÜM DÖRT – HİDROJEOKİMYA 21

4.1 İnceleme Alanındaki Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri 21

4.2 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Sulardaki Çözünmüş İyonlar 21
4.2.1 Kalsiyum 21
4.2.2 Magnezyum 23
4.2.3 Sodyum ve Potasyum 23
4.2.4 Klorür 23
4.2.5 Sülfat 24
4.2.6 Bikarbonat 24

4.3 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş İkincil ve Üçüncül İyonlar 25
4.3.1 Alüminyum 26
4.3.2 Çinko 26
4.3.3 Demir 26
4.3.4 Kurşun 28

4.4 Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması 28
4.4.1 Piper Diyagramı 29
4.4.2 Scholler Diyagramı 31

4.4.3 Suların Sertliği 31
4.4.4 Hidrojen İyon Kontrasyonu (pH) 33
4.4.5 Elektriksel İletkenlik (EC) 33

4.5 Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri 35
4.51 Sodyum Tehlikesi (SAR) 35
4.5.2 Wilcox Diyagramı 36
4.5.2 ABD Tuzluluk Laboratuarı 36

4.6 İnceleme Alanındaki Suların Doygunluk İndeksi 39

BÖLÜM BEŞ – JEOTERMAL ENERJİ 42

5.1 Giriş 42

5.2 Jeotermal Enerjinin Tanımı, Oluşumu ve Isı Kaynağı 42

5.3 Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları 43
5.3.1 Isıtma 44
5.3.2 Endüstriyel Uygulamalar 44
5.3.3 Kimyasal Madde Üretimi 45

5.4 Ülkemizin Jeotermal Potansiyeli 45

5.5 İnceleme Alanındaki Sıcak Suların Oluşumu ve Jeotermometre Uygulaması 46
5.5.1 Silis Jeotermometreleri 47
5.5.2 Na-K-Mg Katyon Jeotermometreleri Üçgen Diyagramı 48
5.5.3 Entalpi-Silis Karışım Modeli 49

BÖLÜM ALTI– JEOFİZİK ÇALIŞMALAR 51

6.1 Giriş 51

6.2 Jeotermal Araştırmalarda Jeofizik Uygulamaları 52
6.2.1 Isı Akısı Çalışmaları 53
6.2.2 Gravite Çalışmaları 54
6.2.3 Doğal Potansiyel (SP) Çalışmaları 54
6.2.4 Manyetik Çalışmalar 54
6.2.5 Tellürik Çalışmaları 55
6.2.6 Sismik Çalışmalar 55
6.2.7 Rezistivite (Özdirenç) Çalışmaları 55
6.2.7.1 Rezistivite Yöntemi Genel Elektrot Dizilimi 56
6.2.7.2 Veri Değerlendirme ve Görüntüleme 58
6.3 İnceleme Alanındaki Jeoelektrik Çalışmaları 60
6.3.1 Jeoelektrik Çalışmaların Amacı 61
6.3.2 Kullanınan Jeofizik Yöntem ve Kullanılan Aletler 61

6.4 İnceleme Alanındaki Profillerin Yorumlanmış Yerelektrik Kesitleri 61

BÖLÜM YEDİ – SONUÇLAR ve ÖNERİLER 77

KAYNAKÇA 80

BÖLÜM BİR

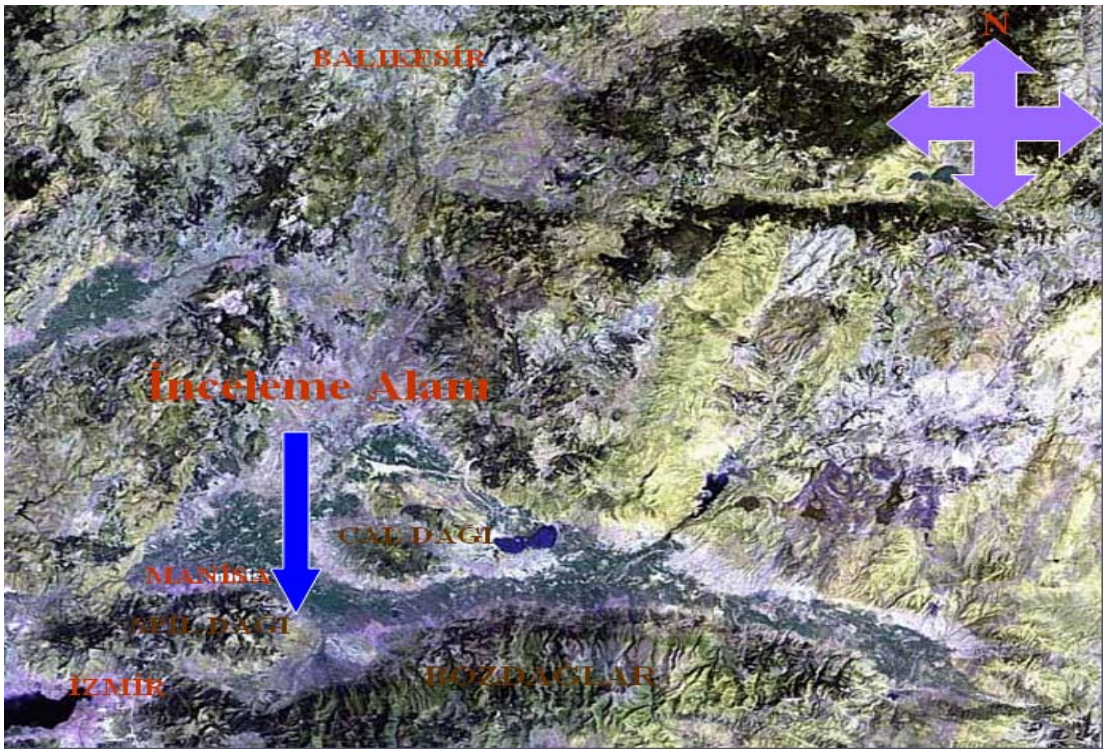
GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanı

İnceleme alanı, Manisa İli'nin 9 km Güney Doğusunda, Manisa-Turgutlu karayolu üzerinde, Spil Dağı'nın doğusunda, Manisanın K19–D4 paftasındaki alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı içerisinde yer alan Akpınar ve Ilıkpınar karstik kaynakları düşük sıcaklı termal sular olup, bu bölgelerde açılan çok sayıda sondajlar ile Manisa İlinin içme ve kullanma suyu ihtiyacının önemli bir bölümü karşılamaktadır (Şekil 1.1ve Şekil 1.2).



Şekil 1.1 Çalışma alanının yeri (Manisa İl Çevre Durum Raporu, 2005)



Şekil 1.2 İnceleme alanının uydu fotoğrafı

1.2 Amaç

İnceleme alanının ve çevresinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. İnceleme alanı içerinde yer alan suların kimyasal özellikleri ve kullanılabilme özellikleri saptanmıştır. Ayrıca inceleme alanındaki 27 ^{o}C' deki su sıcaklığına dayanılarak jeotermal bir alan olma potansiyeli üzerinde durulmuştur. İnceleme alanında DSİ tarafından 1977 yılında yapılan Manisa-Turgutlu Ovası İlave Jeofizik Etüt Raporu'na ait rezistivite yerelektrik kesitleri tekrar yorumlanarak, inceleme alanındaki jeolojik yapının ortaya çıkarılmasına çalışılmıştır.

1.3 Yöntemler

Bu çalışma dokümantasyon, arazi çalışması, laboratuar çalışması ve toplanan verilerin çeşitli yazılımlar ve programlar aracılığı ile dijital ortama aktarılmış ve bu verilerin yorumlanmasıyla tamamlanmıştır.

Saha çalışmalarında 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritası, GPS, arazi kullanımına uygun dijital pH metre ve kondüktivitemetre aletleri, fotograf makinası ve termometre kullanılmıştır.

Çalışmanın ana konusunu oluşturan hidrojeolojik araştırmalarda; belirlenen su noktalarından 2'şer adet yarım litrelik kapaklı pet şişelere numuneler alınarak D.E.Ü. Jeoloji Mühendisliği Jeokimya Laboratuvarı' nda kantitatif analizleri standart metodlar ve TSE 266 (1997)' ye göre yapılmıştır. Analizlerden çıkan sonuçlar incelenip, gerekli diyagramlar ve çizelgeler hazırlanmıştır. Labrotuvar çalışmalarında Na^{+}, K^{+}, Si^{+4}, Li^{+}, Fe^{+3}, Zn, Mn, Cu, Cd, Co, Pb, Ca, Mg, Al, Sr için atomik absorpsiyon spektrometresi, HCO^{-}_{3}, Cl^{-}, Ca^{++} iyonları volümetrik yöntem ile, $SO^{=}_{4}$, iyonu için gravimetri analiz yöntemleri kullanılmıştır. Analizi yapılan su numuneleri, hidrokimyasal Aquachem programı aracılığı ile değerlendirilerek yorumlanmış (Calmbach,1997), su numunelerinin jeokimyasal özellikleri ortaya konulmuştur. Tezimin yazımında, şekil ve grafiklerin çiziminde Office Word ve Excel, CorelDraw12, Surfer8 programları kullanılmıştır. Bazı grafik ve şekilleri taramak için HP scaner kullanılmıştır.

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

2.1 Stratigrafi

İzmir ve çevresinde tabanda Üst Kretase – Paleosen yaşlı filiş fasiyesinde gelişmiş İzmir-Ankara Zonu'na ait Bornova karmaşığı yer alır. (Şekil 2.1) Bornova karmaşığı filiş fasiyesinde oluşmuş kumtaşı-şeyl türü kayaçlar ve bu kayaçlar içerisinde mercek ve blok konumlu kireçtaşı, mafik denizaltı volkanitleri ile tektonik dilimler ve serpantinit kütlelerinden oluşan değişik kayaç gruplarından meydana gelmiştir (Erdoğan, 1990).

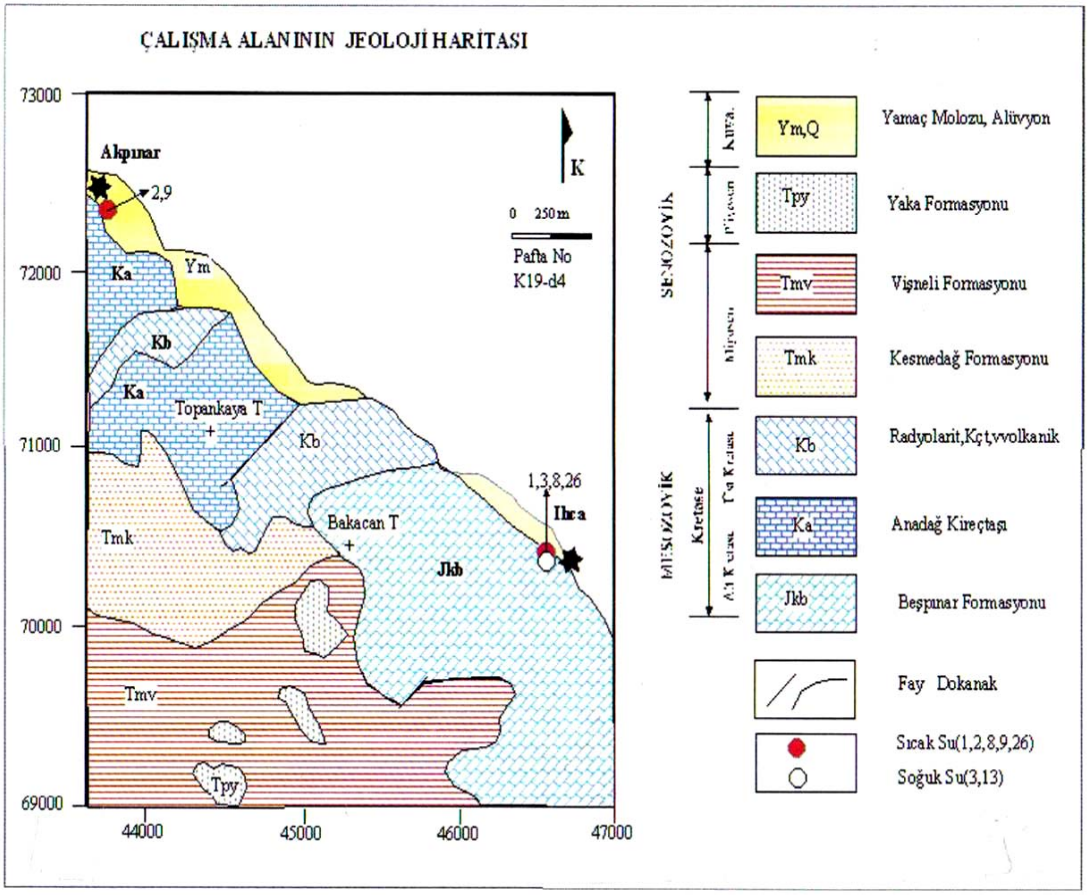


Şekil 2.1 Batı Anadolu'nun tektonik haritası ve ana kıtasal blokları-tektonik zonları (Okay, 1989' dan uyarlanmıştır).

2.1.1 Kaya Birimleri

2.1.1.1 Bornova Karmaşığı

İnceleme alanı içinde yer alan en yaşlı kayaçlar Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova karmaşığı yeralır. Şekil 2.1' de görüldüğü gibi Bornova karmaşığı, güneyde Seferihisar-Doğanbey' den başlayıp KKD' ya doğru İzmir Körfezi'ne kadar uzanan bir dağ sırasında yüzeylenmektedir. Aynı birim İzmir' in daha kuzeydoğusunda Bornova çevresinde yeniden yüzeylenmekte ve Manisa, Akhisar, Sındırgı ve Balıkesir'e kuzeye ilerledikten sonra KD' ya Ankara' ya kadar uzanan bir kuşakta yayılmaktadır (Aksoy, 2001) .



Şekil 2.2 İnceleme alanının jeoloji haritası (Akdeniz vd, 1986 ve Erdoğan, 1990'dan değiştirilerek)

İleri derecede tektonik deformasyon geçirmiş olan birim oldukça kırıklı ve kıvrımlı bir yapı kazanmıştır. Bornova karmaşığı, fillitler, sleytler ve yeniden kristallenmiş kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Karmaşığın matriksi fliş fasiyesinde kırıntılı kayalar, mikritik kireçtaşı mercekleri ile yer yer mafik volkanitler meydana gelmiştir ve bu birim farklı büyüklükte platform türü kireçtaşlarından yapılı bloklar içermektedir (Erdoğan, 1990). Kırıklar ve çatlaklar içeren flişin, ayrışma yüzeyi sarımsı kahverengi ve koyu gri renkli, taze yüzeyi ise kahverengi renklidir. Bornova karmaşığı içerisinde gözlenen gri, beyaz renkteki kireçtaşları ise genellikle merceksel dağılım göstermektedirler (Yılmazer, 1989).

İnceleme alanında temeli Bornova karmaşığına ait kayaçların oluşturduğu stratigrafik istifte tekrarlanmaların gözlendiği karmaşık bir yapı vardır. Kumtaşı-şeyl' den oluşan bir matriks içerisinde mercek ve blok konumlu kireçtaşları yer almaktadır. Jura yaşlı dolomitik kireçtaşları tektonik düzlemle sınırlanmış olarak yer almaktadır (Akdeniz vd, 1986).

Dolomitik kireçtaşları Bornova karmaşığı içerisinde bloklar halinde yer almaktadırlar. Bu bloklar sınırlar içyapılarını verev kesen makaslama yüzeyleri belirler. Dolomitik kireçtaşlarının yaşı Liyas' tan başlar, orta kesimlerde Malm yaşı elde edilir. (Erdoğan, 1990) İnceleme alanındaki diğer bir yaygın olarak gözlenen kireçtaşı bloğu ise (Akdeniz vd., 1986) Anadağ kireçtaşı, (Erdoğan, 1990)'da ise Işıklar kireçtaşı olarak belirtilen Üst Kretase yaşlı kireçtaşlarıdır (Özer ve İrtem, 1982). Bornova karmaşığı içerisindeki kireçtaşları gerek geniş bir alana yayılmaları gerekse litolojik özellikleri bakımından yeraltı suları için iyi bir akifer kaya özelliği taşırlar ve karstik akiferleri oluştururlar. Özellikle Jura yaşlı kireçtaşlarında önemli karst yapıları geliştirmiştir. Mesozoyik kireçtaşları genellikle kırıklı, çatlaklı ve karstik boşluklu olmaları nedeniyle yağış suları, erime kanallarını izleyerek geçirimsiz seviyelere kadar süzülürler ve buradan tekrar dokanak ve fay boyunca yüzeye erişen yeraltı suları, karstik soğuk ve sıcak su kaynaklarını oluştururlar.

Bornova karmaşığı'nın matriksini oluşturan kumtaşı – şeyl ardalanmasında şeyli seviyeler geçirimsiz seviyelerdir. Kumtaşları ise kırık ve çatlakları boyunca yeraltı suyu içermekte olup şeylerle olan dokanakları boyunca düşük debili kaynaklar oluşturabilmektedir. İnceleme alanının özellikle doğu kesimlerinde yaygın olarak gözlenen kırıntılı tortullar temeldeki birimleri açısal uyumsuz olarak üstler. Tersiyer yaşlı olan karasal tortullar kiltaşı, kumtaşı, çakıltaşı, marn kireçtaşı ardalaşmasından

meydana gelmektedir (Akdeniz vd., 1986). Stratigrafik seviyeler ve kalınlıklar oldukça değişken olup genelde alt seviyelerde kırıntılı birimler yaygınken, üst seviyelerde karbonatlı kayaçlar gözlenir. Ayrıca inceleme alanının KD kesiminde KB-GD uzanımlı fayların oluşturduğu grabende yer alan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları en genç birimleri oluşturmaktadırlar.

2.1.1.2 AnaDağ Formasyonu (Ka)

Anadağ formasyonu gri-beyaz renkli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Toprak örtü kalınlığı 10 cm in altındadır. Ana çatlak sistemleri K60D/450KB K30B/450GB konumundadır (Şekil 2.2) (Akdeniz ve diğ.,1986).



Şekil 2.3 Ilıca mevkii kireçtaşlarından görünüm

2.1.1.3 Beşpınar Formasyonu (Jkb)

Çalışma alanında en yaşlı birim olarak Beşpınar Formasyonu (Jkb) olarak adlandırılan birim yüzeylenir. Bu birim çok değişken mikrofasiyeslerdeki kireçtaşlarından oluşur ve özellikle alt seviyelerde orta-iri dolomit ara katkıları kapsar. Beşpınar Formasyonun yaşı önceki çalışmalarda Üst Liyas-Alt Kretase olarak belirlenmiştir (Akdeniz ve diğ., 1986).

Bu birim üzerine kalınlığı 150–200 m civarında olan Anadağ (Ka) kireçtaşı olarak adlandırılan tabanında Rudist fosiller bulunan birim yer alır. Birimin yaşı Üst Kretase

Olarak önceki çalışmalarda belirlenmiştir. Beşpınar formasyonu ile Anadağ kireçtaşı birimi birbirine geçişli olup aralarında kesin bir sınır gözlenmez(Akdeniz ve diğ., 1986).

2.1.1.4 Belkahve Formasyonu (Jkb)

Belkahve formasyonu gri, beyaz, kahverenkli olup, fliş topluluğu özelliğindedir. Arazide çakıltaşı, kumtaşı, şeyl, ardalanması şeklinde görülmektedir. Allokton kireçtaşları içermektedir. Tabaka konumu Uncubozköy civarında K15B/350GB, çatlak sistemleri K-G/600B, K20B/300GB, K30B/450GB ve K60D/450KB ölçülmüştür. Toprak örtü kalınlığı 10–30 cm arasında değişmektedir (Akdeniz vd., 1986).

Belkahve formasyonunun volkanik üyesi (Kbv) Ağlayan Kaya (Niobe) çevresinde gözlenmiştir. Litoloji kirli yeşil renkli, bol çatlaklı diyabazlar ile temsil edilmektedir. Bu birim içerisinde gelişen çatlak sistemleri K40B/300KD, K40D/350GD, K50D/450GD konumundadır.

İçerisinde volkanik kayaçlar, radyolarit, kireçtaşı blok ve mercekleri içeren Üst Kretase yaşlı bu birim Anadağ kireçtaşları üzerine gelir (Akdeniz vd., 1986).

2.1.1.5 Kesme Dağı Formasyonu (Tmk)

Çalışma alanında, Senozoyik alt dokanağı diskordans düzlemine karşılık gelen Kesme dağı Formasyonu (Tmk) ile başlar. Litolojik olarak genellikle kızıl renkli karasal çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı, killi kireçtaşı ve travertensi kireçtaşı merceklerinden oluşur. İçerisinde kömürleşmiş bitki kalıntılarına da rastlanan bu birimin yaşı Alt-Orta Miyosen olarak belirlenmiştir (Akdeniz ve diğ.,1986).

2.1.1.6 Yaka Formasyonu (Tpy)

Çalışma alanının en genç birimini Yaka Formasyonu (Tpy) oluşturur. Bu formasyon başlıca kirli beyaz, krem renkli gölsel kireçtaşlarından oluşur. Birim Vişneli Formasyonu ile geçişlidir. Miyosen öncesi birimler üzerine açısal diskordansla yer alır

ve tabanında ince seviyeli çakıltaşı bulunur. Yaka Formasyonuna stratigrafik ilişkiler ve bölgesel karşılaştırmalara dayanılarak Alt Pliyosen yaşı verilmiştir (Akdeniz vd.,1986).

2.1.1.7 Yamaç Molozu (Qym)

Yamaç molozları, kireçtaşı parçaları ve çakıl taşlarından oluşmaktadır. Birim içerisinde breşlerde yer alır. Bunlar, yamaç molozlarının kalsit ve aragonit çimentoyla bağlanması sonucu gevşek şekilde tutturulmuştur. Litostratigrafik olarak adlamaya gidilmeden 'yamaç molozu' adı altında incelenen birim genellikle yükseltilerin yamaçlarında yer alır (Şekil 2.4) (Hafızoğlu, 2007).

İnceleme alanının kuzey kesiminde Nif Çayı boyunca gözlenen en genç çökeller Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozlarıdır (Qal, Ym).



Şekil 2.4 Yamaç molozlarından bir görünüm
(Akpınar mevkii mezbaha tesisleri civarı)

2.1.1.8 Alüvyon(Qal)

İnceleme alanının neojen ve kuvaterner birimlerini oluştururlar. Neojen birimler, killi, kumlu yer yer çakıllı sevilerden oluşmaktadır. İnceleme alanın güneyinde ve kuzey doğusunda mostra verirler. Genellikle killi ve geçirimsiz seviler olup, yeraltı suyu taşıması bakımından çok olumlu değildirler (Üzel, 1977).

Kuvaterner birimler, çakıllı, kumlu, killi ve siltli seviyelerin yayılımından meydana gelirler. Çakıllı ve kumlu seviler akifer olmama karakterinde olup, yeraltı suyu açısından verimli özellik gösterirler (Üzel, 1977).

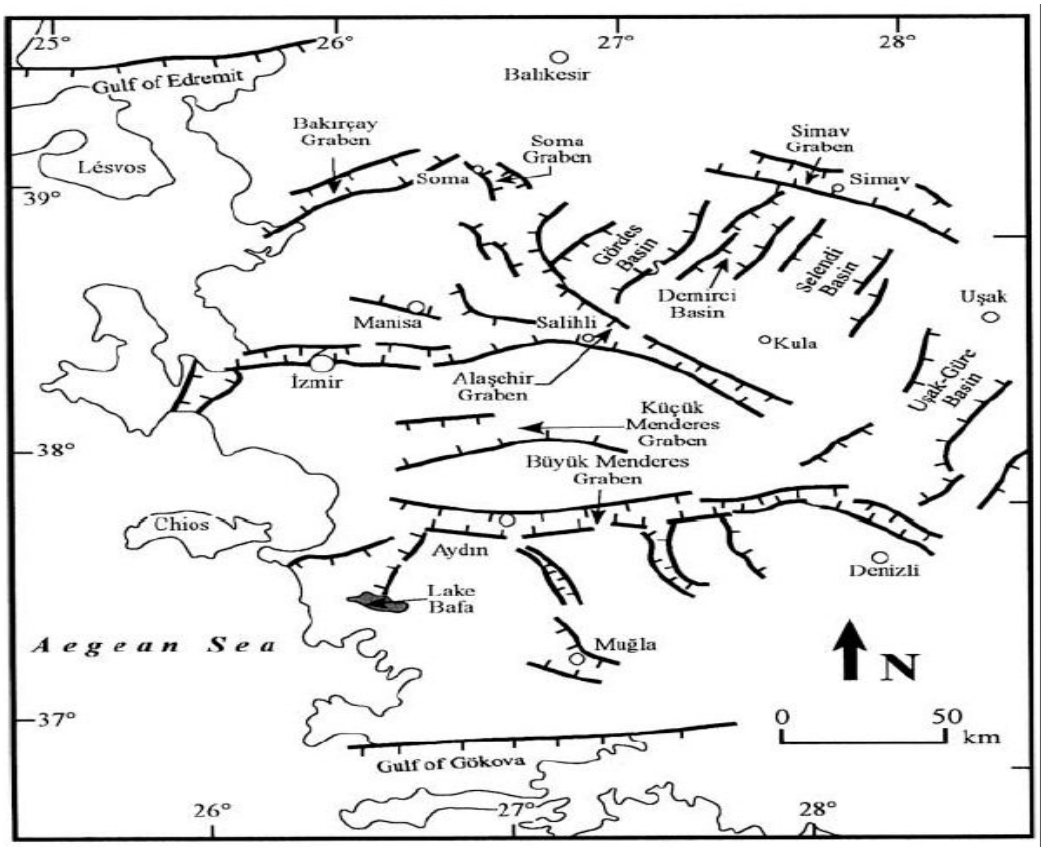
2.2 Yapısal Jeoloji

Bornova karmaşığı ilk çökelme ortamının koşullarının tanınmasını olanaksız hale getirecek şekilde tektonik süreçlerden geçmiştir. İlk süreç çökelme ortamında başlamış ve yabancı bloklar Bornova karmaşığına ait flişin içine katılmıştır. Çökelme sonunda Paleosen' de kabuk kısalması nedeniyle fliş kütlesinin sıkışma sonucu kıvrılması, birbiri üzerine bindirerek kalınlaşmasına sebep olmuştur. Miyosen ve sonrasında sıkışma ve kalınlaşarak yükselme süreci devam etmiştir.

Üst-Kretase-Paleosen' de Menderes Masifi üzerine allokton olarak gelen İzmir-Ankara zonuna ait birimler daha sonra özellikle Orta Miyosen' de genleşme tektoniğinin etkisinde kalarak parçalanmış ve graben sistemlerinin gelişmesine imkân sağlamıştır (Aksoy, 2001).

Bu sistemin bir devamı olarak inceleme alanında Manisa fayı normal fayı gözlenmektedir. Gediz (Alaşehir) grabeni Salihli-Alaşehir arasında D-B doğrultulu bir çöküntü gelişirken, Salihli ilçesinden batıya doğru çatallanır ve Gölmarmara, Manisa ve Kemalpaşa havzaları şeklinde 3 çöküntü alanına değişim gösterir. Bu çöküntü alanları arasında BKB-DGD uzanımlı Çaldağı ve Spil Dağı bulunur. Manisa havzasının güney sınırı boyunca uzanan Spil Dağı bir yay şeklindeki Manisa fayıyla yükseltilmiştir. Kuvaterner döneminden beri Manisa havzasının oluşumunu kontrol eden Manisa fayının antik dönemde deprem ürettiği kabul edilmektedir (Bozkurt ve Sözbilir, 2006).

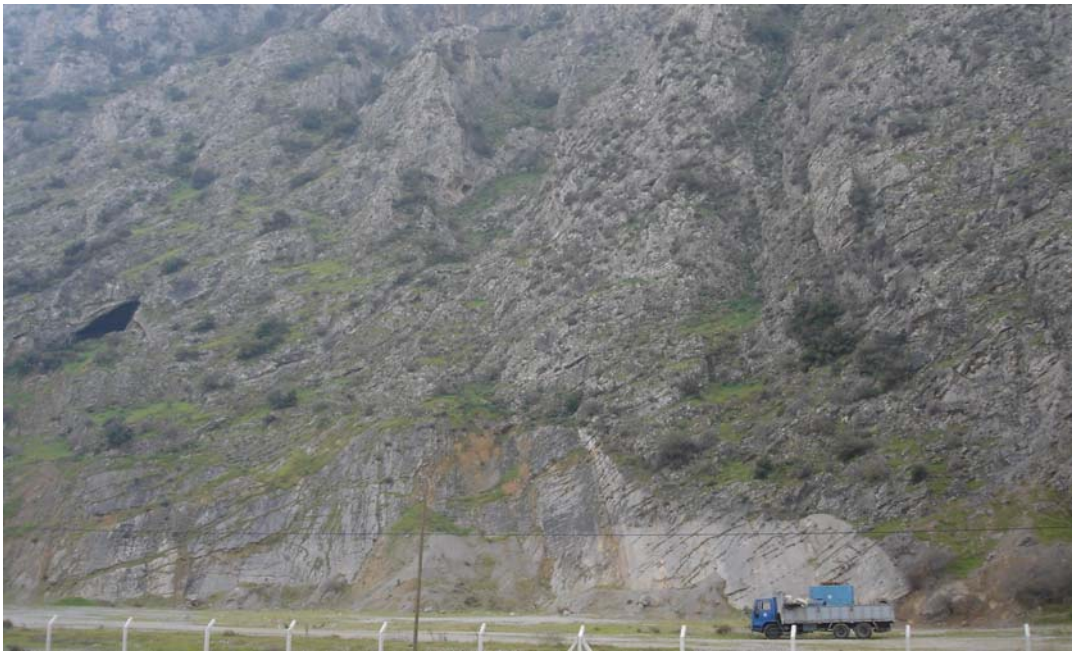
Manisa fayı doğuda Turgutlu ilçesinden başlayıp ve batıya doğru Manisa İlini kat ederek Akgedik-Gürle köyüne kadar izlenmektedir. Manisa fayının Manisa ile Turgutlu ilçesi arasındaki bölümü Bozkurt ve Sözbilir (2006) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Fayın Manisa merkez ile Akgedik-Gürle köyü arasındaki bölümü ile ilgili bilgiler çok kısıtlıdır. Dokuz Eylül Üniversitesi BAP projesi kapsamında yürütülen bu çalışma ile Manisa fayının batı bölümü 1/25000 ölçeğinde haritalanmış ve saptanan fay zonları boyunca kinematik analiz çalışmaları yapılmıştır. Manisa İlinin batısındaki Keçiliköy ile Akgedik-Gürle köyü arasında Holosen yelpaze çökellerini kesen ve en eşelon dizilimli KB-GD doğrultulu üç fay segmenti haritalanmıştır. Çalışmada bu faylar KD'dan GB'ya doğru Keçiliköy, Taşlıburun ve Manastır fayı olarak adlandırılmıştır.



Şekil 2.5 Manisa İli' nin aktif fayları (Bozkut, 2001)

Manisa fayı batıda sağ yönlü doğrultu atımlı faya dönüşmektedir. Manisa fayının doğu bölümünün önce doğrultu atımlı fay ve daha sonra normal fay olarak çalıştığını ve dolayısıyla Manisa fayının yeniden aktif hale gelmiş bir fay olduğunu belirtmektedirler (Emre vd, 2005). Manisa fayının batı bölümünde yer alan fay geometrilerindeki gözlemlerde aynı fay düzlemleri üzerinde doğrultu atımın eğim atımla kesildiği saptanmıştır. Bu faylar 2–4 km uzunluğunda ve KD' ya doğru alçalan basamaklar oluşturur. Basamakların genişliği 500 metre ile 1,5 km arasında değişir. Fayların düşen bloğunda alttan üste doğru Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova karmaşığı, Miyosen yaşlı tortul kayalar, Holosen yelpaze çökelleri bulunmaktadır. Batıya doğru artan uzunluk ve kollüvyal döküntüye sahip bu 3 farklı fay segmentinden en doğudaki Keçiliköy Fayı KB-GD uzanımlıdır (K45B/80^{0}KD). Bu fayın kayma düzlemlerinden alınan ölçümlerinde eğim atıma sahip olduğu ortaya konulmuştur. Keçiliköy fayı Manisa merkezinin güneybatısında KD doğrultulu Kayapınartaş Fayı tarafından kesilmektedir ve sağ yönde yaklaşık 300 metre atıma uğramıştır. Keçiliköy fayı bölgedeki Miyosen yaşlı çökeller ile temel kaya olan Bornova karmaşığını birbirinden

ayırmaktadır. Bu fayın kolüvyal döküntüleri ise Miyosen yaşlı birimler üzerinde yaklaşık 200 metre uzunluğunda KD uzanımlı bir alüvyonel yelpaze oluşturmuştur. Taşlıburun fayı, Keçiliköy fayına yaklaşık paralel doğrultudadır (Bozkurt ve Sözbilir, 2006).

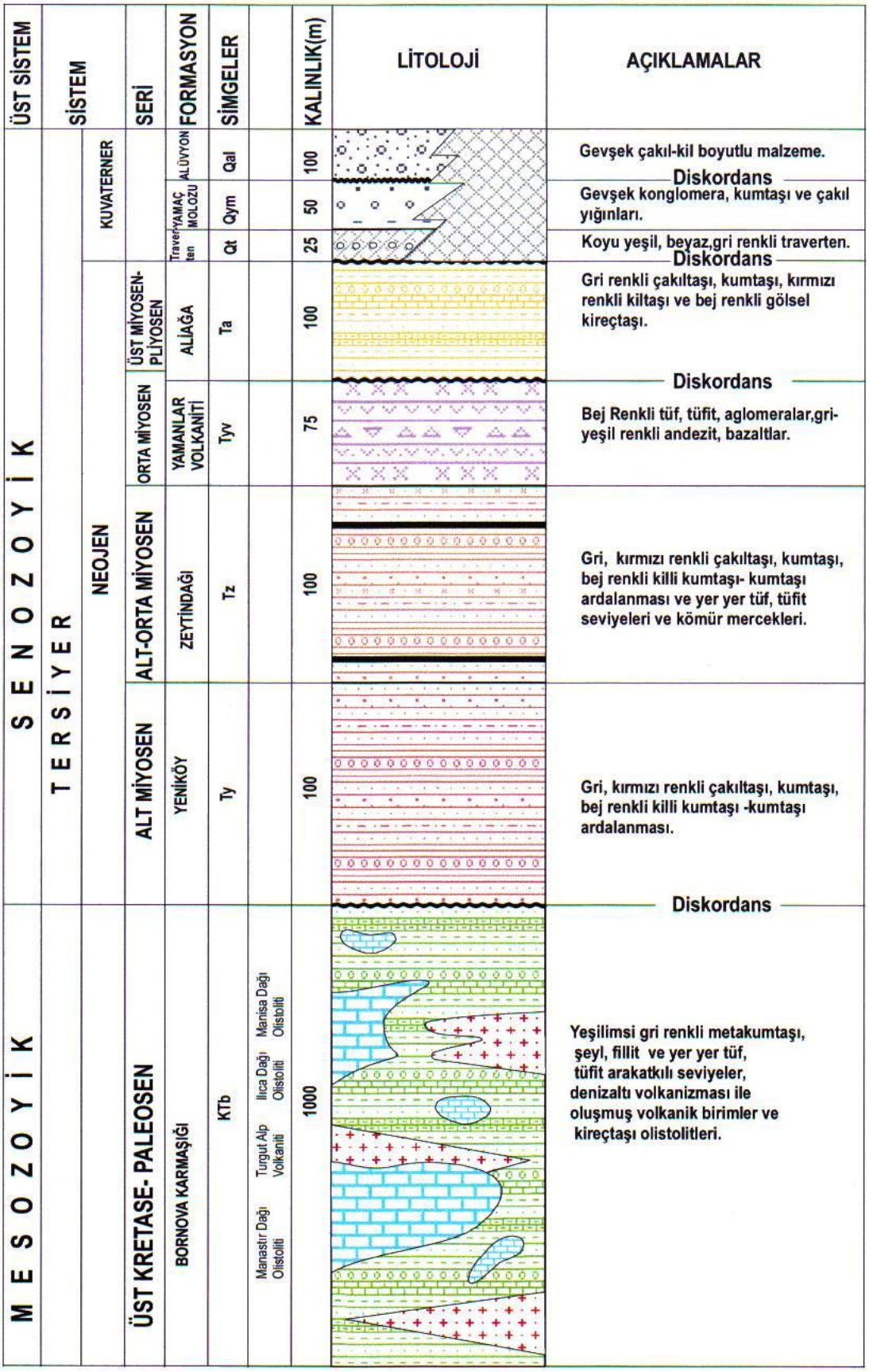


Şekil 2.6 Ilıca mevkisinden Manisa fayına ait bir görünüm

(K35B/60KD) ve inceleme alanında yaklaşık 3 km uzunluğunda gözlenmektedir. Yapılan bu çalışmada fayın KB ucunda fay düzleminde yapılan kinematik analizlerinde, fay düzleminde iki farklı harekete ait izler saptanmış, doğrultu atımın eğim atımla kesildiği saptanmıştır. Bu fay Bornova karmaşığı ile Miyosen yaşlı sedimanter birimleri birbirinden ayırmaktadır. Fay doğrultusu boyunca 1–1.5 km uzunluğundaki alüvyonel döküntüler Miyosen yaşlı kiltaşı-kumtaşı ardalanması üzerinde uyumsuz bir şekilde uzanırlar. Yer yer yamaç breşi şeklinde yer yer de kötü pekleşmiş olarak gözlenen kötü boylanmış, kötü küreselleşmiş kireçtaşı ve kumtaşı çakılları içeren, bağlayıcı malzemesi çamur olan bu döküntüler fayın doğrultusuna yaklaşık paralel uzanırlar ve faya doğru yer yer 600'ye varan eğimlere sahiptirler. Taşlıburun fayının GB ucu Bornova karmaşığının içerisine ilerler ve KD uzanımlı Kayapınartaş fayı tarafından kesilir. İnceleme alanındaki KB uzanımlı (Genel olarak K20-25B/70KD) fay segmentlerinden batıdaki Manastır fayı bu sistemdeki en uzun (yaklaşık 4 km uzunluğunda) ve yüksek derecede alüvyal yelpaze ile döküntü çökelleri oluşturan bir faydır. Doğuda KKD uzanımlı Gürle fayı tarafından kesilen Manastır fayı bölgedeki Bornova karmaşığını

Miyosen yaşlı çökellerden ayırır. Fayın farklı bölgelerinde çok iyi korunmuş olan düzlemlerde yapılan kinematik analizlere göre bu fayın kayma düzlemi iki farklı harekete ait izler taşır. İlksel harekete ait çizikler doğrultu atımlı faylanmaya, bu çizikleri üstleyen ikincil çizikler ise eğim atımlı faylanmaya işaret eder. Bu fay üzerinde 600 metreye varan genişlik ve 3–4 km uzunlukta yelpaze çökelleri gözlenmiştir. Miyosen yaşlı çökeller üzerinde faya paralel olarak uzanan, uzak kesimlerde 450 faya yakın kesimlerde ise 250'ye varan eğime sahip eski yelpaze çökelleri ile bu çökeller üzerinde yaklaşık yatay konumlu uzanan yeni yelpaze çökelleri birbirlerinden ayırt edilmektedir (Özkaymak ve Sözbilir, 2006).

DEÜ-BAP projesi kapsamında Manisa Fayı üzerinde yapılan çalışmalar doğrultusunda; "Manisa fayının birden fazla ve birbirinden farklı gerilme kuvvetleri etkisinde yeniden aktif hale geçtiğini ve bu reaktivasyona KKD uzanımlı fayların da eşlik ettiği" açıklanmıştır (Bozkurt ve Sözbilir, 2006).



Şekil 2.7 İnceleme alanının genelleştirilmiş kolon kesiti (Hafizoğlu, 2007) (Ölçeksiz).

BÖLÜM ÜÇ
HİDROJEOLOJİ

Bu bölümde bölgede önceki yıllarda yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilere göre birimlerin hidrojeolojik özellikleri belirlenecektir. Ayrıca içme amaçlı metal kirliği değerlerinin analizlerle tespit edilerek değerlendirilmiştir. İnceleme alanında açılan sondaj kuyu lokasyonlarını ve örneklenen su noktaları Şekil 3.2' deki jeoloji haritasında gösterilmektedir.

3.1 Su Noktaları

Manisa fayı üzerinde 3 adet kaynak bulunmaktadır. Kaynaklarda birinin debisi ölçülebilecek düzeyde, diğer iki kaynaklar sızıntı şeklinde veya mevsimlik yağışlardan sonra aktif hale gelen kaynaklardır. Bunların dışındaki su noktaları çeşitli amaçlar için kurum ya da kişilerce açılan sondaj kuyularından oluşmaktadır. İnceleme alanındaki yeraltı suları sıcak ve soğuk sular olmak üzere iki grup olarak ele alınabilinir. Su örnekleme noktalarını sondaj kuyuları ve kaynaklar oluşturmaktadır. Sıcak suların maksimum sıcaklıkları 27^0C olup Ilıca mevkiindeki sondaj kuyularında gözlenmektedir. Manisa Belediyesi öncülüğünde 3. Bölge İller Bankası tarafından Akpınar ve Ilıca mevkilerinde Manisa iline su temini amacıyla çok sayıda sondaj kuyusu açılmıştır. İller Bankası sondaj kuyusu verilerine (EK-3) göre; Akpınar mevkiindeki kuyuların debileri ortalama 30 lt/sn, Ilıcadaki kuyuların debileri ortalama 70 lt/sn' dir.

İnceleme alanında bulunan kaynaklar;

l) Ilıca Kaynağı

2) Akpınar Kaynağı

3) Gürle Kaynağı'dır.

Tablo 3.1 Manisa İli doğal su kaynakları (DSİ 22. Şube Müdürlüğü, 2005)

Sıra No	Kaynak No	Kaynağın Adı	Bulunduğu İlçe	İli	Konumu
1	11-18	Akpınar	Gölmarmara	Manisa	Faal
2	11-17	Beşgöz Ilıcaksu	Akhisar	Manisa	Faal
3		Kepekli Kaynağı	Gölmarmara	Manisa	Faal
4	1-23	Turgutalp Kaynağı	Soma	Manisa	Faal
5	1	Çapaçarık Türbesi	-	Manisa	Yeni
6	2	Çapaçarık Türbesi	-	Manisa	Yeni
7	3	Gürle Kaynağı	Merkez	Manisa	Yeni
8	4	Gürle Deresi	Merkez	Manisa	Yeni
9	11-11	Palamut Kaynağı	Akhisar	Manisa	İptal
10	11-13	Sarıkız Memba	Nuriye	Manisa	İptal
11	11-14	Sarıkız-Arpalı	Nuriye	Manisa	İptal
12	11-15	Sarıkız Köçek Değ.	Nuriye	Manisa	İptal

3.1.1 Ilıca Kaynağı

Ilıca Kaynağı, Kretase yaşlı kireçtaşlarının kuzey yamacındaki Manisa Fayının dokunağında gözlenen bir fay kaynağıdır. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yağışlı dönemlerde Nisan, Mayıs, Haziran aylarında aktiftir. Diğer aylarda ise Manisa İlinin içme suyunu temin eden sondaj kuyularından devamlı su çekilmesinden dolayı yeraltı suyu seviyesinin düşmesi sonucu kaynak kurumaktadır. Kaynak suyunun sıcaklığı 27 °C, debisi 5 lt/sn pH'sı 7.57, Fransız sertliği 24.75 dir (Hafızoğlu, 2007).



Şekil 3.1 Akpınar yakınlarından bir kaynaktan görünüm

3.1.2 Üçoluk Kaynağı

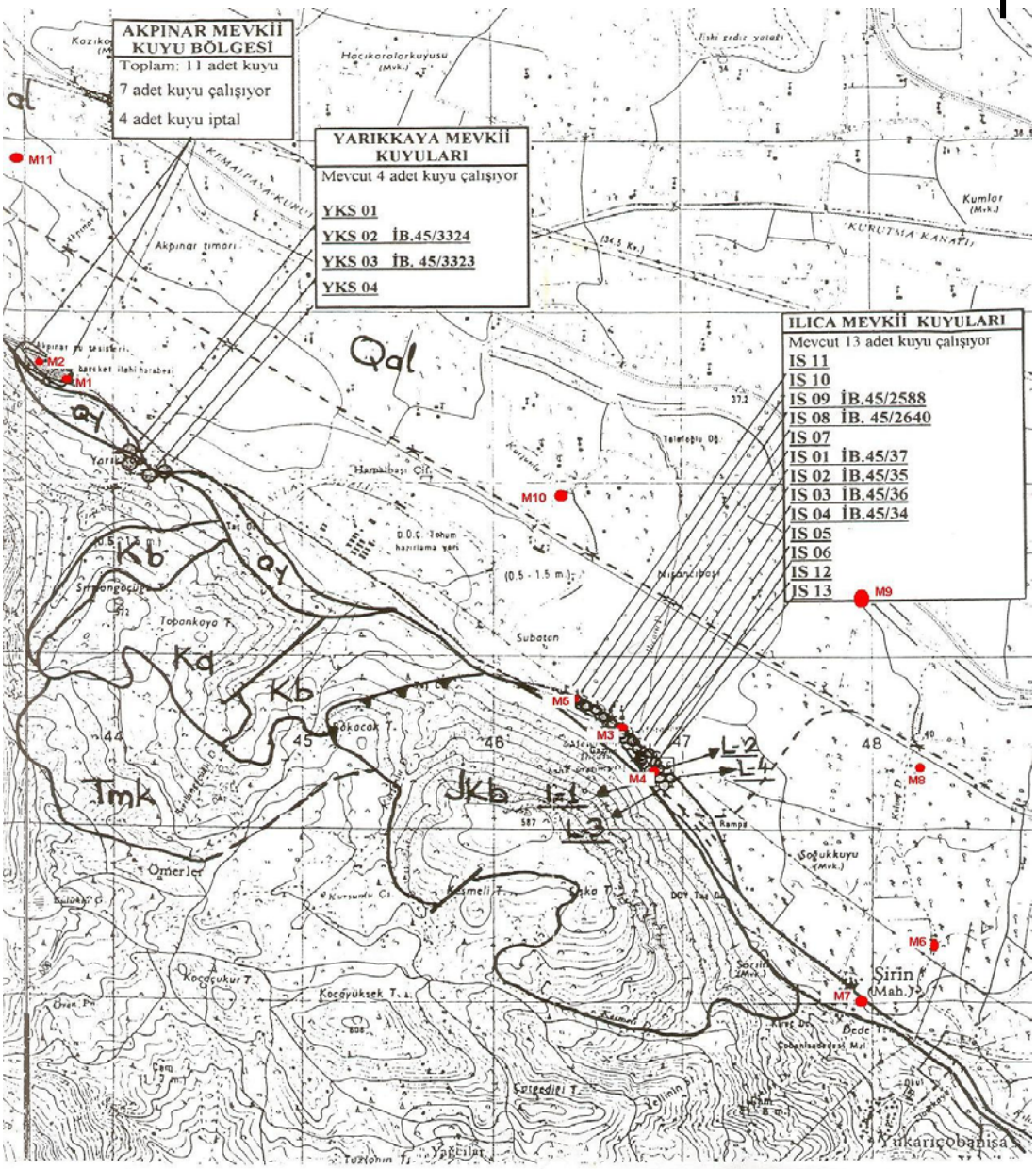
Üçoluk kaynağı, Kretase yaşlı kireçtaşlarının kuzey yamacında bulunan yamaç molozlarının dokanağında gözlenen bir fay kaynağıdır. Su çıkışı genellikle sızıntı şeklindedir. Kaynak çıkışında debisi ölçülemeyecek kadar küçük olan kaynak suyu bir kaptajda toplanarak yol kenarında üç oluklu bir çeşmeden akmaktadır. Kaynağın debisi l lt/sn sıcaklığı 16 °C, pH'sı 7.18, sertliği 28.30 °F'dir (Hafızoğlu, 2007). Kaynağın debisi yaz aylarında azalmakta, yağışlı dönemlerde ise yağışlara bağlı olarak artmaktadır.

3.1.3 Gürle Kaynağı

Gürle kaynağı, Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Karmaşığı içerisinde bulunan Triyas yaşlı kireçtaşlarından boşalmaktadır. Kaynak, Gürle köyünün 300 mt. KB'sında yer alan kireçtaşı bloğunda gözlenen eğim atımlı normal faya bağlı olarak yeryüzüne çıkmaktadır. Fayın bulunduğu kireçtaşı bloğunun temelinde ve çevresinde bulunan filiş oluşukları suyun yüzeye çıkmasında geçirimsiz sınır görevi yapmaktadır. 170 m. kolundaki Gürle kaynak alanında havuz şeklindeki bir kaptaj yapılmıştır. Kaptajda su derinliği 0.5-1.5 metre arasında değişmektedir. Kaynağın debisi l lt/sn, sıcaklığı 16 °C, pH'sı 7.18, sertliği 28.30 °F' dir. Kaynağın debisi yaz aylarında azalmakta, yağışlı dönemlerde ise yağışlara bağlı olarak artmaktadır. Kaynak suyu, Manisa OSB' nin kullanma suyu ihtiyacını karşılamaktadır (Hafıoğlu, 2007).

3.2 Sondajlar

İnceleme alanında çeşitli amaçlar için açılmış birçok sondaj kuyusu bulunmaktadır. Manisa Belediyesi tarafından İller Bankasına ve özel sektöre açtırılmış olan ve Manisa ilinin içme suyunu temininde kullanılan 20–25 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bunların derinlikleri 50-220 m. arasında, debileri ise 10-70 lt/sn, statik seviyeleri 0.6-93.5m., dinamik seviyeleri 1.22-93.5 m. arasında değişmektedir (Ek 3). Ayrıca bu kuyuların dışında tarımsal faaliyetlerin olduğu kesimde şahıslara ait birçok kuyu bulunmaktadır.



Şekil 3.2 İnceleme alanın jeoloji haritası (1/25000) (İzmir 3. Bölge İller Bankası) ve örneklenen su noktaları

3.2.1 Akpınar Sondajları

Akpınar sondajları, Manisa Belediyesi tarafından Manisa İlinin içme suyunu temin amaçlı açtırılmış olup, sondajlar Kretase yaşlı kireçtaşlarında yer almaktadır. Burada çeşitli zamanlarda açılmış ondan fazla kuyu bulunmaktadır ve Manisa İlinin içme suyu temininde kullanılan en eski bölgedir, fakat şu anda bölgede faaliyette olan altı adet kuyu

bulunmaktadır. Akpınar sondajlarının bulunduğu yer mitolojik olarak ikonlar içerdiğinden çeşitli zamanlarda mesire yeri olarak kullanılmış ve son yapılan düzenlemelerle mesirelik haline getirilmiştir (Şekil 3.3).

3.2.2 Ilıca Sondajları

Ilıca sondajları inceleme alanının doğusunda Manisa Belediyesi tarafından İller Bankasına açtırılmış sondaj kuyularıdır. Çalışma sırasında dört adet yeni açılan kuyuların faaliyete geçirilmeye çalışılıyordu. Ilıca sondajları Jura yaşlı kireçtaşlarının gözlendiği Manisa



Şekil 3.3 Akpınar su tesisleri Manisa-Turgutlu karayolu üzerindeki sondajlar

Fayının alüvyonlarla örtüldüğü yerde şu anda aktif olan 13 adet ve faaliyette geçirilmeye çalışılan dört adet olmak üzere toplam 17 kuyudan oluşmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Ilıkpınar su tesislerinden ve yeni açılan sondaj kuyusundan görünümler

3.2.3 Yarıkkaya Sondajları

Bu sondajlar yine Manisa Belediyesi tarafından Manisa İline içme suyu sağlamak amacıyla açtırılmış sondaj kuyularıdır. Sondajlar Kretase yaşlı kireçtaşlarında bulunmaktadır. Sondajlar bulundukları yerdeki kireçtaşlarının kırılarak ayrılması sonucu oluşan görüntü itibari ile inceleme alanında Yarıkkaya sondajları olarak bilinirler. Kuyu derinlikleri ikisi 148 m, diğer ikisi 152 m olmak üzere 4 kuyu mevcuttur. Bu kuyuların debileri 30 lt/sn' dir.

BÖLÜM DÖRT
HİDROJEOKİMYA

4.1 İnceleme Alanındaki Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri

İnceleme alanı ve çevresinden alınan su örneklerinden, bölgenin hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kimyasal analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda suların kimyasal ve fiziksel özellikleri saptanmış ve yorumlamak için Piper, Schoeller ve Wilcox gibi diyagramlardan yararlanılmıştır. Ayrıca bilgisayar ortamında, Aquachem ve Excel programlarından yararlanılırken analiz sonuçları yorumlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında toplam 11 adet su örneği alınarak bu tez kapsamında yararlanılmıştır. Örneklenen su noktalarının gösterimi şekil 3.1' deki jeoloji haritasında verilmiştir.

4.2 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Sulardaki Çözünmüş Başlıca İyonlar

İnceleme alanına ait sıcak ve soğuk yeraltı sularının iyon derişimleri suyun kökeni, akifer sistemleri ve karışım oranları hakkında bilgi vermektedir. Alınan su örneklerine ait başlıca iyonların mg/lt cinsinden değerleri Tablo 4.1' de verilmiştir.

4.2.1 Kalsiyum (Ca^{+2})

Kalsiyum yeraltı sularına kalsiti aragonit, dolomit, jips, anhidrit, fluorit gibi silikatli olmayan minerallerin ve albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatli minerallerdeki çözünmesi ile karışabilir (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

Suda bulunan H^{+} iyonu Ca^{+2} eritilmesini kolaylaştırır. Suyun pH değeri suyun içindeki Ca^{+2} iyonlarının miktarlarını ve çökelimini doğrudan etkiler. pH değeri artıkça kalsit çökelir. Atmosfer basıncının ve sıcaklığın artması sudaki Ca^{+2} miktarının fazlaştırır. Genel olarak yeraltı sularında Ca^{+2} değeri 10–100 mg/lt arasındadır. (Tarcan, 2004)

Tablo 4.1 Çalışma alanından alınan suların kimyasal analiz sonuçları (Anyonlar ve Katyonlar: mg/lt, EC:µmho/cm)

Örnek No	Koordinat	Mevkii	T ^{0}C	pH	EC	Tuzluluk	EH MV	Na^+	Mg^+	K^+	Ca^{+2}	Cl^-	$SO^=_4$	HCO^-_3
M1	0543737/4272609	AKPINAR 2 NOLUKUYU	22.5	7	611	0	-9	9.3	18.5	0.3	75.2	15.4	132.8	192.8
M2	0543630/4272626	AKPINAR 6 NOLU KUYU	17.9	7.2	465	0	-23	7.6	16.1	0.1	63.9	15.4	116.4	173.5
M3	0546675/4270570	ILICA 1 NOLU KUYU	25.2	6.9	655	0.1	-6	8.8	18.2	0.5	76.6	16.1	117.8	219.6
M4	0546880/4270355	ILICA 6 NOLU KUYU	25.5	6.9	667	0.1	-6	7.2	18.4	0.5	91.7	20	249	209.8
M5	0546574/4270637	ILICA 8 NOLU KUYU	26.5	7.1	641	0.1	-20	9.9	18.1	0.5	83.9	25	228.4	207.4
M6	0548068/4270107	ÇOBANİSA OVASI TULUMBA	16.3	6.9	890	0.8	-8	13	23.3	0.4	129.5	40	279.7	244
M7	0547890/4269050	ÇOBANİSA OVASI TULUMBA	12.4	7.1	990	0.2	-20	27.9	25.6	3.8	132	59	310.2	229.4
M8	0547853/4270415	ÇOBANİSA OVASI TULUMBA	16.9	7	764	0.1	-11	10.6	20.9	0.5	106.2	39	145.2	229.4
M9	0546416/4271419	OVA(TULUMBA)	16.5	6.7	1554	0.6	+4	29.7	54.5	0.9	239.1	59	567.2	307.4
M10	0545636/4272002	TARIM İŞLETMENİN ALTI	17.9	7.1	1026	0.3	-12	28.1	37.2	2.5	121.5	56	336.4	233.8
M11	052837/4273069	AKPINAR KAYNAK	20.6	7.1	592	0	-21	10.6	16.5	0.2	80.5	24	251.1	185.4

Çalışma alanında alınan soğuk su örneklerinin Ca^{+2} değeri ortalama 145.64 mg/lt, sıcak sularda 78.6 mg/lt' dir.

4.2.2 Magnezyum (Mg^{+2})

Kalsiyumdan sonra yeraltı sularında en fazla rastlanan katyondur. Yeraltı sularına magnezyum iyonu dolomit, evaporit ve magmatik kaya mineralleri etkileşimi sonu açığa çıkan Mg^{+2} karbonatın çözünmesi ile karışır. Magnezyum değeri 1–40 mg/lt arasında değerler alır ve genelde Ca^{+2} miktarından daha azdır. Çok yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sistemlerde Mg^{+2} ikincil alterasyon minerallerinden illit, montmorillonit ve özellikle klorit tarafından soğrulması nedeniyle magnezyum miktarı çok düşük değerlere inebilmektedir (0.1 mg/lt gibi) (Şahinci, 1986). Sıcak sulardaki daha yüksek Mg^{+2} içerikleri ise sıcak suları soğuk sularla karışımından ya da kayaç ile reaksiyonundan kaynaklanmaktadır (Tarcan, 2004).

İnceleme alanında soğuk su örneklerinde Mg^{+2} değeri ortalama 32.3 mg/lt sıcak su örneklerinde 17.6 mg/lt' dir.

4.2.3 Sodyum (Na^{+}) ve Potasyum (K^{+})

Na^{+} yer altı sularında plajioklasların, evaporitik minerallarin ayrışaması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır. Na ve K içerikleri sıcaklığa bağlı olarak gelişen mineral su dengesine bağlıdır. Jeotermal sistemlerde başlıca katyonlardan biridir ve miktarı 200- 2000 mg/lt arasında değişir. Düşük Na/K oranı yüzeye hızlı bir şekilde ulaşan sıcak sularda görülür. Yüksek Na/K oranı ise yatay bir hareketin yüzeye yakın kesimlerdeki reaksiyonların ve kondaktif soğumanın etkisindedir (Şahinci, 1986). Na^{+} ve K^{+} iyonlarının miktarları soğuk ve sıcak suda büyük farklılık göstermektedir.

İnceleme alanındaki soğuk sularda Na^{+} iyonu miktarı ortalama 21.86 mg/lt, K^{+} iyonu miktarı ise 1.62 mg/lt' dir. Sıcak su örneklerinde ise Na^{+} iyonu ortalama 8.9 mg/lt, K^{+} iyonu ise 0.35 mg/lt' dir.

4.2.4 Klorür (Cl^-)

Klorür doğada genel olarak sodyum klorür, potasyum klorür ve kalsiyum klorür şeklinde bulunur. Yeraltı sularındaki klorür deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar suyundan ya da atmosferden gelebilir. Yeraltı sularına en fazla klorür deniz suyundan gelmektedir. Sulardaki klorür iyonu, hidrolojik çevrim sırasında iyi korunabilen iyonlardandır. Bu nedenle iyi bir izleyici olarak bilinir.

İnceleme alanındaki soğuk su örneklerinde 50.6 mg/l, sıcak su örneklerinde ortalama 19.31 mg/l,' dir.

4.2.5 Sülfat ($SO_4^{=}$)

Yeraltı sulardaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritlerden ileri gelmektedir. İçme sularındaki sülfat miktarı 25–250 mg/l arasındadır. Jeotermal sularda sülfat içerikleri genelde düşük olup 50 mg/l arasındadır. Hidrojen sülfürün oksidasyonu sonucunda artış gözlenebilmektedir (Tarcan, 2004).

İnceleme alanındaki soğuk su örneklerinde ortalama sülfat iyonu 327.7 mg/l, sıcak su örneklerinde 181.7 mg/l' dir.

4.2.6 Bikorbonat (HCO^{-3})

Yeraltı sularındaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kayaçların erimesinden oluşmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Doğal sulardaki bikarbonat miktarı suyun pH ve CO_2 değerine bağlıdır. pH değerinin 6–10 arasında olması durumunda bikarbonat baskın iyon olup daha düşük pH değerlerine karbonik asit (H_2CO_3) egemen iyondur. Daha yüksek pH değerlerinde ise karbonat baskın olarak gözlenir.

İnceleme alanındaki soğuk su örneklerinde ortalama sülfat iyonu 248.8 mg/l, sıcak su örneklerinde 198.0 mg/l' dir.

4.3 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş İkincil ve Üçüncül İyonlar

İnceleme alanında eser element tayinine yönelik kimyasal analizlerde suların Al, Fe, Sr, Zn, Li, Ni Mn, Cd, Co, Pb, Al ve Si içerikleri saptanmıştır. Tablo 4.3' de inceleme alnındaki sıcak ve soğuk yeraltı sularına ait eser element değerleri verilmiştir. Başlıca iyonlarda olduğu gibi ikincil iyonlar da suların kökeni, hidrojeokimyasal evrimleri ve kullanılabilirlikleri hakkında bilgi vermektir. TS 266 (1997)' ye göre yeraltı suları için belirlenen özellikler Tablo 4.2' de sunulmuştur.

Tablo 4.2 TS 266 (1997) standartları

İçme Suyu Standardı			
		Müsaade değeri	**Max. Değer**
1. Zehirli Maddeler	Kurşun (Pb)	-	0.05 mg/lt
	Selenyum (Se)	-	0.01 mg/lt
	Arsenik (As)	-	0.05 mg/lt
	Krom (Cr)	-	0.05 mg/lt
	Siyanür (Cn)	-	0.2 mg/lt
	Kadminyum (Cd)	-	0.02 mg/lt
2. Sağlığa Etki Yapan Maddeler	Florür	1.0 mg/l	1.5 mg/lt
	Nitrat	-	45 mg/lt
3. İçilebilme Özelliğine Etki Yapan Maddeler	Renk	5 birim	50 birim
	Bulanıklık	6 birim	25 birim
	Koku ve tad	kokusuz	kokusuz
	Buharlaşma	normal	normal
	Kalıntısı	500 mg/lt	1500 mg/lt
	Demir (Fe)	0.3 mg/lt	1.0 mg/lt
	Mangan (Mn)	0.1 mg/lt	0.5 mg/lt
	Bakır (Cu)	1.0 mg/lt	1.5 mg/lt
	Çinko (Zn)	5.0 mg/lt	15.0 mg/lt
	Kalsiyum (Ca)	75 mg/lt	200 mg/lt
	Magnezyum (Mg)	50 mg/lt	150 mg/lt
	Sülfat (SO4)	200 mg/lt	400 mg/lt
	Klorür (Cl)	200 mg/lt	600 mg/lt
	pH	7.0-8.5	6.5-9.2
	Bakiye Klor	0.1 mg/lt	0.5 mg/lt
	Fenolik Maddeler	-	0.002 mg/lt
	Alkali Benzil	0.5 mg/lt	-
	Süfonat	500 mg/lt	1000 mg/lt
4. Kirlenmeyi Belirten Maddeler	Toplam organik madde	3.5 mg/lt	-

4.3.1 Alüminyum (Al)

Yeraltı sularında doğal süzülme nedeniyle, alüminyum oldukça azdır. Alüminyum, yerkabuğunda önemli miktarda bulunmasına karşın (%8.6), az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. pH=5–9 arasında alüminyum, sularda 1 ppm'den azdır. Genellikle yeraltı sularında 0.005–0.3 ppm arasında alüminyum izlenir, asit sularda bu değer 100 ppm'e erişebilir. Alüminyum suda bulunuşu, özellikle suyun kökenine ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi açısından önemlidir (Şahinci, 1986).

İnceleme alanından alınan soğuk ve soğuk sularda alüminyum miktarı <0.001' den düşük değerlere sahiptir. Ancak M6 ve M9 örneklerinde bu değer 2.88–2.99 mg/l arasındadır. TS 266 standartlarına göre, suda bulunacak alüminyum iyonu değerinin 0.05–0.2 mg/l arasında olması istenmektedir.

İnceleme alnındaki sular alüminyum iyonu bakımından içme ve kullanma suları standardı içerisine girmektedir. Ancak M6 ve M9 numaralı örnekler bu standart değerler dışında kalmaktadır (TS 266, 1997).

4.3.2 Çinko (Zn)

Magmatik kayalarda 710 ppm dolayında olup daha çok ultrabazik ve bazik kayaçlar da bulunur. İçme sularında çinko değerinin 0.1–5 mg/l dolayında olması istenir (TS 266, 1997).

İnceleme alanında alınan sular üzerinde yapılan kimyasal analizlerde çinko değerleri istenilen standart değerler arasında yer almaktadır.

4.3.3 Demir (Fe)

Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlardaki birçok minarelde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir elementtir. Demir, oluşturduğu acımsı tatlı burucu tat

Tablo 4.1 Çalışma alanından alınan suların kimyasal analiz sonuçları (Anyonlar ve Katyonlar: mg/lt, EC:µmho/cm)

Örnek No	Koordinat	Mevkii	T ^{0}C	pH	EC	Tuzluluk	EH MV	Na^+	Mg^+	K^+	Ca^{+2}	Cl^-	$SO^=_4$	HCO^-_3
M1	0543737/4272609	AKPINAR 2 NOLUKUYU	22.5	7	611	0	-9	9.3	18.5	0.3	75.2	15.4	132.8	192.8
M2	0543630/4272626	AKPINAR 6 NOLU KUYU	17.9	7.2	465	0	-23	7.6	16.1	0.1	63.9	15.4	116.4	173.5
M3	0546675/4270570	ILICA 1 NOLU KUYU	25.2	6.9	655	0.1	-6	8.8	18.2	0.5	76.6	16.1	117.8	219.6
M4	0546880/4270355	ILICA 6 NOLU KUYU	25.5	6.9	667	0.1	-6	7.2	18.4	0.5	91.7	20	249	209.8
M5	0546574/4270637	ILICA 8 NOLU KUYU	26.5	7.1	641	0.1	-20	9.9	18.1	0.5	83.9	25	228.4	207.4
M6	0548068/4270107	ÇOBANİSA OVASI TULUMBA	16.3	6.9	890	0.8	-8	13	23.3	0.4	129.5	40	279.7	244
M7	0547890/4269050	ÇOBANİSA OVASI TULUMBA	12.4	7.1	990	0.2	-20	27.9	25.6	3.8	132	59	310.2	229.4
M8	0547853/4270415	ÇOBANİSA OVASI TULUMBA	16.9	7	764	0.1	-11	10.6	20.9	0.5	106.2	39	145.2	229.4
M9	0546416/4271419	OVA(TULUMBA)	16.5	6.7	1554	0.6	+4	29.7	54.5	0.9	239.1	59	567.2	307.4
M10	0545636/4272002	TARIM İŞLETMENİN ALTI	17.9	7.1	1026	0.3	-12	28.1	37.2	2.5	121.5	56	336.4	233.8
M11	052837/4273069	AKPINAR KAYNAK	20.6	7.1	592	0	-21	10.6	16.5	0.2	80.5	24	251.1	185.4

nedeniyle içme sularında tepkiyle karşılaşılan bir elementtir. TS 266' ın önerdiği limit değer 0.3 mg/l, izin verilebilen maksimum miktar ise 1 mg/l' dir.

İnceleme alanından alınan sular üzerinde yapılan kimyasal analizlerde M6 ve M7 numaralı örneklerde bu iyonun değeri 1.378–1.557 mg/l' dir. Geri kalan diğer örnekler ise limit değer ve izin verilebilen maksimum değerlere kadardır (TS 266, 1997).

4.3.4 Kurşun (Pb)

Metamorfik ve magmatik kayaçlarda bulunan kurşun sulardaki konsantrasyonu kayaçlardan, topraktan ve insan aktivitelerinden geçmektedir. Kurşun içme sularında istenmeyen bir element olup sudaki kontrasyonu 0.05 mg/l değerlerini geçmemelidir.

İnceleme alanından alınan örneklerde yapılan analizlerde M2, M4 ve M7 örnekleri sınır değerin altında bulunmaktadır. Diğer örneklerde ise sonuçlar sınır değerin üzerindedir (TS 266, 1997).

4.4 Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sıcak ve soğuk su kaynaklarından su örnekleri alınmıştır. Örneklenen yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçları kullanılarak suların sınıflanması, doygunluk değerleri ve kullanılabilirlikleri belirlenmiştir.

Suların fasiyes tiplerini belirleyebilmek için AIH (Uluslar arası Hidrojeologlar Birliği)' nin sınıflaması kullanılmıştır. Bu sınıflamaya göre suda çözünmüş başlıca iyonların, katyon ve anyonların ayrı ayrı olmak üzere mek/l değerleri alınmış, mek/l değerleri %20' den fazla çözünmüş bulunan iyonlar başta katyonlar, daha sonra anyonlar olmak üzere en fazladan en aza doğru sıralanmış ve suların fasiyes tipleri belirlenmiştir.

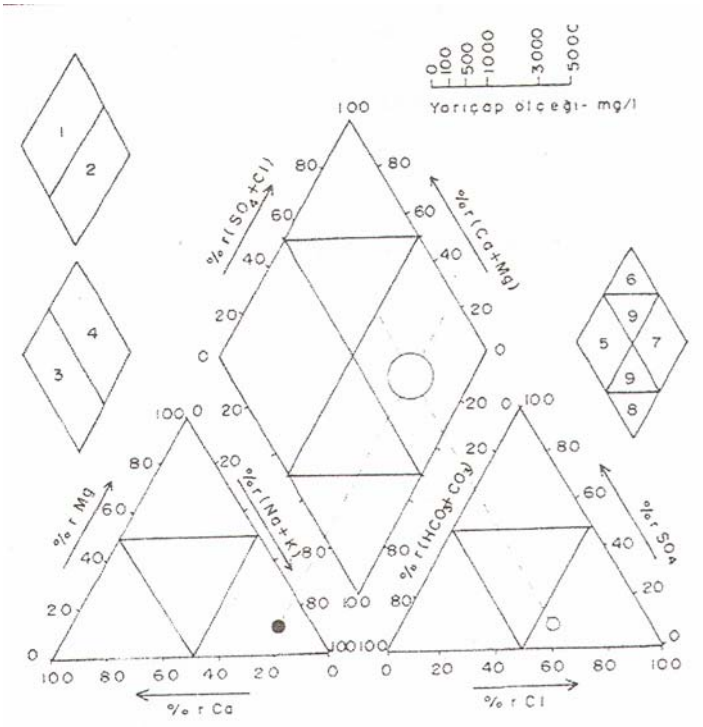
Ayrıca alınan su örneklerinin analiz sonuçları Piper, Schoeller gibi diyagramlara aktarılarak suların birbirleri ile karşılaştırılmasına olanak kılınmıştır.

4.4.1 Piper Sınıflaması

Piper Üçgen Diyagram sınıflamasına göre; yan yana bulunan eşkenar katyon ve anyon üçgenine, iyonların litrede %mak/l değerleri işaretlendikten sonra, bulunan bu noktalar iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgene taşınarak suyun sınıfı belirlenir (Şekil 4.1).

Eşkenar dörtgende suyu temsil eden noktanın bulunduğu bölge suyun ana karakterini gösterir. Bütün su örnekleri için noktalar işaretlendiğinde, aynı kökenli sular yaklaşık aynı bölgeye toplanır. Böylece üçgen diyagramlar suların tiplerini belirlemeye ve suları gruplandırmaya yardımcı olurlar (Canik, 1998). Piper diyagramları suların besleme ve boşalma alanları boyunca jeokimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimleri göstermek içinde kullanılmaktadır (Filiz vd., 1997) İnceleme alanındaki sular büyük çoğunluğu 5 ve 6 numaralı bölgelerde toplanmaktadır (Şekil 4.1 ve 4.2). Bu bölgeye göre sular; Ca-Mg-HCO_3' lü sulardır.

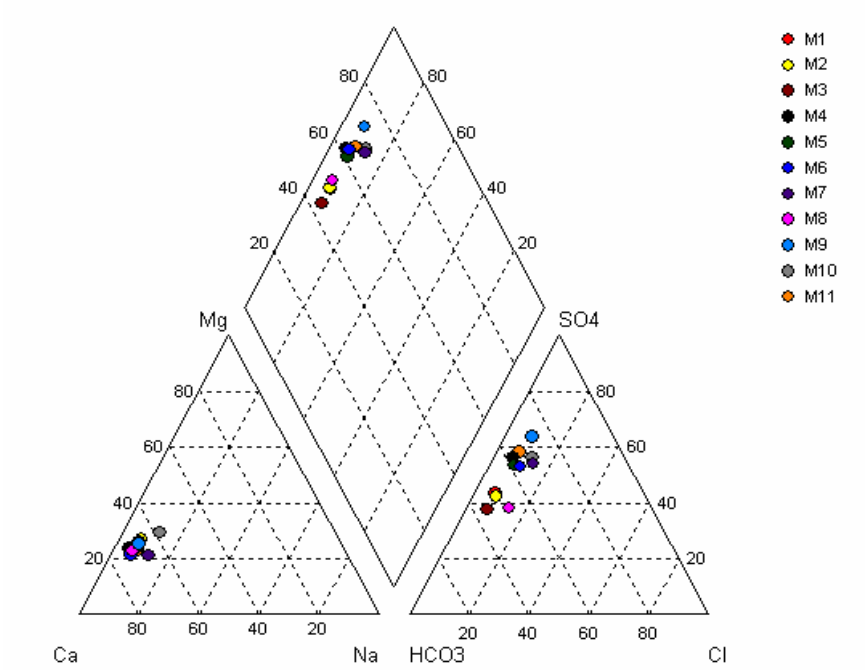
Eşkenar dörtgendeki numaralanmış bölgelerin hangi anlama geldikleri aşağıdaki diyagramda açıklanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Piper üçgen diyagramı (Şahinci, 1986)

Bölgelere düşen suların yorumu:

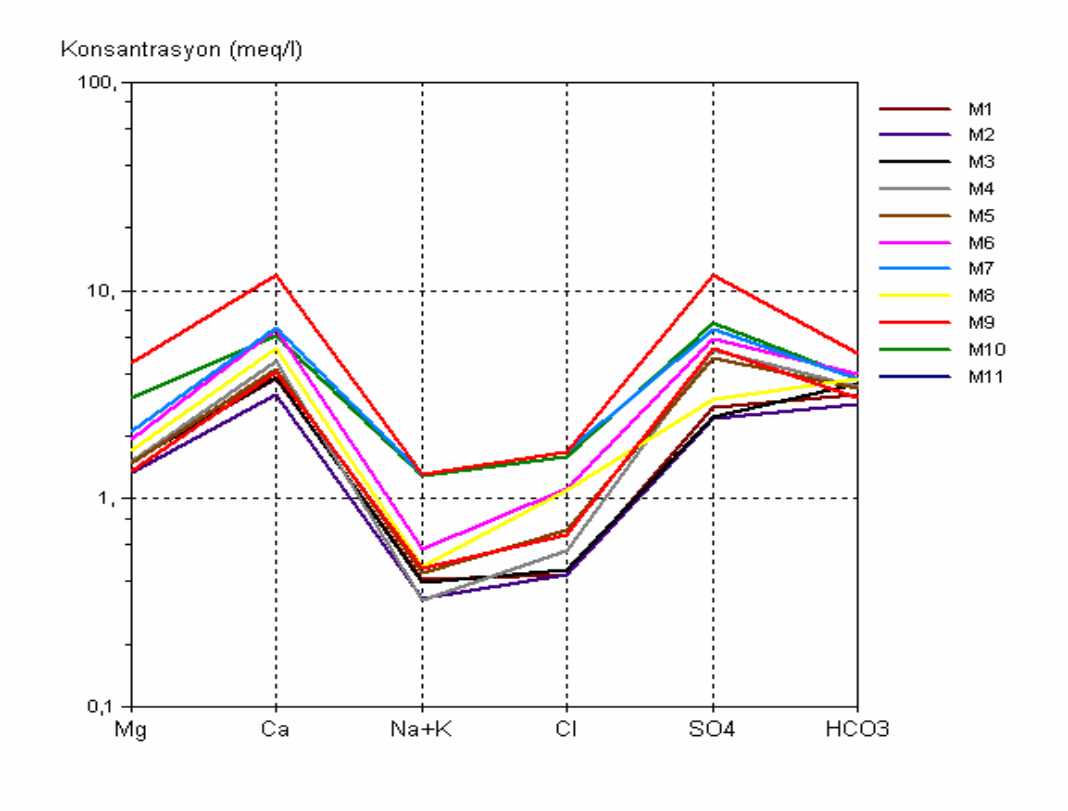
1. Bölge, Ca+Mg > Na+K →→→Karbonatlı ve sülfatlı sular
2. Bölge, Na+K > Ca+Mg →→→ Tuzlu ve sodalı sular
3. Bölge, $HCO_3+CO_3 > Cl+SO_4$→→→Zayıf asit kökleri>güçlü asit kökleri
4. Bölge, $Cl+SO_4 > HCO_3+CO_3$'lı sular
5. Bölge, karbonat sertliği > karbonat olmayan sertlik, Bu sular $CaCO_3$ ve $MgCO_3$' lü sulardır. Karbonat sertliği %50' den fazla olan sular,
6. Bölge, karbonat olmayan sertlik > karbonat sertliği, Bu tip sular $CaSO_4$ ve $MgSO_4$' lü sulardır. Karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sular
7. Bölge, karbonat olmayan alkalite > karbonat alkalitesi. NaCl, $NaSO_4$ ve KCl' li sulardır. Karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sular. Alkaliler ve güçlü asitler egemendir.
8. Bölge, karbonat alkaliliği > karbonat olmayan alkalilik, doğada az rastlanılan aşırı yumuşak sular,
9. Bölge, iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sulardır.



Şekil 4.2 İnceleme alanındaki su noktalarının piper üçgen diyagramındaki görünümü

4.4.2 Yarı Logaritmik Scoholler Diyagramı

Yarı Logaritmik Scoholler Diyagramında yatay eksene belirli aralıklar ile soldan sağa doğru ve iyonların sırası değiştirilmeden rMg, rCa, rNA, rK, rCl, rSO_4, $rHCO_3$ değerleri sıralanır. Düşey eksen logaritmik ölçeklidir. Diyagram üzerinde her iyonun mek/l değeri, kendine ait logaritmik eksende işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir. Böylece su örneği, diyagram üzerinde kırık çizgilerle temsil edilir ve bu şekilde birçok su örneği bir arada gösterilebilinir. Yarı logaritmik diyagrama çizilen su analizlerinde, kırık çizgileri birbirine paralel sular, aynı tür formasyondan gelen sulardır (Canik, 1998). Şekil 4.2' de suların Scoholler' e göre durumları görülmektedir.



Şekil 4.3 Su noktalarının Yarı Logaritmik Scoholler Diyagramındaki görünümü

4.4.3 Suların Sertliği

Sertlik, su içinde çözülmüş halde bulunan Ca^{++} ve Mg^{++} bileşiklerinden ileri gelen bir özelliktir. Bu bileşiklerin çoğu Ca^{++} ve Mg^{++} iyonlarının oluşturduğu bikarbontlar, sülfatlar, klorürler ve nitratlardır (Tarcan, 2004)

Karbonat sertliği; kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) karbonat ile bikarbonatlardan ileri gelmektedir. Karbonat sertliği, suların kaynatılmasıyla giderilebilir. Kalsiyum ve magnezyum sülfat klorür ve nitrattan ileri gelen karbonat olmayan sertlik ise böyle bir işlem ile giderilemez. Karbonat ve karbonat olmayan ileri gelen sertliğe toplam sertlik denir.

Türkiye' de Fransız Sertlik derecesi kullanılmaktadır. 1 lt suda, 10 mg Ca ve Mg-bikarbonat veya buna eşit miktarda diğer sertlik verici iyonların bulunması halinde o suyun sertliği, 1 Fransız Derecesi (1^0 Fr.) olarak tanımlanır.

Tablo 4.4 Fransız sertlik sınıflaması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973)

Fransız Sertliği	**Suyun Sınıfı**
0–10	Memba Suyu
11–22	Tatlı su
23–32	Sert su
33–54	Çok sert su
>54	Çok fazla sert su

Tablo 4.5 Çalışma alanında alınan suların Fransız Sertliklerine göre sınıflanması

Örnek No	Fransız Sertlik Derecesi	Örnek Suyun Sınıfı
M1	26,37	Sert su
M2	22,57	Sert su
M3	26,59	Sert su
M4	30,45	Sert su
M5	28,38	Sert su
M6	41,89	Çok Sert su
M7	43,46	Çok Sert su
M8	35,09	Çok Sert su
M9	82,07	Çok sert su
M10	45,61	Sert su
M11	26,87	Oldukça sert su

Suların toplam sertliğini hesaplamak için aşağıdaki bağıntı bulunabilinir (Tarcan, 2004):

Toplam sertlik= 5x (rCa+rMg) (r:mek/lt)

Bu değer Fransız sertliği derecesini vermektedir. (Tablo 4.3, 4.4)

4.4.4 Hidrojen İyon Kontrasyonu (pH)

Su içindeki hidrojen iyon aktifliğinin, 10 tabanına göre negatif logaritması, "pH" değeri olarak tanımlanırlar. pH=7 olan sular, nötr olarak bilinir. Bunlarda H^+ ve OH^- iyonları denge halindedir. Bu tür suların asit ve alkali reaksiyonları yoktur. H^+ iyonu konsantrasyonunun artması ile pH, 7' den küçük değerler alır ve su asidik karakter kazanır. OH^- iyonu konsantrasyonunun artması ile pH, 7'den büyük değerler alır ve su bazik karakter kazanır. pH değerleri, 0–14 arasında değişir.

Genelde yer altı sularının pH'ı 4-9 aralığındadır. Bu pH değeri çözünmüş CO_2 ve diğer CO_3 +HCO_3 bileşikleri arasındaki dengeye bağlı olarak değişmektedir. Bu denge de basınç ve sıcaklığa bağlıdır (Tarcan, 2004).

İnceleme alanından alınan su örneklerinin pH' ı 6.7 – 7.2 arasında değişmektedir (Tablo 4.1).

4.4.5 Elektriksel İletkenlik (EC)

Genel olarak bütün sular elektriği iletirler. İyon konsantrasyonları ile doğru orantılı olarak bu iletkenlik artar. Özgül elektriksel iletkenliğin ölçüsü olarak µS/cm kullanılır. Bu birim, +25 ^{0}C'de 1 cm^3 suyun iletkenliğidir. Saf su elektriği çok az geçirdiğinden iyi bir yalıtkandır. Suların elektriksel iletkenliğine göre sınıflaması Tablo 4.5' de verilmiştir.

Tablo 4.6 Elektriksel iletkenlik sınıflaması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

EC (25 ^{0}C' de μS/cm**)**	**Suyun Sınıfı**
< 250	Çok iyi
250 – 750	İyi
750 – 2000	Kullanılabilinir
2000 – 3000	Şüpheli
> 3000	Kullanılamaz

Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği geçirme özelliğidir ve elektriksel direncin karşıtıdır. Su örneklerinde, suda çözünmüş toplam iyon miktarını hızlı bir şekilde tayin etmek için elektriksel iletkenliğe bakılır. Genelde iletkenlik 50,000 μS/cm' ye kadar sudaki iyon konsantrasyonu ile orantılı olup su içindeki çözünmüş madde miktarı fazla ise EC değerleri de artar. İnceleme alanındaki örneklerin EC sınıflaması Tablo 4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.7 Çalışma alanından alınan suların Elektriksel İletkenliğine göre sınıflanması

Örnek No	**Elektriksel İletkenlik (μmho/cm)**	**Suyun Sınıfı**
M1	611	İyi
M2	465	İyi
M3	655	İyi
M4	667	İyi
M5	641	İyi
M6	890	Kullanılabilinir
M7	990	Kullanılabilinir
M8	764	Kullanılabilinir
M9	1554	Kullanılabilinir
M10	1026	Kullanılabilinir
M11	592	İyi

4.5 Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri

İnceleme alanındaki yeraltı sularının içme kullanıma uygunluğu EC, SAR, Sodyum yüzdesi, Çözünmüş madde miktarı ve bazı diyagramlar yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

4.5.1 Sodyum Tehlikesi (Sodyum Absorbsiyon Oranı)

Sulama sularında sodyum miktarı önemli bir yer tutar. Toprağın yapısını bozarak, geçirgenliğini azaltan ve sulamadan sonra zeminin üst seviyelerinde soğrulan sodyum, toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuğun oluşmasına neden olur ve bitki

Tablo 4.8 %SAR miktarına göre sınıflama (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

Suyun Niteliği	**SAR (%)**
Çok İyi Özellikte Sulama Suları	< 10
İyi Özellikte Sulama Suları	10- 18
Orta Özellikte Sulama Suları	18- 26
Fena Özellikte Sulama Suları	26 >

Tablo 4.9 Çalışma alanından alınan suların %SAR miktarına göre sınıflanması

Örnek	**% SAR**	**Suyun Sınıfı**
M1	0,25	Çok iyi özellikte sulama suyu
M2	0,22	Çok iyi özellikte sulama suyu
M3	0,23	Çok iyi özellikte sulama suyu
M4	0,18	Çok iyi özellikte sulama suyu
M5	0,26	Çok iyi özellikte sulama suyu
M6	0,28	Çok iyi özellikte sulama suyu
M7	0,58	Çok iyi özellikte sulama suyu
M8	0,25	Çok iyi özellikte sulama suyu
M9	0,45	Çok iyi özellikte sulama suyu
M10	0,57	Çok iyi özellikte sulama suyu
M11	0,28	Çok iyi özellikte sulama suyu

köklerinin havalanması engellenir. Ayrıca, sodyum, bitkiler için zehirli bir ortam yaratır. Cinsine bakılmaksızın, sodyumca doygun topraklarda bitkiler çok az gelişir veya gelişmezler. Sudaki sodyum miktarı % olarak söyle bulunur.

$$\% Na = 100 (Na + K) / (Ca + Mg + K + Na)$$

Yukarıdaki bağıntının yerine daha kullanışlı olan eşitlik;
Sodyum Adsorption Ratio (SAR) = Na / [(Ca + Mg) / 2]1/2 şeklindedir.
Bağıntılarda iyonlar mek/l alınır. SAR' a göre sulama suları, sınıflanır.

4.5.2 Wilcox Diyagramı

Wilcox Diyagramında, düşey eksene %Na miktarı, yatay eksene elektriksel iletkenlik (EC) gösterilmiştir. Suyun kimyasal tahlillerinde %Na hesaplanarak düşey eksen üzerinde işaretlenir ve bu noktadan yatay eksen üzerine bir parelel çizilir. Verilen elektriksel iletkenlik yatay eksende bulunarak, bu noktadan yatay eksene bir dik çıkılır ve %Na'dan çizilen paraleli kestiği nokta, suyun özelliğini verir (Şekil 4.4) (Şahinci, 1986).

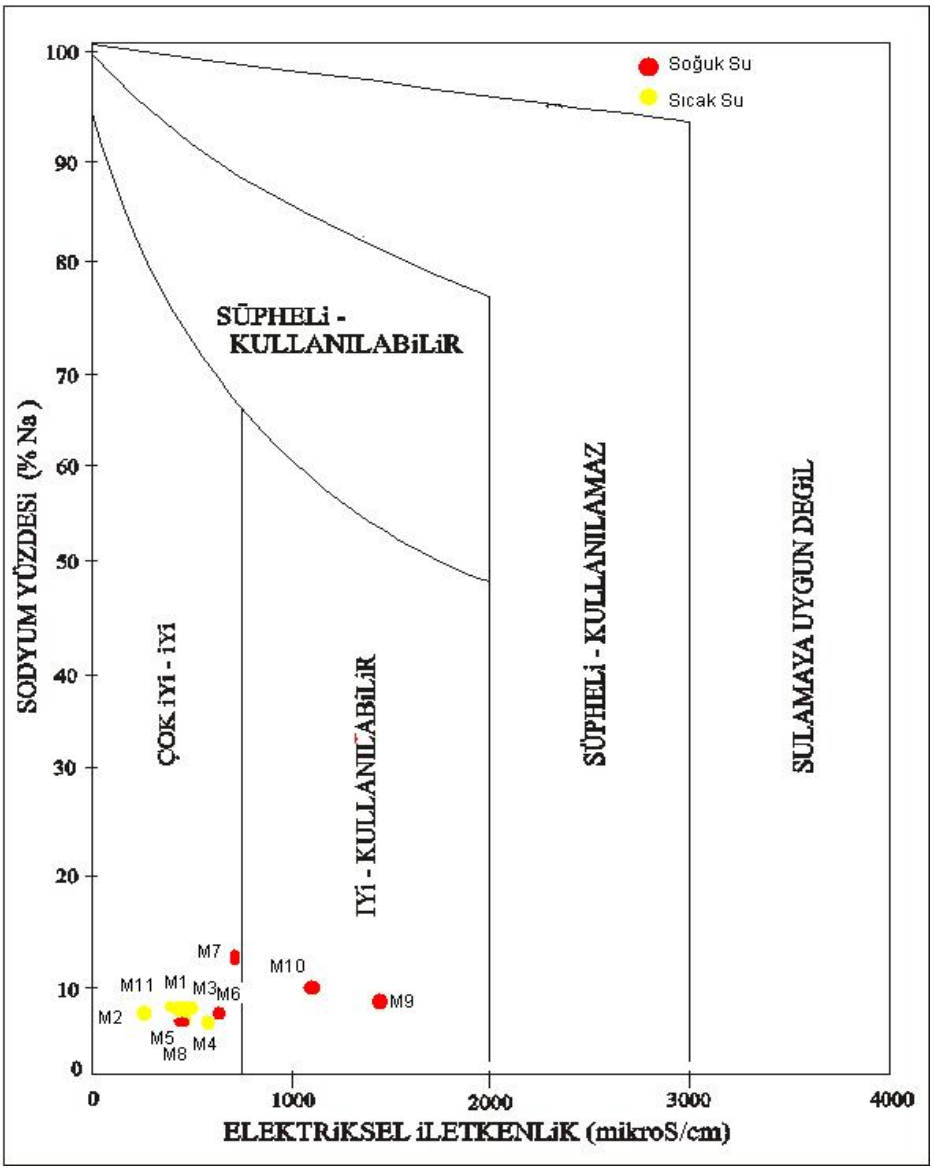
4.5.3 ABD Tuzluluk Laboratuarı Diyagramı

ABD Tuzluluk Diyagramı, Wilcox Diyagramından bazı değişiklikler yapılarak hazırlanmış ve sulama suları 16 sınıfa ayrılmıştır. Düşey eksende SAR değeri, yatay eksende elektriksel iletkenlik (EC) değeri bulur. Suyun sınıfının saptanması Wilcox Diyagramında olduğu gibidir (Şekil 4.5) (Şahinci, 1986).

C1 (Az tuzlu sular/EC 250 µS/cm' den az):Her toprak, tüm bitkilerin sulanmasında uygundur.

C2 (orta tuzlu sular/EC 250–750 µS/cm arası): orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.

C3 (tuzlu sular/EC 750–2250 µS/cm arası): akaçlama kötü olan arazilerde sulamada kullanılmaz. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekir. Bu su kullanılacaksa tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir.



Şekil 4.4 İnceleme alanındaki su noktalarının Wilcox diyagramında gösterimi

C4 (çok tuzlu sular/EC 2250 µS/cm'den fazla): geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi olan topraklarda, zemin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir ve tuza dayanıklı bitki türleri seçilmelidir.

S1 (Az Sodyumlu Sular): Her toprakta, tüm bitkilerin sulanmasında sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir.

S2 (Orta Sodyumlu Sular): geçirgen veya jibsli arazilerde kullanılabilir. Yıkama ile toprağın tuzluluğu azaltılıyorsa, özellikle bu tip sular kullanılmalıdır.

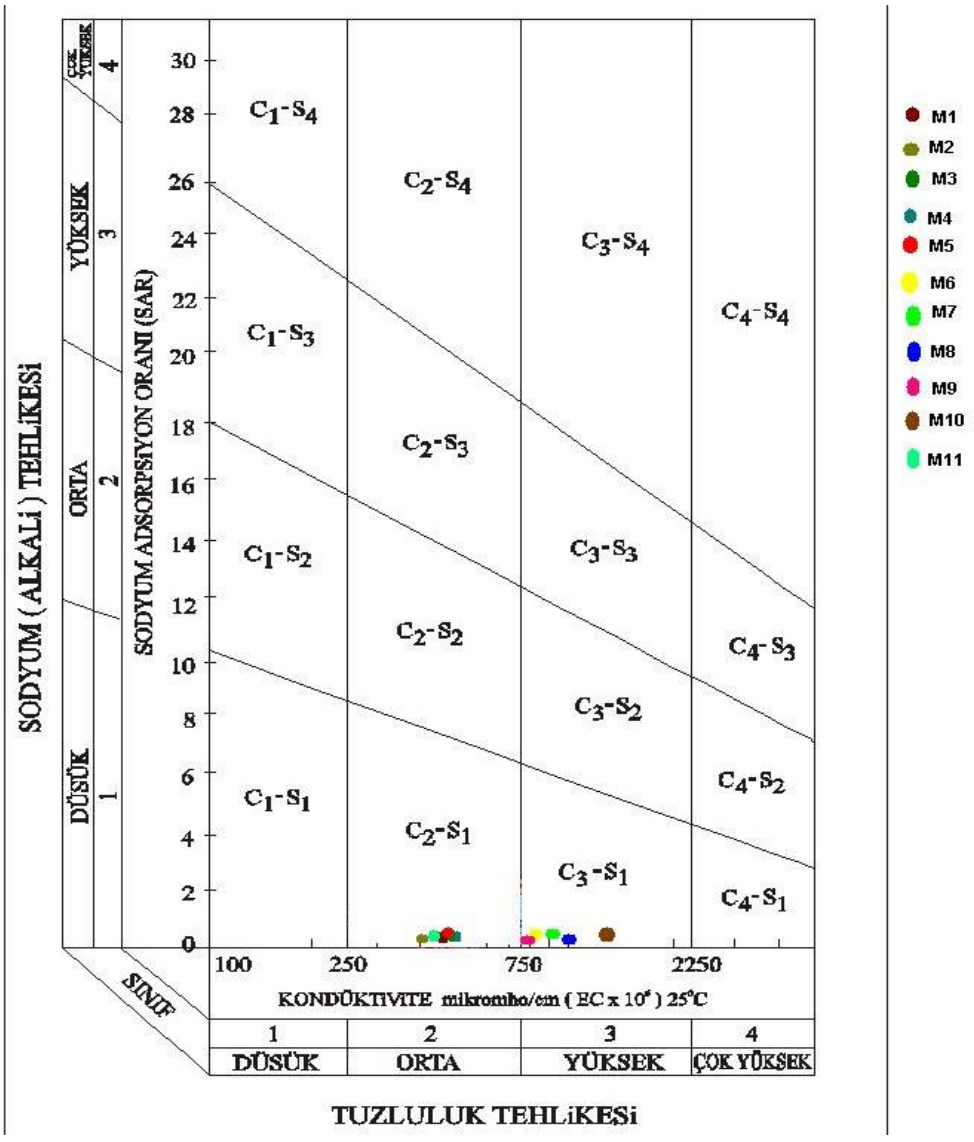
S3 (Yüksek Sodyumlu Sular): birçok toprak cinsinde sodyum tehlikesi olabilir.

S4 (Çok Yüksek Sodyumlu Sular): genel olarak sulama suyu için uygun değildir. Ancak suyun toplam tuz miktarı düşük ise sulamada kullanılabilinir.

İnceleme alanındaki örneklerde ABD Tuzluluk Laboratuarı diyagramına göre değerlendirildiğinde;

Sıcak sular; C2 (orta tuzlu sular/EC 250–750 µS/cm arası, S1 (Az Sodyumlu Sular)

Soğuk sular; C3 (tuzlu sular/EC 750–2250 µS/cm arası), S1 (Az Sodyumlu Sular) sular sınıfına girmektedir.



Şekil 4.5 İnceleme alanındaki su noktalarının ABD tuzluluk laboratuarı diyagramındaki gösterimi

4.6 İnceleme Alanındaki Suların Doygunluk İndeksleri

Suların üretimi ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir. Bu nedenle özellikle sıcak ve mineralli suların kabuklaşma ve korozyon özelliklerinin tahmini ekonomik önem taşımaktadır. Bu çalışmada Watch1.2 (Arnnorson, 1983) bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu değerlendirmede M1, M2, M3, M4, M5 ve M11 örnekleri üzerinde yapılmıştır.

Suların mineral doygunlukları su içindeki iyonların ve minerallerin Gibbs serbest enerjileri (ΔGo) ile iyon etkinliklerinin bilinmesi ile ilişkilidir. Su içindeki kimyasal bir tepkimenin Gibbs serbest enerjisi (ΔGo) ile tepkimedeki iyon veya bileşiklerin derişimleri arasındaki ilişki aşağıdaki global denklemle yazılabilir (Tarcan, 2004).

$$\Delta Go = - RT \ln K \qquad (1)$$

Bağıntıdaki; R, gazların sabiti (0,001987 kcal/mol), T, sıcaklık derecesi (Kelvin), ln doğal logaritma ve K, tepkimenin denge sabitidir.

Yukarıdaki bağıntı hidrojeokimyada oldukça önemli bir yer tutar. Çünkü kimyasal tepkimelerin serbest enerjileri bilinirse kimyasal denge sabitleri, çözünmüş iyonların çökelebilme özellikleri, iyon değişimi ve kimyasal bozunum şekilleri önceden tahmin edilebilir. Standart koşullarda kimyasal tepkimelerin standart serbest enerji değişim miktarları tepkime sonu ortaya çıkan maddelerin serbest enerjileri toplamları (ΣΔGots), ile tepkime başlangıcındaki maddelerin toplam serbest enerjileri (ΣΔGotb) farkına eşittir (Tarcan, 2004).

$$\Delta Go = \Sigma \Delta Go\ ts - \Sigma \Delta Gotb \qquad (2)$$

Standart koşullarda herhangi bir kimyasal tepkime şu şekildedir.

$$bB + cC = yY + zZ \qquad (3)$$

Denge sabiti ile tepkime bileşenlerinin derişimleri arasındaki ilişki (3) tepkimeye giren maddelerin iyon etkinlikleri toplamının tepkimeden çıkan maddelerin iyon etkinlikleri tepkimesi dikkate alındığında aşağıdaki şekilde gelişir.

$$\mathbf{K = (aY)y\ (aZ)z\ /\ (aB)b\ (aC)c} \qquad \mathbf{(4)}$$

Denklemde a ilgili iyonun etkinliğini (etkin derişimini) tanımlar ve

$$\mathbf{a = \gamma\ C} \qquad \mathbf{(5)}$$

ile tanımlanır; Bu denklemde de γ iyon etkinlik katsayısını, C ise molalite olarak iyon derişimini belirtir.

(4) no'lu denklem (1) no'lu denklemde yerine konulduğunda

ΔGo = – RT ln [(aY)y (aZ)z / (aB)b (aC)c], denklemde ilgili parametreler (standart koşullarda) yerine konur ve ondalık logaritmaya çevrilirse;

$$\mathbf{\log K = -\ \Delta Go\ /1{,}3641)} \qquad \mathbf{(6)}$$

$$\mathbf{\log [(aY)y\ (aZ)z\ /\ (aB)b\ (aC)c] = -\ \Delta Go\ /1{,}3641.....(7)}$$

denklemi elde edilir. Bu denklemde tepkimeye giren ve çıkan maddelerin dengede olması durumunda eşitliğin her iki yanı birbirine eşittir. Denge durumunun değişmesi ile eşitlik bozularak, tepkimeye girenler veya çıkanlar yönünde değişecektir. Bu yönün tahmin edilmesi mineral doygunluğu hesaplamalarının temelini oluşturmaktadır (Tarcan, 2004).

Buradan yola çıkılarak doygunluk indeksi (Dİ) (saturation index = SI) kavramı geliştirilmiştir.

$$\mathbf{Dİ = \log [(aY)y\ (aZ)z\ /\ (aB)b\ (aC)c]\ /\ (-\ \Delta Go\ /1{,}3641) = \log (Q/K)} \qquad \mathbf{(8)}$$

Yukarıdaki tepkimede büyük parantez içindeki ifade tepkime oranını (Q) belirtir. Tepkime denge sabitine benzer, farkı tepkimenin dengede olmayabilirliğidir.

Tepkimedeki (3 eşitliğindeki) mineral (katı faz) bileşik olarak yazıldığında (bütün katıların iyon etkinlikleri 1 kabul edilir) denge sabiti K =(aY)y (aZ)z (tepkimeden çıkan maddelerin iyon etkinlikleri toplamı =IAP) olacağından (8) no' lu denklem de şu şekilde gelişecektir.

$$\mathbf{Dİ=log\ [(aY)y(aZ)z]/(-\Delta Go/1{,}3641)=log(IAP/K)} \quad \mathbf{(9)}$$

Özetle, Dİ (SI) log (Q/K) veya log (IAP/K) şeklinde de gösterilebilen logaritmik bir kavramdan oluşur. Her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişen değerler içerir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır.

Dİ(logQ/K)=0 ise Su ilgili mineral ile dengededir (doygundur)

Dİ(logQ/K)>0 ise Su ilgili mineralle aşırı doygundur (mineral çökeltici özelliktedir)

Dİ(logQ/K)<0ise Su ilgili mineralle doygun değildir (minerali çözündürücü özelliktedir).

Tablo 4.10 İnceleme alanındaki sıcak sularda rastlanabilecek bazı minerallerin Watch 2.1 programındaki kuvars jeotermometresine göre hesaplanan doygunluk indeksleri (SI_c)

Örnek	Anhidrit	Krisotil	Kalsit	Vollastonit	Amorf Silis	Kalsedon	Kuvars	Talk
M1	-5.988	24.291	-9.209	7.209	-3.834	-3.834	-3.834	16.622
M2	-6.056	24.220	-9.011	7.121	-4.023	-4.023	-4.023	16.173
M3	-6.029	22.132	-10.537	6.413	-4.146	-4.146	-4.146	13.841
M4	-5.709	21.954	-9.162	6.441	-4.139	-4.139	-4.139	13.677
M5	-5.777	23.182	-8.943	6.828	-4.108	-4.108	-4.108	14.966
M11	-5.745	23.062	-9.035	6.775	-4.202	-4.202	-4.202	14.658

Kuvars jeotermometresine göre hesaplanan doygunluk indeksleri;

Krisotil, vollastonit, talk mineralleri tüm sıcak sularda doygunluk üstü (çökeltici özellikte) değer vermektedir. Anhidrit, kalsit, amorf silis, kalsedon ve kuvars mineralleri ise tüm sıcak sularda doygunluk altı (çözündürücü özellikte) değer vermektedir.

BÖLÜM BEŞ
JEOTERMAL ENERJİ

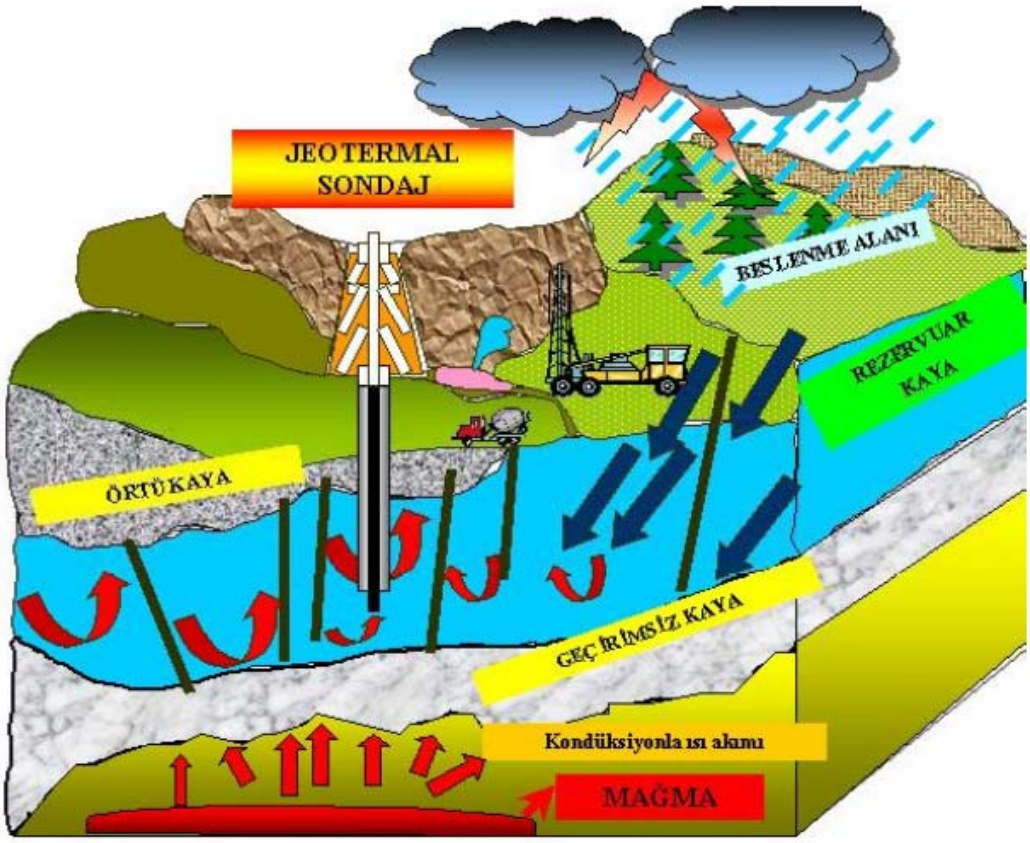
5.1 Giriş

Dünyada yenilebilen enerji kaynaklarından jeotermal enerjinin elektrik üretimi ve merkezi ısıtmada kullanıldığı düşünülürse, günümüzde yıllık 77 milyon varillik petrole eşdeğer tasarruf sağlar. Bu bağlamda Türkiye, enerji kaynaklarını en ekonomik ve maksimum yararlanmayı sağlayacak biçimde değerlendirmek ve alternatif enerji kaynaklarını kullanmak zorundadır. Ancak ülkemiz çeşitli enerji kaynağına sahip olmakla birlikte mevcut enerji kaynakları tüketimi karşılayamamakta üretim/tüketim dengesi giderek olumsuz yönde bozulmaktadır. Öz kaynaklarımızın, gerekse ülke dışından sağlanan fosil enerji kaynaklarının gelecekte tüketeceği göz önüne alındığında bu enerji kaynakları yanında alternatif enerji kaynaklarını da kullanmak, onları geliştirerek ekonominin hizmetine sunmak kaçınılmaz olmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji; tükenebilen enerji kaynakları ile yarışacak düzeyde potansiyele sahip olmamakla birlikte yenilebilir, uygun teknolojilerin kullanılması halinde kirletici etkisi olmayan, sürdürülebilen, yerli ve çevre dostu özellikleri ile öne çıkan bir enerji türüdür.

5.2 Jeotermal Enerjinin Tanımı, Oluşumu ve Isı Kaynağı

Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısının oluşturduğu sıcaklıkların, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineral, çeşitli tuzlar ve gaz içerebilen basınç altındaki sıcak su ve buhar yolu ile sürekli yüzeye taşınan ısı olarak tanımlanır. Isı yeryüzüne yakın derinliklere, termal kondüksüyon yolu ile taşınır.

Bu eriyik halde magmanın yukarı bölgelere sokulumu ile veya sıcak katmanlar olan astenosferin, kıtasal kabuk kalınlıklarının az olduğu kıta parçalarında yukarıya daha çok ısı iletilmesi ile gerçekleşir. Bunun sonucu, anormal ısınmış bölgelerdeki yeraltı suları, hidrotermal kaynaklar olarak sıcak su veya buhar çıkışları şeklinde yüzeyde görülür. Jeotermal enerji yerküre içindeki içsel enerjisinin bir sonucudur. Yerin yüzeye yakın



Şekil 5.1 Jeotermal sistemin oluşum modeli (Koçak, 2000)

kısımlarda jeotermal enerji, geçirimli kanallarda ve gözenekli ortamlarda hidrolik konveksiyon ile kontrol edilir. Bunun sonucunda, jeotermal enerji yüzeye yakın derinliklerde sıcak su ve buhar şeklinde yoğunlaşarak erişilebilecek derinliklerde sıcak ve buhar şeklinde yoğunlaşarak erişilebilecek derinliklerde hidrotermal sistemleri oluşturur.

Isı kaynağı yerkabuğu içinde sokulmuş magmatik bir intrüzyon ise 600-900 ^{0}C sıcaklığa sahiptir ve genelde 7-15 km arası derinliklerde yer alır. Yüzeye yaklaşmış astenosfer ise çok daha derinliklerdedir.

5.3 Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

İlk çağlardan yakın geçmişe kadar sadece sağlık amacıyla kullanılan jeotermal enerjiden günümüze ya doğrudan kullanım ya da başka enerji türlerine dönüştürülerek yaralanılmaktadır. 20. yüzyılın başına kadar sağlık ve yiyecek pişirme amacıyla

yararlanılan jeotermal kaynakların kullanım alanları, gelişen teknolojiye bağlı olarak günümüzde çok yaygınlaşmış ve çeşitlenmiştir.

Düşük ve orta sıcaklıklı sahalardan üretilen jeotermal akışkan, bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında başta ısıtmacılık olmak üzere (sera, konut, Tarımsal kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayi, dericilik ve soğutma tesislerinde) ve kimyasal madde üretiminde (Borik asit, Amonyum bikarbonat, ağır su ve akışkandaki CO_2' den kuru buz elde edilmesinde) kullanılmaktadır. Bunun yanında orta sıcaklıklı sahalardaki akışkan da elektrik üretimi için teknolojiler geliştirilmiştir ve kullanıma sunulmuştur. Yüksek sıcaklıklı sahalardan elde edilen akışkanlardan ise elektrik üretimi de yapılmaktadır.

5.3.1 Isıtma

— 40 ^{0}C' den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkanlardan binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada ve sıcak su olarak kullanma

— Seraların ısıtılması ile turfanda sebze, meyve, çiçek yetiştirilmekte ve jeotermalim doğrudan kullanım değerinin önemli bir bölümü sera ısıtma amaçlı kullanılmaktadır.

— Tavuk ve hayvan çiftliklerinin ısıtılması

— Yüzme havuzu, termal tedavi ve diğer turistik tesislerdeki kullanım

5.3.2 Endüstriyel Uygulamalar

— Yiyeceklerin kurutulmasında

— Kerestecilikte ve ağaç kaplamada

— Kâğıt, dokuma ve boyamacılıkta

— Derilerin kurutulması ve işlenmesinde

— Soğutma tesislerinde

— Beton blok kurutulmasında

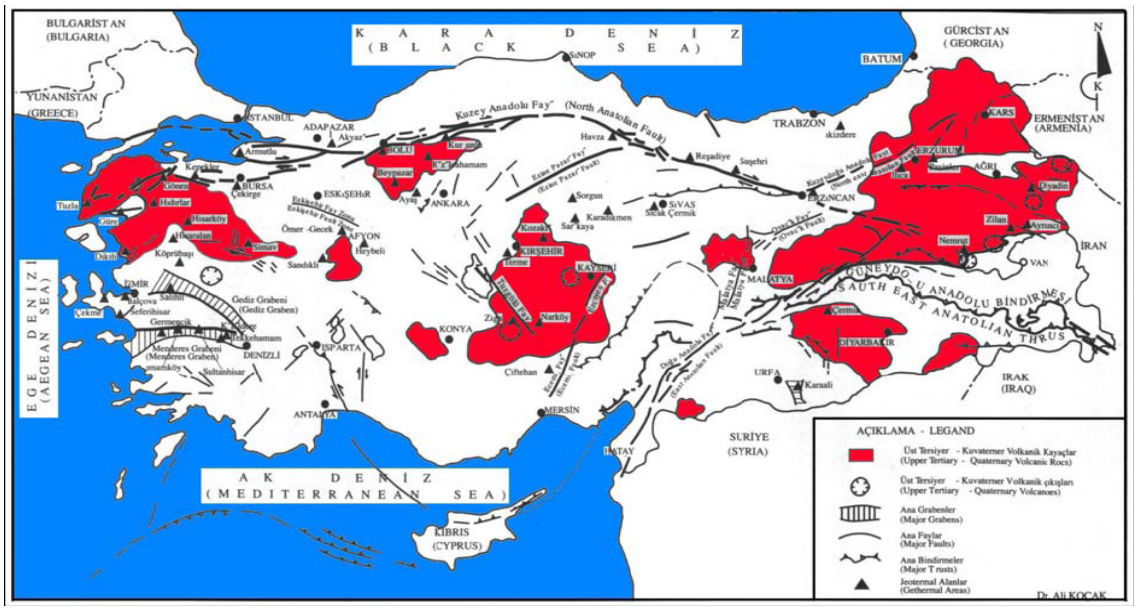
— Yıkama amaçlı olarak çamaşırhanelerde kullanımı

5.3.3 Kimyasal Madde Üretimi

Jeotermal akışkan; borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su (döteryumoksit), amonyum sülfat, potasyum klorür vb. kimyasal maddelerin elde edilmesinde ve jeotermal akışkandaki CO_2' den kuru buz elde edilmesinde kullanılmaktadır.

5.4 Ülkemizin Jeotermal Enerji Potansiyeli

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyadaki zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiyede toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı ve jeotermal akışkan çıkan kuyu noktası vardır. Bilinen jeotermal alanların %95'i ısıtmaya uygundur. Türkiye'de az sayıda da olsa yüksek entalpili jeotermal alanlar da keşfedilmiştir. Ancak ülkemizde jeotermale dayalı elektrik üretimi düşük seviyede kalmıştır. Halen 20.4 MWe brüt kurulu güce sahip (242 ^{o}C rezervuar sıcaklığı olan) Denizli-Kızıldere santralı günümüzde zaman zaman 15 MWe çıkmasına rağmen net ortalama 12 MWe elektrik üretmektedir. Aydın-Germencik'te (232^{o}C rezervuar sıcaklığına sahip) ise aşamalı olarak yaklaşık 100 MWe gücüne ulaşacak taşınabilir üniteler için Yap-İşlet modeline göre işlemler sürdürülmektedir. Ayrıca 2002 yılında varlığı ortaya konan Salihli-Göbekli jeotermal sahası da rezervuar sıcaklığı (182 ^{o}C)itibariyle elektrik üretimine uygun bir sahadır. Balneolojik amaçlı kullanımlar için sıcaklık alt sınırı 20^{o}C olarak kabul edilmekte olup 600 kaynak grubuyla (1000 adet kaynak) ülkemiz Avrupa'da birinci sırayı almaktadır. Isı enerjisi olarak yararlanmak için 35^{o}C sınırı kabul edildiğinde ise karşımıza 170 adet jeotermal alan çıkmaktadır. Sadece kaynakların boşalımları değerlendirildiğinde potansiyel 600 MWt civarındadır. MTA Genel Müdürlüğünün 40 yılık süre içerisinde açtığı toplam 172.773.70 m. derinliğindeki 424 kadar jeotermal amaçlı sondaj ile bu potansiyele yaklaşık 3042,91 MWt (Eylül 2005) katkı sağlanmıştır. Yukarıda verilen değerler, ülkede bulunan 600' den fazla kaynak çıkışının, yaklaşık 124'ünün üzerinde yer aldığı alanlarda yapılan sondajlardan ve kaynaklardan elde edilen değer olup, potansiyel oluşturan diğer alanlarda da sondajlar yapılması halinde, bu potansiyelin önemli ölçüde artacağı beklenmektedir (Koçak, 2000).



Şekil 5.1 Türkiye'nin neotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar (Koçak, 2000)

5.5 İnceleme Alanındaki Sıcak Suların Oluşumu ve Jeotermometre Uygulamaları

Ilıkpınar mevkiinde yaklaşık KB-GD yönlü bir fay boyunca ortalama 27 ^{0}C sıcaklıkta sıcak su çıkışları gözlenmektedir. Bu fayın devamı olan Akpınar mevkiinde de aynı sıcaklıklarda ve bileşimde sıcak sular sondajlar ile alınmaktadır. Düşük sıcaklıklı bir jeotermal alan olan Ilıkpınar jeotermal alanında hazneyi Bornova karmaşığına ait kireçtaşları oluşturmaktadır. Sıcak sular yaşlı kireçtaşlarını kesen fay hattı boyunca yüzeye çıkmaktadır. Sıcak sular Jura yaşlı Kireçtaşlarını kesen fay hattı boyunca yüzeye çıkmaktadırlar. Sistemin örtü kayası Bornova karmaşığına ait kumtaşı-şeyl türü tortullar ile bunlarında üzerinde yer alan Neojen yaşlı killi seviyeler de içiren tortul kayaçlar olmalıdır. Sıcak sular, meteorik suların tektonik hatları ve karstik boşlukları izleyerek yeraltına süzülmesi burada artan jeotermal gradyan ile ısınması buradaki haznede depolanması ve yine tektonik kırık ve çatlakları izleyerek sıcak su olarak yüzeye çıkması şeklinde açıklanabilen devirli sistem sınıfına girer (Gemici ve Filiz, 2001).

Çatlaklar ve kırık hatlar boyunca yükselen sıcak sular yüzeye erişinceye kadar önemli ölçüde soğuyarak yeraltı sularıyla değişik oranlarda karışarak yüzeye ulaşırlar. Jeotermal alanlarda sondaj yapılmadan önce, uygulanacak çeşitli jeotermometre yöntemleri ile haznedeki sıcaklıkların tahmin edilmesi yapılan jeotermal araştırmaların

önemli bir parçasını oluşturur. Suların yeraltında kat ettikleri yol, ne denli kısa ve debisi yüksekse sıcaklıkları o oranda hazne kaya sıcaklığına yakındır. Suların yeraltında aldığı yolun kısa olmadığı ve ağır bir hidrolojik çevrimde olduğu izotopik incelemelerle anlaşılabilir. Sıcak suların akifer sıcaklıkları, verimleri ve kimyasal özellikleri ekonomik yönden çok önem taşır. Hazne sıcaklığının saptanmasında çok değişik yöntemler önerilmiştir. Bunlardan bazıları çevresel izotoplarla kalitatif değerlendirme, sığ ve derin kuyularda ölçülen sıcaklıklardan yararlanarak hazne kaya sıcaklığının tahmini, jeotermal alanlarda izlenen hidrotermal alterasyon sonucu oluşan kil minerallerinin incelenmesi ve kimyasal jeotermometreler gibi yöntemlerdir. Hazne kayadaki suların gerçek sıcaklığı, verimleri ve diğer gerçek bilgiler, hazne kayaya değin inen kuyuların incelenmesinden elde edilir. Ancak, sondajların çok pahalı ve bazı durumlarda ekonomik olmaması, her zaman hazne kayaya inilememesi, uzun zaman alması gibi nedenlerle diğer bilimsel incelemelerin olumlu sonuç verdiği yerlerde açılmalıdır. Her jeotermometrenin kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmakta ve her biri belirli hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşullarda geçerlilik göstermektedir. Onun için yapılan tüm jeotermometre uygulamaları bir sentez olarak ele alınıp değerlendirilmelidir. İnceleme alanındaki sıcak su örnekleri üzerinde uygulanan kimyasal jeotermometreler:

5.5.1 Silis Jeotermometreleri

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, akifer (hazne) sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150–225 ^{0}C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225 ^{0}C nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmaz (Şahinci, 1987). Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır.

Tablo 5.1 Akpınar-M1 ve Ilıkpınar-M5 termal suların silis jeotermometresine hazne göre hazne sıcaklıkları

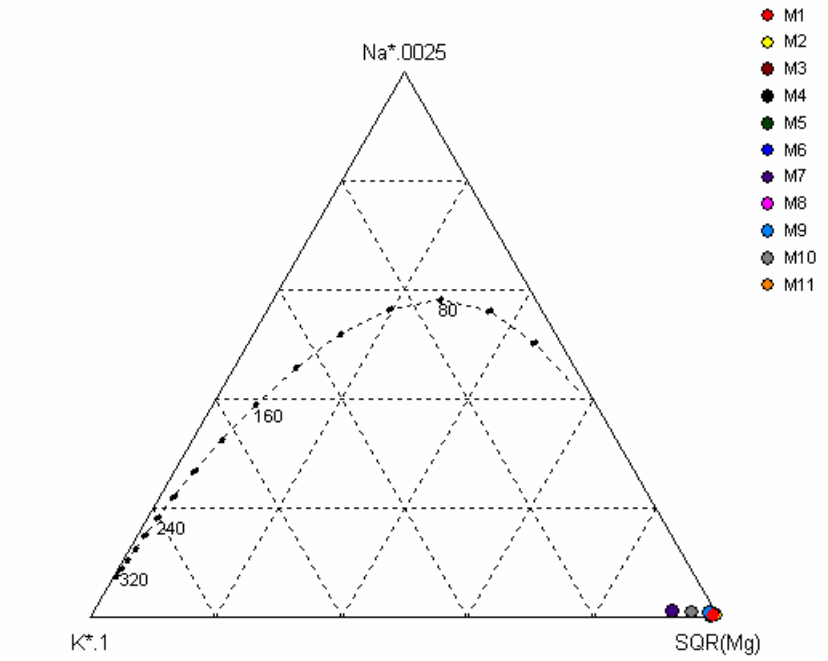
Jeotermometre Adı	Sıcaklık (^{0}C)	Sıcaklık (^{0}C)	
	Akpınar -M1	Ilıpınar-M5	Referans
SiO2 (Amorf Silis)	-51	-47	Fournier 1977
SiO2 (Kalsedon)	29	34	Fournier 1977
SiO2 (Kuvars)	61	66	Fournier 1977
SiO2 (Kuvars, buhar kaybı)	67	71	Fournier 1977
K/Mg	88	81	Giggenbach 1983
Na/K	81	116	Fournier 1977
Na/K	91	124	Truesdell 1976
Na/K	136	165	Fournier 1979
Na/K	148	180	Fournier&Potter 1979

İnceleme alanındaki örnekleme sıcaklıkları Akpınar-M1 ve Ilıpınar-M5 örnekleri üzerinde uygulanan kimyasal jeotermometrelerden silis jeotermometre uygulamalarından Silis (Amorf) ve Silis (Kalsedon) jeotermometreleri düşük ve kaynak çıkış sıcaklığından düşük sonuçlar vermektedir (Tablo 5.1).

5.5.2 Na-K-Mg Katyon Jeotermometreleri Üçgen Diyagramı

Na-K-Mg katyon jeotermometreleri üçgen diyagram (Giggenbach, 1988) ile değerlendirildiğinde sıcak suların ham sular bölgesine düştüğü görülmektedir. Bu birleşik diyagramda su noktalarının eğriye yakın olmaları su kayaç ilişkisinin dengeye daha yakın olduğu, uzak olmaları ise su kayaç ilişkisinin dengelenmediği şeklinde yorumlanabilir.

Bu katyon jeotermometreleri tek başına güvenilir sonuçlar vermezler. Tablo 5.1 incelendiğinde katyon jeotermometrelerinden elde edilen sonuçların 50 – 150 ^{0}C gibi sonuçlar verdiği gözlenmektedir (Şekil 5.3).



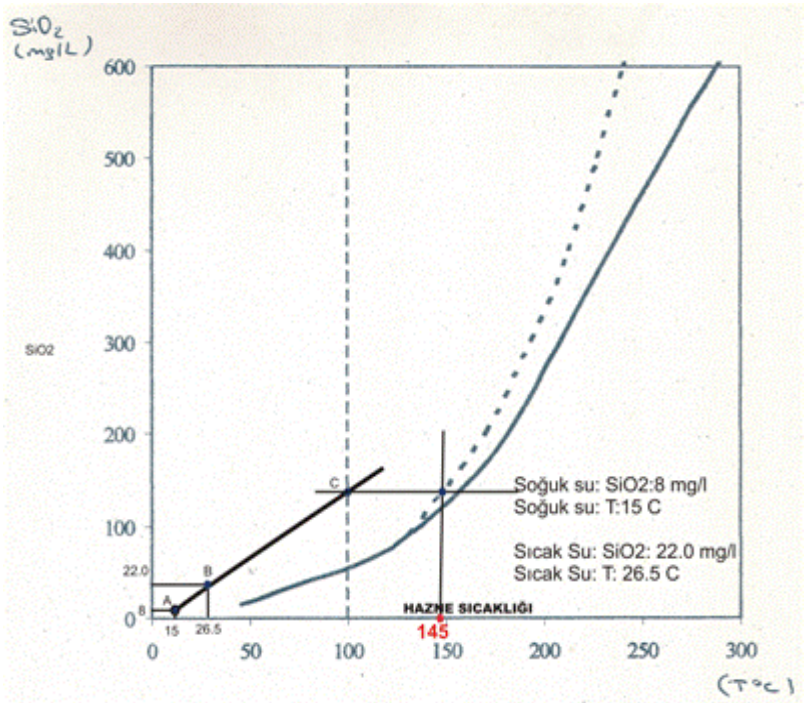
Şekil 5.3 İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki dağılımları

5.5.3 Silis Entalpi Karışım Modeli

Silis – Entalpi diyagramı, silisin karışım modeline göre kurulmuş bir diyagramdır ve hazne sıcaklığının saptanmasında kullanılır. Bu diyagram ile hem hazne sıcaklığının hem de soğuk su- sıcak su karışım oranlarını tahmin edebiliriz (Şahinci, 1986).

Diyagramda A noktası bölgenin soğuk sularını yansıtan silis (SiO_2) ve entalpi değeridir. Diyagrama inceleme alanındaki sıcak suların silis değerleri ve ölçülen sıcaklıkları işaretlenerek elde edilen noktalar (B noktası) A noktası ile birleştirilmiş ve bu doğru uzatılarak kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktadan (C noktası) yatay eksene dikme inilmek suretiyle dikmenin yatay ekseni kestiği nokta olan hazne kaya sıcaklığı elde edilmiştir. C noktası karışım suyundaki sıcak suyun karışımdan önceki entalpi ve silis değerini vermektedir (Şahinci, 1986).

Silis-entalpi diyagramına göre Manisa Akpınar ve Ilıpınar jeotermal sistemlerinin akifer sıcaklığının 145 ^{0}C altında bir sıcaklığa sahip olabileceğini söyleyebiliriz (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi-silis diyagramı (Fournier, 1979).

Yapılan jeotermometre uygulamalarına göre akifer sıcaklığı 100 ^{0}C altında olduğu tahmin edilmektedir. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak sular karstik akiferlerden gelmekte olup kimyasal özelliklerinde çok büyük farklar gözlenmemektedir. Bu durumda termal suların sığ bir devinime sahip olduğunu ve su-kayaç ilişkisinin tam olarak gerçekleşmesine olanak vermeyecek kadar hızlı bir devinime sahip olduğunu göstermektedir. Sıcak suların yüzeye çıkarken soğuk yeraltı suları ile karışması ile jeotermometrelerin uygulanabilmesi için gerekli olan su-mineral dengesinin sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Soğuk yeraltı suyunun termal suya yüksek oranda karışmasından dolayı jeotermometrelerin sonuçlarının inceleme alanın jeotermal potansiyeli açısından güvenilir sonuçlar vermeyebilir. Sistemin düşük sıcaklı, sığ bir dolaşıma sahip ve yüksek oranda soğuk yeraltı suları ile karıştığı sonucu çıkarabilinir.

BÖLÜM ALTI
JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

6.1 Giriş

Jeotermal sahalar dünyanın oluşumundan günümüze kadar olan zaman diliminde doğal enerji alanları sayılmaktadır. Bu alanlarda ısıtıcı, yerin iç ısısı, ısı kaynağından geçen yeraltı sularıdır. Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde olağan dışı olarak birikmiş ısının meydana getirdiği yenilebilen (tekrarlanan) enerji türüdür. Bu enerji yeryüzüne doğal olarak ya da mekanik sondajlarla sıcak su veya buhar şeklinde ulaşır. Dünya üzerinde yenilebilen enerji kaynaklarından jeotermal enerji, elektrik üretiminde ve merkezi ısıtmada günümüz koşullarında çok yönlü kullanıma elverişli ve maliyet bakımından diğer enerji türlerine göre daha ekonomiktir. Ayrıca yenilenemeyen (tükenen) fosil enerji kaynaklarına göre jeotermal enerji aynı güneş enerjisi gibi (tükenmeyen) bir enerji türü olması nedeniyle günümüzde üzerinde önemle durulması gereken bir kaynaktır. Bu da günümüz koşullarında 77 milyon varillik petrole eşdeğer tasarruf sağlamaktadır (Kamacı, 1997).

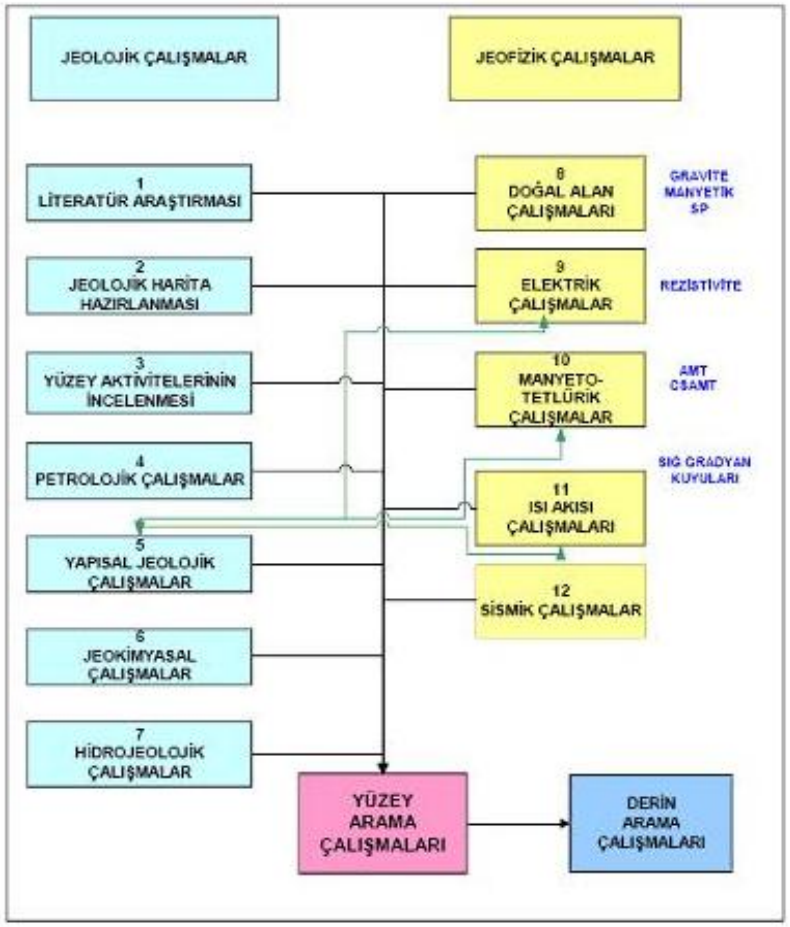
Ülkemizde de jeofizik yöntemlerle jeotermal alanların araştırılmasında jeofizik yöntemlerle başarılar sağlanmıştır. Jeofizik yöntemlerle jeotermal alanların araştırılması, Tezcan (1971) ve Demirören (1971), Palmason (1976), McNitt (1976), Meidav ve Tonani (1976), Zohdy (1978), Ward (1983), Rapolla ve Keller (1984), Türker, Keçeli, Kaya, ve Kamacı. (1991) ve daha birçok araştırmacı tarafından dünyanın ve ülkemizin çeşitli bölgelerinde yapılmıştır. Doğal olarak jeotermal kaynaklar üç ortak bileşene sahiptir. Bu kaynakların var olması bu bileşenlere bağlıdır. Bunlar ısı kaynağı, porozitesi ve geçirgenliği yüksek bir rezervuar ve yüzeye sıcaklığın transferini sağlayan akıştır. Ancak bunlar doğada iki şekilde görülür; sıcak su sistemi ve buharın hakim olduğu sistem (Kamacı, 1997).

Sıcaklık anomalilerini doğrudan gösteren ve mekanik sondaj yerlerinin belirlenmesinde en etkili yöntemler termal ve jeoelektrik yöntemlerdir. Ancak bu jeofizik yöntemlerden başka Gravite, Manyetik, Sismik, Radyometrik, Kuyu Jeofiziği ve logları ile jeotomografinin birlikte kullanımları halinde daha yararlı sonuçlar çıkacağı

açıktır. Hidrotermal kaynakların bulunduğu bölgelerdeki jeotermal araştırmalarda, bölgelerin jeolojik yapısına göre öncelikli olarak birçok disiplinin içerisinde farklı jeofizik yöntemler sırasıyla uygulanmaktadır.

6.2 Jeotermal Araştırmalarda Jeofizik Uygulamaları

Jeofizik çalışmalar; sıcaklık, mineralizasyon, gaz ve akışkan hareketi gibi akışkan parametreleri ile faylanma, bazı litostratigrafik birimlerin kalınlıklarındaki ani değişim ve temel yapılar gibi sığ ve derin rezervuarların yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmalıdır. Jeofizik metodların seçiminde; uygulanacak olan yöntemin ülkemizde yaygın olan düşük sıcaklıklı hidrotermal sistemlerin özelliklerini algılayabilmesi, topoğrafik olarak arızalı bölgelerde derinliği 500 m'den fazla altere



Şekil 6.1 Jeotermal aramalarında Jeoloji ve Jeofizik çalışmaların akış şeması (Koçak, 2000)

olmuş formasyonlar altında kalan rezervuarların büyüklüğünü algılayabilmesi, sıcak suyun hakim olduğu tuzluluğu göreli olarak yüksek olan sistemler için ısı akısı ve elektrik rezistivite yöntemlerinin seçilmesi, buhar sistemleri için ısı akısı ölçümleriyle birlikte gravite, manyetik ölçümleri (volkanik kayaçlarda) kombinasyonunun kullanılması gibi kriterler göz önüne alınmalıdır.

6.2.1 Isı Akısı Çalışmaları

Jeotermal sahaların anormal yüksek ısı akışlarına sahip olduğu bilinmektedir. Eğer bir ısı kaynağı varsa, ısı akısı normal büyüklüğünün üzerine çıkar. Isıl arama teknikleri, gerçek boyutların ve bir jeotermal sistemin potansiyelinin tahmininde çok önemlidir. Bundan ötürü aşağıdaki teknikler kullanılmaktadır:

1. Yüzey ve sığ sıcaklık ölçmeleri (sığ ile altı metreye kadar olan derinlikler),
2. Yüz metre derinliğe kadar jeotermal gradyen ölçmeleri,
3. Daha pahalı bir yaklaşım olan yüz metreden daha derinlerdeki ısı akışı tayinleri.

Ucuz olan yüzey ve sığ ölçmelerdeki güçlük, bunların yağış, filtrasyonu, yeraltı suyu kadar topografik faktörlerdende etkilenmesidir. Birçok araştırmacı 15–150 metreler arasındaki kuyulardaki derinliğin fonksiyonu olan sıcaklık ölçmelerini jeotermal arama yolu olarak kullanmışlardır. Bu derinlikler yüzeye yakın ısıl sapmalar dışında kalmaları dolayısıyla optimumdur. Ayrıca, gradyen ölçmeleri hassas olarak yapılabilir. Bununla birlikte yeraltı suyunun yanal hareketleri gözönüne alınmalıdır. Ticari ve ekonomik imkânlar vadeden jeotermal sahaların çoğunda bu derinliklerde gradyenler 7°C/100m.'dir. (Normal gradyenler 2–3°C/100m.). İdeal olarak hem gradyen, hem de ısı akısı ölçmeleri kullanılmalıdır. Fakat normal ısı akışının olduğu geniş alanların tanımlanmasında ısı akışı normalin üzerinde olup ve bu da, ısı akışı normal olan anakayaç ısı üretim ölçmeleri ile birleştirilince, hidrotermal konveksiyon sistemlerinin ve belki de genç sıcak sokulum kütlelerinin varlığı ortaya çıkarılabilir (Laughlin, A.W., 1982).

6.2.2 Gravite Çalışmaları

Uygun ortamlarda gravite ölçmeleri, önemli yapısal oluşumları ayırt edebilir ve jeotermal sistemlerle ilişkili olabilen yerel pozitif anomalilere işaret edebilir. Böyle pozitif anomaliler, yerel yapısal yükselmeler, gömülmüş volkanik veya intrüzif yapılar tarafından yaratılabilir (Laughlin, A.W., 1982).

Isı kaynağı olan yeraltındaki mağmatik sokulumları ve büyüklüğünü, jeotermal akışkanların yukarı yükselme sırasında kendini tıkayarak yarattığı silika çökelme yapılarını, suyun hâkim olduğu hidrotermal sistemleri kontrol eden önemli fayları belirlemek için gravite yöntemi kullanılmalıdır (Chritopher, Armstead, 1989)

6.2.3 Doğal Potansiyel (SP) Çalışmaları

Jeotermal gradyen ve akışkan hareketini belirlemek amacıyla anlamlı sonuçlar verebilmesi açısından 50–100 km^2 alan üzerinde uygulanmalıdır. Bu yöntem, yeraltısuyunun iletken kayaçlarla etkileşiminden, yüksek jeotermal gradyenlerden ve hareket eden (özellikle yükselen) akışkanlardan doğan doğal voltaj değişimlerini ölçer ve jeotermal aramada yaygın olarak kullanılır (Laughlin, A.W., 1982).

6.2.4 Manyetik Çalışmaları

Ancak volkanitlerin varolması durumunda, jeotermal anomalinin boyutlarını belirlemek amacıyla kullanılabilir ve anomali haritalanabilir. Bu yöntem özellikle rejyonel yapısal analiz yapılması durumunda kullanılmalıdır. Havadan yapılan manyetik ölçmeler varsa, anomali bölgesinde Curie nokta derinliklerinden, ortalama jeotermal gradyen ve ısı akısı hesaplanabilme olanağı vardır. Elektromanyetik VLF yöntemi iletken zonları ve yanal süreksizlikleri belirlemek amacıyla kullanılabilir (Laughlin, A.W., 1982).

6.2.5 Tellürik Çalışmalar

Vektör-tellürik ve tellürik profilleme yöntemleri 20 Hz'ten düşük frekansları ölçme üzerine kurulmuştur. Bu yöntem rezistivitenin yanal değişimlerine hassas olduğu için, jeotermal aramada kullanılabilir. Özellikle jeolojik kontakların yönü biliniyorsa, ölçüm hatları bu yöne dik olarak yerleştirilerek aramada çok faydalı olur. Manyetotellürik çalışmalar, olası jeotermal alanların altındaki ısıtıcı görevi gören derin iletken yarı erimiş zonları belirlemek amacıyla uygulanırlar. AMT yöntemi 2 km'ye kadar olan derinliklerde sığ iletken zonların belirlenmesi amacıyla (8–18000 Hz frekans aralığında) gerçekleştirilebilir. CSAMT yöntemi, olası jeotermal alanın büyüklüğünü ve yanal süreksizlikleri belirlemek amacı ile özellikle derin araştırmalarda, rezistivite yöntemini desteklemek için kullanılabilir (Laughlin, A.W., 1982).

6.2.6 Sismik Çalışmalar

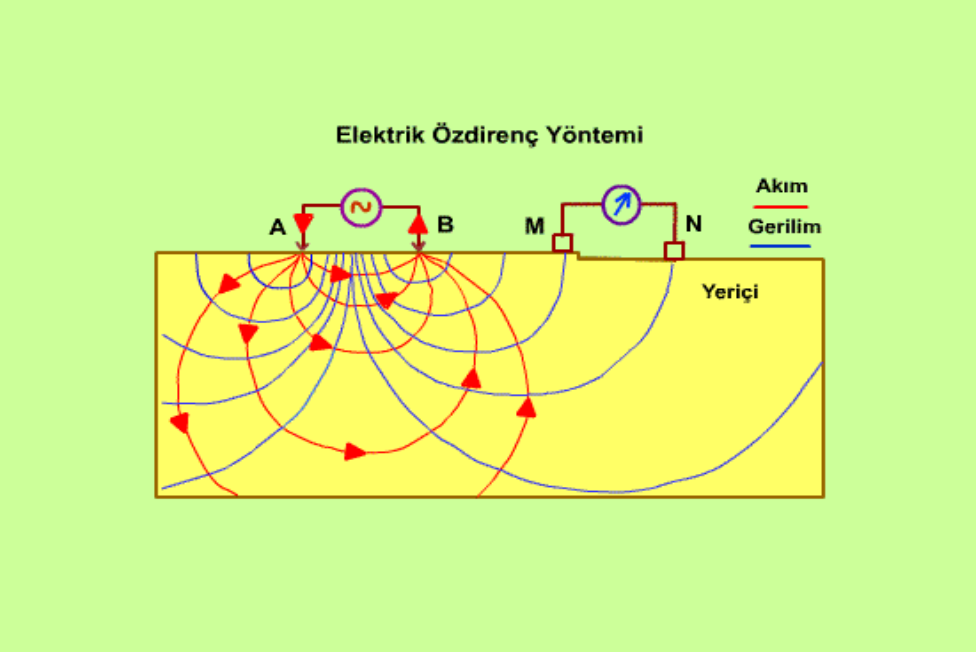
Sismik yöntemler aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde uygulanabilecektir. Jeotermal aramada hem pahalı olması, hem de yararı açısından aktif sismik az kullanılan bir yöntemdir. Aktif sismik yöntemler temel kayacın durumu ile akifer yapısını algılayabilme amacıyla kullanılabilir. Aktif fayları belirleme amacıyla pasif sismik yöntemlerden biri olan mikro deprem yöntemini de uygulanabilir. Pasif yöntemler jeotermal aramada daha yaygın olarak kullanılırlar (Kamacı, 1997).

6.2.7 Rezistivite (Özdirenç) Yöntemleri

Rezistivite (özdirenç) yöntemi gömülü hidrotermal yapının boyutlarını belirlemek ve onları jeotermal rezervuarlarla ilgili termal ve hidrojeolojik yapılarla ilişkilendirmek için, Schlumberger veya Wenner elektrot dizilimi kullanılarak, gerçekleştirilebilir. Tüm ölçümlerin tek tek değerlendirilmesiyle iki boyutlu olarak hazırlanan elektrik yapı kesitlerinin saha bazında 3 boyutlu değerlendirilerek, alanın gerçek özdirenç yapısı yorumlanabilir. Çevrel Elektrik Özdirenç, üzeri izotropik kalın bir katman ile kapalı rezervuar kayacındaki anizotropiyi (olası çatlaklı bir bölge) belirlemek amacıyla uygulanabilir. Dipole-dipole yöntemi, üzeri düşük özdirençli bir formasyonla örtülü

yapıların varlığı halinde, yanal özdirenç süreksizliklerin doğru olarak tespiti ve karmaşık jeolojik sorunların çözümü için kullanılabilir.

Elektrik yöntemlerde yeryüzünde toprağa çakılan iki paslanmaz metal-çelik elektrot aracılığı ile yer içine elektrik akımı gönderilir. Yeryüzündeki diğer iki noktada yerleştirilen iki elektrot yardımı ile de yer içinde oluşan gerilim farkı ölçülür. Aşağıdaki şekilde akım elektrotlarından uygulanan akım çizgileri dağılımı ve bunun sonucu oluşan elektriksel gerilim (elektriksel potansiyel) çizgilerinin dağılımı görülmektedir (Kaya, 2000).



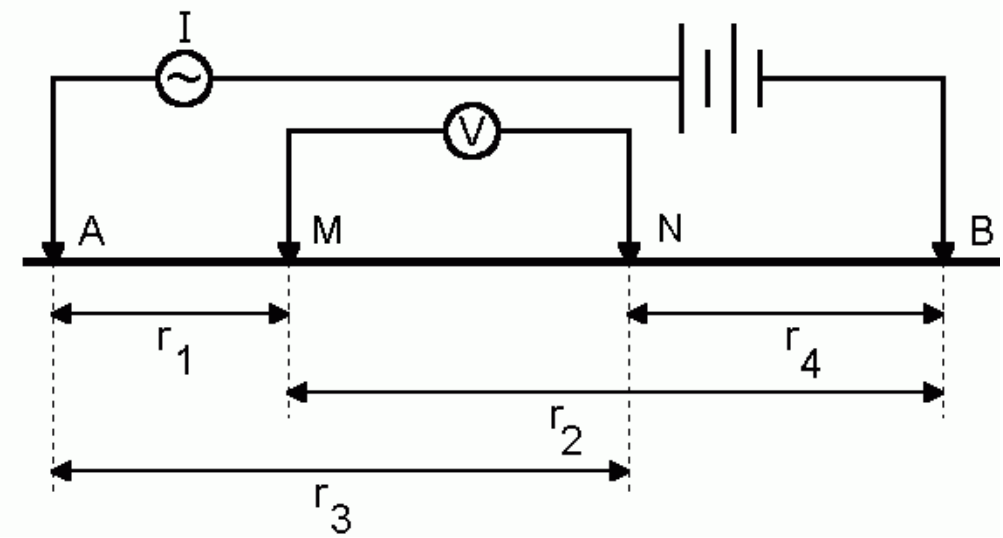
Şekil 6.2 Elektrik potansiyel çizgilerinin dağılımı (www.geop.itu.edu.tr)

6.2.7.1 Rezistivite Yöntemi Genel Elektrot Dizilimi

Uygulanan akımın birimi amper (çoğunlukla miliamper) ve ölçülen gerilimin birimi ise Volt (çoğunlukla milivolt) olarak bilinir. Bu ölçü değerleri ve kullanılan elektrod diziliminin **K** geometrik faktörü (dizilim katsayısı-array factor) kullanılarak bu ölçü konumu için görünür özdirenç (ohm-m biriminde) hesaplanır. Genel bir elektrot diziliminde yer alan 4-elektrod (**A** ile **B** akım ve **M** ile **N** ise gerilim elektrotları) alttaki şekilde verilmektedir. Yeryüzünde yayılan bu elektrot dizilimi çalışılarak ölçülen **I**-akımı (çoğunlukla miliamper-mA) ve **ΔV**-elektriksel gerilimi (çoğunlukla milivolt-mV)

değerleri altta verilen bağıntıda yerlerine konulup hesaplama yapıldığında bu ölçü konumu için elektrik özdirenç (ρ_a : ohm-m) değeri (**Ω-m**) elde edilir.

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad \textbf{(1)}$$

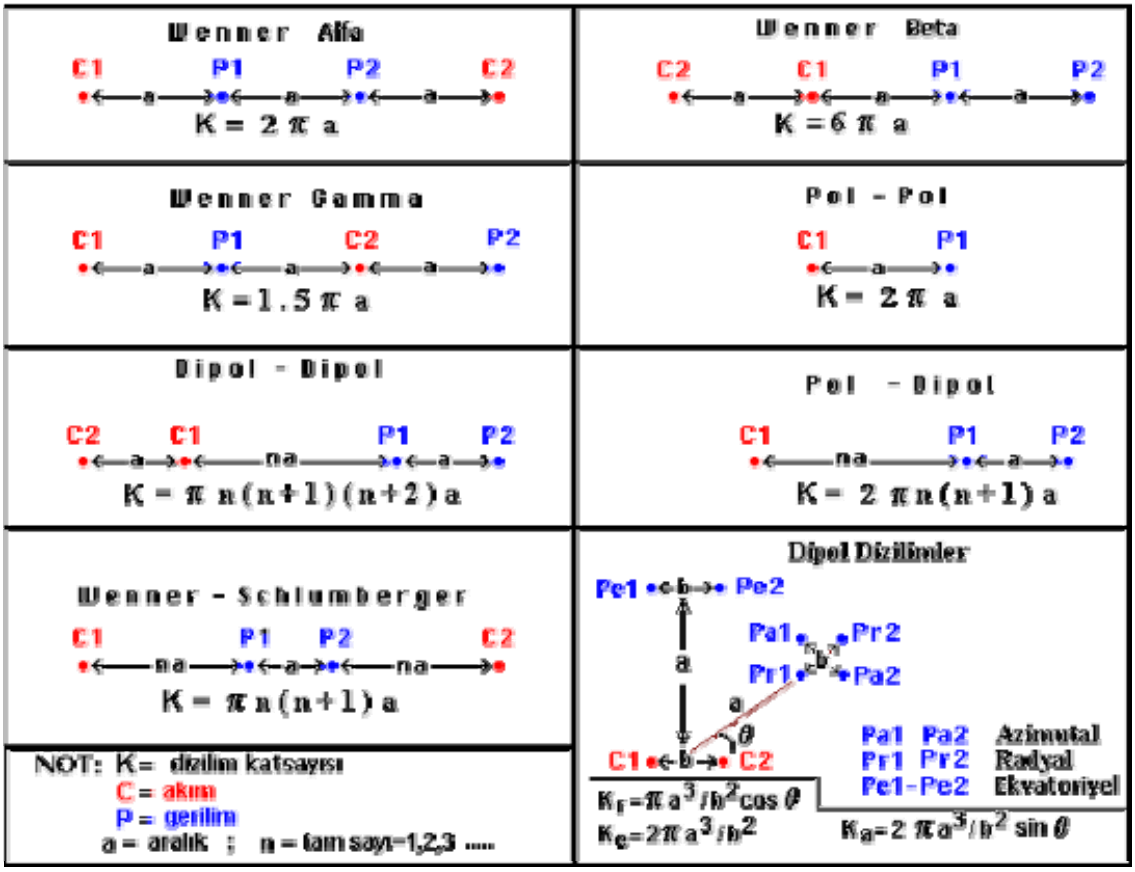


Şekil 6.3 Rezistivite yönteminde genel elektrot dizilimi

Hesaplanan değer elektrot dizilim sisteminin orta noktasının altına atanır. Jeoelektrik yöntemlerde yukarıda gösterilen genel dizilim yerine disipline edilmiş standart ve özel dizilimler yeğlenir. En yaygın kullanılan elektrot dizilim türleri tablo 6.1 de gösterilmiştir.

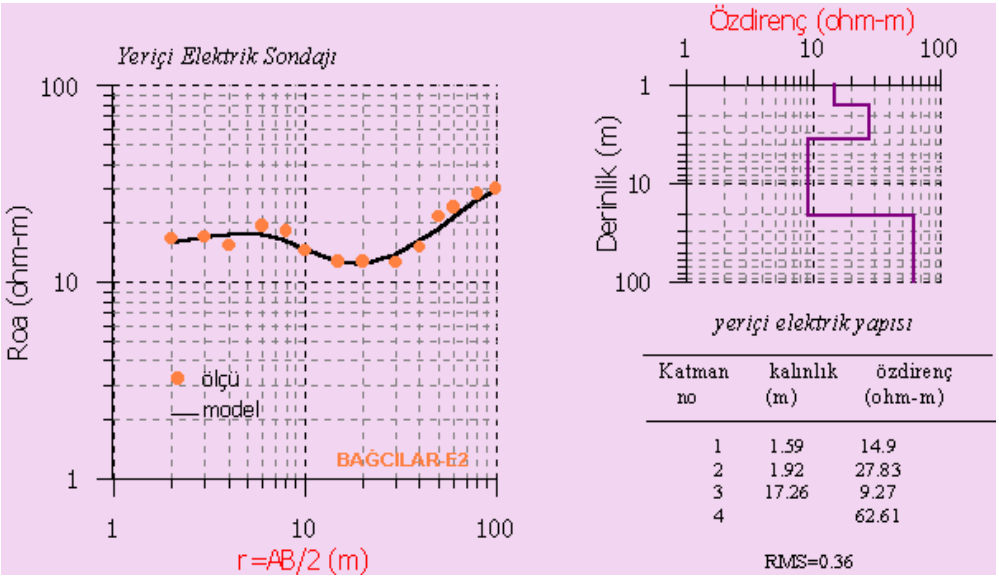
Bu dizilimlerin Jeolojik problemin türlerine göre kullanım alanı bulduğunu belirtmek gerekir. Örneğin **Wenner** ve **Schlumberger** gibi simetrik dizilimler **D**üşey **E**lektrik **S**ondaj (**DES**) tekniğinin uygulanmasında yaygın kullanılır. Yukarıda verilen bu dizilimler aynı zamanda **Elektrik Kaydırma** (**Electrical profilling**) tekniğinin uygulanması için tercih edilirler (Kaya, 2000).

Tablo 6.1 Rezistivite yönteminde elektrot açılımları (www.geop.itu.edu.tr)



6.2.7.2 Veri Değerlendirme ve Görüntüleme

6.2.7.2.1 Nokta Değerlendirme. DES arazi verisi çift logaritmik eksen takımında gösterilir. Yatay eksen elektrot aralığı, düşey eksen ise ρ_a (ohm-m) birimindedir. Bir DES arazi eğrisi bir takım taslak kuramsal eğri grupları ile planlı şekilde çakıştırılarak bu DES arazi veri setinin analizi yapılmış olur. Böylece DES noktası altındaki yatay elektrik tabakalaşma modelini açıklayan ve her tabakaya ait olan ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 ,....., ρ_n özdirençleri ile h_1 , h_2 ,....., h_{n-1} kalınlıkları elde edilir. Bu işleme parçalı eğri çakıştırma ile değerlendirme denir (Dizioğlu ve Keçeli, 1981).



Şekil 6.4 Rezistivite arazi verilerini modellenmesi (www.geop.itu.edu.tr)

6.2.7.2.2 Elektrik Haritalar. Projelendirilen bir sahada seçilmiş çok sayıdaki DES noktaları bazen bu sahayı tamamen karakterize edecek şekilde dağılım göstermiş olabilir. Kısacası ölçü noktaları çalışma sahasının çeşitli yerlerine uygun şekilde konumlandırılmıştır. Böyle bir uygulamada bu çok sayıdaki DES noktalarında ölçülmüş olan ρ_a eğrilerine ait veriler kullanılarak tüm sahayı elektrik olarak karakterize eden haritalar geliştirilir. Bu amaçla DES noktalarının konumlarının ölçekli olarak yerleştirildiği taslak plan üzerine amaçlanan derinliklere karşılık gelen AB/2 açılımları için ρ_a değerleri atanır. Her bir noktaya atanan görünür özdirenç değerleri göz önüne alınarak hazırlanan haritalar elektrik harita olarak adlandırılır. Bu işlem amaçlanan AB/2 derinlikleri için gerçekleştirilir Bu haritalar AB/2'nin artan değerleri için yerin daha derin kesimlerini karakterize eder (Kaya, 2000).

6.2.7.2.3 Yerelektrik Kesitleri. Bir profil boyunca yeraltının derinliklere doğru değişimini incelenir. Elektrik haritalarından farklı olarak ve AB/2 değerleri değil, gerçek özdirenç ve kalınlıkları kullanılır. Burada düşey eksen gerçek kalınlıkları, yatay eksen ise DES noktalarının olduğu bir profili göstermektedir. Her bir DES noktasının gerçek parametreleri işaretlenir. Yerelektrik kesiti oluşturulurken konturlama yoktur. Burada amaç aynı özdirence sahip ortamları aynı katman olarak göstermektir.

Yerelektrik kesitleri yorumlanırken ortamın jeolojik özelliklerinden yaralanılır ve buna göre yerelektrik haritaları çizilir (Kaya, 2000).

Tablo 6.2 Bazı Jeolojik birimlerin özdirenç değerleri (www.geop.itu.edu.tr)

Jeolojik malzeme	Elektrik özdirenç (ohmmetre)
Islak aşırı killi toprak	-10
Islak aşırı siltli toprak ve siltli kil	<10
Islak siltli ve kumlu toprak	10-100
Silt ardalanmalı kum ve çakıl	<1000
Kaba kuru kum ve çakıl depozitleri	>1000
Çatlakları ıslak toprakla dolmuş çok kırıklı kayaç	100
Çatlakları kuru kumla dolmuş az çatlaklı kayaç	<1000
Masif ve sağlam olarak oluşmuş kayaç	>1000

6.3 İnceleme Alanındaki Jeoelektrik Çalışmalar

İnceleme alanındaki jeofizik çalışmalar, DSİ Genel Müdürlüğü'nün 1977 yılındaki "Manisa-Turgutlu Ovası İlave Jeofizik etüdünden yararlanılarak sonuca gidilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma Manisa ile Turgutlu arasındaki ova kesiminde Gediz nehrinin sol sahilinde yapılmıştır. Bu etüdte toplam 112 lokasyonda Jeofizik Rezistivite ölçümü yapılmıştır(Ek 1). Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek jeolojik kesitler oluşturulmuştur.

6.3.1 Jeoelektrik Çalışmaların Amacı

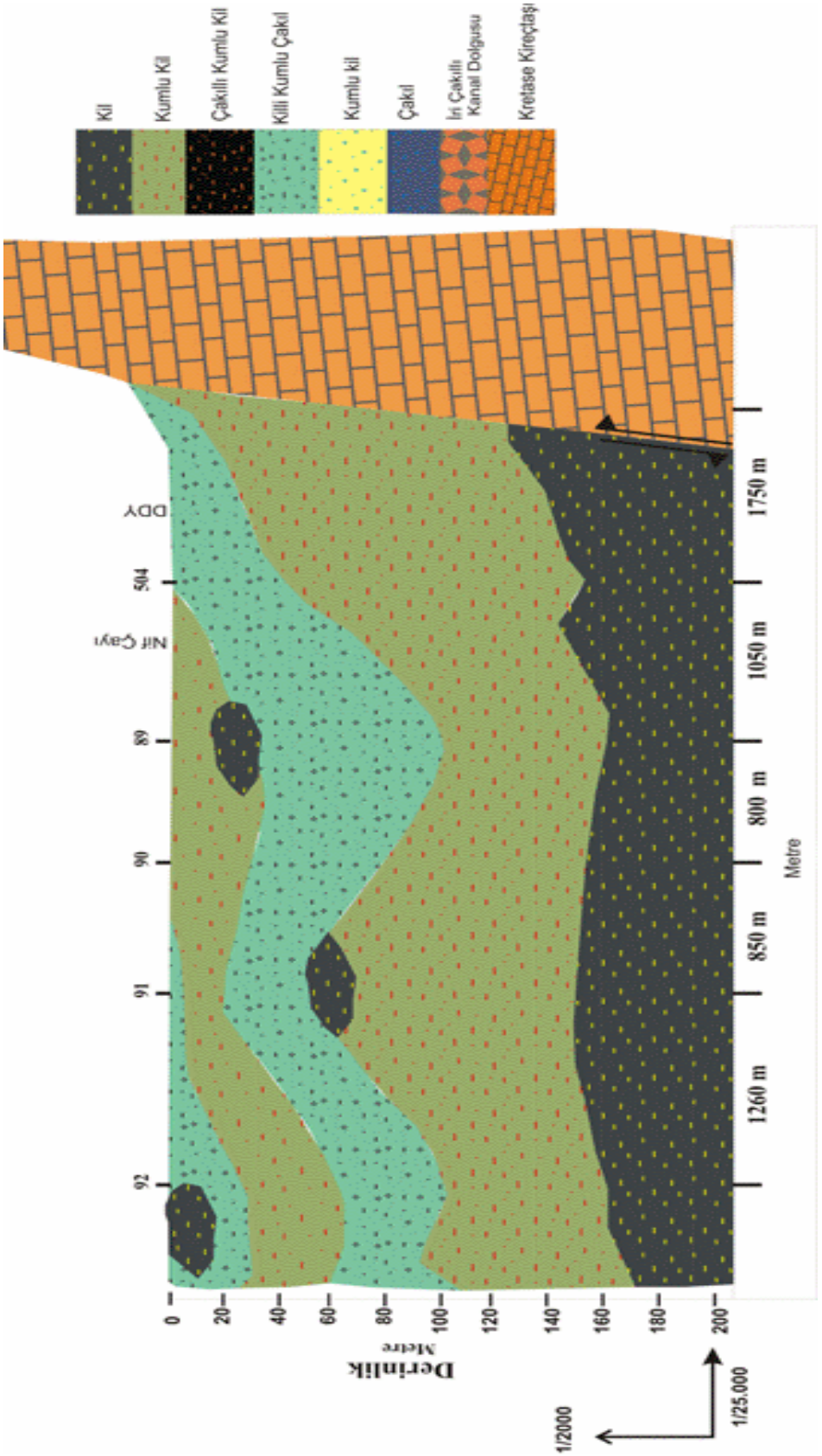
- Kuvaterner yaşlı alüvyon ve bunun altında yer alan Neojenin killi kumlu (yer yer çakıllı) seviyelerin saha içerisindeki yayılımı tespit edilmesi,
- Yeraltı suyu bakımından çok olumlu olmayan neojen yaşlı killi kumlu seviyelerin ova altındaki yayılımının tespit edilmesi,
- Kreatese yaşlı kireçtaşlarının ova altına doğru olan yayılımları ve alüvyon altında basamaklanma fayların varlığının tespiti,

6.3.2 Uygulanan Jeofizik Yöntem ve Kullanılan Aletler

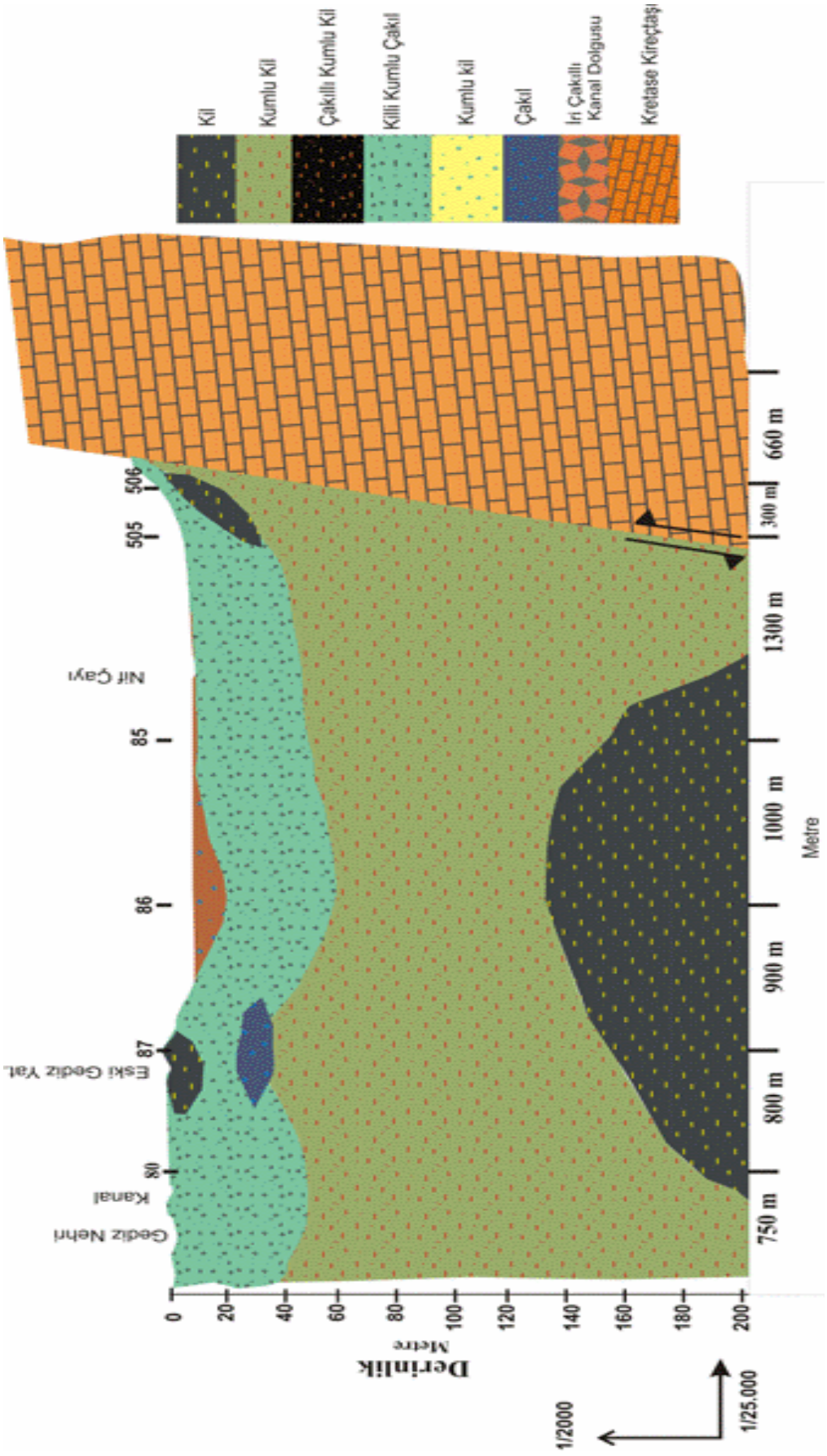
DSİ tarafından yapılan bu jeofizik etütte, DSİ yapısı Mc Phar tipi sığ Rezistivite aleti kullanılmıştır. Açılımlar Schlumberger dizilimi ile yapılmış ve arazi verileri I.B.M.' de değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde, görünür özdirenç değerleri, tabakaların kalınlıkları ve derinlikleri hesaplanmıştır.

6.4 İnceleme Alanındaki Profillerin Yorumlanmış Yerelektrik Kesitleri

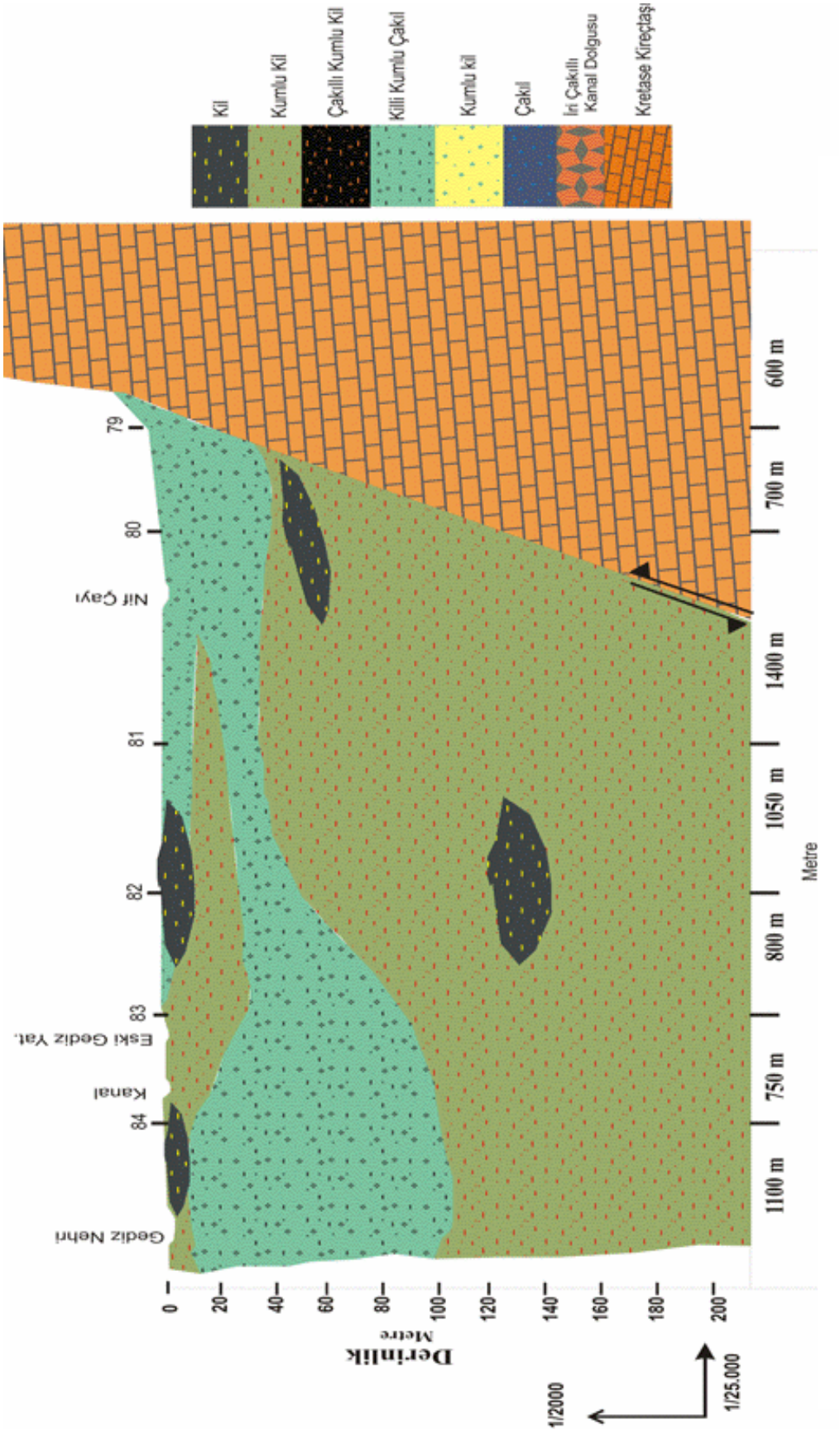
DSİ' nin etüt çalışmasından alınan özdirenç yerelektrik kesitleri üzerinde CorelDRAW12 bilgisayar programı kullanılarak, kesitler tekrar değiştirilerek yorumlanmıştır. DSİ' ye ait kesitler ve genel jeolojik bilgiler kullanılarak 13 profil için zemin özdirenç kesitleri tekrar yorumlanarak yeniden oluşturulmuştur. Özdirenç ölçüm noktaları ve profillerin konumunu EK 1' de görülmektedir.



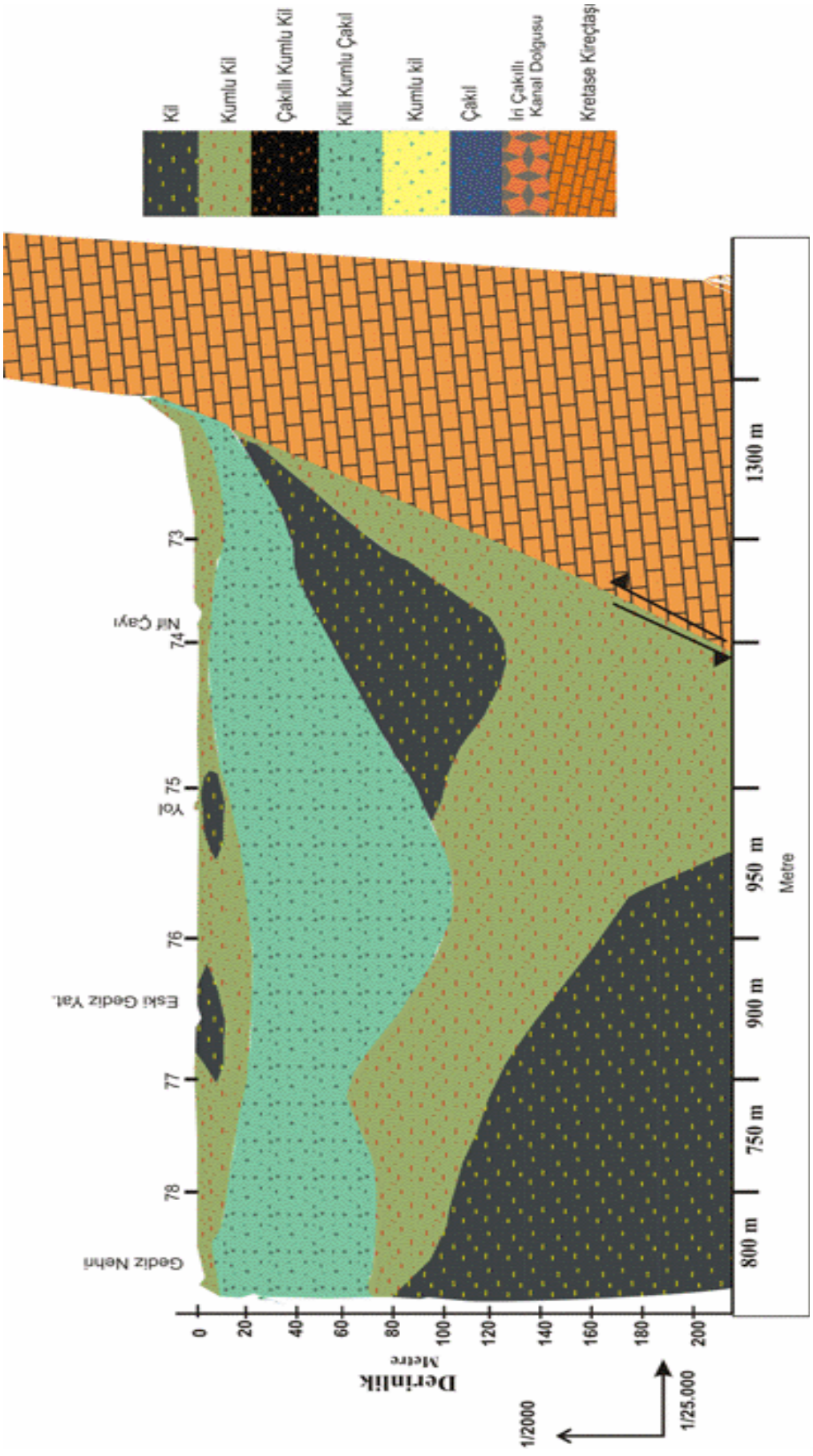
Şekil 6.5 Hat-1' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



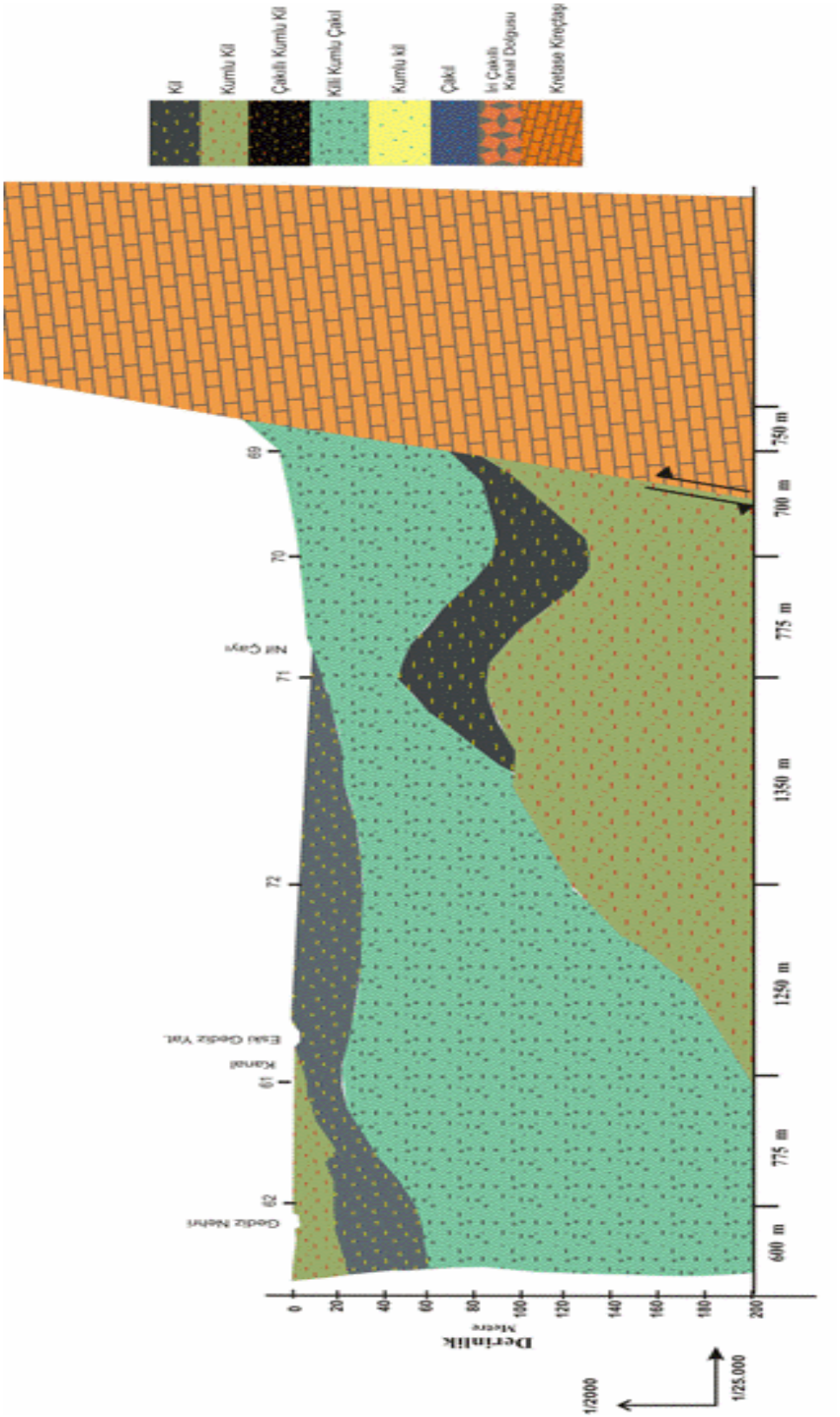
Şekil 6.6 Hat-2' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



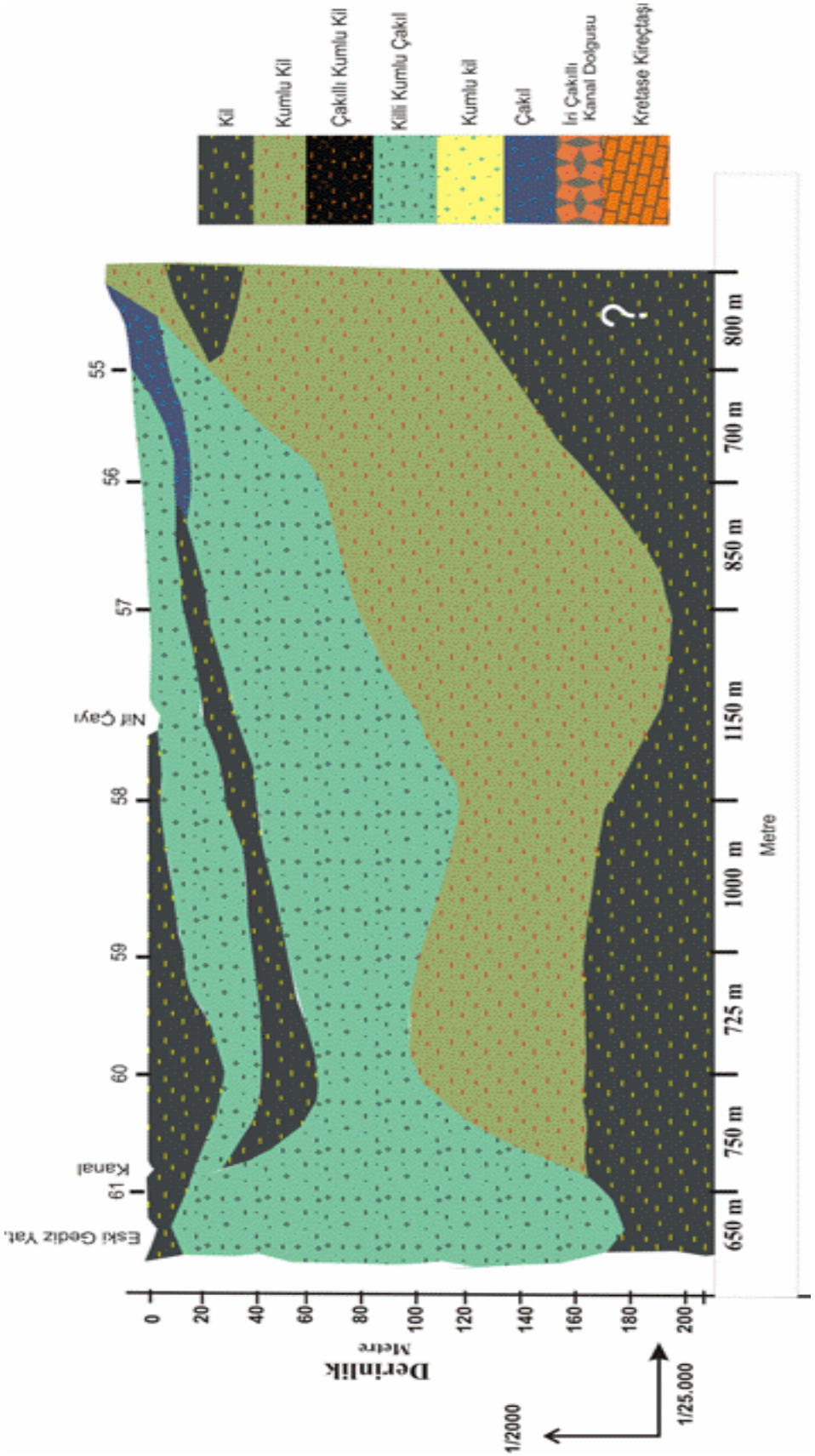
Şekil 6.7 Hat-3' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



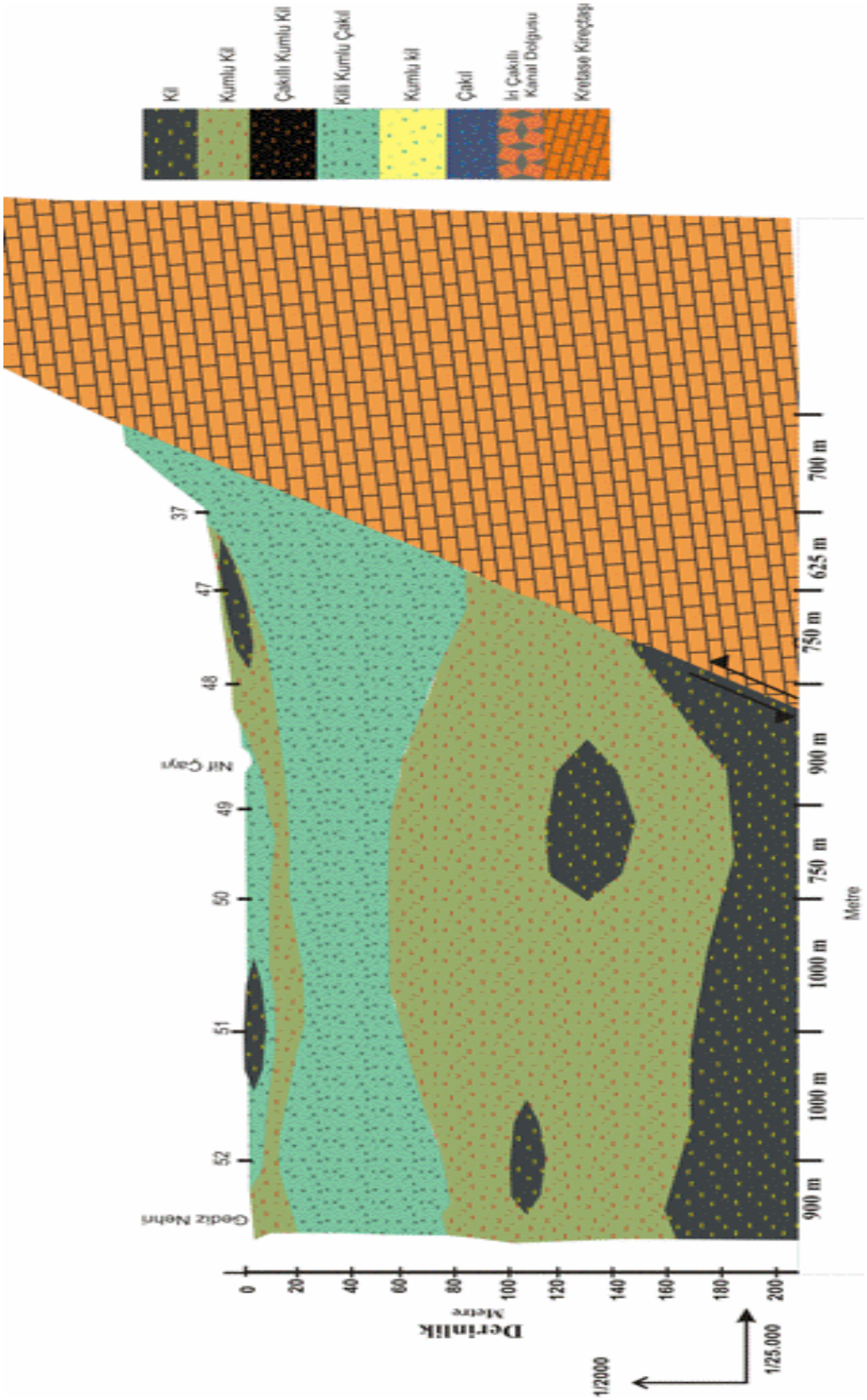
Şekil 6.8 Hat-4' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



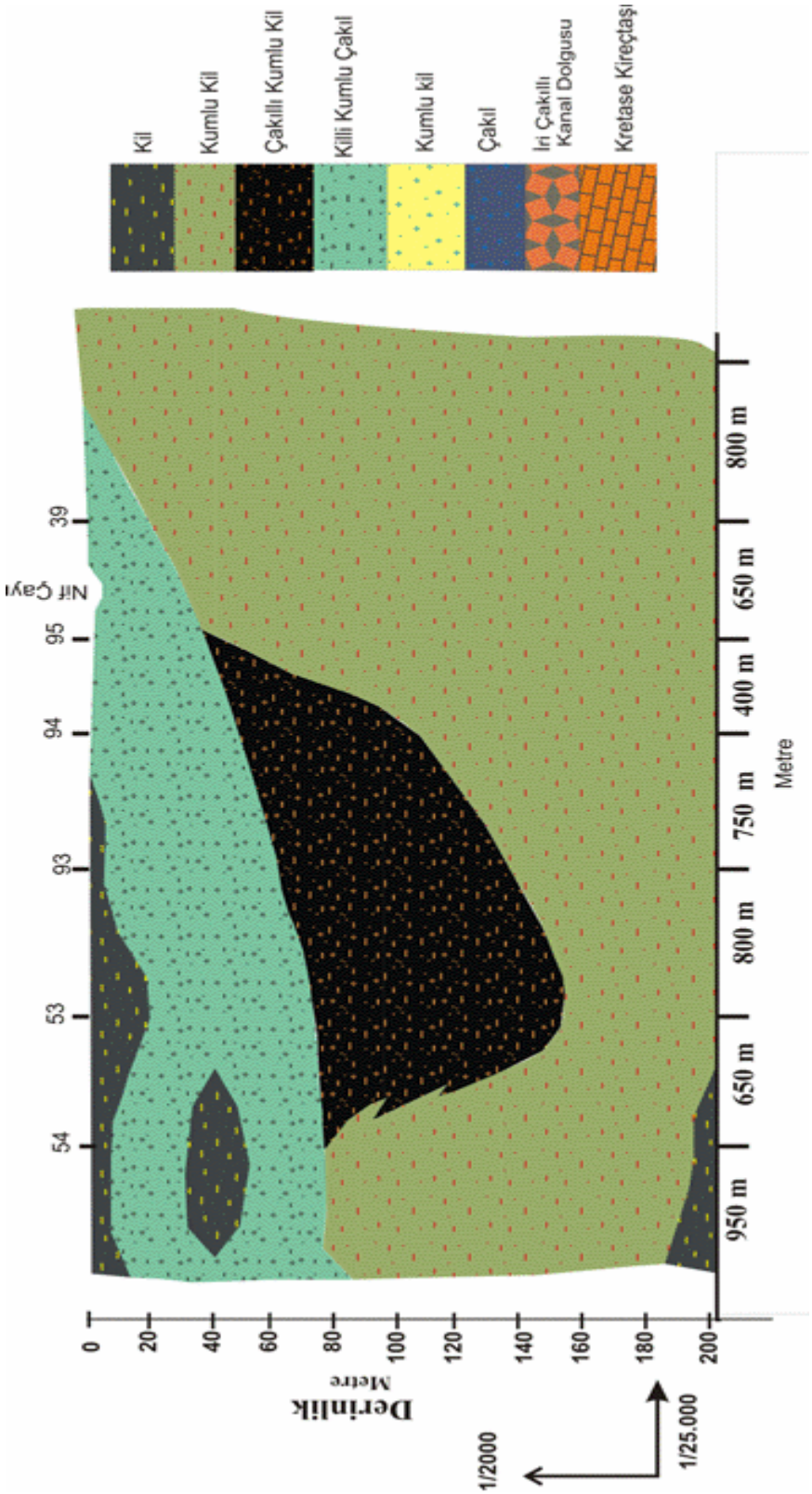
Şekil 6.9 Hat-5' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



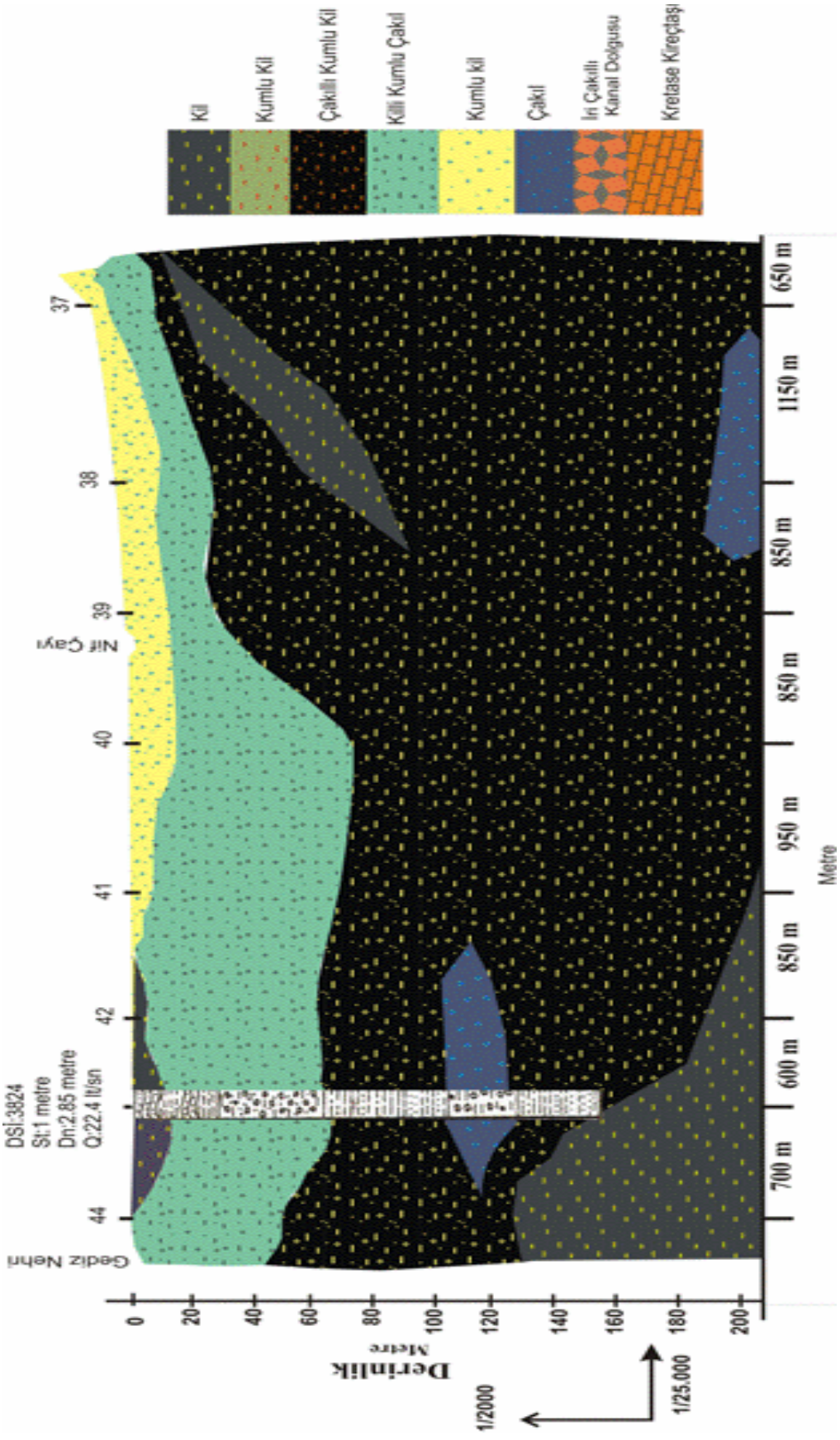
Şekil 6.10 Hat-6' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



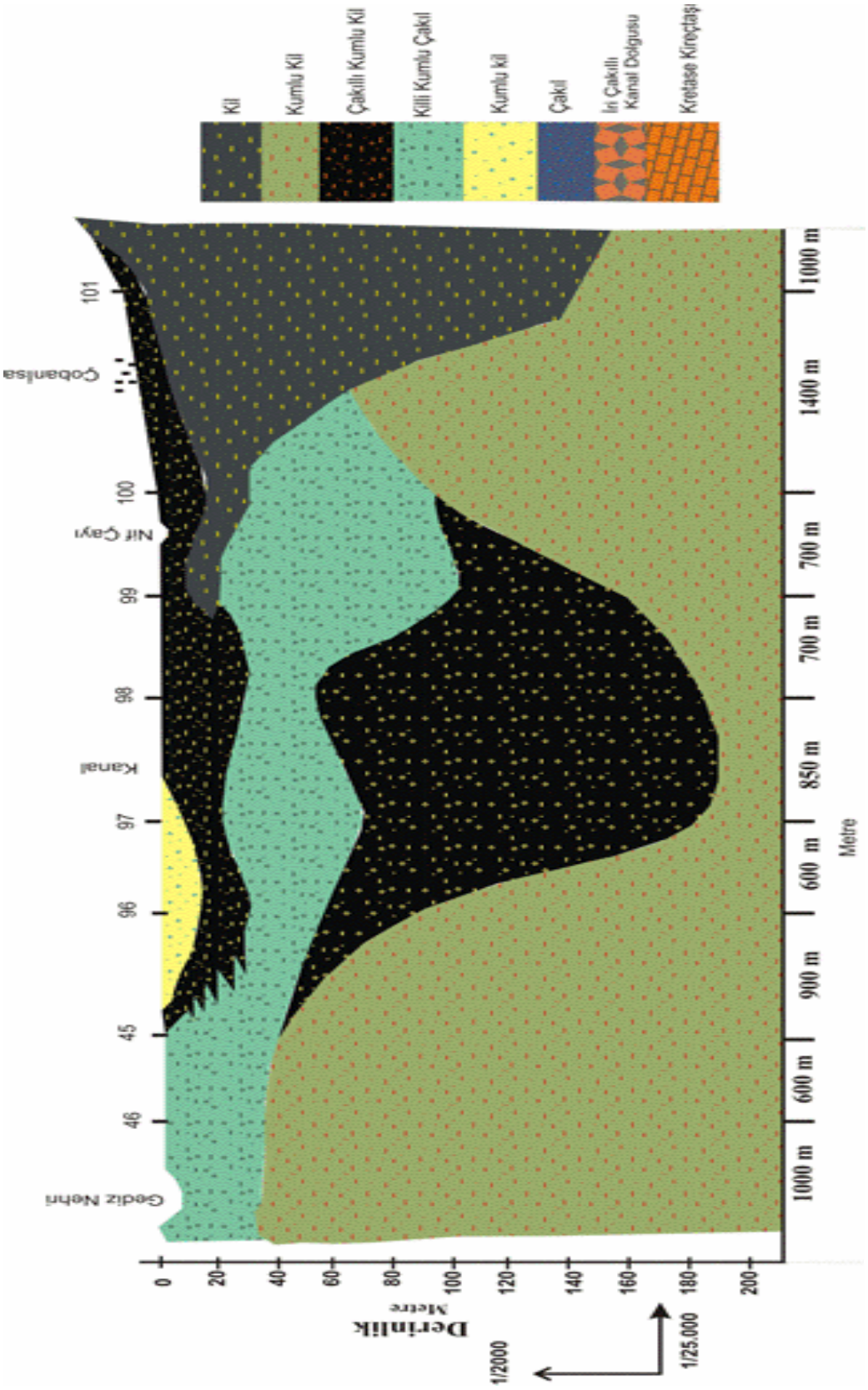
Şekil 6.11 Hat-7' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



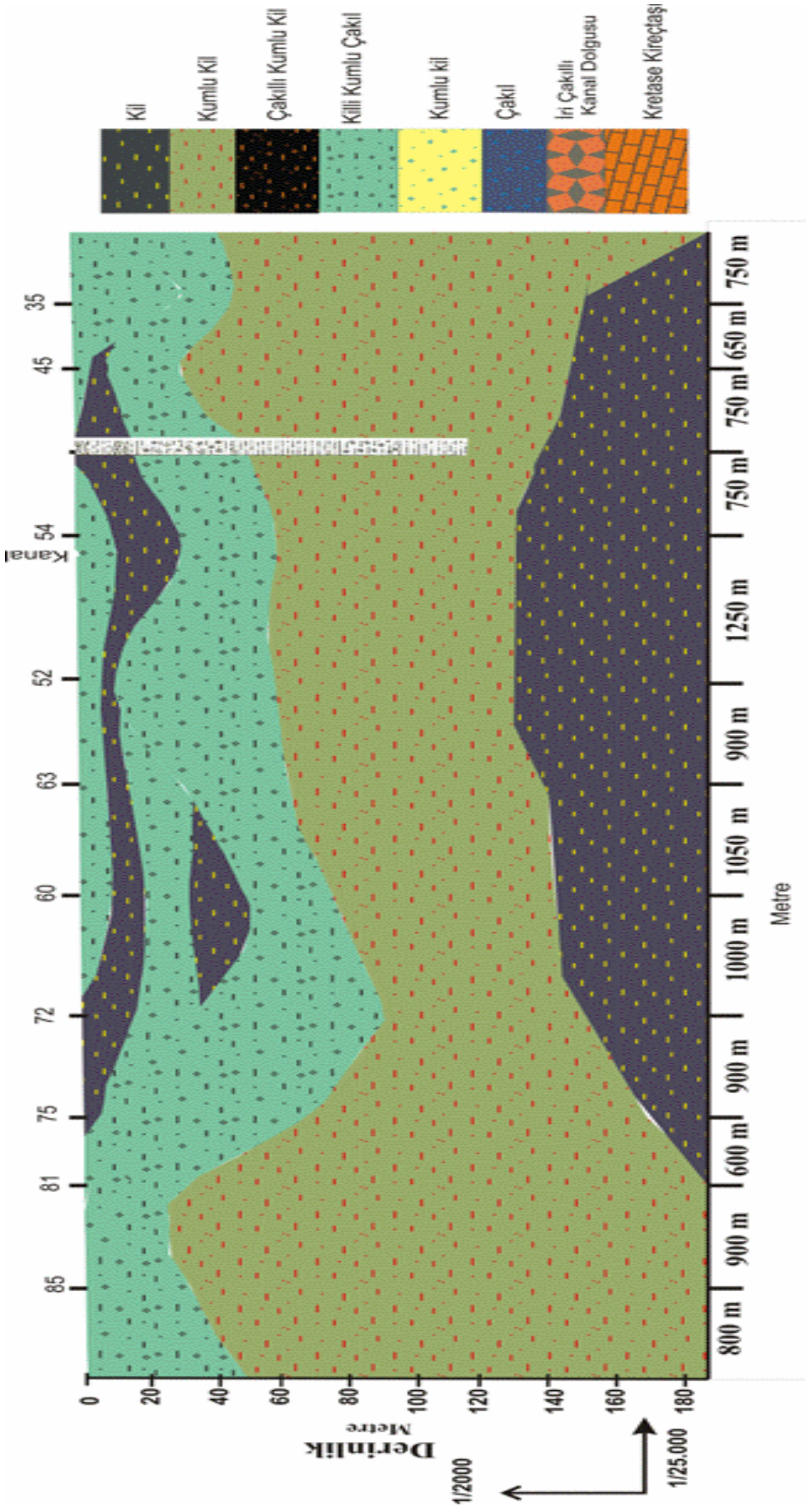
Şekil 6.12 Hat-8' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



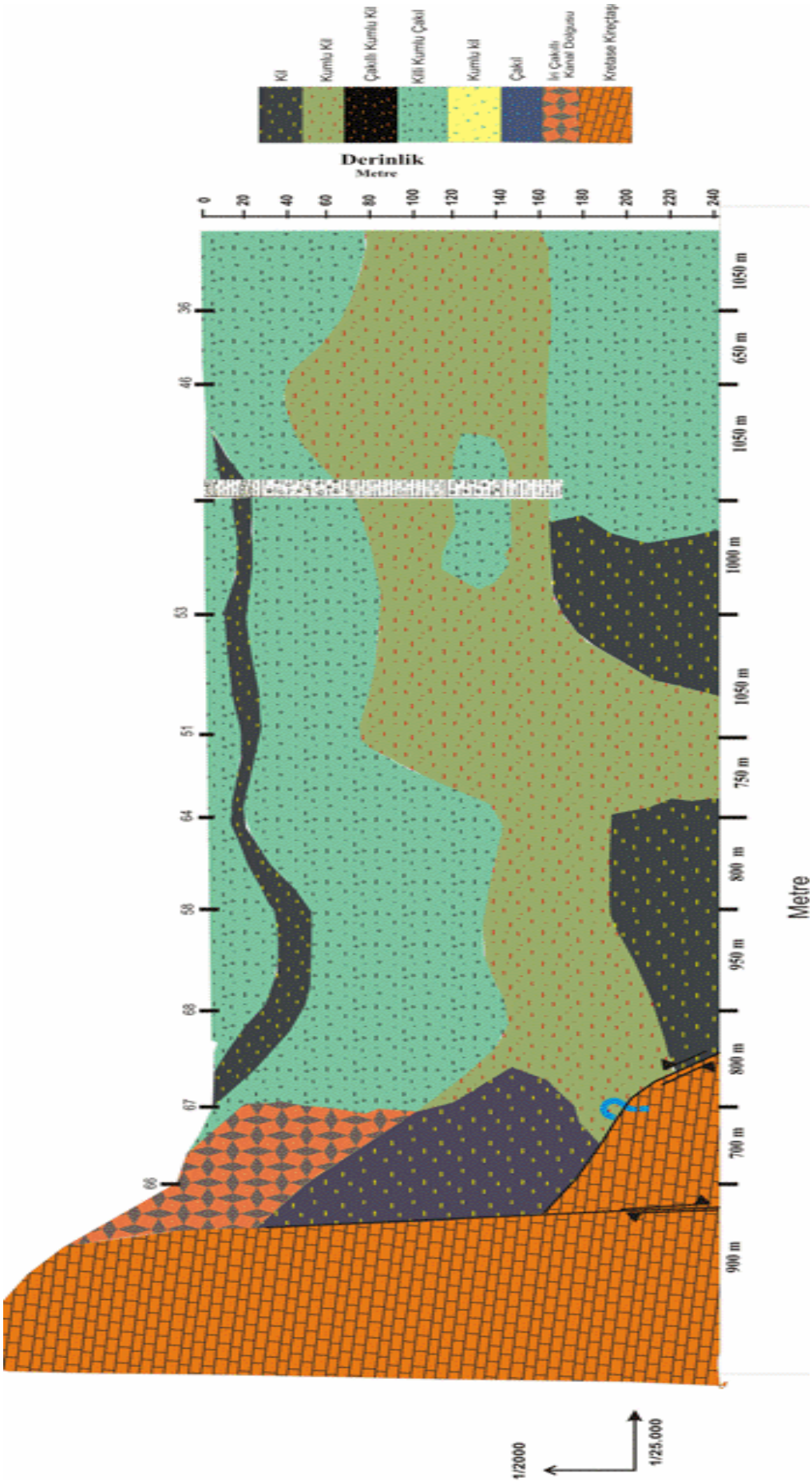
Şekil 6.13 Hat-9' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



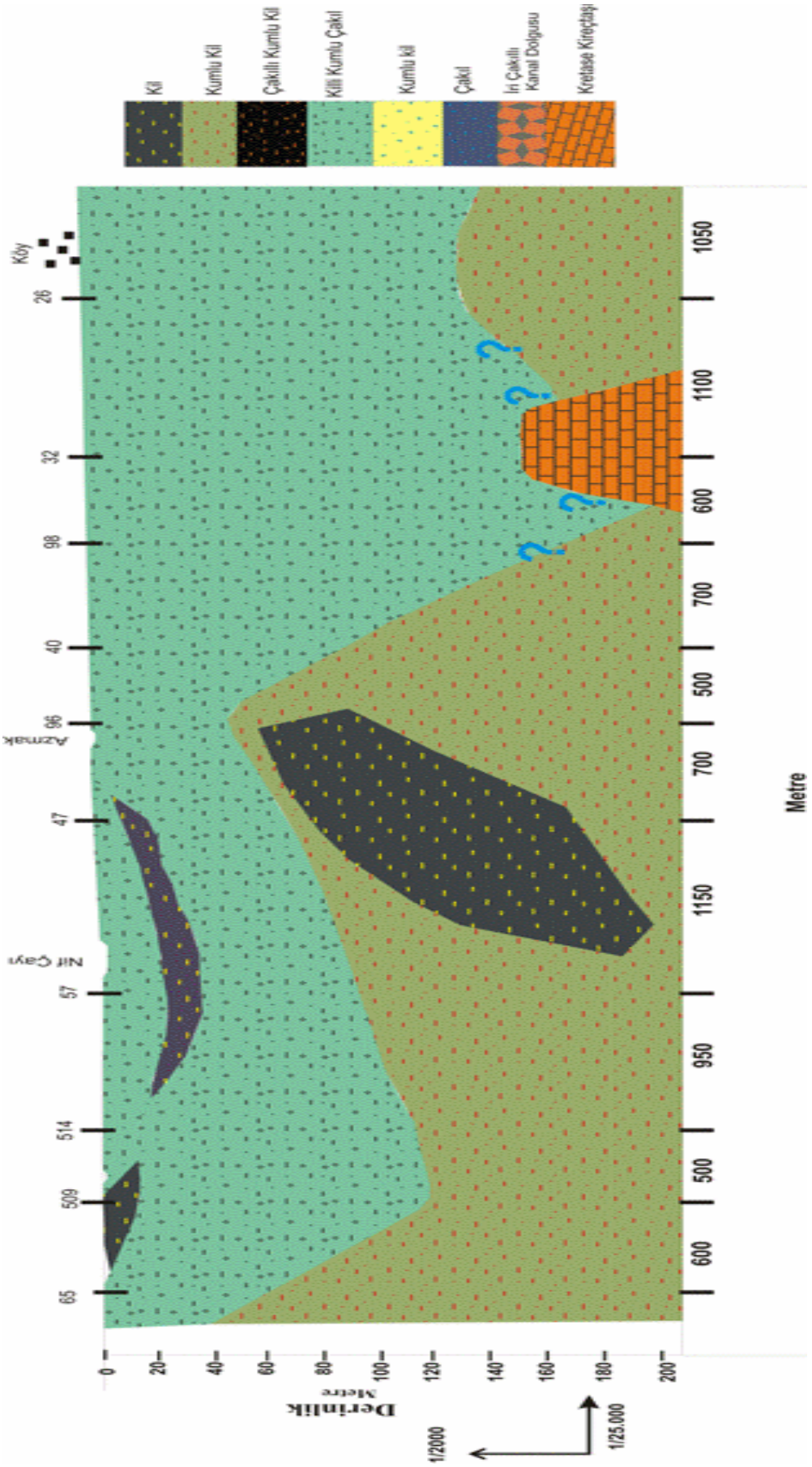
Şekil 6.14 Hat-10' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



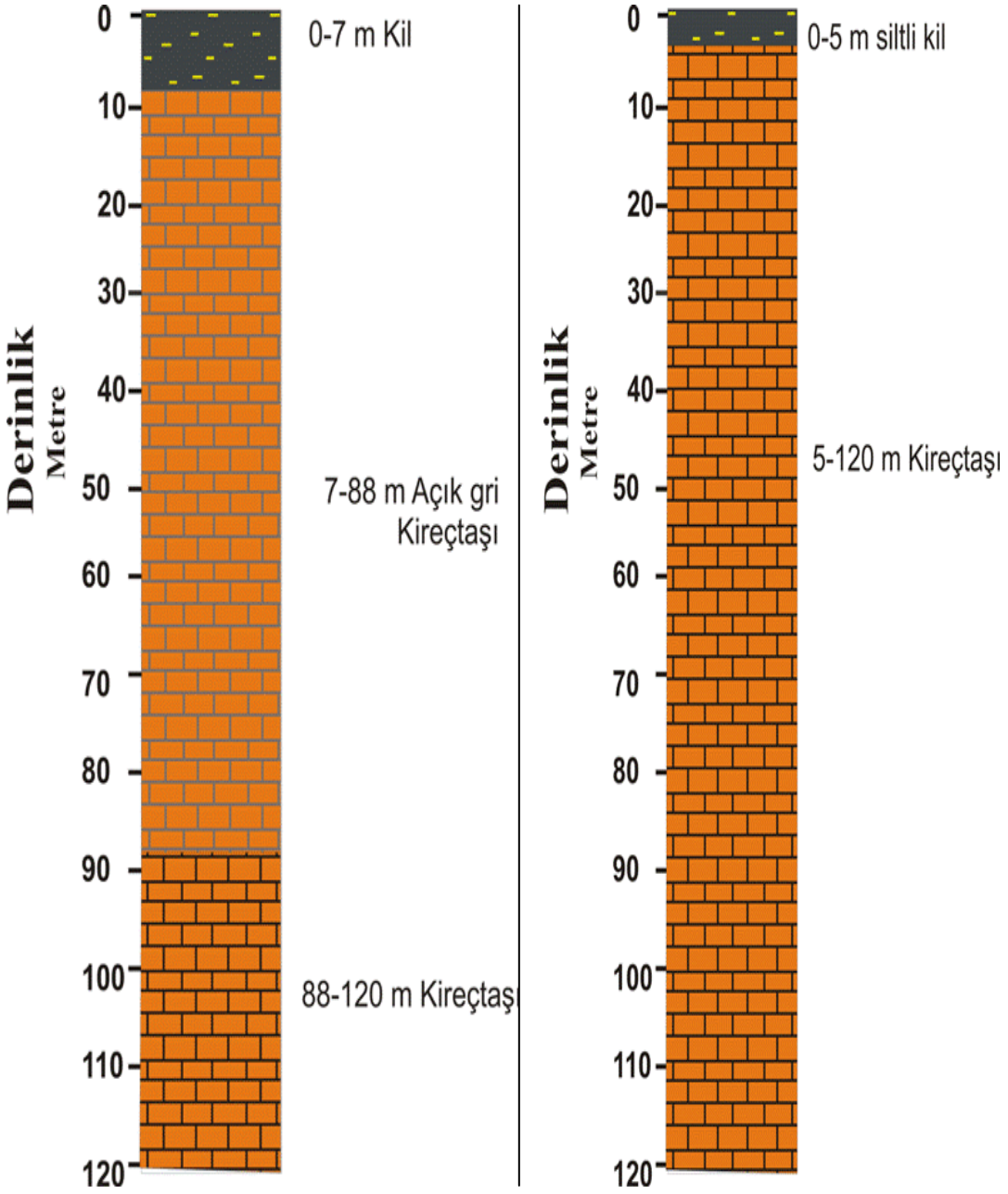
Şekil 6.15 Yatay Hat-1' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



Şekil 6.16 Yatay Hat-2' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



Şekil 6.17 Yatay Hat-3' nin yorumlanmış yerelektrik kesiti



a) Akınar 45/2201 No'lu sondaj kuyusu kesiti b) Ilıkpınar 45/2588 No'lu sondaj kuyusu kesiti

Şekil 6.18 3. Bölge İller Bankası sondaj kuyusu verilerine göre formasyon kesitleri

Yorumlanan kesitlerden aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır.

Neojen alüvyon, killi, kumlu yer yer çakıllı seviyelerden oluşmaktadır. İnceleme alanının güneyinde ve kuzeyinde mostra vermektedirler. Genellikle killi ve geçirimsiz seviyeler olup, yeraltı suyunu taşıma yönünden olumlu değildirler.

Ova içerinde Kuvaterner yaşlı alüvyonel malzemeler değişik yayılım sunmaktadırlar. Kuvaterner alüvyon, çakıllı, kumlu, killi ve siltli seviyelerin yayılımından meydana gelmiştir. Görünür özdirenç değerlerine göre, 10–25 ohm-metre arasındaki değerler kumlu ve killi seviyeleri, 25–200 ohm- metre arasındaki değerler killi kumlu çakıllı seviyeleri, 200–600 ohm-metre arasındaki değerler kum-çakıl ve iri parçalı molozlu sevileri temsil ettiği düşünülerek yerelektrik kesitlerine işlenmiştir. Alüvyon örtüsü kalınlığının ortalama yaklaşık 200 metre olması tahmin edilmektedir. Özdirenç değerleri 10–100 ohm-metre arasında değişmektedir. Çakıllı ve kumlu seviyeler akifer karakterinde olup, yeraltı suyu yönünden iyi bir rezervuar olabilirler.

Ovanın güneybatısında mostra veren kretase yaşlı kireçtaşları faylı olduklarından ancak yamaca yakın birkaç lokasyonda tespit edilmiştir. Bunun nedenle faylanmanın eğiminin yüksek olduğu düşünülebilinir. Ova sınırına faylı olup, kırık ve çatlak sistemi çok iyi gelişmiştir. Yeraltı suyunu taşımaya ve depolamaya çok uygun bir rezervuar niteliğindedir.

BÖLÜM YEDİ
SONUÇ VE ÖNERİLER

Manisa ve çevresindeki önceki çalışmaların verileri ve bu çalışmadaki verilerden yararlanılarak sonuç ve öneriler çıkarılmıştır.

İnceleme alanı içinde Kuvaterner yaşlı alüvyonel malzemeler ve Üst Kreatase - Paleosen yaşlı Bornova karmaşığına ait kayaç yayılım göstermektedirler.

İnceleme alanındaki kaynaklar ve akiferler Manisa fayına bağlı olarak boşalmaktadırlar.

3. Bölge İller Bankası verilerine göre, sondaj kuyularında statik seviye 0,26 – 26 metre, dinamik seviye 2,10 – 32,5 metredir. Debi ise 4 – 96 lt/sn arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki suların sertlikleri 22,57 – 82,07 ^{0}Fs arasında olup inceleme alanındaki sular sert, çok sert sular sınıfındadır. İnceleme alanındaki suların pH değerleri 6,7 – 7,2 arasında olup nötr özelliktedir. İnceleme alanındaki suların EC değerleri 465- 1554 μmho/cm arasındadır.

İnceleme alanındaki sular Wilcox diyagramına göre çok iyi- iyi, şüpheli kullanılabilinir sular sınıfına girmektedir. İnceleme alanındaki sular ABD Tuzluluk diyagramı göre C2-S1, C3-S1 sınıfındadır. Piper diyagramına göre alınan su örnekleri, 5. ve 6. bölgelerde toplanmışlardır, bu bölgedeki sular $CaCO_3$ - $MgCO_3$ ve $CaSO_4$ – $MgSO_4$' lı sular sınıfına girmektedir. Yarı logaritmik Schoeller diyagramına göre alınan su örnekleri, aynı köken ve aynı formasyondan gelen sulardır. İnceleme alanındaki tüm sular ağır metal konsantrasyonları sınır değerler altındadır.

Krisotil, vollastonit, talk mineralleri tüm sıcak sularda doygunluk üstü (çökeltici özellikte) değer vermektedir. Anhidrit, kalsit, amorf silis, kalsedon ve kuvars mineralleri ise tüm sıcak sularda doygunluk altı (çözündürücü özellikte) değer vermektedir. Sıcak suların soğuk yeraltı suları ile fazla sıcaklık farkı sunmaması, sıcak suların sığ bir dolaşıma sahip olduğu ya da yüzeye çıkarken soğuk yer altı suları

ile yüksek oranda karışması ile açıklanabilir. Düşük sıcaklı bir jeotermal sistem olan Akpınar ve Ilıkpınar jeotermal alanlarında termal suların su-kayaç dengesinin tamamen tamamlamadığı için jeotermometrelerden elde edilen sonuçların sağlıksız olabilme oranı yüksektir. Çalışmada yapılan jeotermometrelere göre;

— Silis jeotermometrelerine göre, ortalama 30 – 180 ^{0}C arasında

— Silis Entalpi Karışım modeline göre, 140–150 ^{0}C arasında akifer sıcaklıklarına yaklaşım sağlarlar. Bu veriler doğrultusunda akifer sıcaklığı 100 ^{0}C' nin altında olduğunu tahmin edilebilir.

Ova içerisinde Kuvaterner yaşlı alüvyonel malzemeler yayılım sunmaktadırlar. Görünür özdirenç değerlerine göre, 10–25 ohm-metre arasındaki değerler kumlu ve killi seviyeleri, 25–200 ohm- metre arasındaki değerler killi kumlu çakıllı seviyeleri, 200–600 ohm-metre arasındaki değerler kum-çakıl ve iri parçalı molozlu sevileri temsil ettiği düşünülerek yerelektrik kesitlerine işlenmiştir. Alüvyon örtüsü kalınlığının ortalama yaklaşık 200 metre olması tahmin edilmektedir. Özdirenç değerleri 10–100 ohm-metre arasında değişmektedir. Ovanın güneybatısında mostra veren kretase yaşlı kireçtaşları faylı olduklarından ancak yamaca yakın birkaç lokasyonda tespit edilmiştir. Bu nedenle faylanmanın eğiminin yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Şekil 6.25 deki yerelektrik kesiti, faylanmanın ova içerisinde basamaklanma şeklinde devam ettiği düşüncesini vermektedir. Faylanmanın alüvyon altındaki basamaklanmasını ve alüvyon kalınlığını tespit etmek için Jeofizik Yöntemlerden yararlanılarak, detaylı bir jeofizik etüdün yapılması gerekir. . Basamaklı faylanmalar, jeotermal enerji potansiyeli açısından uygun ortamlardır. Şekil 6.18 deki Yatay Hat–2 profillinin 66 ve 67 DES noktalarında yakınlarında 300–500 metre derinlikte araştırma sondajı açılması yararlı sonuçlar verebilir.

KAYNAKÇA

Akdeniz, N., Konak, N., Öztrük, Z. Ve Çakır, J. (1986), *İzmir-Manisa dolaylarının jeolojisi.* MTA raporu.

Aksoy, N. (2001). *Balçova – Narlıdere jeotermal sisteminin izleyiciler ile incelenmesi,* D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, Temmuz, İzmir, 11–26.

Annorsson, S, (1983). *Chemical Equilibria in Icelandic Geothermal Systems*. Implications for Chemical Geothermometry Investigations. Geotermics.

Bozkurt, E. ve Sözbilir, H. (2006). *Evolution of large-scale Normal faults: Insights from the Active Manisa fault,* Southwest Turkey. Geodinamica Acta.

Bozkurt, E. (2001). *Neotectonics of Turkey-a synthesis*. Geodinamica Acta.

Canik, B. (1998). *Hidrojeoloji, Yeraltısularının aranması, işletilmesi, kimyası,* AÜ. Fen Fak. Jeoloji Müh. Böl., Ankara.

Calmbach, L., (1997), *AquaChem Computer Code-Version 3.7.42*, waterloohydrogeologic.Waterloo, Ontario, Canada.

Chritopher, H., Armstead, H., (1989). *Energia Geotermica*, Noriega Editores, Mexico.

Demirören, M. (1971). *Çankkale-Ayvacık-Tuzla Jeotermik Enerji Sahası Rezistivite Etüdü*, 1.Jeotermal Enerji Sempozyumu, Ankara.

Dizioğlu ve Keçeli, (1981). *Elektrik ve Elektromanyetik prospeksiyon yöntemleri,* İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

DSİ 22. Şube Müdürlüğü, (2005). *Manisa İli doğal su kaynakları*, Manisa.

Calmbach, L., (1997). *AquaChem Computer Code-Version 3.7.42. WaterlooHydrogeologic*, Waterloo,ON.

Erdoğan, B. (1990). *İzmir – Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi*, TPJD Bült., C.2/1-20.

Erguvanlı, K. Yüzer, E. (1973). *Yeraltı suları jeolojisi*, Özarkadaşlar, 350 s.

Emre, Ö.,Özalp, S.,Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C.,Göktaş, F. (2005). *İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri*. MTA Raporu no:10754, Jeoloji Etüdleri Dairesi, Ankara.

Fournier, R.O. (1979). *A Revise Equation for the Na – K Geothermometer*. Geothermal Res. Council Trans., v. 3, p.221-224.

Fournier, R.O. (1977). *A Review of Chemical and Isotopic Geothermometres for Geothermal System. In: Proceedings of the Symp. On Geoth. Energy*, Cento Scientific Programme, Ankara.

Fournier, R.O., Potter, R.W., (1979). *Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer*. Geochimica et Cosmochimica Acta.

Fournier, R.O. (1979b). *Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hotspring systems*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 5, 1-16.

Filiz, Ş., Gemici, Ü. ve Tarcan, G. (1997). *Balçova termal alanının (İzmir) hidrojeokimyasal incelenmesi*, D.E.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Su ve Çevre Sempozyumu.

Hafızoğlu, E. (2007). *Manisa ve Çevresinin Hidrokimyasal ve İzotropik İncelenmesi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Gemici, Ü., Filiz, Ş. (2001). *Ilıkpınar ve Akpınar karstik kaynakları (Manisa) ve çevresinin Hidrojeolojisi*, Yeraltı Suları ve Çevre Sempozyumu, 321 – 330 s.

Giggenbach, W.F.,Gonfiantini, R., Jangi, B.L., and Truesdell, A.H., (1983), *Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges*, NW Himalaya, Indiana.

Giggenbach,W,F., (1988). *Geotermal Solute Equilipria. Derivation of NA-K-Mg-Ca Geoindicators.* Geochim.et Cosmochim. Acta.

Laughlin, A.W. (1982). *Exploration for Geothermal Energy*, Eds.: Edwards, L.M., Chilingar, G.V.,Rieke III, H.H., Fertl, W.H., in Handbook of Geothermal Energy, Gulf Pub. Co., Houston.

Kaya, M.A. (2000). *Elektrik Prospeksiyon ders notları*, Isparta.

Kamacı, Z. (1997). *Jeotermal alanların jeofizik yöntemlerle araştırılması ve uygulama örnekleri*, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 277–283 s.

Koçak, A. (2000). *Türkiye'de Jeotermal Enerji Armaları ve Potansiyeli*, Türkiye 8. Enerji Kongresi, Cilt 2 Sayfa: 109–124, Ankara. Fransisco.

McNitt, J.R. (1976). *Summary of United Nations Geotermal Exploration Technigues: Proc. 2nd U.N. Sympos*.On the Development and of Geoth.Res., San.

Meidav, T. and Tonani, F. (1976). *A critigue of Geotermal Exploration Technigues*: Proc. 2nd U.N. Sympos. On the Development and Use of Geoth. Res., San Fransisco.

Rapolla, A., and Keller, G.V., (1984). *Geophysics of Geotermal Areas*: State of the Art and Future Development: Proc. Of the 3rd Course Held of the School of Geophysics, "Ettore Majorana" Internat. Centre for Sci. Culture, Erice Italy.

Palmason, G. (1976). *Geophysical Methods in Geotermal Exploration: Proc*. 2nd U.N. Sympos. On the Development and Use of Geoth. Res., San Fransisco.

Okay, A. I. (1989). *Tectonics units and sutures in the Pontids, Northern Turkey*. In: Tectonic Evolution of the Tethyan Region, (ed) A.M.C.

Özer, S., İrtem, O. (1982). *Işıklar – Altındağ (Bornova- İzmir) alanının Üst Kretase kireçtaşlarının jeolojik konumu*, stratigrafisi ve fasiyes özellikleri, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 41–47 s.

Özkaymak, Ç., Sözbilir, H. (2006). *Aktif Manisa fayının batı bölümünün jeolojik özellikleri: deprem üreten faylarda reaktivasyon*, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, İzmir, 68–70 s.

Şahinci, A. (1991). *Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri*, D.E.Ü. Mühendislik–Mimarlık Fakültesi, MM / JEO–86 EY 124.

Şahinci, A. (1986). *Yeraltı suları jeokimyası*, D.E.Ü. Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, MM / JEO–86 EY 99.

Üzel, R.C. (1977). *Manisa – Turgutlu Ovası İlave Jeofizik Etüt Raporu*, D.S.İ. Genel Müdürlüğü, İzmir.

Tarcan, G (2003). *Jeotermal su kimyası, jeotermalde yerbilimsel uygulamalar*, Yaz Okulu Ders Kitabı- JENARUM D.E.Ü.- Mühendislik Fakültesi, İzmir Yayın No:306, s:198–245.

Tarcan. G. (2004). *Yeraltısu kimyası ders notları*, Isparta.

Tezcan, A.K. (1971). *Sarayköy-Kızıldere Jeotermal Enerji Sahasında Kuru Buhar Üretme İmkanı,* Türkiye 1. Jeotermal Enerji Sempozyumu, İzmir.

Türker, A.E., Keçeli, D.A., Kaya, M.A. ve Kamacı, Z. (1991). *Uşak-Banaz Jeotermal Alanının Jeoelektrik Yöntemlerle Araştırılması*, Isparta.

TS–266. (1997). *Türk Standartları İçme Suları*. UDK 663.7.543, 32s.

Yılmazer, S. (1989). *Balçova Kaplıcalarının (İzmir) jeokimyasal özellikleri ve alanın jeotermal enerji olanakları*, Isparta.

Yıldırım, S. (2005). *2004 Yılı Manisa İli Çevre Durum Raporu*, Manisa Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Manisa.

Yılmazer, S. (2001). *Kıyı Ege ve İzmir İlindeki Jeotermal Kaynakların Değerlendirilmesi*, 1. Çevre ve Jeoloji Sempozyumu, Sayfa: 371–379, İzmir.

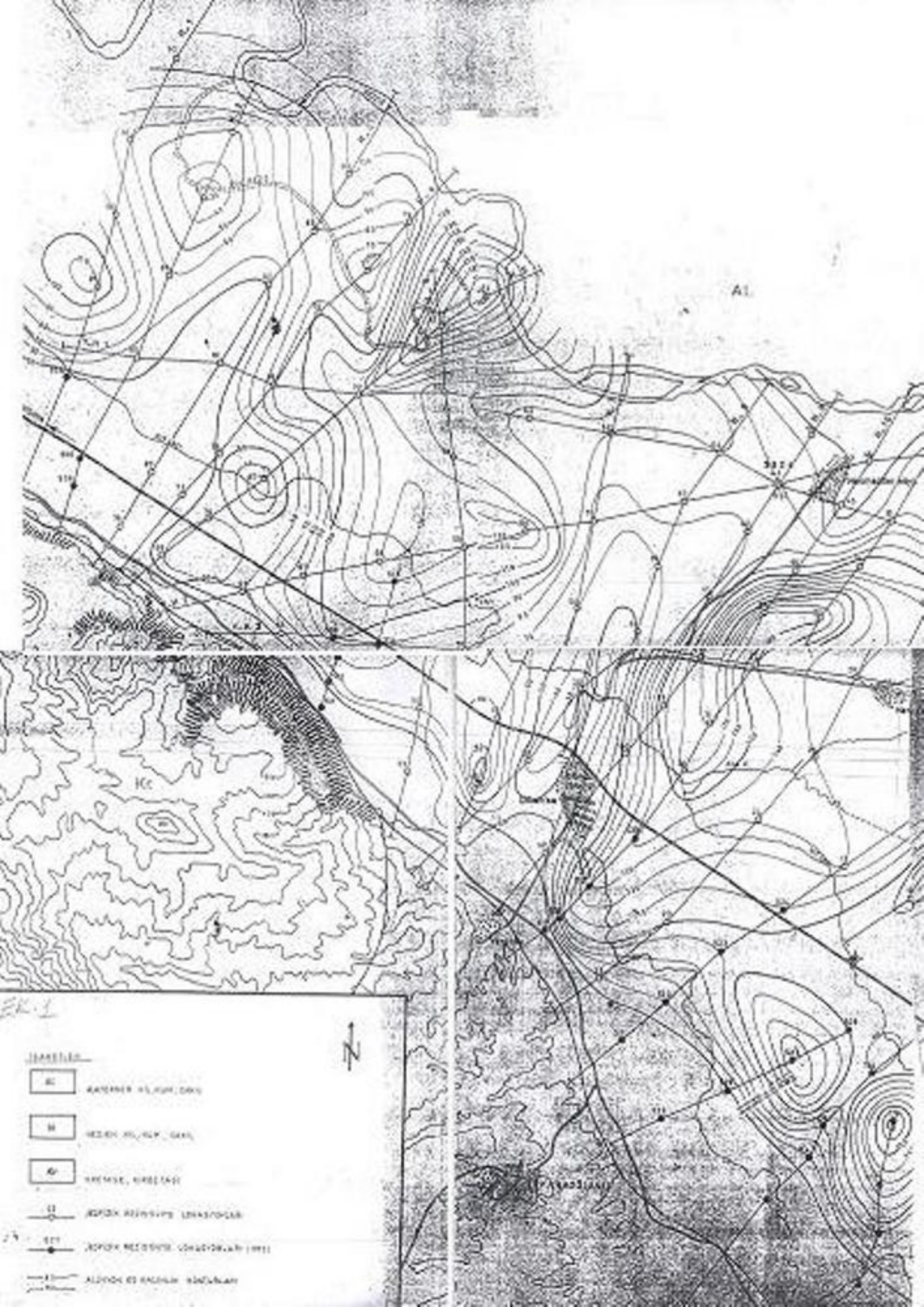
Truesdell, A. H., (1976) *Summary of section III geochemical techniques in exploration*. In: Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources. San Francisco.

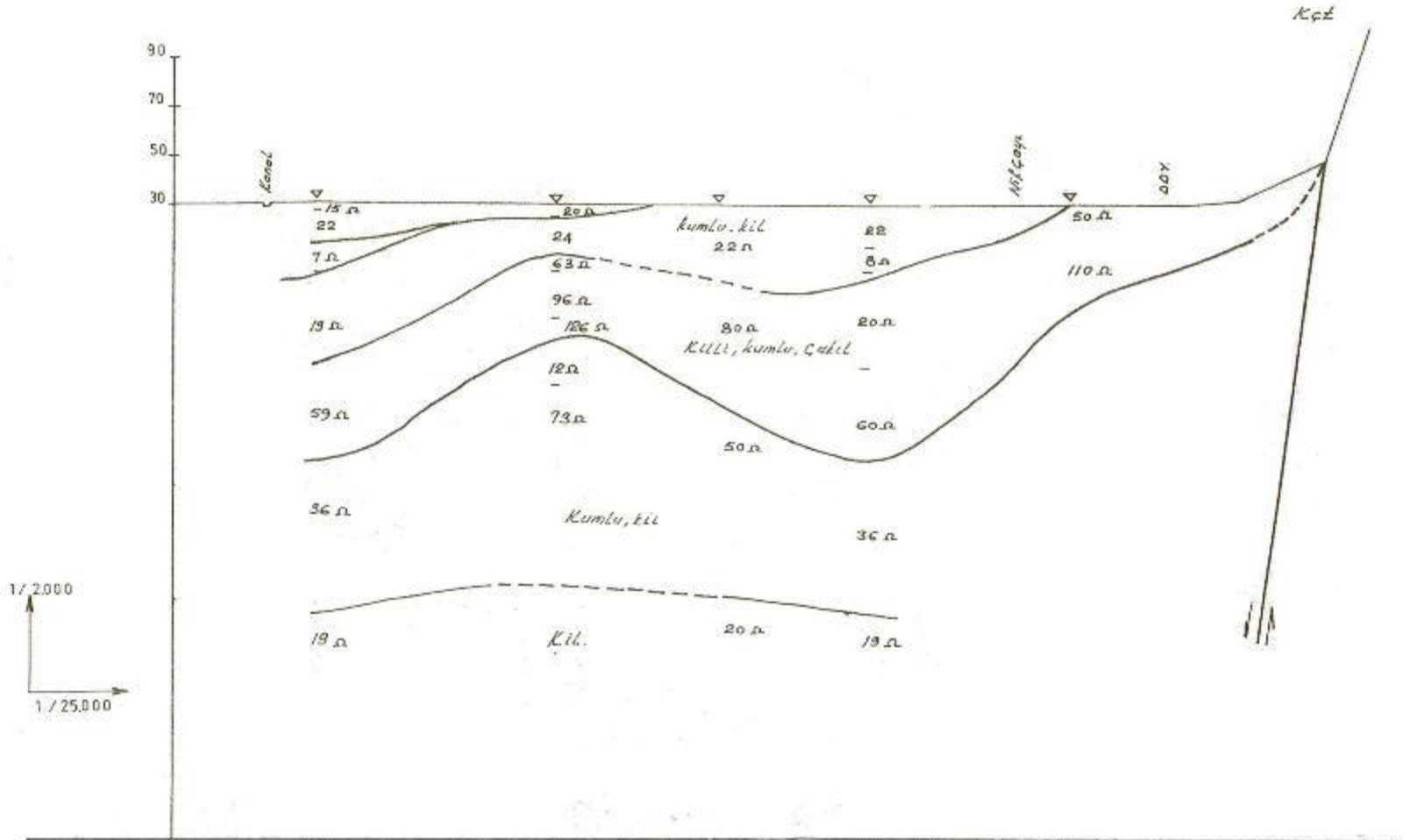
Walter, A.W. and Weawer, C.S. (1980). *Seismic Studies in the Coso Geothermal Area*, Inyo Country, Cliforniya.

Ward, S. H., (1983). *Geophysical Studies of Active Geothermal Systems in the Northern Basin and Range*:Geoth. Res. Counc. Spec. Rep.

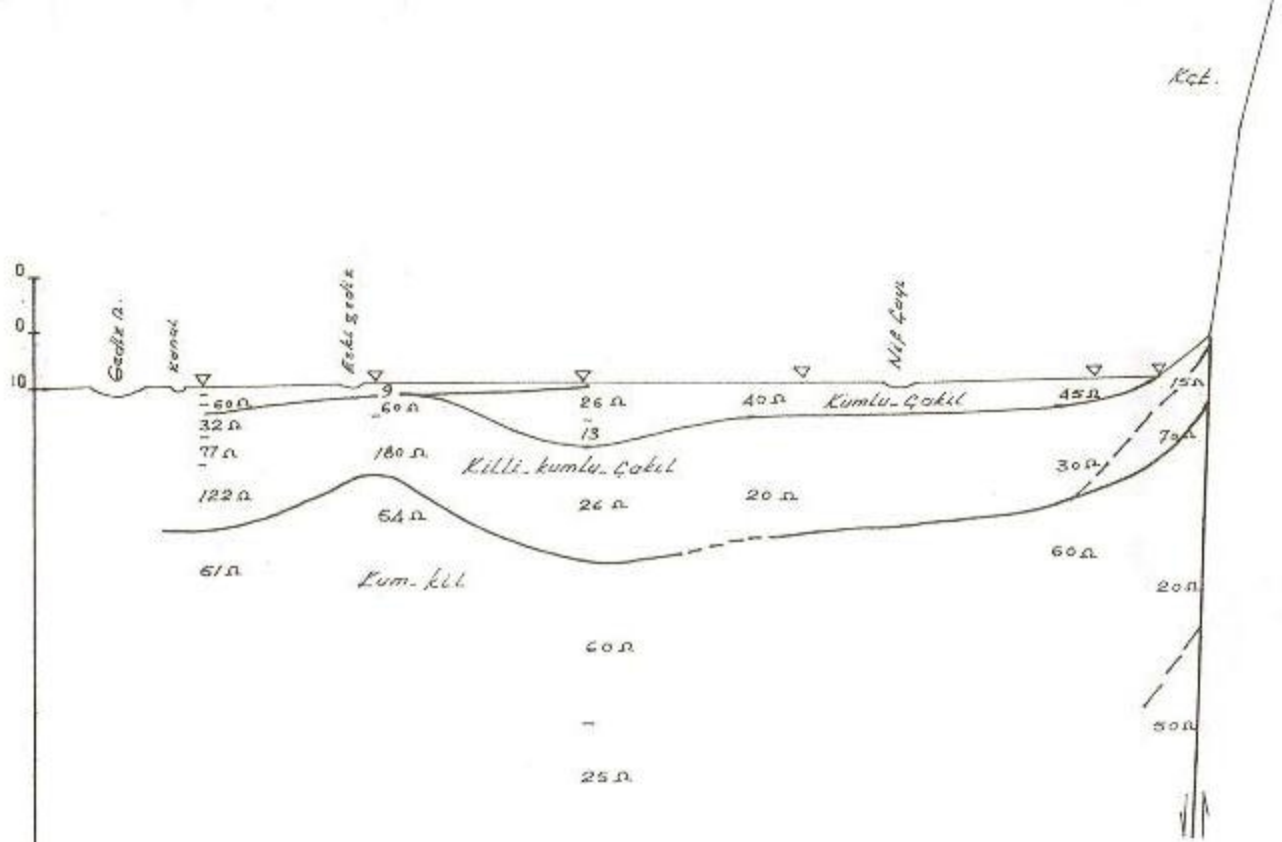
Zohdy, A.A. R. (1978). *Total-Field Resistivity Mapping and Sounding over Horizontally Layered Media* (Dipole- Dipole Geothermal).

EKLER

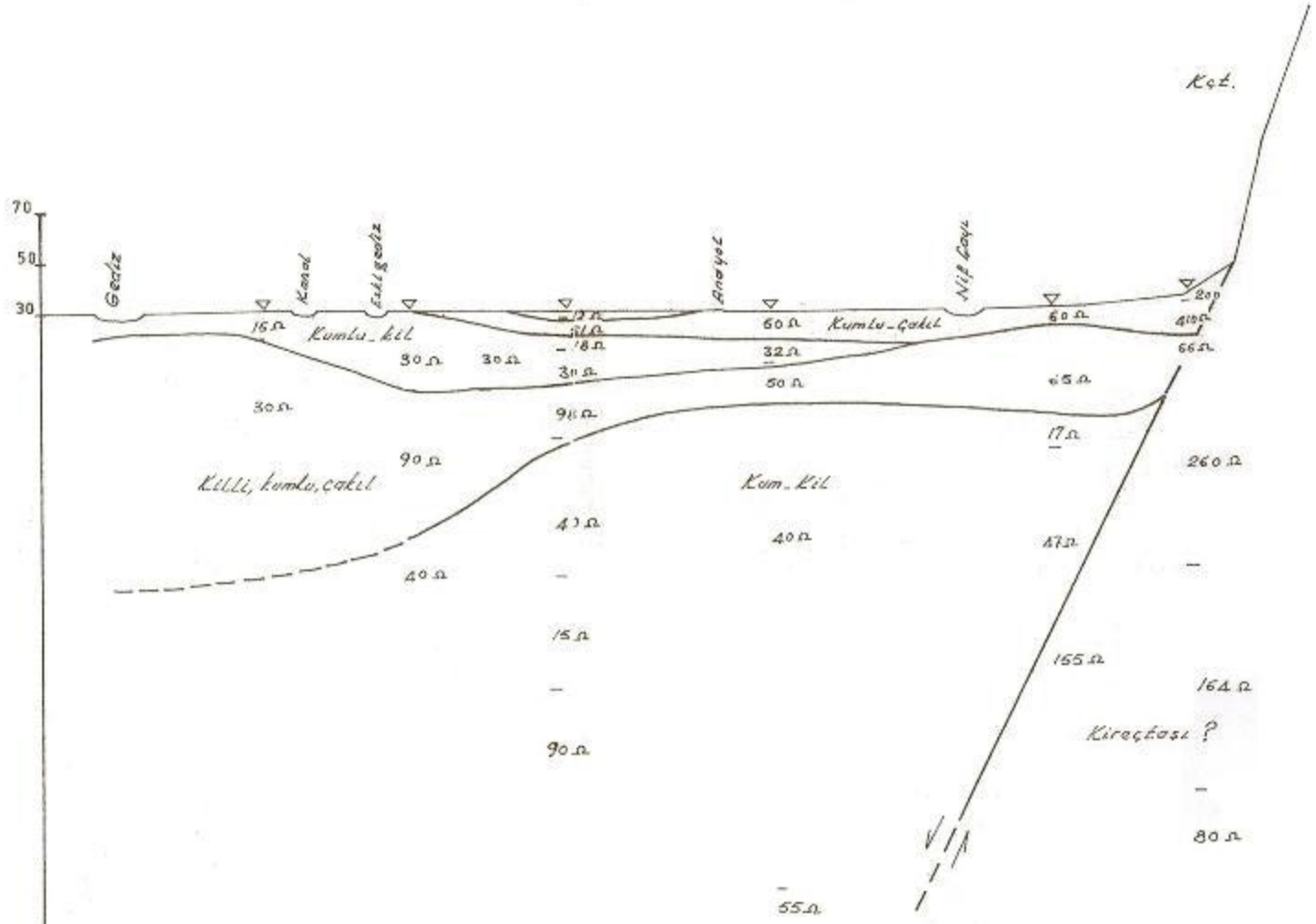




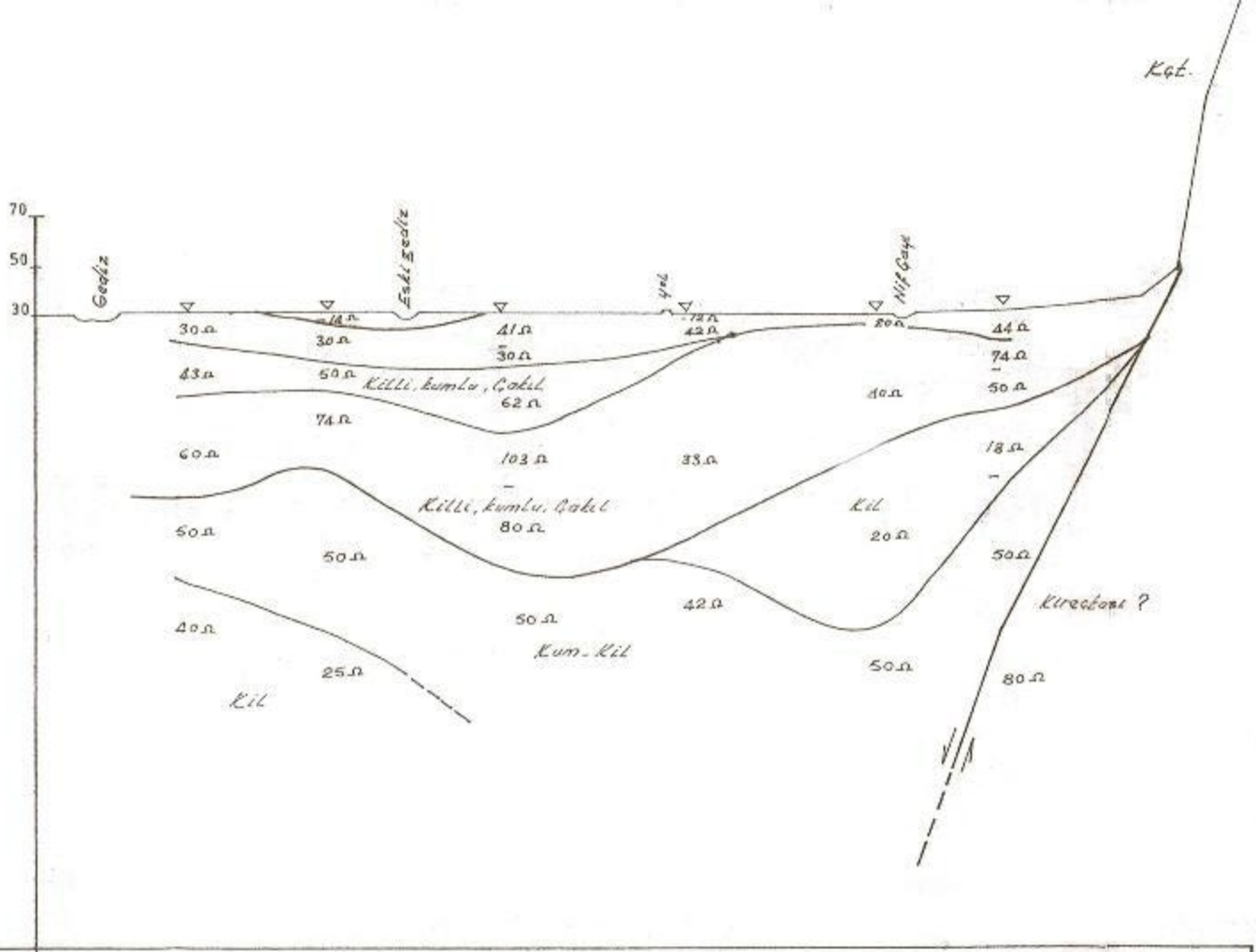
NOKTA NO	92		91		90	89		504	
ARA MESAFE	750	1260		850	800		1060		1750
KOT	32		31.50		32	32.60		32	



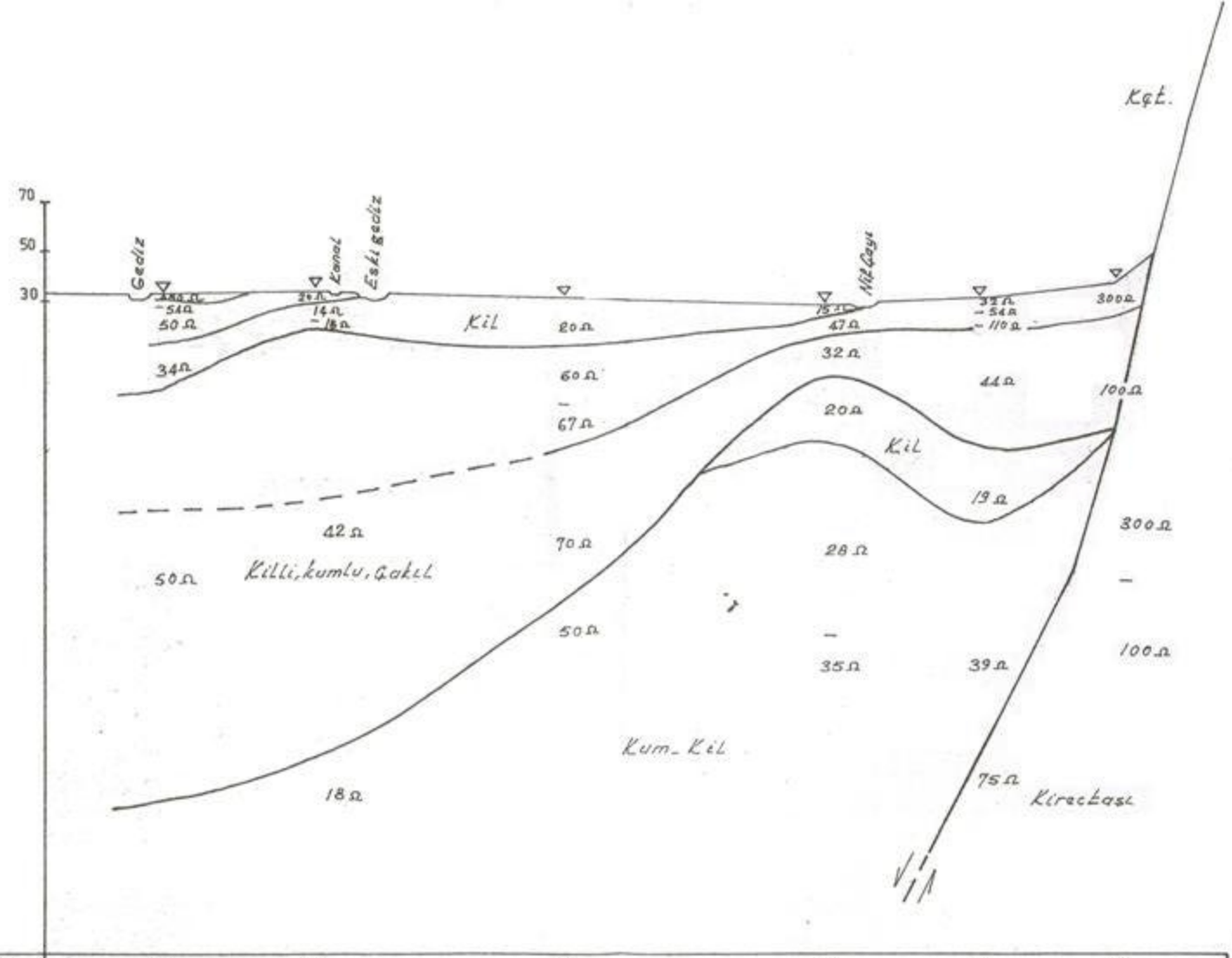
NOKTA NO		88		87		86		85		505	506
ARA MESAFE	750		800		900		1000		1300	300	600 m.
KOT		31				33		32.50		34	35.50



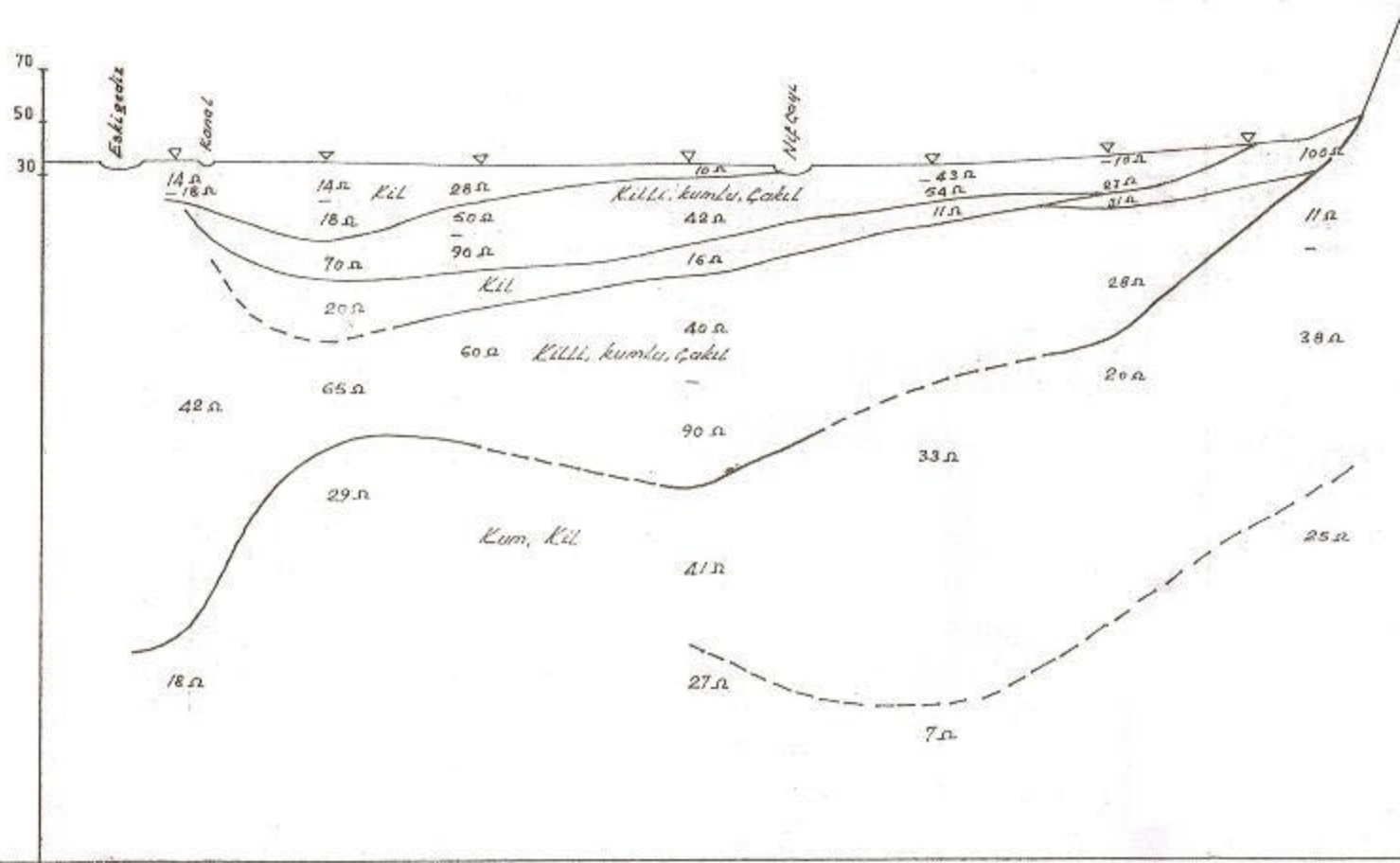
NOKTA NO		84	83	82	81	80	79	
ARA MESAFE	1100	750	800	1050	1400	700	600	
KOT		31.50	32	32	32	33	32	



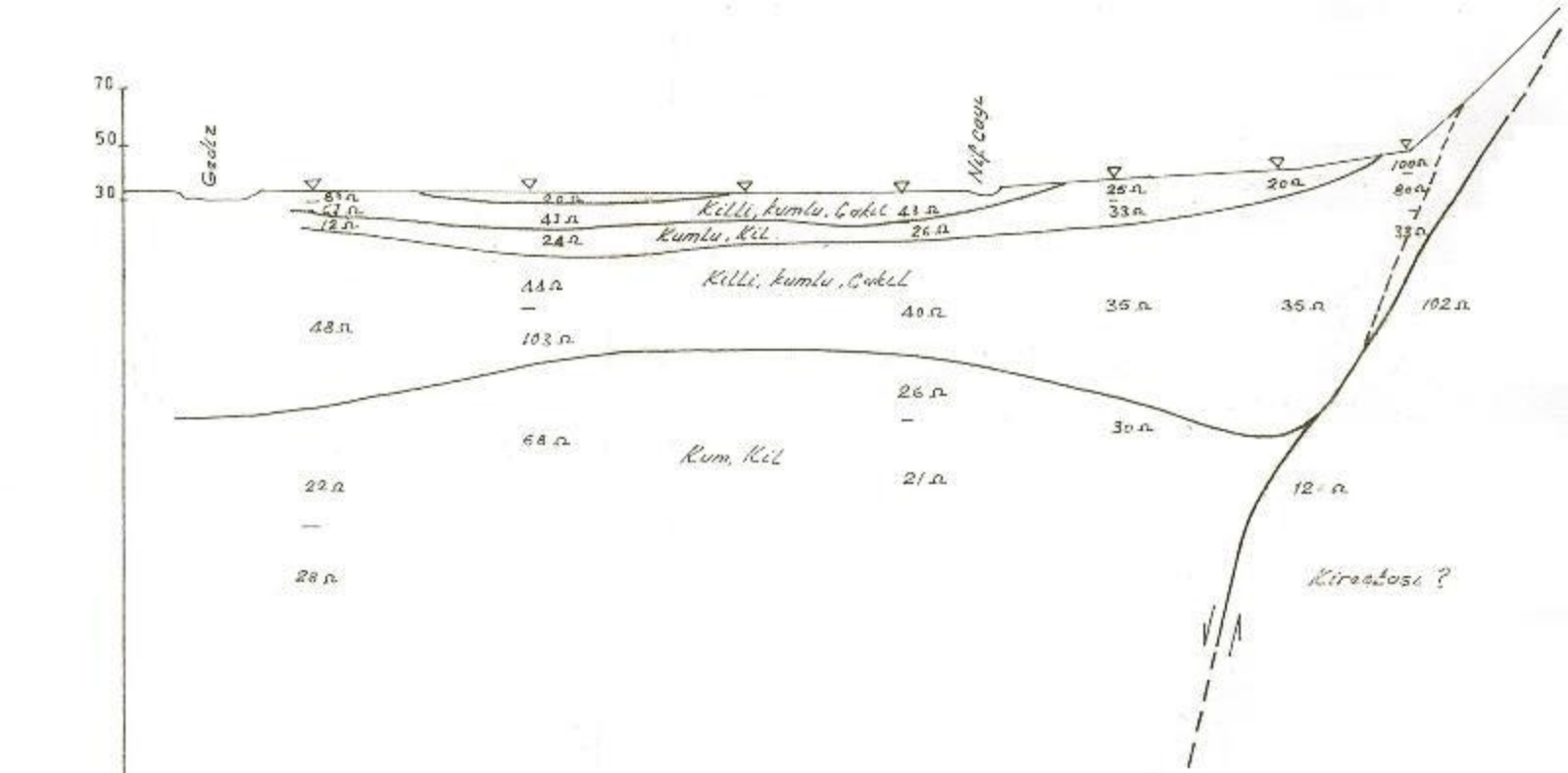
NOKTA NO	78	77	76	75	74	73	
ARA MESAFE	800	750	900	950			1300 m.
KOT	33	33	33	33	32	33	



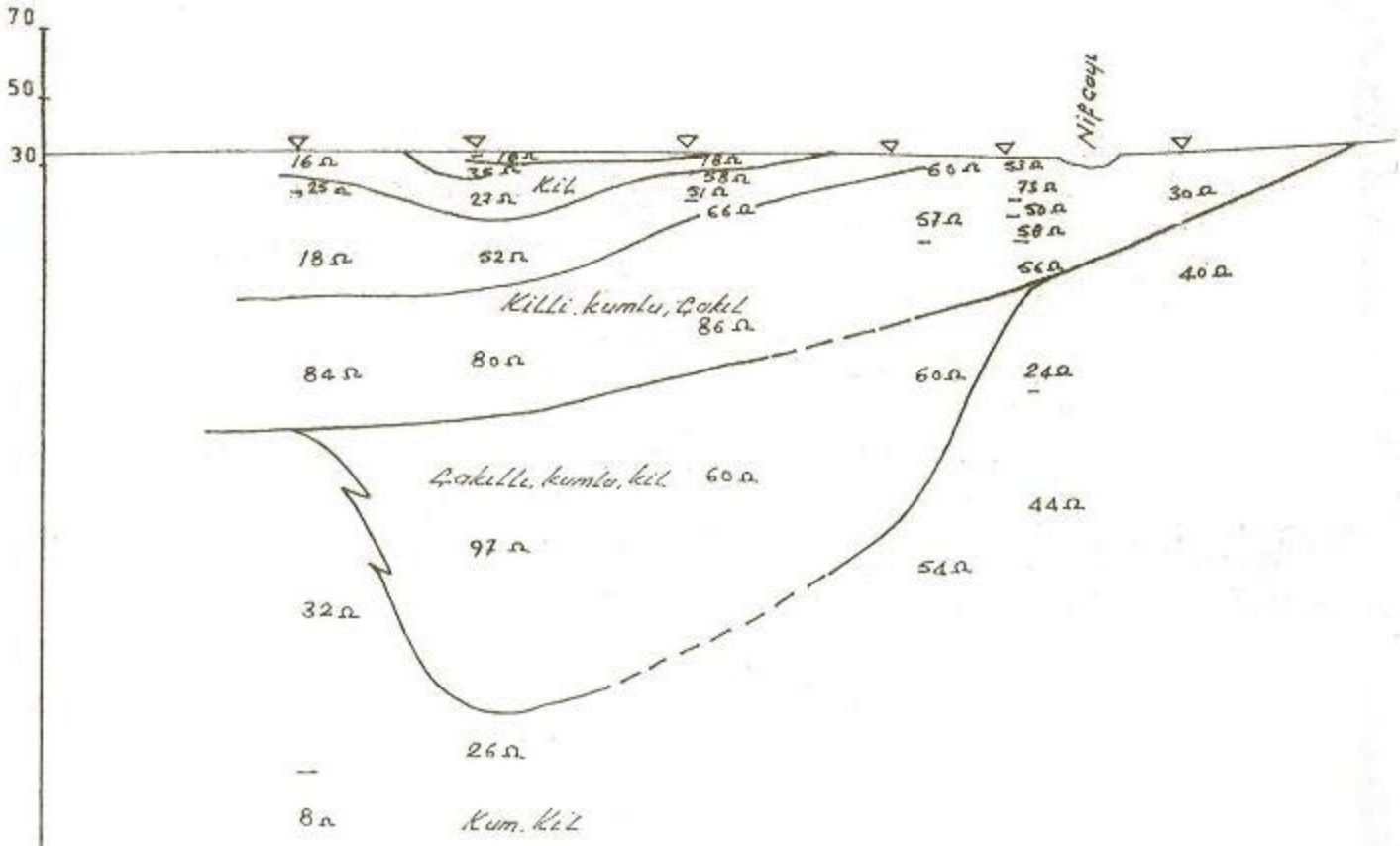
NOKTA NO		62		61		72		71		70		69	
ARA MESAFE	600		775		1250		1350		775		700		550
KOT		34		35		33		31		33		39	



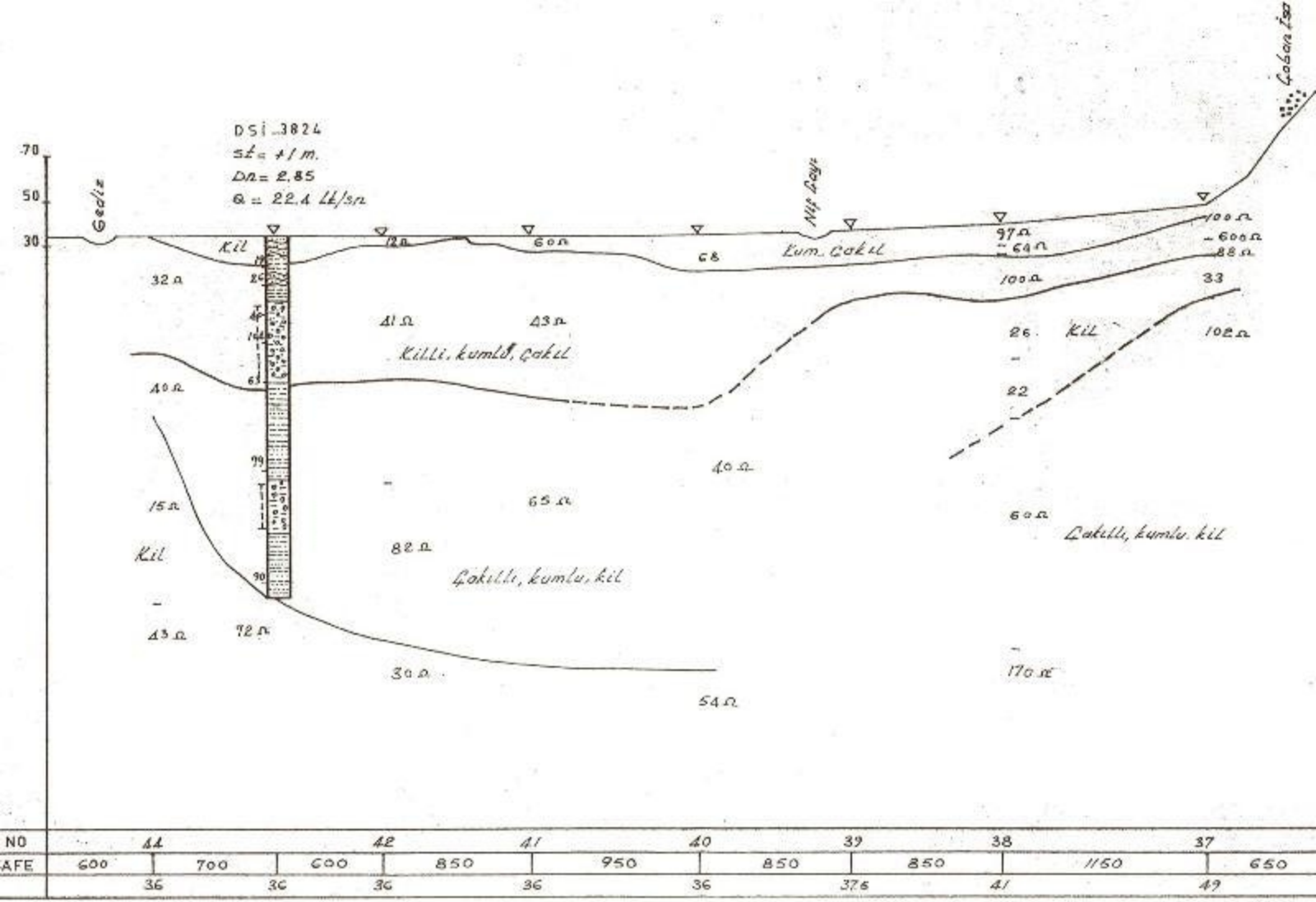
NOKTA NO	61	60	59	58	57	56	55	
ARA MESAFE	650	750	725	1000	1150	850	700	800 m.
KOT	35	34	33	32.60	32	36	41	

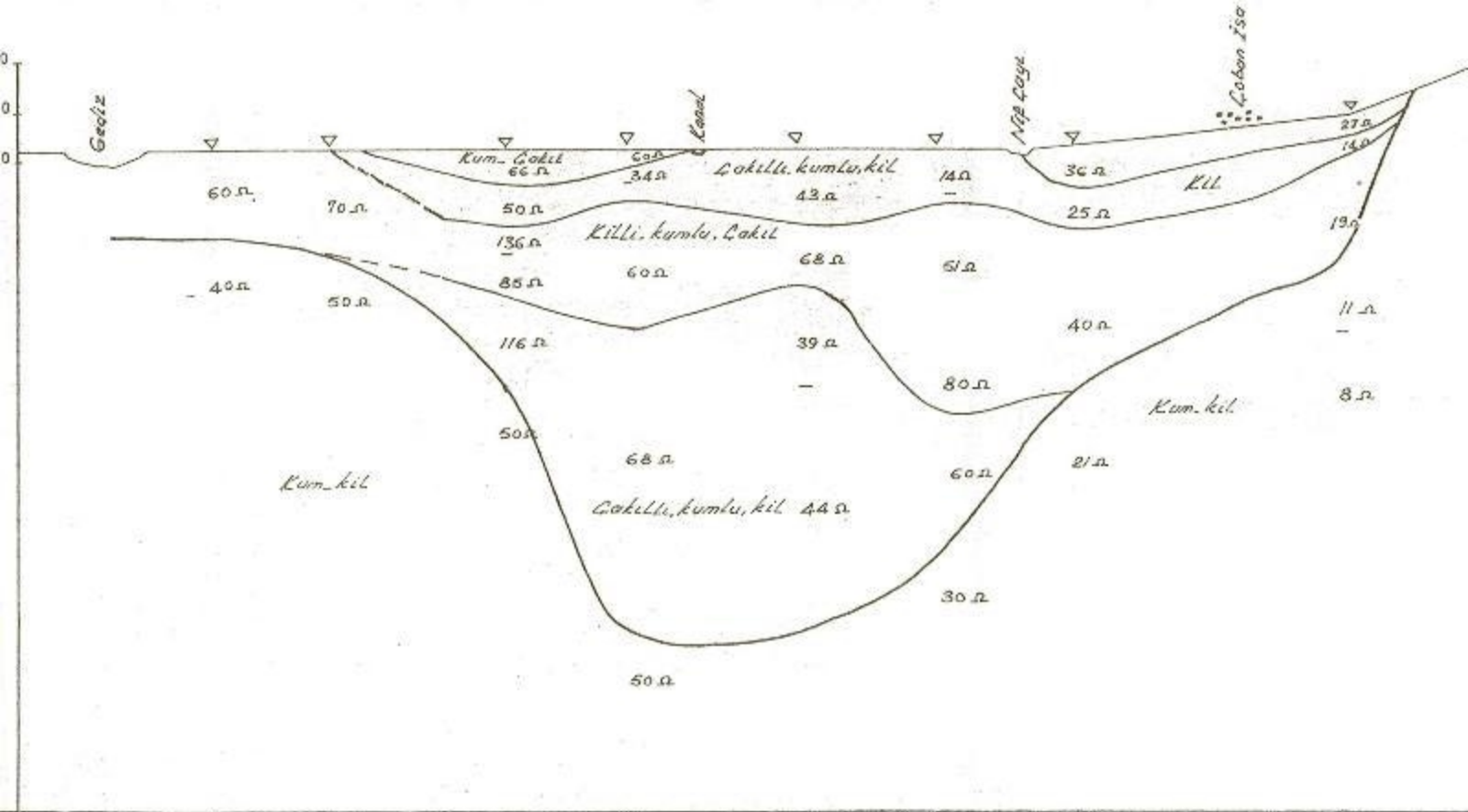


OKTA NO		62		51	4	50		49		48		47		37
RA MESAFE	900		1000		1000		750		900		750		625	700
OT		35		34		34		34		38		42		47



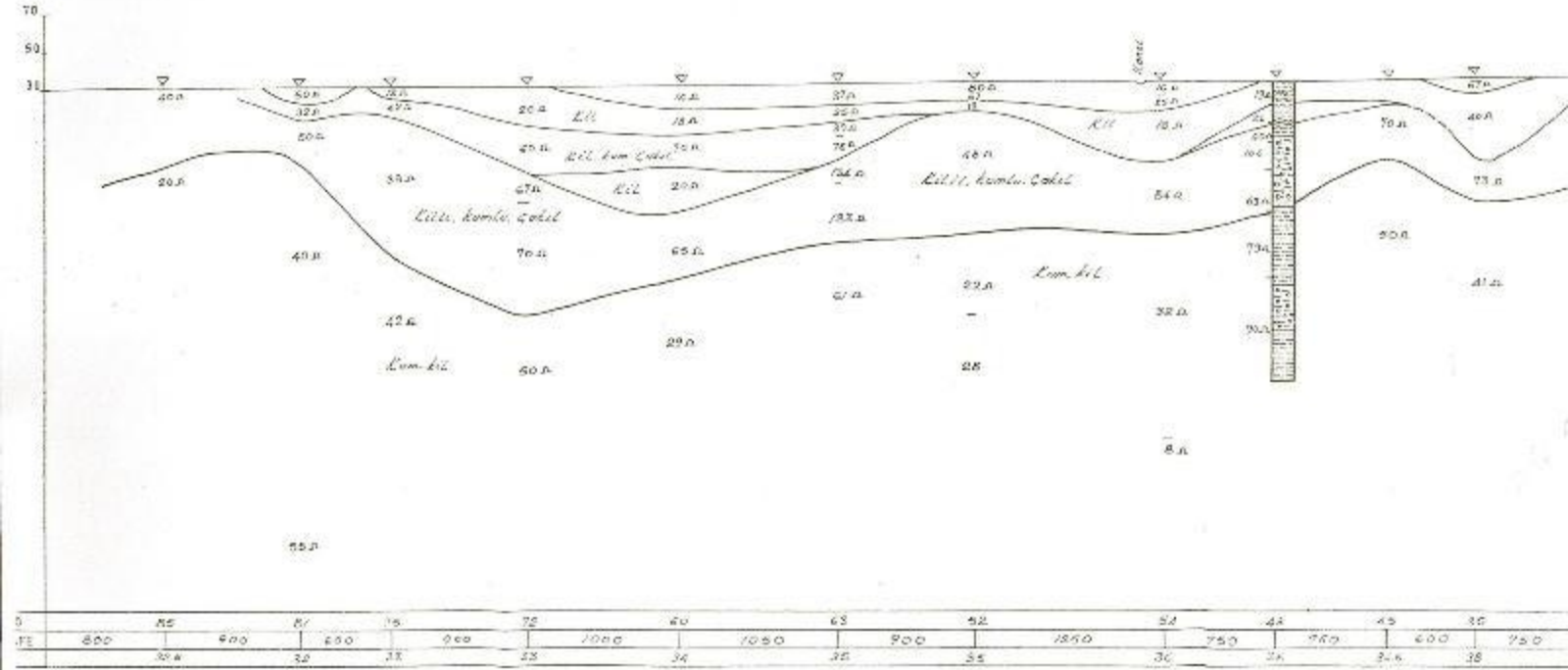
NOKTA NO		54	53	93	94	95	59	
ARA MESAFE	950	650	800	750	400	650.	800 m.	
KOT		36	36	36	36	35	37.50	


DSİ-3824
SŁ= +1 m.
Dn= 2,85
Q = 22,4 Lt/sn
Gediz
Kil
12 Ω
60 Ω
68
Kum. Çakıl
Nüfus Deyfi
Çakıl ist
97 Ω
64 Ω
100 Ω
600 Ω
88 Ω
32 Ω
100 Ω
33
41 Ω
43 Ω
Killi, kumlu, çakıl
26
Kil
102 Ω
40 Ω
22
40 Ω
65 Ω
15 Ω
60 Ω
Çakıllı, kumlu, kil
Kil
82 Ω
Çakıllı, kumlu, kil
43 Ω
72 Ω
30 Ω
170 Ω
54 Ω
70
50
30
NO
AFE
44
42
41
40
39
38
37
600
700
600
850
950
850
850
1150
650
36
36
36
36
36
376
41
49

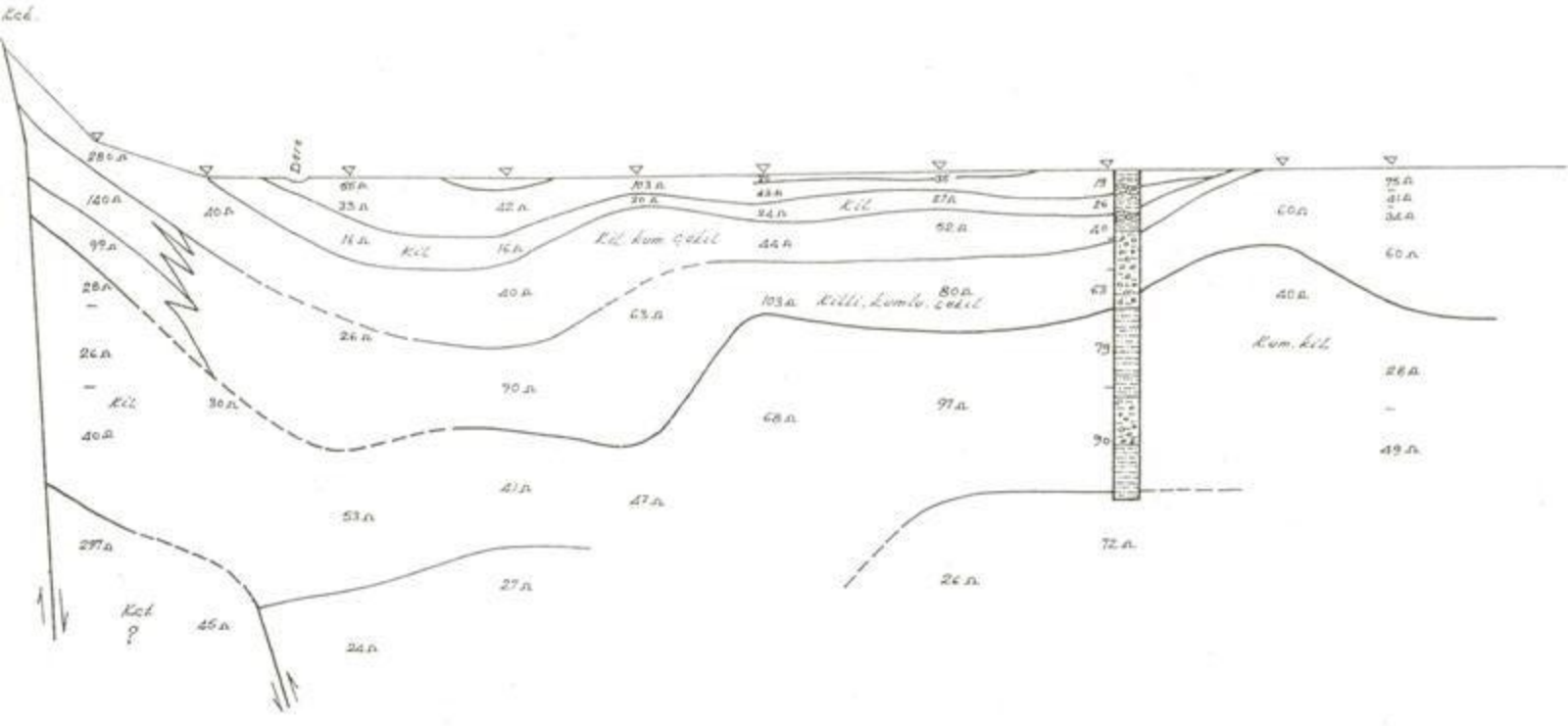

Gediz
Kanal
Kum_Çakıl
60 Ω
70 Ω
66 Ω
34 Ω
50 Ω
136 Ω
85 Ω
Çakıllı, kumlu, kil
42 Ω
14 Ω
Killi. kumlu, Çakıl
68 Ω
60 Ω
61 Ω
40 Ω
50 Ω
116 Ω
39 Ω
80 Ω
50 Ω
68 Ω
60 Ω
Kum_kil
Çakıllı, kumlu, kil 44 Ω
30 Ω
50 Ω
Nişe Köyü
Çoban İsa
36 Ω
Kil
25 Ω
27 Ω
14 Ω
19 Ω
11 Ω
40 Ω
Kum. kil
8 Ω
21 Ω

| | | |

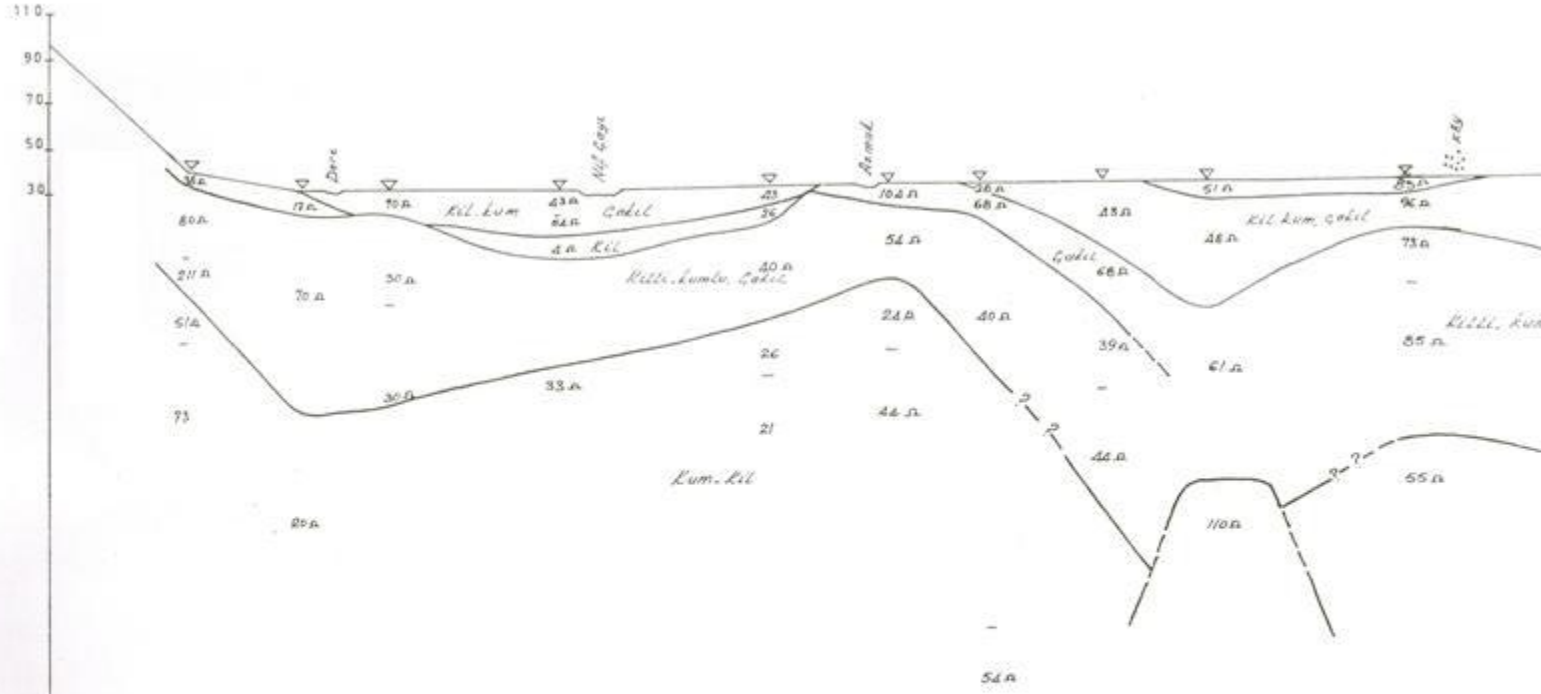
YATAY HAT_1


70
50
30
Kil
Kil, kumlu çakıl
Kum, kil
Çakıl
0
NE
800
600
650
900
1000
1050
900
1850
750
750
600
750
35
32
33
33
34
35
35
36
37
38

YATAY HAT_2



| | | |


110
90
70
50
30
Dere
Kil. Kum
Çakıl
Kil
Kum. Kil
Kil. Kum. Çakıl
Çakıl
Kil. Kum. Çakıl
Kum. Kil
80 Ω
70 Ω
73
20 Ω
110 Ω
54 Ω

| | | |

EK-3

(MERKEZ) MANİSA (İLLER BANKASI)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
1	45/3323 YKS 03	20.3 1996	Yarıkkaya	148m	23,47	31,25	23	0-148m Kireçtaşı gri renkli, sert	+0,50-48m $12^{3/4}$ K 48-52 $12^{3/4}$ FD 52-60 $12^{3/4}$ K 60-72 $10^{3/4}$ FD 72-80 $10^{3/4}$ K 80-88 $10^{3/4}$ FD 88-92 $10^{3/4}$ K 92-100 $8^{5/8}$ FD 100-108 $8^{5/8}$ K 108-116 $8^{5/8}$ FD 116-124 $8^{5/8}$ K 124-132 $8^{5/8}$ FD 132-136 $8^{5/8}$ K 136-144 $8^{5/8}$ FD 144-148m $8^{5/8}$ K	pH= 7,13 sertlik: 25,10 Fr EC: 453 M.Mho/cm İçilir.	Q İşletme=30 lt/sn
2	45/3324 YKS 02	24.06 1996	Yarıkkaya	148m	27,65	31,77	51	0-148m Dolomitik kireçtaşı açık, gri renkli sert	+0,50-48m $12^{3/4}$ K 48-52 $12^{3/4}$ FD 52-60 $12^{3/4}$ K 60-68 $10^{3/4}$ FD 68-72 $10^{3/4}$ K 72-76 $10^{3/4}$ FD 76-80 $10^{3/4}$ K 80-88 $8^{5/8}$ FD 88-96 $8^{5/8}$ K 96-104 $8^{5/8}$ FD 104-112 $8^{5/8}$ K 112-120 $8^{5/8}$ FD 120-128 $8^{5/8}$ K 128-136 $8^{5/8}$ FD 136-140 $8^{5/8}$ K 140-144 $8^{5/8}$ FD 144-148m $8^{5/8}$ K		Q işletme =35 lt/sn

EK

MERKEZ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
3	BK YKS 01	2.06 1997	Yarıkkaya	152m			30	0-152m Dolomitik kireçtaşı			Q İşletme=30 lt/sn
4	BK YKS 04	14.04 1997	Yarıkkaya	152m			30	0-152m Dolomitik kireçtaşı			Q işletme =30 lt/sn
5	BK KPS 01	1996	Kayapınar	178m	111.9	117	22	0-178m kireçtaşı			Qişletme =20 lt/sn
6	BK KPS 02	1996	Kayapınar	140m	101	110	20	0-140m kireçtaşı			Qişletme =20 lt/sn

EK-3

MERKEZ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
7	45/2230	12.05 1994	Akpınar	60m	23,60	29,45	7	0-20m Kumlu kil gri renkli 20-50m kireçtaşı açık gri renkli 50-52m gri renkli kil kokulu 52-60m ince kil bantlı kireçtaşı siyahımsı gri renkli kokulu	+0,50-36m 12'' K 36-44m 10'' FD 44-48m 10'' K	PH: 6,75 EC: 858mmho/cm Sertlik: 35,14 Fr. Amonyum: 7Mg/lt	Devre dışı
8	39/L4 AS 07	21.08 1974	Akpınar	64m	1,70	21,80	48,13	0-2m Nebati toprak 2-12m kil koyu renkli 12-56m kalker blok yer yer çakıllı 56-64m kil az çakıllı	+0,60-16m 12'' K 16-22 12'' F 22-24 12'' K 24-26 10'' F 26-35 10'' K 35-37 10'' F 37-39 8'' K 39-47 8'' F 47-49m 8'' K	Ph: 7,2 EC : 476,5 Sertlik : 32,3 Fr.	Qişletme=20 lt/sn
9	45/38 AS 04	03.09, 1974	Akpınar	64m	0,26	2,10	89,76	0-18m Kil koyu renkli 18-60m kalker blok 60-64m kil az çakıllı	+0,70-24m 12'' K 24-30 12'' FD 30-32 12'' K 32-34 10'' K 34-43 10'' FD 43-45 10'' K 45-54 $8^{5/8}$ FD 54-57m $8^{5/8}$ K	PH: 7,22 Sertlik: 32,15 Fr. EC: 460,85 İçilir.	Qişletme=30 lt/sn

EK-3

MERKEZ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
10	45/2202 AS 03	31.05 1994	Akpınar	76m	23,60	29	50	0-15m kumlu kil (gri renkli) 15-76m kireçtaşı (açık gri renkli)	+0,50-44m 12'' K 44-56 10'' FD 56-60 10'' K 60-72 10'' FD 72-76m 10'' K	PH= 7,20 EC=578 m mho/cm Sertlik : 24 Fr.	Q işletme = 40 lt/sn
11	45/2201	25.8 1993	Akpınar	120m	26	28,85	45	0-7m Kil 7-88m kireçtaşı açık gri 88-120m kireçtaşı	+0,50-48m $12^{3/4}$ K 48-60 $10^{3/4}$ FD 60-64 $10^{3/4}$ K 64-72 $10^{3/4}$ FD 72-76 $10^{3/4}$ K 76-80 $8^{5/8}$ FD 80-88 $8^{5/8}$ K 88-96 $8^{5/8}$ FD 96-104 $8^{5/8}$ K 104-112 $8^{5/8}$ FD 112-120m $8^{5/8}$ K	PH : 6,85 EC: 871.1mmho/cm Sertlik: 39 Fr. Fe: 5,4 mg/lt (kokulu)	İşletme dışı
12	45/2528 AS 02	10.05 1994	Akpınar	72m	23,60	32,50	23	0-14m Kumlu kil gri renkli 14-72m kireçtaşı açık gri renkli	+0,50-44m 12'' K 44-56 10'' FD 56-60 10'' K 60-68 10'' FD 68-72m 10'' K	PH: 7,4 EC: 456mmho /cm Sertlik: 21,87 Fr.	Q işletme : 30 lt/sn

EK-3

MERKEZ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
13	45/32 AS 05	7.3.74	Akpınar	86m	0,68	3,48	88	0-12m Kil 12-75m Çakıl yer yer bloklu, kalker menşeyli 75-86m kil yer yer kalker bloklu	+0,60-14m 12'' K 14-23 12'' F 23-27 12'' K 27-36 12'' F 36-38 12'' K 38-40 10' 'K 40-48 10'' F 48-52 10'' K 52-56 10'' F 56-58 10'' K 58-60 $8^{5/8}$ K 60-72 $8^{5/8}$ F 72-76m $8^{5/8}$ K	Ph: 7,45 Sertlik: 23.52 Fr. EC: 395 İçilir.	Q işletme=30 lt/sn
14	45/33 AS 06	26.03 .1974	Akpınar	66m	0,57	2,04	84	0-10m Kil 10-52m yer yer bloklaşan kalker çakıllı 52-56m kil sarı renkli, az çakıllı 56-66m kil koyu renkli az çakıllı	+0,60-12m 12''K 12-20 12'' F 20-22 12'' K 22-26 10'' K 26-35 10'' F 35-39 10'' K 39-48 10'' F 48-52m 10'' K	PH: 7,25 Sertlik: 25,6 Fr. EC: 486 İçilir.	Q işletme=30 lt/sn
15	45/31	8.2. 1974	Ilıca	70m	2,35		4	0-10m Kalker blok: yer yer killi 10-70m Masif kalker	+0,60-2m 12'' K 2-10m 12'' FK 10-12,50m 12''K	PH: 7,45 Sertlik: 23,52 Fr. EC: 395 İçilir.	Devre dışı

EK-3

MERKEZ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
16	45/34 IS 04	23.04 1974	Ilıca	56m	0,60	1,22	95	0-20m Kil, silt, bantlı 20-46m kalker blok, yer yer çakıllı 46-56m bozulmuş kalker	+0,50-24m 12'' K 24-31 12'' F 31-33 12'' K 33-35 10'' K 35-47 10'' F 47-51m 10'' K	Ph: 7,03 Sertlik: 32,2 Fr. EC: 564,3 İçilir	Q işletme=70 lt/sn
17	45/37 IS 01	9.9. 1974	Ilıca	54m	1,35	1,97	92,31	0-8m Kil 8-48m Kalker/blok yer yer çakıllı 48-54m kalker bozulmuş	+0,70-10m 12'' K 10-16 12'' F 16-20 12'' K 20-26 12'' F 26-28 12'' K 28-30 10'' K 30-36 10'' F 36-40 10'' K 40-44 $8^{5/8}$ F 44-52m $8^{5/8}$ K	PH: 7,15 Sertlik: 40,5 Fr. EC: 632 İçilir.	Q işletme=65 lt/sn
18	45/36 IS 03	19,9 1974	Ilıca	52m	0,95	1,98	95,14	0-14m kil 14-42m kalker blok yer yer çakıllı 42-52m kalker bozulmuş	+0,50-16 12'' K 16-22 12'' F 22-24 12'' K 24-26 10'' K 26-34 10'' F 34-38 10'' K 38-46 $8^{5/8}$ F 46-48m $8^{5/8}$ K	PH: 6,9 Sertlik: 32,2 Fr. EC: 637,5 İçilir.	Q işletme=70 lt/sn

EK-3

MERKEZ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
19	45/2640 IS 08	22.07 1994	Ilıca	100 m	12	12,20	50	0-5m alüvyon 5-100m kireçtaşı	+0,50-36m $12^{3/4}$ K 36-48 $10^{3/4}$ FD 48-52 $10^{3/4}$ K 52-60 $10^{3/4}$ FD 60-64 $10^{3/4}$ K 64-72 $8^{5/8}$ K 72-84 $8^{5/8}$ FD 84-88 $8^{5/8}$ K 88-96 $8^{5/8}$ FD 96-100m $8^{5/8}$ K	Ph: 7,04 EC: 706 Sertlik : 31,63 Fr	Qişletme=70 lt/sn
20	45/2588 IS 09	9.8. 1994	Ilıca	120m	12,40	13	50	0-5m siltli kil 5-120m kireçtaşı	+0,50-40m $12^{3/4}$ K 40-48 $10^{3/4}$ FD 48-52 $10^{3/4}$ K 52-60 $10^{3/4}$ FD 60-64 $10^{3/4}$ K 64-72 $8^{5/8}$ FD 72-76 $8^{5/8}$ K 76-84 $8^{5/8}$ FD 84-88 $8^{5/8}$ K 88-100 $8^{5/8}$ FD 100-108 $8^{5/8}$ K 108-116 $8^{5/8}$ FD 116-120m $8^{5/8}$ K	Ph: 7,80 EC: 617,4 Sertlik: 24,9 Fr.	Q işletme=65 lt/sn