

# UŞAK-BANAZ JEOTERMAL ALANININ JEOELEKTRİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

## The Exploration of Uşak-Banaz Geothermal Area by Geoelectrical Methods

A. Ergün TÜRKER\*, D.Ali KEÇELİ\*, M.Ali KAYA\* ve Züheyr KAMACI\*

### ÖZET

Uşak-Banaz jeotermal alanının yaklaşık 10 km<sup>2</sup> lik bir bölümünde sıcak su hazne kayacını saptamak amacıyla jeoelektrik yöntemlerden özdirenç (resistivity), etkisel kutuplaşma (IP, induced polarization) ve doğal gerilim (SP, self potential) uygulanmıştır.

İnceleme alanı çeşitli kalınlıklarda, 600 metre derinliklere kadar kıltaşı-çakıltaşı ve kireçtaşı ardalanması gösterdiği için geleneksel özdirenç yöntemi ile elde edilemeyen belirtiler, ancak uygun frekanslar kullanılarak IP yöntemi ile saptanabilmektedir. Bu belirtilerden geliştirilen yatay seviye ve düşey kesit jeoelektrik haritalarında, söz konusu alanın yapısal durumu ve stratigrafisi aydınlatılabildiği gibi, 150 m ve 600 m gibi farklı iki derinlikte iki hazne bulunmuştur. Sıcak su alınabilecek iki ayrı yer ve bir maden suyu bölgesi saptanmıştır. Bu bulgulara göre birinci derecede önemli noktada mekanik sondajla 140 m derinlikte 55°C de 15 lt/s'lik ve 15 metreye artezyen yapan sıcak su elde edilmiştir.

### ABSTRACT

In order to determine a reservoir, some geoelectric methods, such as resistivity, induced polarization and self potential, are applied for Uşak-Banaz geothermal area covering 10 km<sup>2</sup> area.

In this application, anomalies, which has not been detected by conventional resistivity method, could be obtained only by IP method using suitable frequency because geological stratification has the repetition of claystone, pebblestone and limestone with various thickness up to 600 meters depths. Structure and stratigraphy of the mentioned area have been revealed and also the two reservoirs have been identified from the horizontal and vertical geoelectric maps. The hot water in 55°C and of 15 lt/s has been obtained from the proposed drill. It has an artesian of 15 meters.

### GİRİŞ

Bilindiği gibi, jeotermal alanların jeofizik araştırmaları, özellikle elektrik yöntemlerle, dünyanın birçok yerinde yapılmaktadır. İtalya'da Larderello (Breusse ve Mathier 1956) ve Monte Amiata yakınında Montre Labbro ve San Filippo'da (Alfano 1951) Schlumberger elektrik sondajları yapılmıştır. Bu çalışmalarda düşük özdirençli örtü kayası ve altındaki yüksek özdirençli hazne kayası için özdirenç haritaları düzenlenmiştir. Haritaların yorumlanması ile kireçtaşı hazne kayasındaki faylar ve doğal buhar zonları büyük bir yakınlıkla bulunmuştur. Yeni Zellenda'da Tampo volkanik zonunda jeotermal alanların sınırı Wenner elektrik sondajlarından yararlanılarak çizilmiştir. Taiwan'da Heng (1970) ve Türkiye'de Tezcan (1971) ve Demirö-

ren (1971) Schlumberger sondajlarından yararlanarak jeotermal alanlar haritalanmıştır. Zohdy (1978) Mud Volcano jeotermal alanında özdirenç, doğal gerilim (SP) ve etkisel kutuplaşma (IP) yardımı ile buhar zonunu belirlemiştir.

Jeotermal sistem genelde iki tip olarak görülür. Bunlar sıcak su sistemi ve buharın hakim olduğu sistemdir. Geysers, Kaliforniya; Larderello, İtalya; Mud Volcano, Yellowstone National Park, Amerika ve Buharkent, Denizli, buharın hakim olduğu sistemlere örnektir. Jeokimyasal olarak, buharın hakim olduğu yakın kuyu ve kaynaklardan alınan örnekler sülfat anyonlarının yüksek konsantrasyonu ve kloritin alçak konsantrasyonu (<20 ppm) ile karakterize edilir. Sülfatı zengin kaynak

\* Akdeniz Üniversitesi İsparta Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü - İSPARTA

sularının pH değeri düşüktür. Sülfatın yerini sodyum bikarbonatın aldığı kaynak suları oldukça azdır. Uşak-Hamamboğazı'ndaki sıcak sular sodyum bikarbonat sularıdır. Ayrıca bu sıcak sular, olağan klorürlü ve hiper karbonatlı sularıdır.

Doğal gerilim ölçüleri 10 doğrultu boyunca hem gradiyent hem de potansiyel yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Böylece, ölçümlerin doğruluğunun sürekli kontrol altında tutulması da sağlanmıştır.

Düşey elektrik sondajları en büyük açılımda AB = 2000 m olacak şekilde 27 noktada yapılmıştır. Ayrıca olası fayları izlemek için dört doğrultu boyunca ölçü alınmıştır. Arazi çalışmalarında elde edilen düşey elektrik sondaj eğrileri Schlumberger iki tabaka ve yardımcı nokta abakları kullanılarak değerlendirilmiştir. Daha sonra bu değerlendirmelere göre elde edilen kuramsal çok tabaka eğrileri ile arazi eğrileri karşılaştırılarak değerlendirmeler doğrulanmıştır. Bilgisayar değerlendirmelerinden çok sayıda tabaka elde edilmiş olduğundan bu yol yeğlenmiştir. Daha sonra amaca uygun olarak çeşitli derinliklerde eş özdirenç haritaları ve değişik doğrultularda jeoelektrik kesitler düzenlenmiştir.

Doğal gerilim (SP) haritasının yanında etkisel kutuplaşma (IP) ve IP faz farkı profil ölçülerinin çeşitli derinlikler için grafikleri ve haritaları hazırlanmıştır. IP yöntemi, özdirenç gibi fiziksel parametreye ek olarak, aynı zamanda jeotermal alanın jeokimyasal parametrelerinden de etkilendiği için yeraltı hakkında bilgi toplayabilen ve bu nedenle özdirenç yöntemi ile birlikte kullanıldığı zaman yeraltını en iyi aydınlatabilen bir jeofizik arama yöntemidir. Çok frekanslı IP yöntemi yeraltını nicel ve nitel olarak aydınlatığı için diğer arama yöntemlerine göre ek bir üstünlüğü vardır. Bu nedenle, çok frekanslı IP yöntemine ilgi artmaktadır. Özdirenç ve IP yöntemi birlikte uygulanırsa sıcak suların saptanmasında en etkin bir arama yöntemi olmaktadır.

## JEOLOJİ

Bölgenin jeolojisi ile ilgili çalışma yapan Taşdelen'e (1987) göre; en yaşlı kayalar, gnays, çeşitli şist ve mermer şeklindeki Paleozoyik metamorfittir. Bunun üzerinde Mesozoyik dolomitik kireçtaşları ile ultramafikler yer alır. Ultramafikler yersel olarak kireçtaşı bloklarını ve şistleri içeren bir karmaşıktır. Bunun üzerine Miyosen'in monojenik çakıltaşı gelir. Ultramafik kaya parçalarından yapılmış monojenik çakıltaşı iyi çimentolanmıştır. Miyosen, çakıltaşı - kumtaşı - çamurtaşı - kıltaşı - tuf - killi kireçtaşı ardalanması ile devam etmektedir. Tuf içeren çakıltaşı ve kumtaşları yanal olarak andezit, traki andezit, lav, tuf ve aglomeralara geçişlidir. Miyosende alüvyonlar ve traverten oluşmuştur. Travertenler kalın bantlar halinde boşluklu ve kırıklıdır.

Bölgede temeli oluşturan gnays ve şistler sık sık kıvrımlı, genel olarak kıvrım eksenleri E-W doğrultuludur. Miyosenin çakıltaşı - kumtaşı - kıltaşı birikimi Hamamboğazı kaplıcası civarında geniş dalgalı kıvrımlıdır.

Sıcak su kaynaklarının yüzeye çıkışına neden olan çatlak ve kırıklar Hamamboğazı yöresinde yoğunur (Şekil 1).

## EKONOMİK JEOLOJİ

Jeotermal enerji yerkabuğunun derinliklerindeki yüksek ısının oluşturduğu bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzüne doğal yollar ile veya mekanik sondajlarla sıcak su ve buhar şeklinde ulaşır. Jeotermal alanlar dünyanın oluşumundan beri yaygın yerin iç ısını, taşıma maddesi olarak meteorik orijinli suları

kullanmakta olan alanlardır. Jeotermal enerji yenilenebilir bir enerji türü olduğundan giderek çok önem kazanmaktadır. Jeotermal enerjinin hammaddesi yerin iç ısı ile ısıtılmış sıcak su ve buhardır. Bu enerji hazne kayacın sıcaklığına bağlı olarak; kuru buhar, basınçlı sıcak su (buhar + sıcak su karışımı 100° nin üstünde) ve sıcak su (100° nin altında) şeklinde elde edilir.

Bir alanın jeotermal enerji üretim alanı olabilmesi için şu dört ana unsuru içermelidir. Bunlar sahadaki özdeyişleriyle birlikte şöyledir:

Hazne kaya, jeotermal alanlarda gözenek ve geçirgenliği olan yanal olarak sürekli, belli kalınlıklardaki kayalardır. Kalınlık ısıtıcıya bağlı olarak değişebilir. İnceleme alanında temeli oluşturan gnaysların yanal olarak sürekli ve kalın oluşu, bunun üstünde yer alan mermerlerle birlikte birinci hazne kayaya olanak verebilir. Yüzeyle daha yakın olan monojenik çakıltaşı ise ikinci hazne kayayı oluşturabilir.

Örtü kaya, bir jeotermal alanda ısı iletkenliği düşük olan minimum gözenek ve geçirgenlikteki jeolojik birimlerdir. İnceleme alanında örtü kaya olabilecek litolojik birimler, birinci hazne kayayı örten şistler ve ikinci hazne kayayı örten Miyosen çökelleridir.

Bölgede çok kırıklı ve faylı bir yapının oluşu ve çalışma alanında sıcak su kaynaklarının bulunması, derinde bir ısıtıcının varlığını gösterir.

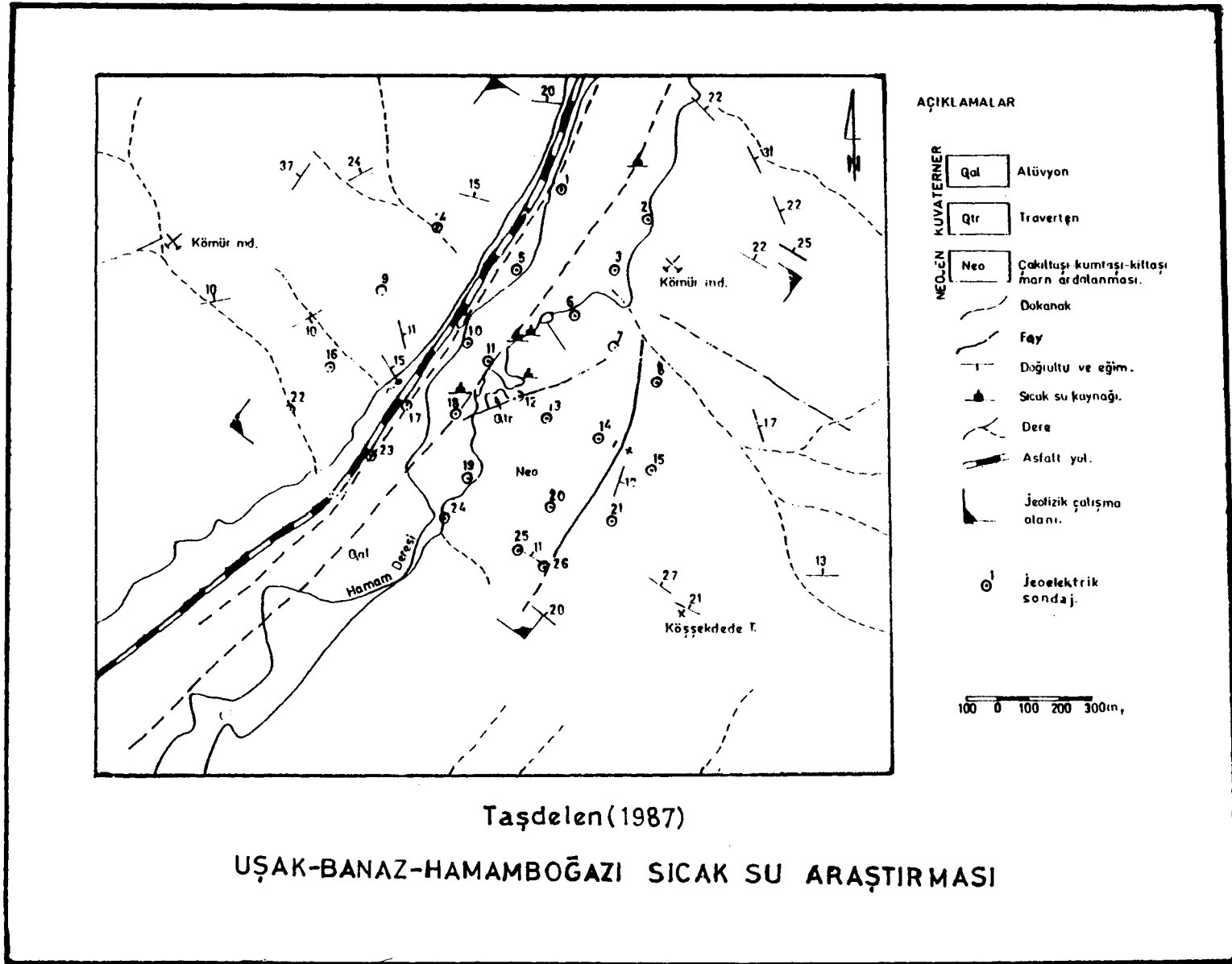
Hazne kayadaki su bütünlemesi kırıklar ve faylar yardımıyla olmaktadır. Bölgenin aldığı yağış miktarı jeotermal alanın beslenme olanakları için yeterlidir.

## JEOFİZİK ÇALIŞMALAR VE ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

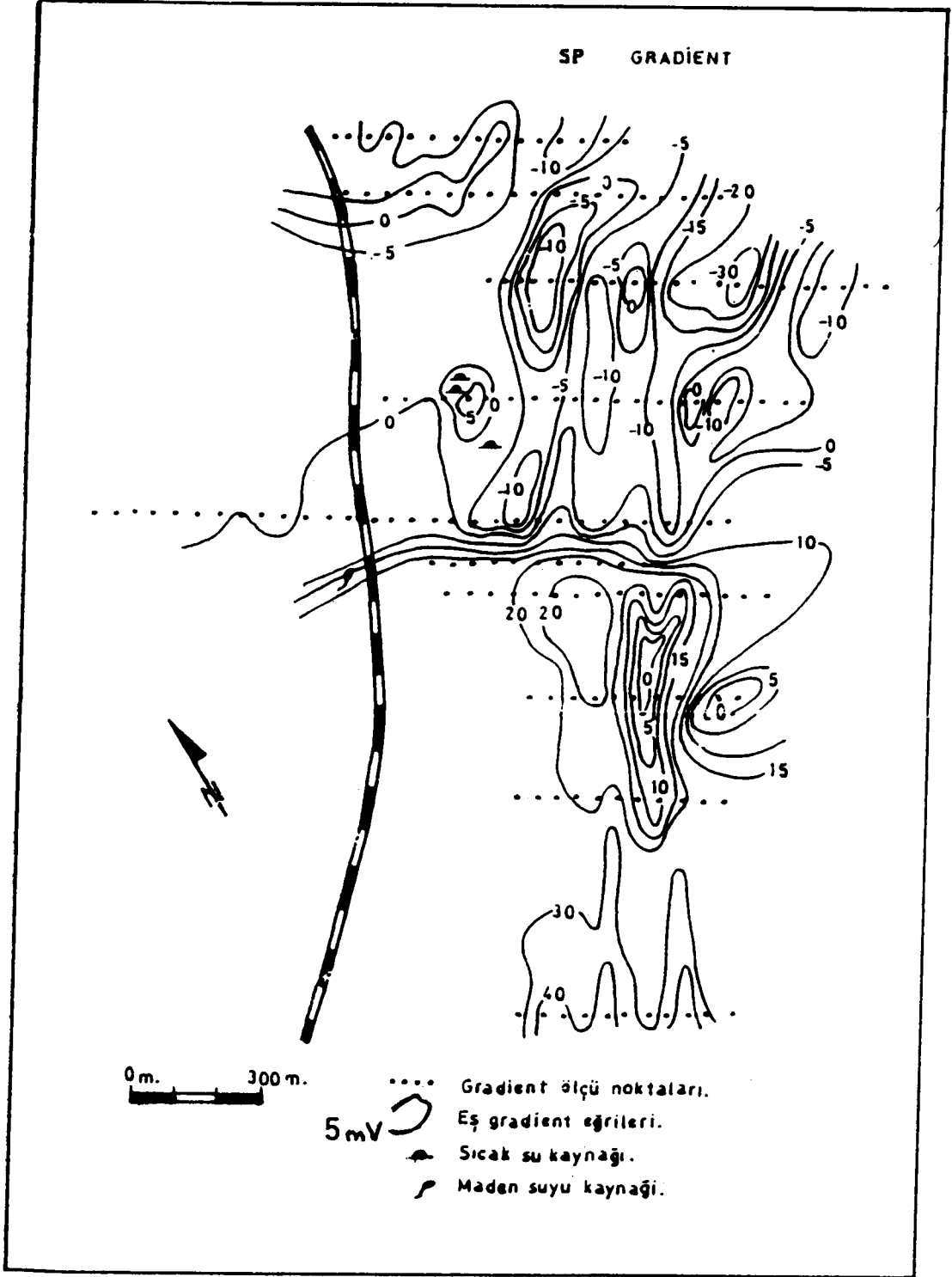
Bilindiği gibi, elektrik akımını iyi ileten ortamların özdirenç değerlerinin büyük olacağı doğaldır. Genel olarak birçok arazide yapılan ölçü değerleri sonucu sıcak su ortamının özdirençinin soğuk su ortamına göre daha küçük olduğu gözlenmiştir. Sıcak su ve buhar içeren birimler ortamlarını iyi bir elektrolit haline getireceklerinden, etraflarındaki ortamlara göre genellikle küçük özdirence sahip olarak farklılık gösterecektir. Eş özdirenç haritalarını ve kesitlerini jeotermal enerji açısından inceleyen etrafına göre, bu küçük özdirenç değerlerine sahip ortam farklılaşmalarını baz olarak kabul etmek gerekir.

Ana yöntem elektrik özdirenç yöntemidir. Bunun yanında etkisel kutuplaşma (IP), faz farkı ölçüleri ve doğal gerilim (SP) ölçüleri kullanılır. Schlumberger dizilimiyle AB = 2000 m ye varan elektrod açıklığı ile alınan özdirenç ölçülerinde IP ve faz farkı da ölçülmüştür. Ayrıca jeotermal enerji açısından önemli olabilecek faylar iki doğrultuda 100 ile 300 m derinliklere karşı gelen Wenner sabit elektrot açılımıyla ve yine elektrik özdirenç ile birlikte IP ve faz farkı ölçüleri alınarak araştırılmıştır. Sıcak suların bulunduğu yerlerde piritleşmelerden ve fayların civarında alterasyondan dolayı IP değerleri ve faz farkı büyük olmaktadır.

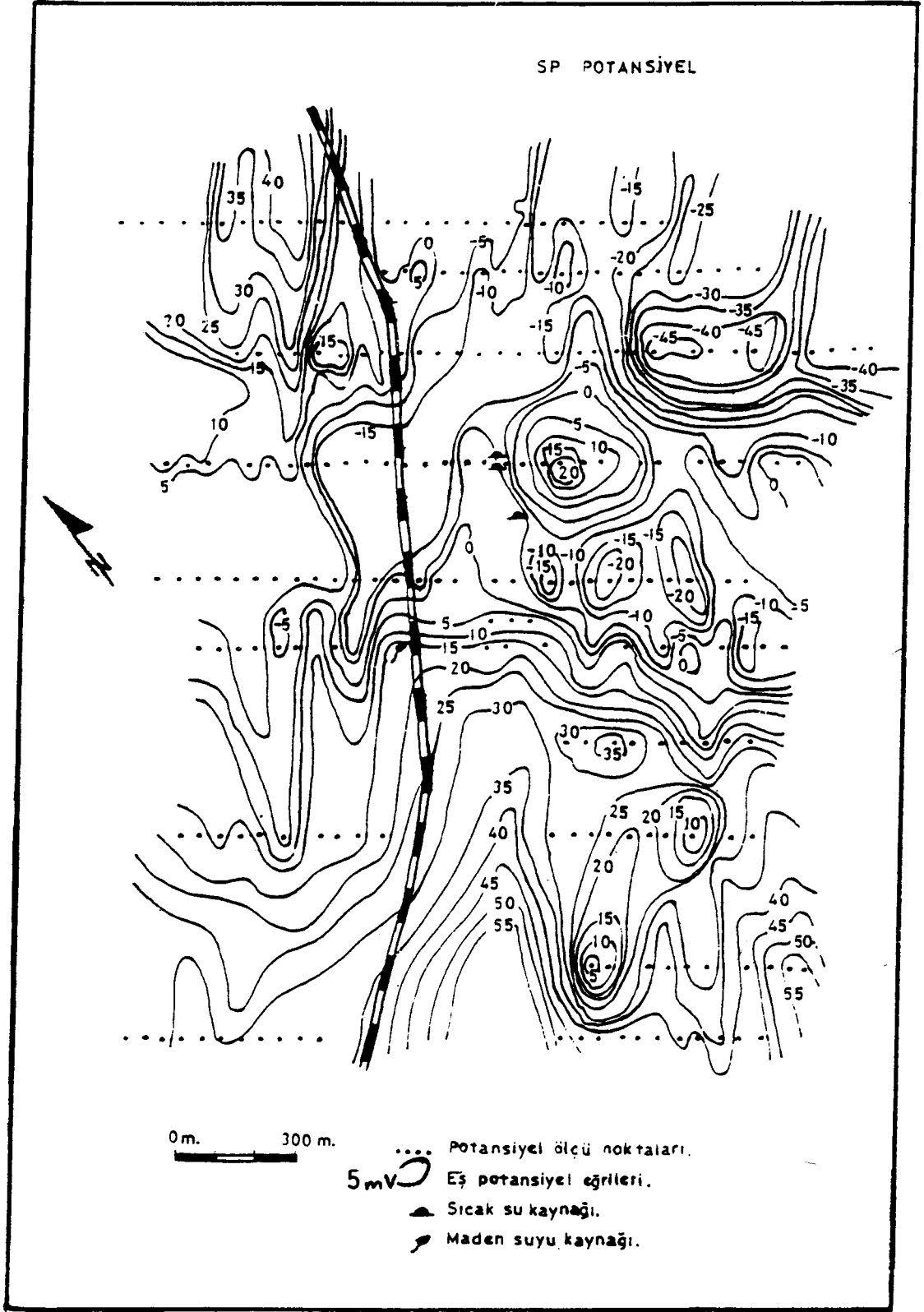
Doğal gerilim (SP) ölçülerinin doğruluğunu denetlemek ve değerlendirmelere yardımcı olmak amacıyla hem gradiyent (Şekil 2) hem de potansiyel (Şekil 3) ölçüleri alınmıştır. Yöntemin gereği olarak sıcak suların çıktığı yerlerde SP ölçü değerleri artı ve soğuyarak aşağıya dönüş yapan yerlerde eksi değerlere ulaşacaktır. Ancak sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerlerde örtü katmanlarının kalın ve kıltaşı ardalanması şeklinde oluşu kaynak sızıntılarını zayıflatmış ve bunun sonucunda SP küçük değerler almıştır. Hatta örtü tabakası olan alüvyon ortamında kimyasal özelliklerin heterojenitesi nedeniyle konsantrasyon farklılıkları küçük artı SP değerlerini eksileştirmiştir. Buna rağmen SP potansiyel ve gradiyent haritalarının her ikisi de sıcak su kaynaklarının etrafında dikkate değer kapan-



Şekil 1. Bulduru haritası  
Fig. 1. Map of location



Şekil 2. SP gradient haritası  
 Fig. 2. Gradient map of SP



Şekil 3. SP potansiyel haritası  
 Fig. 3. Potential map of SP

malar vermişlerdir. Bu kapanmalar sıcak su haznesi üzerinde karakteristik belirtiler oluşturmuşlardır.

Jeoelektrik sondajlar, IP ve faz farkı ölçüleri Zonge Engineering and Research Organization firmasının GDP-12 model alıcısı ve 6,6 kw lık vericisi ile alınmıştır.

## GÖRÜNÜR ÖZDİRENÇ VE JEOELEKTRİK YAPI KESİTLERİNİN YORUMU

Bulduru haritasında görülen jeoelektrik sondajlardan düzenlenen görünür öz direnç ve elektrik yapı kesitleri incelense 4 katman ile karşılaşılar. En altta bir numara ile gösterilen yüksek öz dirençli katman gnays, mermer veya dolomitik kireçtaşı olabilir. Şekil 4'te bu duruma göre gösterilen düşük öz dirençli katman büyük bir olasılıkla şisttir. Bunun üzerinde 3 numaralı, yüksek öz dirençli çakıtaşı yer almaktadır. En üstte ise 4 numaralı katman içerisinde birçok katman ayrılabilir. Bu ardalanmalı katmanlara işaret eder. 4 numaralı katman, çakıtaşı - kumtaşı - çamurtaşı - tüfit ardalanmasıdır. Daha ince olan alüvyon ve travertenler 4 numaralı katmanın üzerinde bulunmaktadır.

1 numaralı katman birinci hazne kaya ve 3 numaralı katman ikinci hazne kaya olarak düşünülmektedir. 2 ve 4 numaralı katmanlar örtü kayalarıdır. Şekil 4'te çizilen görünür öz direnç ve elektrik yapı kesitleri incelendiğinde üstteki kesit yüzeyden derine doğru temel kayaya kadar görünür öz direnç dağılımını gösterir. Altındaki kesit (Şekil 4b) ise düşey elektrik sondajlarının değerlendirilmesi ile elde edilmiştir. Bu kesitlerden birinci ve ikinci hazne kaya ile örtü kayalar ve temel kayaya kadar inen faylar görülmektedir. Çatlak ve kırık sistemlerinin temel kaya ile ilişkide olması sonucu Hamamboğazı sıcak su kaynakları yüzeye çıkabilmektedir. Bu durum ayrıca temel kayanın jeotermal akışkanı içeren hazne kaya olduğunun kanıtıdır.

### Yapısal Durum

Yüzeysel gözlemlere dayanarak, kuzeydoğu - güneybatı ve kuzeybatı - güneydoğu yönlü bazı fayların bulunabileceği kanısına varılmıştır. Wenner elektrot dizilimi ile 100 m ve 300 m derinliklerde görünür öz direnç ve IP profil ölçüleri alınarak fayların varlığı araştırılmıştır. Bu jeoelektrik araştırmaya göre;

- 1) Banaz-Afyon karayolu üzerinde kuzeydoğu - güneybatı yönlü bir fayın,
- 2) Hamamboğazı sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerlerde travertenlerin eteğinden geçen kuzeydoğu - güneybatı yönlü ana bir fayın,
- 3) Ana fayı 10° lik bir açı ile kesen ikincil bir fayın,
- 4) Yine kuzeydoğu - güneybatı yönlü ve ana faydan 150 m ötede diğer bir fayın,

5) Bu fayları kuzeybatı - güneydoğu yönünde kesen ayrıca iki fayın varlığı, hem öz direnç profil ölçülerinden ve hem de SP ölçülerinden ortaya çıkarılmıştır. Böylece Hamamboğazı yöresinin yapısal olarak graben niteliği taşımakta olduğu sonucuna varılmıştır.

### Görünür Öz direnç Haritalarının Yorumu

Yer içindeki sular yer ısısının yüksek olduğu yerlerde doğal olarak ısınarak gözenek basıncını ve eriyik yoğunluğunu artırırlar. Bunun sonucunda çevreye göre basınç sıcaklık ve iletkenlik farklılığı olan zonlar oluşur. Bu zonlardaki sıcak akışkanlar çatlak ve kırık sistemleri ile yeryüzüne taşınırlar. Öz direnç aynı birimler içinde çevreye göre oldukça düşük ölçülürse sıcak ve iletken birimleri, yüksek olarak ölçülen öz direnç ise soğuk ve iletken olmayan ya da az olan birimleri işaret eder.

Şekil 5, 6, 7'de jeoelektrik verilerin sonucu çizilen görünür öz direnç haritaları incelenebilir.  $AB/2 = (100 - 200 - 250 - 300 - 400 - 500 \text{ ve } 600 \text{ m})$  derinliklerdeki bu eş görünür öz direnç eğrilerinin dağılımına dikkat edilirse 3, 11 - 12, 17 - 18 numaralı jeoelektrik sondajlarını çevreleyen kısımlarda düşük öz dirençli eğrilere rastlanır. Alanın diğer bölümleri yüksek değerli eğrilerle sınırlanmaktadır. Bu yüksek değerler temel kaya yükselmelerine işaret etmektedir.

Düşük öz direnç değerleri taşıyan eğriler sıcak ve iletken yani sıcak su taşıyan zonların belirtileridir.

### Doğal Gerilim (SP) Harita Ve Kesitlerin Yorumu

Doğal gerilim haritasına bakılırsa Şekil 2 ve 3'te eksi ve artı belirtilerinin varlığı dikkati çekmektedir. Artı SP değerleri sıcak suyun çıkışını ve eksi SP değerleri soğuyan sıcak suyun aşağıya doğru dönüşünü belirtmektedir. Gerek SP gradyent (Şekil 2) ve gerekse SP potansiyel (Şekil 3) profil ölçülerinden hazırlanan grafiklerin hemen hemen benzer oldukları kolayca görülmektedir. Ölçü değerlerindeki güneybatı-kuzeydoğu yönüne göre sırasıyla artı ve eksi değerlerin devam etmesi ölçü alanının vadi şeklinde oluşu nedeniyle civarda sağlıklı bir baz noktasının seçilemeyeşi ile ilgilidir. Ancak bu tür ölçülerde önemli olan, eksi veya eksiden artıya yön değiştiren noktaların bulunmasıdır. Bu özelliğin Hamamboğazı yöresine karşı geldiği gözlenmektedir.

### Etkisel Kutuplaşma (Ip) ve Faz Farkı Belirtilerinin Yorumu

Sıcak suların çıktığı çatlak ve kırık sistemlerinin bulunduğu yerlerde IP (Şekil 8, 9, 10) ve faz farkının büyük oluşu ve ayrıca bu yerlerin SP ölçüleri ile görünüm öz direnç harita ve kesitlerine uygun düşmesi, sorunun çözülebildiği izlenimini vermektedir.

### 9 İle 15 Numaralı Jeoelektrik Sondajları Arasında Görünür Öz direncin, SP, IP ve Faz Farkının Yanal Değişimi ve Yorumu

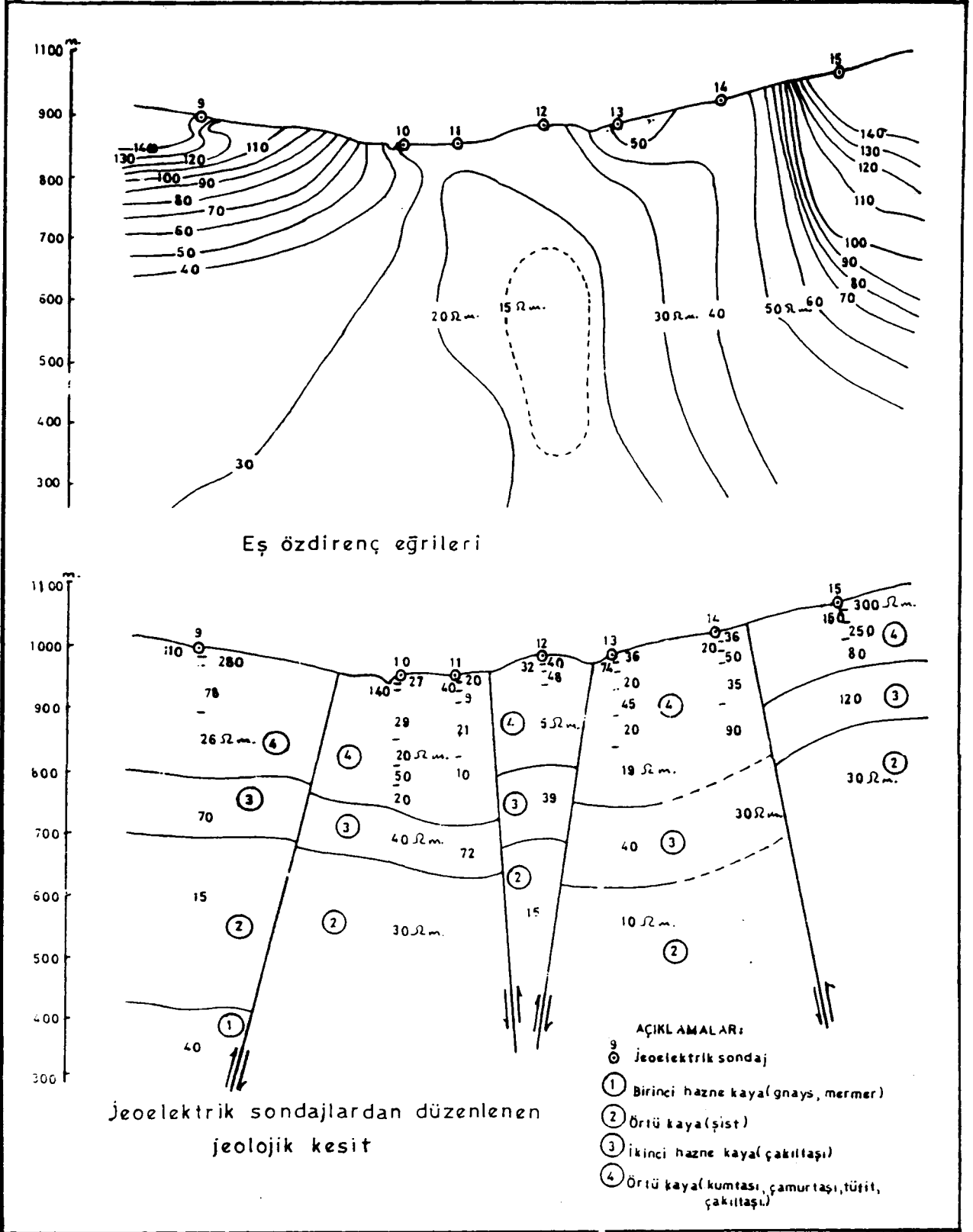
Şekil 11'de 9 ile 15 numaralı ölçü noktaları arasında görünür öz direnç, SP, IP ve faz farkının yanıl değişimlerinin grafikleri düzenlenmiştir. Görünür öz direnç, IP ve faz farkı için  $AB/2 = 100 \text{ m}$  ve  $AB/2 = 200 \text{ m}$  elektrod aralığındaki ölçüler kullanılmıştır. IP ölçüleri (0,25) ve (4) Hz frekansları için alınmış ve PFE değeri aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$PFE = \frac{\rho_{0.25} - \rho_4}{\rho_{0.25}} \times 100$$

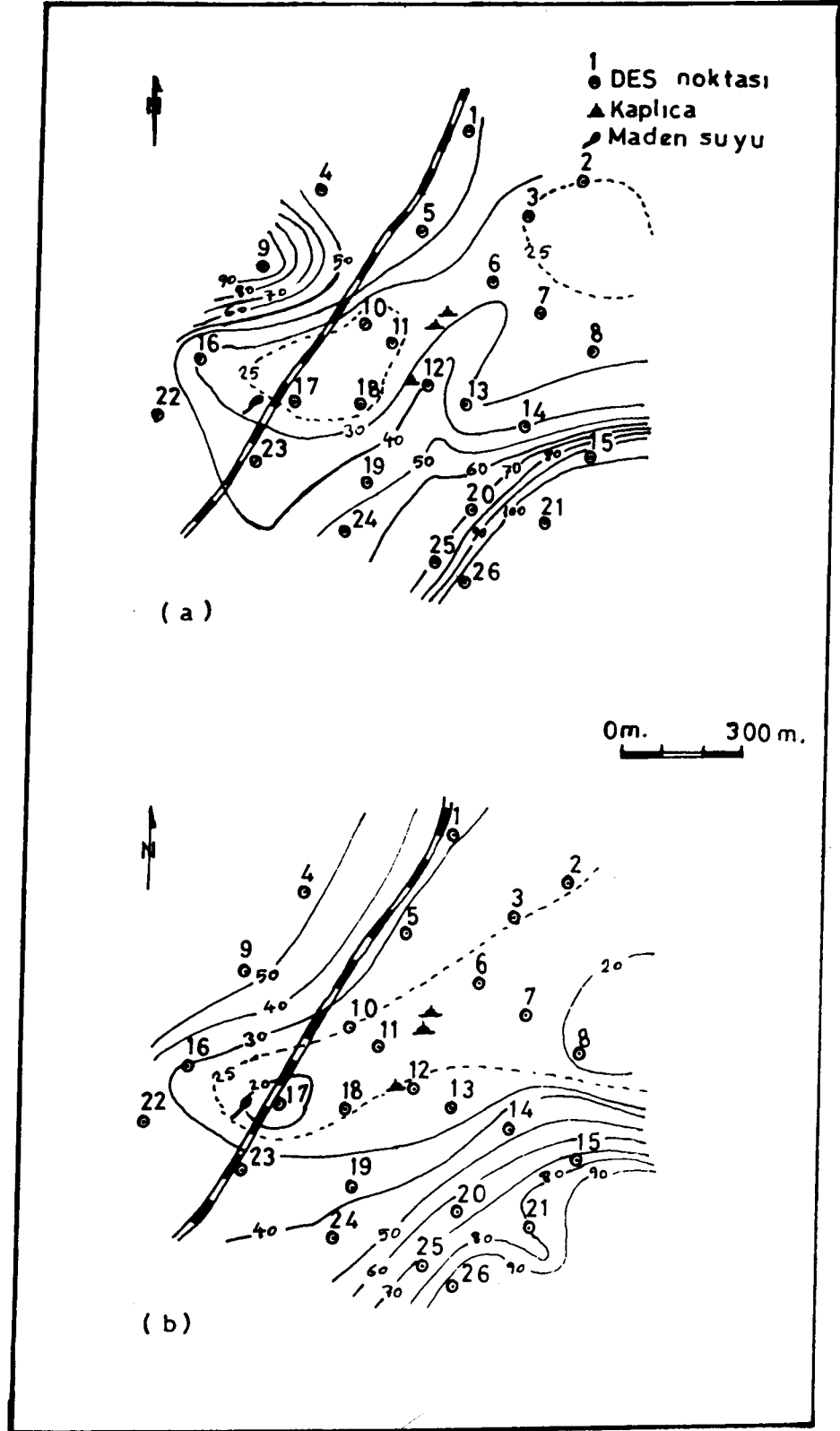
Görünür öz direncin yanıl değişimindeki düşük değerler jeotermal alanın merkezi üzerinde ölçülmüştür. Jeotermal alanın kenarlarında görünür öz direnç değerleri yüksektir. Düşük elektrik öz dirençli zonlar yukarıya çıkan sıcak suların neden olduğu alterasyon zonlarını işaret eder.

SP ölçüleri, jeotermal alanın üzerinde artı belirtiler verir. Belirtinin genliği küçüktür ve elektrik geriliminin değişiminden oluşur. SP belirtisi sıcak su zonunun üzerindedir ve suyun yukarıya doğru hareket ettiği yerlerde oluşmaktadır. Düşük SP değerleri ise jeotermal alanın kenarlarında suyun aşağıya doğru hareket ettiği yerlere karşı gelmektedir. SP belirtisi izlenerek jeotermal alanın sınırları belirlenebilir. Sıcak sular büyük bir olasılıkla yüzeye yakın yerlerde yatay hareket eder ve öz direncin düşük olduğu yerler daha geçirgen alterasyon zonlarıdır. Düşük öz dirençli zonlarda düşük SP değerleri suyun aşağıya doğru hareketini belirtir.

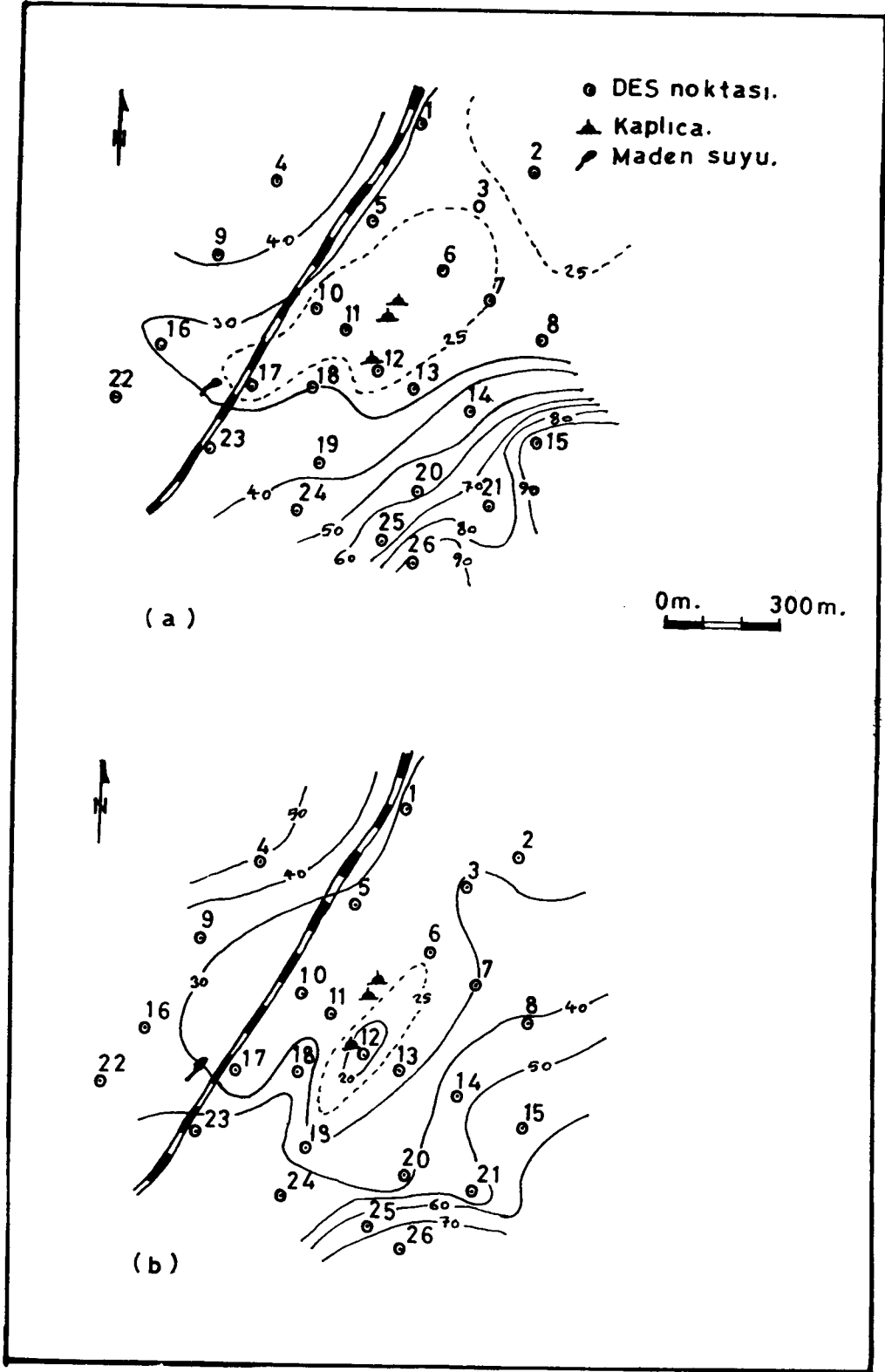
IP profilinde yüksek IP değerleri kil ve pirit nedeniyle



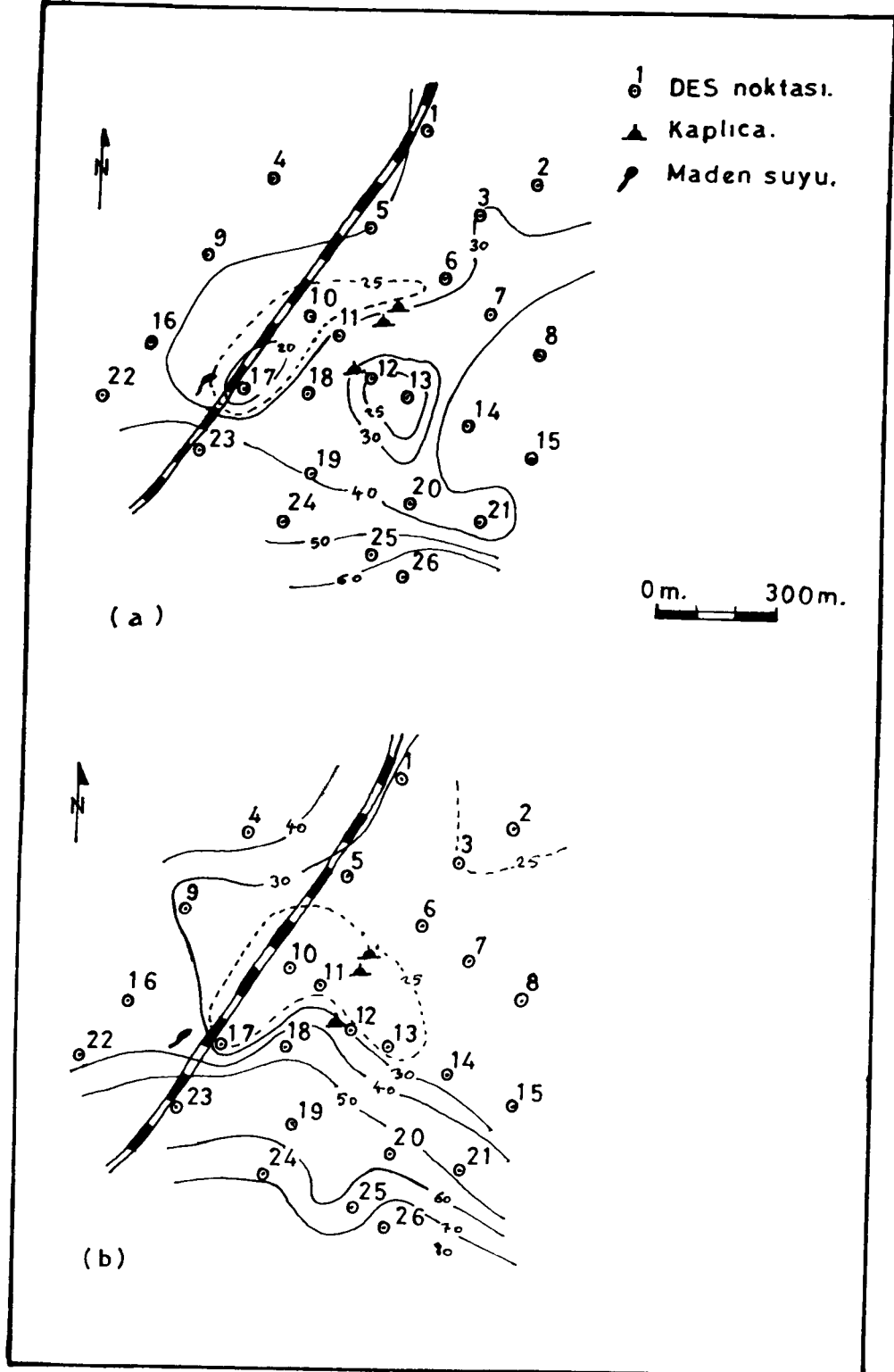
Şekil 4. Eş öz direnç eğrileri ve jeoelektrik ölçülerden düzenlenen jeolojik kesit  
 Fig. 4. Resistivity curves and geological section taken from geoelectrical measurements



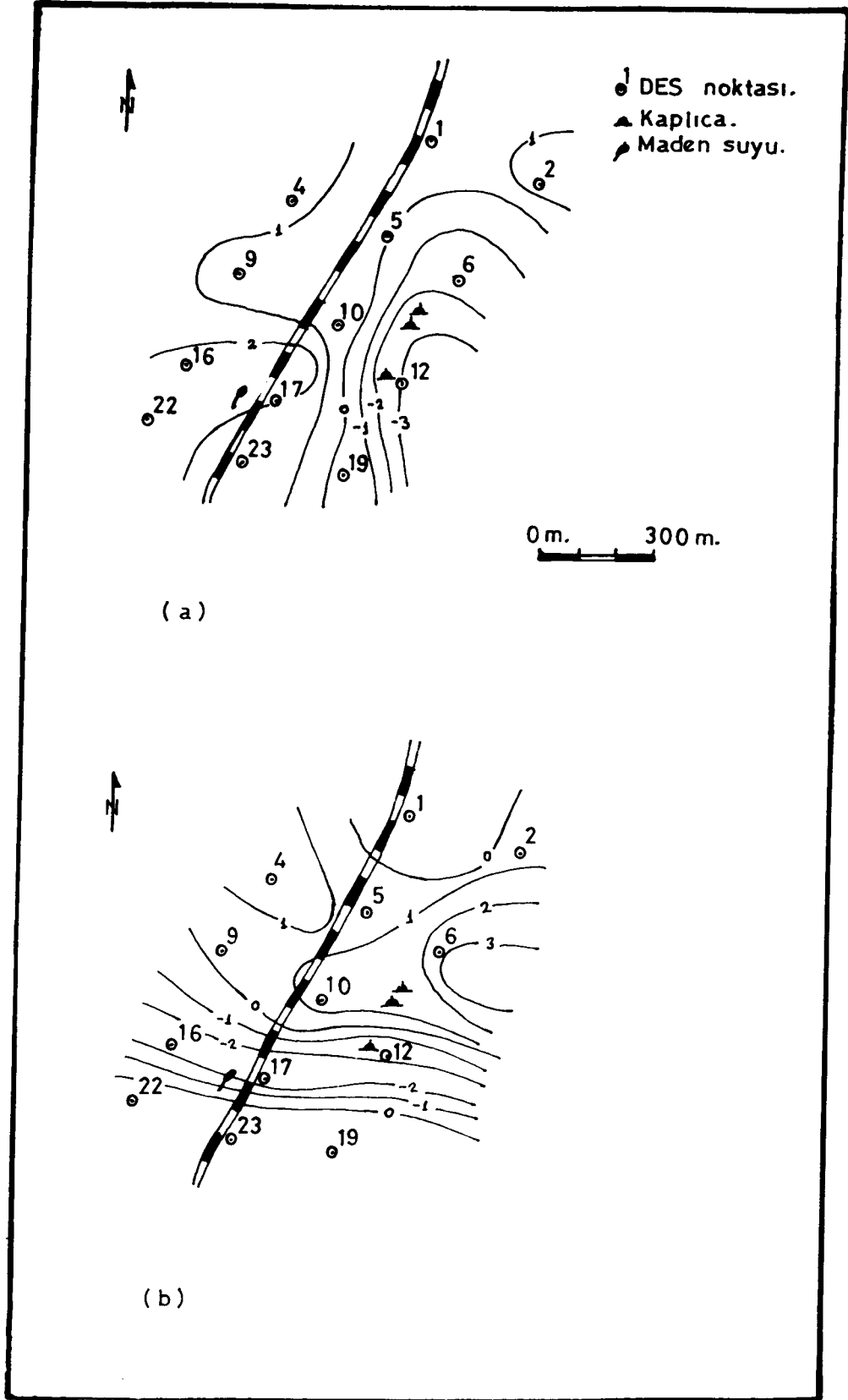
Şekil 5: (a)  $AB/2 = 100$  m için görünür öz direnç haritası, (b)  $AB/2 = 200$  m için görünür öz direnç haritası  
 Fig. 5: (a) Apparent resistivity map for  $AB/2 = 100$  m, (b) Apparent resistivity map for  $AB/2 = 200$  m



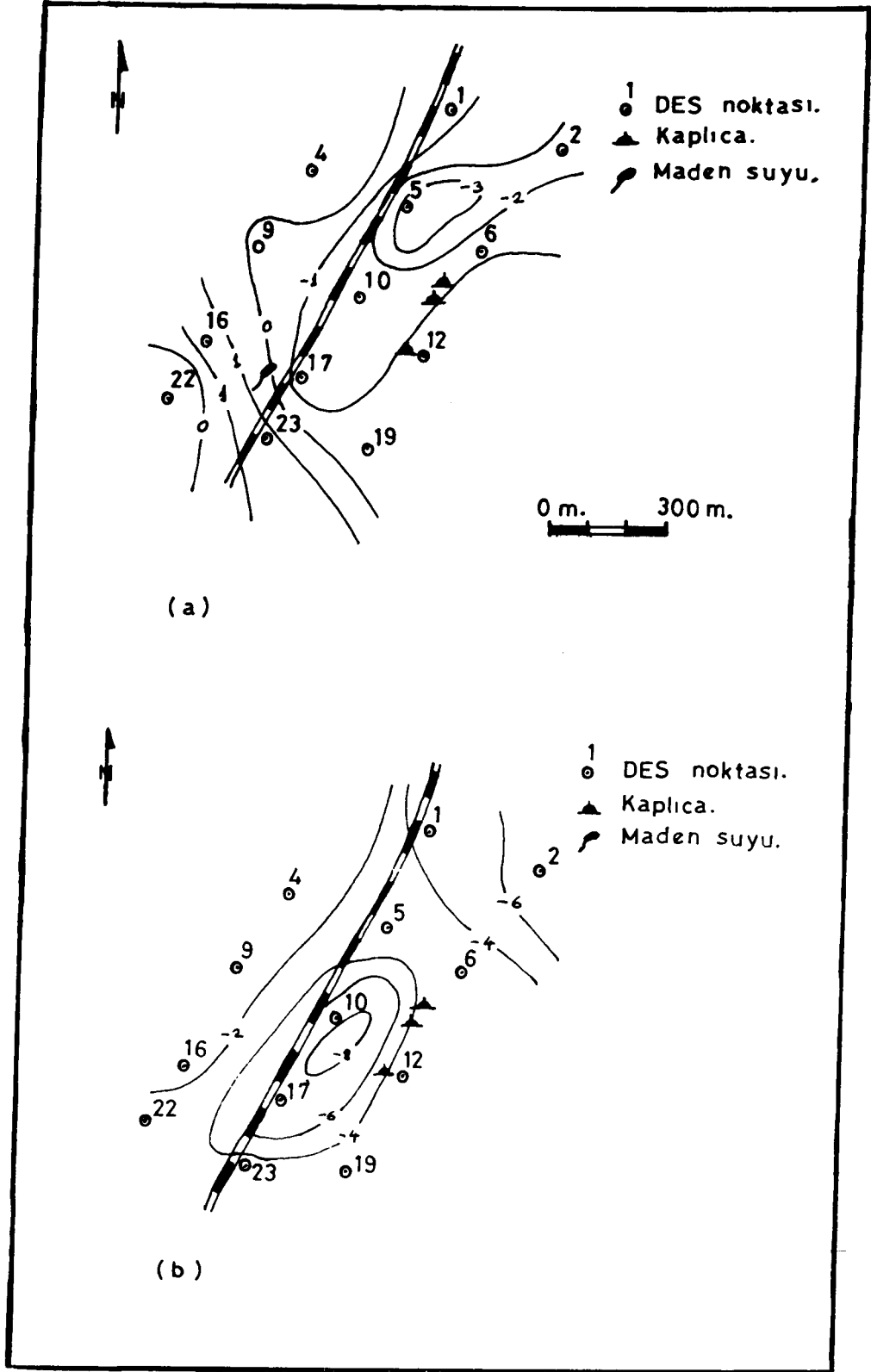
Şekil 6. (a)  $AB/2 = 250$  m için görünür öz direnç haritası, (b)  $AB/2 = 400$  m için görünür öz direnç haritası  
 Fig. 6. (a) Apparent resistivity map for  $AB/2 = 250$  m, (b) Apparent resistivity map for  $AB/2 = 400$  m



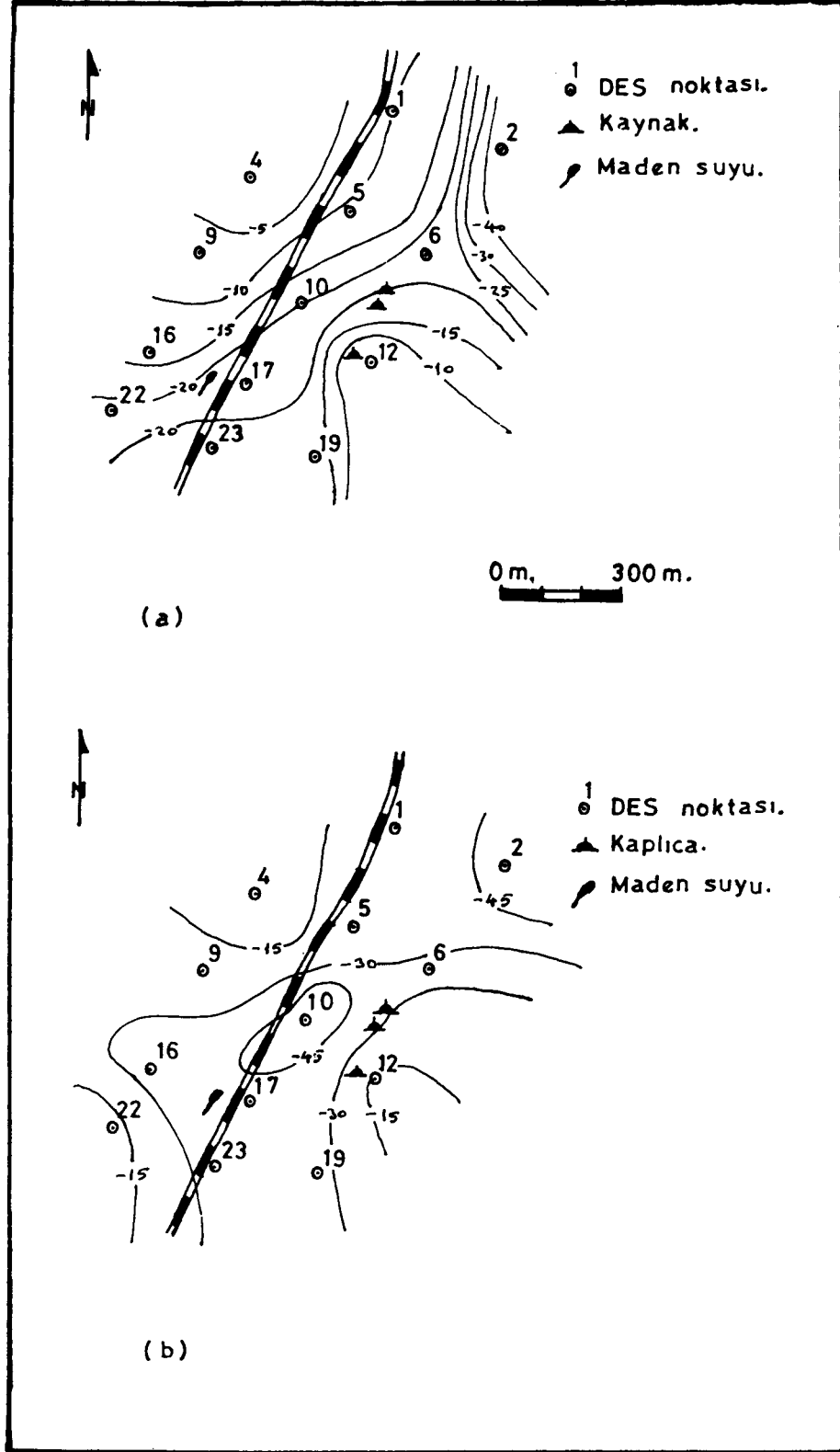
Şekil 7. (a)  $AB/2 = 500$  m için görünür özdirenc haritası, (b)  $AB/2 = 600$  m için görünür özdirenc haritası  
 Fig. 7. (a) Apparent resistivity map for  $AB/2 = 500$  m, (b) Apparent resistivity map for  $AB/2 = 600$  m



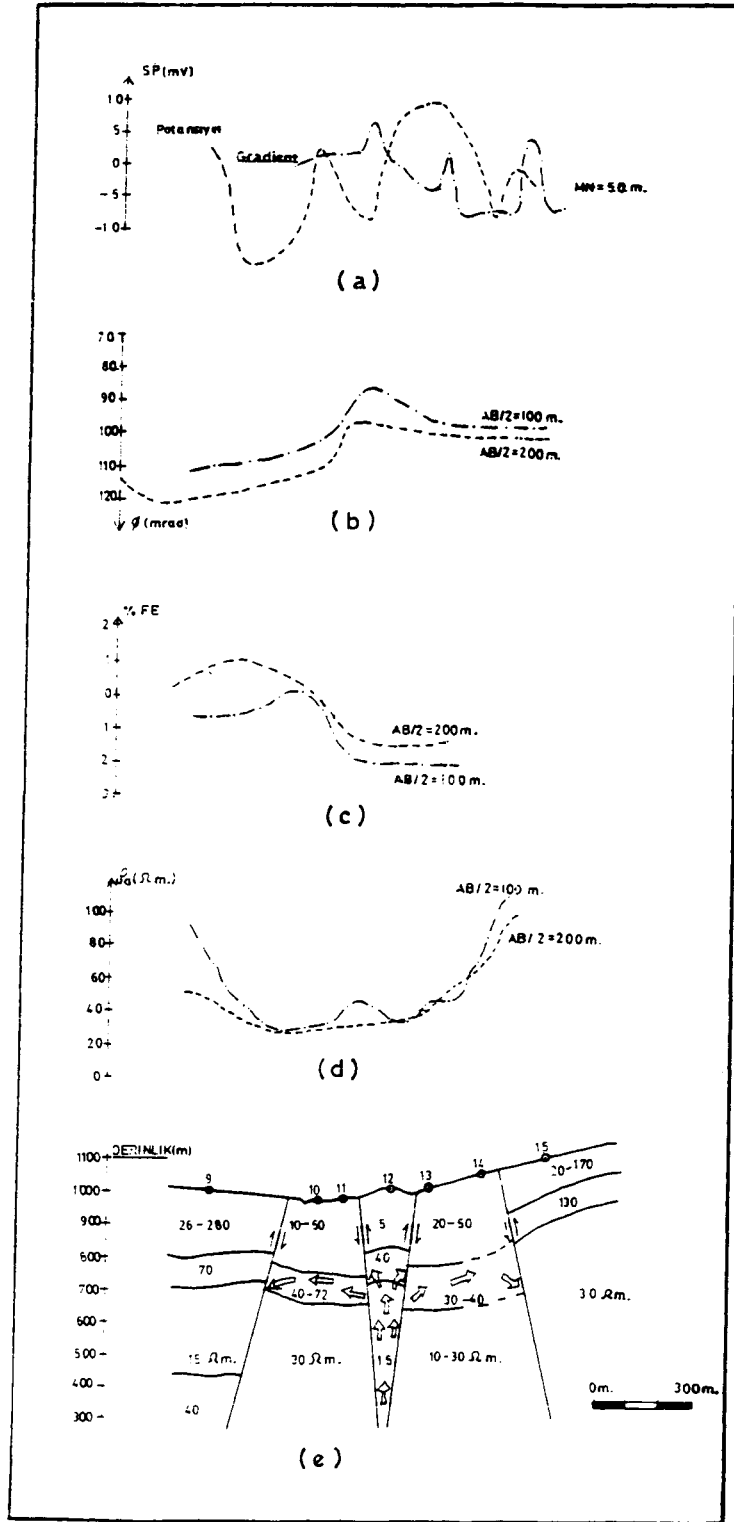
Şekil 8. (a)  $AB/2 = 100$  m için % FE eğrileri, (b)  $AB/2 = 200$  m için % FE eğrileri  
 Fig. 8. (a) Curves of PFE for  $AB/2 = 100$  m, (b) Curves of PFE for  $AB/2 = 200$  m



Şekil 9. (a)  $AB/2 = 300$  m için % FE eğrileri, (b)  $AB/2 = 400$  m için % FE eğrileri  
 Fig. 9. (a) Curves of PFE for  $AB/2 = 300$  m, (b) Curves of PFE for  $AB/2 = 400$  m



Şekil 10. (a)  $AB/2 = 500$  m için % FE eğrileri, (b)  $AB/2 = 600$  m için % FE eğrileri  
 Fig. 10. (a) Curves of PFE for  $AB/2 = 500$  m, (b) Curves of PFE for  $AB/2 = 600$  m



Şekil 11. (a) SP, (b) faz farkı, (c) IP, (d) yanal görünür öz direnç ve (e) jeoelektrik ölçülerden düzenlenen jeolojik kesit.

Fig. 11. (a) SP, (b) phase shift, (c) IP, (d) profile measurement of horizontal resistivity and (e) geological section taken from geoelectrical measurements.

